

O custo ambiental da computação

Consumo elevado de energia elétrica e água pelo mundo digital pressiona o planeta e impulsiona nova área de pesquisa

Milho cultivado era alimento principal no sudoeste da Amazônia pré-colombiana

Futebol de várzea perde espaço com o desenvolvimento urbano

Bactérias resistentes a antibióticos podem matar 39 milhões de pessoas até 2050

Uso de e-mails falsos na revisão por pares gera retratação de 45 artigos de brasileiros

Enzima de microrganismos do solo pode aumentar a produção de etanol de celulose

assine as newsletters pesquisafapesp

O MELHOR DO
JORNALISMO CIENTÍFICO
NA SUA CAIXA DE ENTRADA

Escolha o que quer receber:
conteúdo completo da
edição mensal, destaques
semanais do site, novidades
sobre inovação e empresas,
notícias sobre integridade
científica, dicas dos editores
da revista e as versões em
inglês e espanhol

INSCREVA-SE
bit.ly/BoletimPesqFapesp



EDIÇÃO DO MÊS

NOVIDADES DA SEMANA

INTEGRIDADE CIENTÍFICA

INOVAÇÃO & EMPRESAS

SUGESTÕES DA REDAÇÃO

VERSÕES EM INGLÊS E ESPANHOL



5 CARTA DA EDITORA

6 NOTAS

CAPA

12 Os impactos ambientais que a computação traz e o que a ciência está fazendo para enfrentar o problema

20 Pesquisadores investigam como elevar a eficiência energética de data centers

ENTREVISTA

22 O geólogo Ivo Karmann conta como evoluíram as pesquisas sobre cavernas no país

INTEGRIDADE

28 E-mails falsos em revisão por pares levam à retratação de 45 artigos de autores brasileiros

ÉTICA

32 Divulgadores científicos na internet testam limites éticos ao selecionarem patrocinadores

ENTREVISTA

36 Allaine Cerwonka, diretora de instituto de ciência de dados do Reino Unido, discute colaborações com o Brasil

BOAS PRÁTICAS

38 Estudo mostra que um em cada 25 cientistas altamente citados já teve um artigo retratado

DADOS

41 A participação feminina entre concluintes no ensino superior em 2023

EPIDEMIOLOGIA

42 Bactérias resistentes a antibióticos podem matar 39 milhões de pessoas até 2050

IMUNOLOGIA

47 Análises genéticas de pacientes e autopsias revelam como a febre amarela se agrava

FISIOLOGIA

50 Estudo busca explicar por que o Alzheimer é mais comum em mulheres

ARQUEOLOGIA

52 Sítios bolivianos têm resquícios de milhares capazes de sustentar uma numerosa população na Amazônia

BIOENERGIA

56 Enzima de bactéria que vive no solo pode aumentar produtividade do etanol de celulose →



mar 2025 **349**

Efeito dominó: dezenas de artigos de brasileiros são retratados (INTEGRIDADE, P. 28)

CAPA
GOOGLE

QUARTA-CAPA
**ANDREY RUDAKOV / BLOOMBERG
VIA GETTY IMAGES**

Nuvens sólidas

ALEXANDRA OZORIO DE ALMEIDA — diretora de redação

A cada mês, abro o laptop para escrever o editorial de *Pesquisa FAPESP*. A luz da tela acende e o cursor pisca a cada caractere digitado. Crio o arquivo “editorial_XXX”, que salvo em um serviço de armazenamento virtual – mas que demanda uma estrutura física como a retratada na capa desta edição, localizada possivelmente a milhares de quilômetros de distância. Consulto as reportagens que irão compor o número, hospedadas em outra nuvem, e faço buscas na internet para checar palavras, conceitos, referências. Envio o texto por uma plataforma on-line de gerenciamento de projetos para a leitura dos colegas e depois para a revisão, por e-mail. Junto às demais 99 páginas da edição, o arquivo final é transferido para os servidores da gráfica, que irá imprimir exemplares físicos como o que possivelmente está em suas mãos.

Atividades como essa ocorrem bilhões de vezes por dia, e unitariamente consomem pouca energia (se o editorial fosse produzido por uma ferramenta de inteligência artificial generativa, o dispêndio seria maior). Mas a soma de tudo, em um mundo crescentemente digital, onera cada vez mais o planeta. Estima-se que entre 5% e 9% de toda a energia elétrica consumida no mundo seja destinada à infraestrutura das tecnologias

da informação e comunicação. O gasto vem da operação dos equipamentos e da necessidade de mantê-los refrigerados, o que por sua vez demanda volumes expressivos de água. O editor de Tecnologia da revista, Yuri Vasconcelos, mostra esse lado pouco conhecido da realidade digital e apresenta uma emergente área de pesquisa, chamada de computação sustentável, que procura caminhos para reduzir impactos ambientais da computação no mundo (*página 12*).

O Brasil tem mais de 23 mil cavernas cadastradas no Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, muitas das quais foram mapeadas por Ivo Karmann, da USP. Ele explica que o estudo dessas cavidades naturais exige o mapeamento do sistema de circulação das águas da região, elemento essencial para a dissolução e a corrosão das rochas (*página 22*). Bem-humorado, Karmann se define como geólogo do nada, dado que se dedica a explicar a ausência, e não a presença, de rocha.

Onomástica é a área que estuda outro tipo de formação, a dos nomes próprios. A investigação da origem de nomes de pessoas e lugares compõe um campo da linguística que é interdisciplinar. Reúne, por exemplo, elementos de geografia, história, direito e psicologia. Reportagem à página 86 conta a gênese desse ramo do conhecimento, revelando que a prática brasileira de juntar partes de nomes próprios pessoais para criar resultados originais advém de um padrão germânico herdado via colonização portuguesa.

Desde pequeno, Lourenço Queiroz jogava futebol de várzea, integrando um time regular aos 13 anos. O campinho do bairro ficava próximo a uma área fabril em Santo André, na Grande São Paulo. As empresas da região costumavam apoiar os times, comprando uniformes, bolas e organizando campeonatos. Lourenço conta que essa era a diversão do final de semana, embora as partidas fossem levadas muito a sério. Havia torcidas, brigas, desafetos e placares inesquecíveis. Muitos desses campos não existem mais, tendo dado lugar a edifícios residenciais e comerciais. Mais de 60 anos depois das divididas de bola do pai, nossa repórter Christina Queiroz escreve sobre as transformações do futebol de várzea diante do crescimento urbano (*página 76*).

FOTO ARQUIVO PESSOAL

Time Coqueiros (c. 1962) em campo de uma área fabril de Santo André (SP); Queiroz é o primeiro à direita, em pé (SOCIEDADE, P. 76)



Elaine Eliete Tezella, Evandro, Joaquim, Cristina, Dilma

Erosão refaz a foz de rios do Nordeste

Em forma de delta, com vários canais desaguando no mar, a foz de três rios do Nordeste está sofrendo grandes transformações, de acordo com análises de imagens de satélite de 1984 a 2021 e registros da variação da pluviosidade. Nesse período, o delta do São Francisco, na divisa entre os estados de Sergipe e Alagoas, sofreu uma severa erosão, com perdas de 15 metros (m) a 50 m por ano. O delta do Jequitinhonha, na Bahia, apresentou uma erosão menor, de 10 m por ano, ainda assim com uma perda de 990 m ao longo de seus 5,5 quilômetros (km). Inversamente, o delta do Parnaíba, entre os estados do Maranhão e Piauí, acumulou sedimento (34% da área), a chamada progradação, com um ganho de 500 metros (m) ao longo de um trecho de 9 km do litoral; a erosão foi menor (23%), com perdas de até 15 m por ano, enquanto 43% do litoral se manteve estável. Pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), responsáveis pelas análises, atribuíram o acúmulo de sedimento no Parnaíba à ação humana e a picos de chuvas entre 1991 e 2005, e a perda no Jequitinhonha e São Francisco às barragens de Itapebi e Xingó, respectivamente, próximas à foz dos rios. A erosão pode levar à destruição de casas, faróis e comunidades próximas ao mar, além de reduzir a quantidade de nutrientes trazidos aos rios (*Ocean & Coastal Management*, fevereiro).

Delta do Parnaíba, ganhando areia em alguns trechos, perdendo em outros



Rondônia em chamas, há 43 mil anos

Pesquisadores da Universidade Federal do Tocantins (UFT) e da Universidade do Vale do Taquari (Univates) identificaram sinais de células e tecidos vegetais carbonizados – ou macrocarvão – em quatro amostras de sedimentos coletados às margens do rio Madeira, em Rondônia. É uma indicação de que a região passou por incêndios florestais há 43 mil anos, no Pleistoceno Superior, 30 mil anos antes dos primeiros registros da ocupação humana. Os incêndios podem ter começado em consequência da variação do clima e contribuído para a renovação da vegetação. É um dos registros mais antigos do país. Em 2020, um grupo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) apresentou análises de macrocarvão de sedimentos com 2,3 metros de profundidade que revelaram incêndios na planície costeira do extremo sul do Brasil entre 38,9 mil anos e 1.500 anos atrás. As análises de grãos de pólen de árvores, arbustos e plantas rasteiras indicaram uma mudança na vegetação relacionada a uma seca na região costeira entre 1.600 e 1.500 anos atrás (*Journal of South American Earth Sciences*, janeiro).



Nascimentos
duplos estão
cada vez mais
comuns

Maternidade tardia leva a mais gêmeos

Estão nascendo mais gêmeos e trigêmeos pela primeira vez na história, ainda que as taxas mundiais de natalidade estejam caindo. Fatores sociais, como gravidez em idade avançada e maior uso de tratamentos de fertilidade, ajudam a explicar esse novo fenômeno. Pesquisadores do Instituto Max Planck de Pesquisa Demográfica, da Alemanha, analisaram 3,19 milhões de nascimentos, a maioria ocorrida entre 1980 e 2015 em 39 países com baixa taxa de acompanhamento médico ou reprodução assistida. Os países também mostram a tendência de nascerem mais gêmeos – de 0,3% a 63%, dependendo do país – até 2050 em comparação a 2010 e ainda mais em todos os países estudados até 2100, com aumentos de 3,5% a 79%. Em razão da grande população, Índia e Nigéria despontam como os países com as maiores proporções de nascimentos de gêmeos. Mais da metade (60%) dos gêmeos e quase todos os trigêmeos, quadrigêmeos ou mais nascem por parto prematuro e geralmente necessitam de cuidados neonatais (*Human Reproduction*, dezembro).

O mais detalhado retrato de Andrômeda, com 200 milhões de estrelas mais quentes que o Sol

Nossa galáxia vizinha, em detalhes

Durante 10 anos, o Telescópio Espacial Hubble reuniu informações sobre Andrômeda, galáxia a 2,5 milhões de anos-luz de distância, vizinha da Via Láctea, onde estamos. O resultado é um mosaico com 2,5 bilhões de pixels (pixel é a menor unidade de informação de cor em uma imagem digital) e 200 milhões de estrelas azuis brilhantes, mais quentes que o Sol, além de galáxias de fundo, galáxias satélites e faixas de poeira. Essa visão detalhada revela um pouco mais da história de Andrômeda, também conhecida

como M31. Seu disco sul revela, mais do que o do norte, sinais de fusão com galáxias menores, como a M32, absorvida por Andrômeda há 2 ou 3 bilhões de anos. Andrômeda, uma galáxia espiral, como a Via Láctea, pode ser vista a olho nu no hemisfério Norte, em condições adequadas, embora pareça uma mancha cinza, com seis vezes o diâmetro aparente da Lua cheia. É o objeto mais distante do Universo que pode ser visto sem telescópio (*Astrophysical Journal*, 16 de janeiro; *Universe Today*, 20 de janeiro).



Representação artística de *Equus neogeus*, equino extinto da América do Sul

Clima causa extinção da megafauna

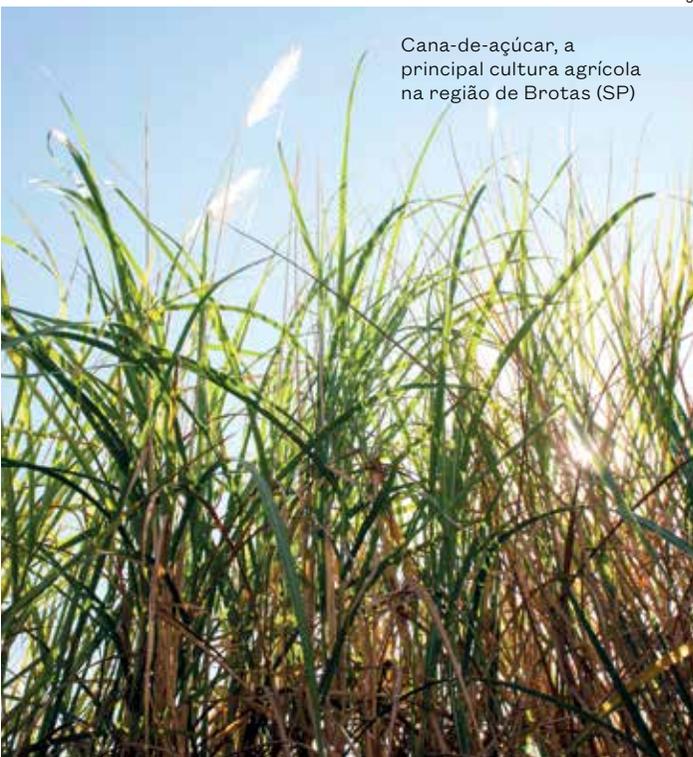
A variação de pluviosidade pode ter sido decisiva para a extinção da megafauna associada a ambientes abertos no atual Nordeste brasileiro, por ter favorecido a formação de um ambiente desfavorável e reduzido a oferta de alimentos. A bióloga Célia Machado, da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), examinou 292 registros de fósseis de quatro grupos de mamíferos herbívoros, adaptados a ambientes abertos, nos últimos 21 mil anos: *Equus neogeus*, uma espécie de equino; *Pampatherium humboldtii*, *Glyptodon clavipes* e *Panochthus* spp., parentes distantes do tatu. Com seus colegas, ela verificou que as áreas de vegetação aberta se expandiam ou se retraíam em resposta ao clima. Diferentemente do que ocorreu no Nordeste, nas regiões Andina e do Chaco-Pampa (sul da América do Sul, incluindo o Rio Grande do Sul), a estabilidade na precipitação preservou o ambiente e, nelas, outros fatores devem ter sido os principais responsáveis pela extinção da megafauna (*Quaternary Research*, janeiro).

Células de defesa levam microplásticos ao cérebro

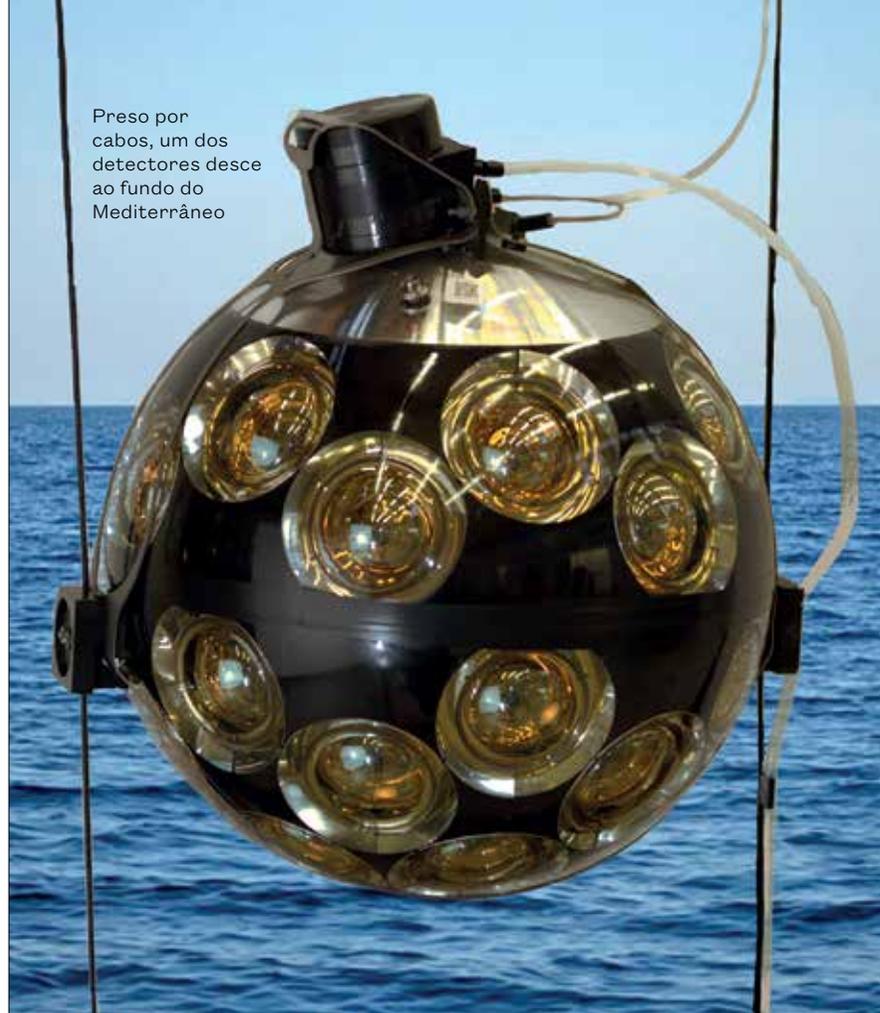
Microplásticos – partículas poliméricas com menos de 5 micrômetros (μm) – que entram na corrente sanguínea, engolfados por células de defesa, principalmente neutrófilos e macrófagos, podem chegar ao cérebro, obstruir vasos sanguíneos e causar alterações neurológicas e comportamentais (ver Pesquisa FAPESP nº 347). Pesquisadores da Academia Chinesa de Pesquisa em Ciências Ambientais e da Universidade de Pequim, também na China, conseguiram rastrear o percurso de microplásticos fluorescentes em cérebros de camundongos acordados. As partículas de 5 μm de diâmetro chegaram ao cérebro três horas depois de cinco camundongos as ingerirem, diluídas em água. Em outro estudo, uma equipe da Universidade do Novo México, nos Estados Unidos, examinou amostras de tecidos de 52 corpos humanos que passaram por autópsias em 2016 e 2024. Pessoas mortas há menos tempo tinham mais partículas plásticas do que as que morreram há mais tempo (*Science Advances*, 22 de janeiro; *Nature Medicine*, 3 de fevereiro).

Água da chuva com pesticidas

A água da chuva pode ser uma fonte de contaminação por agrotóxicos e não deveria ser ingerida, principalmente em regiões agrícolas, concluiu um grupo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) após coletar e examinar amostras de três cidades paulistas: Campinas, Brotas e a capital. Campinas apresentou a maior concentração de agrotóxicos (herbicidas, fungicidas e inseticidas), com 701 microgramas por metro quadrado ($\mu\text{g}/\text{m}^2$), seguindo-se Brotas, com 680 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, e São Paulo, com 223 $\mu\text{g}/\text{m}^2$. As análises indicaram uma associação direta entre a proporção de compostos químicos e a extensão dos cultivos agrícolas, que ocupam quase metade dos 795 quilômetros quadrados (km^2) do município de Campinas, 30% dos 1.101 km^2 de Brotas e 7% dos 1.521 km^2 da capital. As amostras de água foram coletadas em uma fazenda experimental de Brotas e em quintais residenciais nas outras duas cidades de agosto de 2019 a setembro de 2021 com um suporte de tubo de PVC de 1 m de comprimento, um funil de vidro e uma garrafa de vidro âmbar de 1 litro. Entre os 14 agrotóxicos identificados, o herbicida atrazina, apesar de seu uso ter sido proibido, foi detectado em todas as amostras nas três cidades. Apenas dois herbicidas e um fungicida representaram um risco para a vida aquática, já que a água da chuva abastece os rios (*Chemosphere*, março).



Cana-de-açúcar, a principal cultura agrícola na região de Brotas (SP)



Preso por cabos, um dos detectores desce ao fundo do Mediterrâneo

Sob o mar, os rastros de um neutrino superenergético

Em 13 de fevereiro de 2023, um detector submarino captou um neutrino – partícula subatômica extremamente leve, abundante e sem carga elétrica – com a energia mais alta já observada, de 220 petaeletronvolts, equivalente à de uma bola de pingue-pongue que cai da altura de 1 metro (PeV, equivalente a 10^{15} elétron-volts). O máximo até agora tinha sido de apenas 10 PeV. Em vista de seu nível de energia sem precedentes, pode ser o primeiro neutrino cosmogênico já detectado, originado de raios cósmicos, outro tipo de partículas ultraenergéticas, interagindo com fótons (partículas da luz) da radiação de fundo deixada pelo Big Bang, a explosão a partir da qual o Universo teria se formado. O aparelho que detectou o ultraenergético foi um dos dois conjuntos do Cubic Kilometer Neutrino Telescope (KM3NeT), localizado a 3.450 metros (m) abaixo da superfície do mar Mediterrâneo, no sul da Itália. Suas unidades de detecção de 700 m de altura são ancoradas no fundo do mar e posicionadas a cerca de 100 m de distância. Cada unidade é equipada com 18 módulos ópticos digitais, cada um contendo 31 detectores sensíveis à luz. Mais de 28 mil fótons foram detectados quando partículas produzidas pela passagem do neutrino atravessaram o detector. A Colaboração KM3NeT reúne 360 cientistas de 68 instituições de 21 países (*Nature*, 12 de fevereiro; *ScienceAlert*, 13 de fevereiro).

Os gritos das serpentes

Em outubro de 2023, os biólogos Tatiane Santos, Marcos Penhacek, Domingos Rodrigues e Gisele Lourenço, da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), *campus* de Sinop, examinaram os baldes enterrados até a boca para capturar animais em uma mata de Aripuanã, noroeste do estado. Encontraram duas cobras-da-terra (*Amerotyphlops reticulatus*) – uma fêmea e um macho, em cópula. Ao retirá-las do balde, notaram que as serpentes faziam movimentos laterais, com a boca aberta, mas só a fêmea emitia sons curtos, estridentes e agudos. Eram mais intensos que os sons defensivos de outras espécies e acima da frequência em que as próprias cobras-da-terra conseguem ouvir (*as vocalizações podem ser ouvidas em*



youtu.be/rqOOorl4Jxw). É o primeiro registro documentado de emissão de som de uma serpente fossorial – que vive em tocas – na Amazônia brasileira. Em 2023, biólogos da Universidade de Missouri, Estados Unidos, registraram a vocalização de outra espécie da mesma família taxonômica, a cobra-cega-de-focinho-de-garra (*Anilius unguirostris*), solta antes da identificação do sexo, no norte da Austrália. As duas espécies não são venenosas (*Acta Amazonica*, dezembro).

Somente a fêmea (*à dir.*) emite sons curtos e estridentes

Núcleo da Terra menos sólido

Análises de ondas sísmicas (geradas por tremores de terra) indicaram que o núcleo interno da Terra pode não ser uma esfera tão sólida quanto se pensava. A interação com o núcleo externo, líquido, gera um movimento de rotação que afeta o núcleo interno e torna sua superfície mais viscosa. Já se sabia que o núcleo interno girou mais rápido e depois mais devagar do que o resto da Terra nas últimas décadas. Agora, pesquisadores da Universidade do Sul da Califórnia, nos Estados Unidos, podem ter descoberto uma provável razão – a interação entre as partes mais profundas do planeta, a quase 5 mil quilômetros da superfície. A deformação viscosa do núcleo interno elucida as ondas sísmicas, que até agora confundiam os geofísicos, registradas nos 121 pares de terremotos ocorridos em 42 locais perto das Ilhas Sandwich, no sul da Antártida, entre 1991 e 2024. Já se sabia também que o núcleo externo era turbulento, mas não a ponto de perturbar seu vizinho, o núcleo interno (*Nature Geoscience*, 10 de fevereiro).

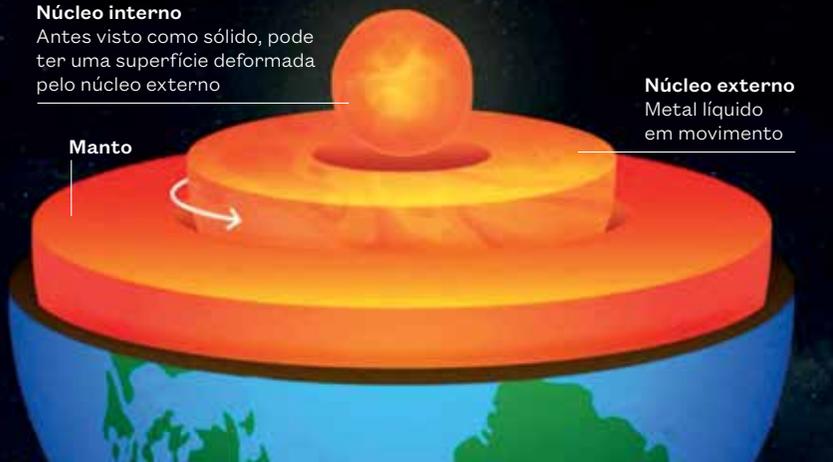
2

Núcleo interno

Antes visto como sólido, pode ter uma superfície deformada pelo núcleo externo

Núcleo externo
Metal líquido
em movimento

Manto



Adolescentes, mexam-se!

Em um estudo sobre os hábitos da população de 13 a 17 anos do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai, os adolescentes brasileiros apresentaram as maiores prevalências de embriaguez (47% dos entrevistados) e as menores de tabagismo. Destacaram-se também pelo menor uso de preservativo na última relação sexual (59%), justificado com a ideia de baixo risco de contrair infecções sexualmente transmissíveis, confiança na parceira e falta de acesso a preservativos, embora sejam distribuídos gratuitamente nas unidades públicas de saúde. Os da Argentina exibiram as maiores taxas de experimentação precoce de bebidas alcoólicas (66% antes dos 14 anos), os do Uruguai, um consumo elevado de bebidas alcoólicas (55%), e os do Paraguai as menores frequências de relação sexual. Nos quatro países, o comportamento sedentário, fator de risco para doenças cardíacas, foi bastante comum, com um máximo de 62% no Uruguai. As conclusões se apoiam na Pesquisa Nacional de Saúde do Escolar de 2015 e 2019 no Brasil e no Global School-based Student Health Survey (GSHS) de 2017 a 2019 nos outros países. Os autores desse estudo, da Universidade Federal de Minas Gerais, enfatizam a necessidade de promover boas práticas de saúde para prevenir doenças na vida adulta (*Saúde em Debate*, dezembro).



Além das áreas protegidas, os felinos convivem com agricultores

3

Índia, terra dos tigres

Em pouco mais de uma década, a população de tigres selvagens na Índia dobrou para mais de 3.600 animais, o equivalente a 75% do total mundial. Os tigres ocupam 138 mil quilômetros quadrados (km²), segundo levantamento do Instituto da Vida Selvagem e da Autoridade Nacional para Conservação dos Tigres, ambas da Índia. O aumento da população resultou da recuperação de habitats, da proibição da caça, da estabilidade política e da reverência cultural por esses animais. As populações desse felino crescem tanto em áreas protegidas e ricas

em presas quanto em comunidades agrícolas e outros espaços compartilhados por quase 60 milhões de pessoas. “Perdemos 35 pessoas para ataques de tigres todos os anos, 150 para leopardos e o mesmo número para porcos selvagens. Além disso, 50 mil pessoas morrem de picada de cobra”, disse à BBC Yadvendradev Vikramsingh Jhala, autor principal do estudo. Se uma pessoa for morta por um tigre, a família recebe uma compensação financeira do governo e o animal que atacou é levado para uma reserva ou zoológico (*Science*, 30 de janeiro).

Queimaduras de sol danificam RNA

Depois de um dia tomando sol na praia sem protetor solar, a pele avermelha e inflama, muitas vezes com dor, as células superficiais morrem e se soltam, em resposta a danos tradicionalmente associados ao DNA. No final do ano passado, descobriu-se que pode não ser bem assim, embora a radiação ultravioleta do Sol de fato danifique o DNA. Na verdade, a molécula de RNA, e não de DNA, é que desencadeia as reações à exposição excessiva à radiação ultravioleta do tipo B. Pesquisadores da Universidade de Copenhague, na Dinamarca, verificaram que danos em um tipo de RNA, o RNA mensageiro (mRNA), desencadeiam uma resposta orquestrada por uma proteína conhecida como ZAK-alfa, que alerta o sistema imunológico, ativando as reações de inflamação e dor. “Em camundongos expostos à radiação ultravioleta [UV], encontramos respostas como inflamação e morte celular, mas quando removemos o gene ZAK, essas respostas desapareceram, o que significa que o ZAK desempenha um papel fundamental na resposta da pele aos danos induzidos por UV”, comentou Simon Bekker-Jensen, um dos autores do estudo, em um comunicado da universidade. O que não mudou é que o protetor solar continua indispensável (*Molecular Cell*, 19 de dezembro; *ScienceAlert*, 23 de janeiro).



Para proteger a pele, use protetor solar

4

Os impactos do mundo digital no ambiente

Torres de resfriamento
de data center do
Google no Oregon (EUA)
exalam vapor-d'água



O aumento da demanda de energia e água e as elevadas emissões de carbono da computação fazem surgir uma nova área de pesquisa para lidar com o problema

YURI VASCONCELOS

Parte essencial da vida moderna, a computação está em todos os lugares. É difícil imaginar o cotidiano sem os recursos do mundo digital, como internet, redes sociais, *streaming* de vídeo, programas de inteligência artificial e os mais variados aplicativos. Governos, organizações e empresas de diversos setores dependem cada vez mais das tecnologias da informação e comunicação (TIC). O crescente aumento da demanda computacional, contudo, gera impactos no meio ambiente. Estima-se que entre 5% e 9% da energia elétrica consumida no mundo se destine à infraestrutura de TI e comunicações em geral e ao seu uso. A Agência Internacional de Energia (IEA) alerta para uma tendência de forte aumento nessa demanda. O gasto energético de data centers, instalações com robusto poder de armazenamento e processamento de dados, e dos setores de inteligência artificial (IA) e criptomoedas, segundo a entidade, poderá dobrar no mundo em 2026 em relação a 2022, quando foi de 460 terawatts-hora (TWh) – naquele mesmo ano, o Brasil consumiu 508 TWh de energia elétrica.

“O uso de energia é inerente à computação”, constata a cientista da computação Sarajane Marques Peres, da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) e pesquisadora do Centro de Inteligência Artificial C4AI, financiado por FAPESP e IBM. Individualmente, ela destaca, um computador não representa uma grande demanda de energia, mas milhares de máquinas juntas ou muitos computadores com processadores poderosos trabalhando 24 horas por dia, sete dias por semana, representam um gasto elevado.

“Todas as nossas atividades digitais, como navegar na internet, acessar redes sociais, parti-

cipar de videoconferências e enviar fotos para os amigos, têm, em última instância, efeitos sobre o ambiente”, aponta a cientista da computação Thais Batista, presidente da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e professora do Departamento de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

A energia destinada aos data centers é usada não apenas para a operação dos servidores, mas para manter em funcionamento seu sistema de refrigeração. “Por trabalharem sem parar em processamento numérico, os computadores aquecem, emitem calor e precisam ser resfriados e mantidos em uma temperatura razoavelmente baixa”, ressalta o cientista da computação Marcelo Finger, do Instituto de Matemática e Estatística (IME) da USP. “A depender da matriz que produz essa energia, haverá mais ou menos efeitos nocivos no ambiente”, afirma Peres, referindo-se à emissão de dióxido de carbono (CO₂) quando são queimados combustíveis fósseis para a obtenção da energia elétrica utilizada.

O Banco Mundial e a União Internacional de Telecomunicações, uma agência da Organização das Nações Unidas (ONU), estimam que o setor da computação responda por pelo menos 1,7% de todas as emissões globais de gases do efeito estufa. “Outros estudos alertam para um número ainda maior, em torno de 4%”, diz o cientista da computação Emilio de Camargo Franceschini, do Centro de Matemática, Computação e Cognição da Universidade Federal do ABC (UFABC).

Google, Microsoft, Apple, Amazon e outras grandes multinacionais de tecnologia, as chamadas *big techs*, comprometeram-se a zerar suas emissões de carbono até 2030 – segundo especialistas ouvidos pela reportagem, não há indícios de que esse objetivo possa ser atingido. Em 2023, último ano com dados disponíveis, as emissões



dessas companhias cresceram principalmente por causa dos sistemas de inteligência artificial, que demandam grande poder de processamento – e, portanto, elevada carga energética – para serem treinados e funcionar.

O aumento do consumo de energia e da emissão de carbono não é a única razão para preocupação. O uso intensivo de água por data centers para manter em operação seus sistemas de refrigeração, bem como a emissão de calor no ambiente, também acendem um sinal de alerta. “O consumo hídrico é uma preocupação mais recente, visto que a maioria dos grandes data centers usa refrigeração líquida para seus equipamentos de grande porte”, ressalta o bacharel em computação científica Álvaro Luiz Fazenda, do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), *campus* de São José dos Campos. Uma das soluções é usar fontes de água não potável para os processos de resfriamento.

A exploração muitas vezes insustentável de elementos terras-raras e outros minerais, como silício, cobre e lítio, usados para a produção de discos rígidos, chips e baterias, e o descarte de computadores, celulares e outros aparelhos eletrônicos que rapidamente se tornam obsoletos, também elevam a pressão da computação sobre os ecossistemas. “As tecnologias da informação e comunicação estão entre os maiores consu-

midores de energia e recursos naturais, além de liderarem a geração de lixo eletrônico contendo substâncias perigosas”, sintetiza Francesquini.

Buscando enfrentar o problema, uma nova área de estudos, conhecida como computação verde ou sustentável, tem ganhado força no Brasil e no mundo. “Ela se refere ao conjunto de práticas, técnicas e procedimentos aplicados à fabricação, ao uso e ao descarte de sistemas computacionais com a finalidade de minimizar seu impacto ambiental”, explica o pesquisador da UFABC.

A fim de alcançar esse objetivo, várias práticas têm sido propostas, como elevar a eficiência energética de hardwares e softwares, permitindo que realizem as mesmas operações consumindo menos energia. Projetar sistemas mais duradouros, reparáveis e recicláveis, que reduzam a geração de lixo eletrônico, é outra abordagem, assim como priorizar o emprego de materiais sustentáveis na produção e operação de dispositivos computacionais e o uso de energias renováveis em data centers (*ver reportagem na página 20*).

O PESO DA IA

Um crescente corpo de pesquisas aponta que a explosão das ferramentas de inteligência artificial – sejam elas generativas, como os grandes modelos de linguagem (LLM), do tipo do ChatGPT, ou preditivas – e da infraestrutura associada a elas é uma das principais causas do aumento da pegada ambiental do setor. Cada comando que se insere em um chatbot de IA exige a realização de milhares de cálculos para que o modelo decida



Vista aérea de centro de dados da Tesla em Shanghai, na China, inaugurado em 2021

Muitos danos ao planeta

Conheça os principais impactos causados pela computação no meio ambiente

GASTO INTENSIVO DE ENERGIA

Estima-se que a computação seja responsável por entre 5% e 9% da energia elétrica gasta no mundo. Em 2022, a demanda do setor equivaleu a 90% da eletricidade consumida no Brasil

EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Projeções apontam que a energia elétrica empregada para suportar a infraestrutura digital no planeta responda por 1,7% a 3,9% das emissões de carbono na atmosfera

CONSUMO ELEVADO DE ÁGUA

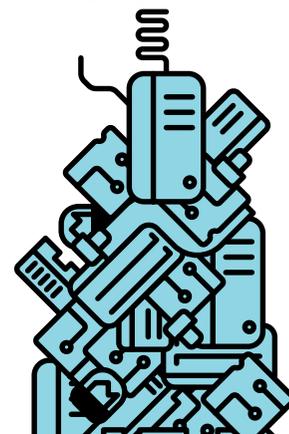
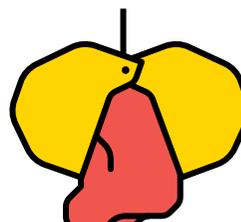
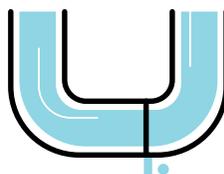
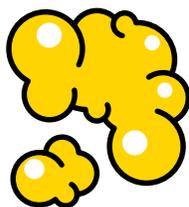
Centros de dados usam refrigeração líquida para manter seus servidores operando continuamente. Em alguns países, há competição por água entre a população e essas instalações

MINERAÇÃO DE TERRAS-RARAS

Esses elementos são essenciais para a fabricação de discos rígidos, chips, baterias e outros componentes eletrônicos. Sua exploração, nem sempre sustentável, é nociva ao globo

GERAÇÃO DE LIXO ELETRÔNICO

O descarte inadequado de computadores, celulares e baterias, que rapidamente envelhecem e se tornam obsoletos, gera o risco de contaminação de solos, lençóis freáticos, fauna e flora



FONTES: REVISTA NATURE/AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA/BANCO MUNDIAL/UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES



1

Funcionário examina lixo eletrônico em uma unidade recicladora em Massachusetts, nos Estados Unidos



2



3

Mina de lítio no Vale do Jequitinhonha (MG): exploração de insumos minerais para fabricação de computadores e baterias impacta o ambiente

quais são as palavras mais adequadas a serem apresentadas na resposta. Isso exige das máquinas intenso poder de processamento.

Estudo publicado por pesquisadores holandeses na *Joule* em outubro de 2023 mostrou que uma pergunta simples endereçada ao ChatGPT consome 3 watts-hora (Wh), quase 10 vezes mais energia do que uma busca similar feita no Google. O valor pode parecer pequeno, mas ganha proporção quando se sabe que o chatbot tem mais de 400 milhões de usuários ativos por semana que fazem mais de 1 bilhão de consultas por dia.

Outro trabalho, de cientistas das universidades da Califórnia em Riverside e do Texas em Arlington, avaliou a pegada hídrica das ferramentas de IA. Eles estimaram que o treinamento do ChatGPT-3 em um centro de dados da Microsoft nos Estados Unidos pode consumir até 700 mil litros

de água limpa. Na fase de operação, o chatbot consome uma garrafa de 500 mililitros de água para cerca de 10 a 50 respostas de tamanho médio, dependendo de quando e onde os cálculos estão sendo realizados.

Esse mesmo estudo, depositado na plataforma arXiv em abril de 2023, estima que a demanda global de água pelos servidores que rodam os programas de IA no mundo equivalerá, em 2027, a algo entre 4,2 bilhões e 6,6 bilhões de metros cúbicos, o equivalente à metade do consumo do Reino Unido em 2023. “Isso é preocupante, pois a escassez de água doce se tornou um dos desafios mais urgentes”, escreveram os autores. “Para responder aos desafios globais da água, a IA pode e deve assumir responsabilidade social e liderar pelo exemplo, abordando sua pegada hídrica.”

Reduzir o gasto energético dos sistemas de inteligência artificial foi o que tentaram fazer os pesquisadores da startup chinesa DeepSeek. O chatbot DeepSeek-V3, lançado no fim de janeiro, causou surpresa ao apresentar desempenho comparável ao dos modelos da OpenAI e do Google, mas com custo substancialmente menor.

“O DeepSeek é um exemplo de que é possível desenvolver IA de boa qualidade usando menos recursos computacionais e energia”, ressalta o cientista da computação Daniel de Angelis Cordeiro, da EACH-USP. “Investir em pesquisa de algoritmos mais eficientes e em melhorias na gestão dos recursos computacionais usados nas etapas de treinamento e inferência pode contribuir para a criação de uma IA mais sustentável.”

De acordo com o artigo científico divulgado em janeiro pelos desenvolvedores do DeepSeek, a redução do consumo de recursos se deu em



Servidores enfileirados em data center dedicado ao setor de criptomoedas, em Nadvoitsy, na Rússia

A pressão das criptomoedas

Gasto energético do mercado de moedas digitais equivale ao de um país europeu médio

A mineração de criptomoedas, principalmente de bitcoin, a mais antiga e bem-sucedida moeda digital, é altamente dependente de energia e contribui de forma significativa para as emissões de gases de efeito estufa. O gasto energético desse segmento subiu cerca de 34 vezes entre 2015 e 2023, atingindo 121 terawatts-hora (TWh), proporcional ao consumo de um país médio da Europa, como a Polônia. A demanda deve aumentar 40% até 2026, prevê a Agência Internacional de Energia (IEA).

“Executar uma única transação de bitcoin corresponde aproximadamente às emissões de gases de efeito estufa de um veículo de porte médio elétrico ou a gasolina numa viagem de 1.600 a 2.600 km”, afirmam os autores do artigo “Carbon footprint of global bitcoin mining: Emissions beyond borders”, publicado em janeiro no periódico *Sustainability Science*.

O elevado consumo de energia se dá por causa da competição entre mineradores, agentes do segmento de criptomoedas. Para validar um bloco

de transações desse mercado, eles tentam resolver um problema matemático o mais rápido possível – processo chamado *proof-of-work* (PoW). O minerador que resolver primeiro a equação recebe bitcoins como pagamento. Realizados por milhares de computadores ao redor do mundo, esses cálculos garantem a confiabilidade das operações de compra e venda das moedas digitais – mas consomem muita energia.

“O problema é o método de consenso usado pelo bitcoin, o PoW. Apesar de ser distribuído [executado por vários computadores em locais diferentes] e confiável, gasta energia demais. Os mineradores sempre tentarão usar a energia mais barata possível, mas ela nem sempre é limpa e renovável”, declara o cientista da computação Arlindo Flavio da Conceição, do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), campus de São José dos Campos.

A plataforma Ethereum, outra moeda digital, concluiu há alguns anos a migração do *proof-of-work*

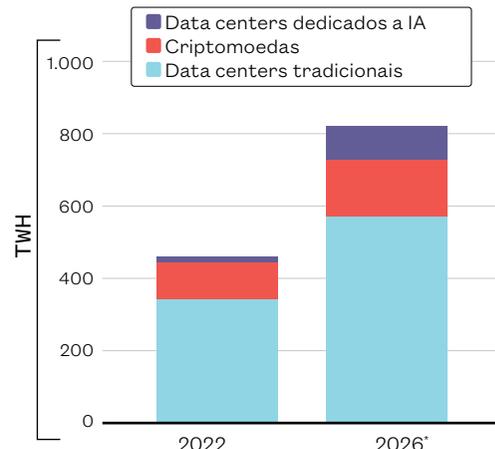
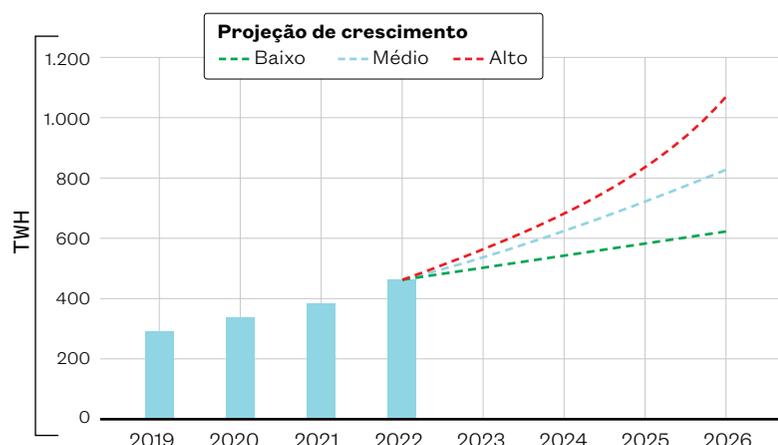
para outro mecanismo de consenso, o *proof-of-stake* (PoS), reduzindo o consumo de energia em 99%.

“O problema é que, para modificar o algoritmo central de uma criptomoeda, é preciso que a comunidade concorde – e isso não ocorre com quem opera com bitcoin, pois teme-se que ocorra alguma falha nesse processo de migração, derrubando a cotação da moeda”, diz Conceição, coautor do livro *Blockchain: Conceitos básicos* (publicação independente, 2020).

Os participantes de PoS, chamados de validadores, são escolhidos aleatoriamente para verificar e adicionar blocos ao *blockchain* (espécie de livro de registro digital), sem que seja preciso uma competição entre eles, como ocorre no PoW. “Com um uso mínimo de energia, PoS tem uma pegada de carbono muito menor, alinhando-se melhor com os objetivos de sustentabilidade”, conclui o estudo da *Sustainability Science*, escrito por pesquisadores do Catar, Estados Unidos e Canadá.

Consumo de eletricidade em alta

Demanda de data centers, IA e criptomoedas não para de crescer, segundo Agência Internacional de Energia



FONTES ELECTRICITY 2024, DA IEA, CITANDO *JOULE* (2023), DE VRIES, "THE GROWING ENERGY FOOTPRINT OF AI" / CCRI INDICES (CARBON-RATINGS.COM) / *THE GUARDIAN*, "USE OF AI TO REDUCE DATA CENTRE ENERGY USE" / MOTORS IN DATA CENTRES / THE ROYAL SOCIETY, THE FUTURE OF COMPUTING BEYOND MOORE'S LAW / IRELAND CENTRAL STATISTICS OFFICE, DATA CENTRES ELECTRICITY CONSUMPTION 2022 / DANISH ENERGY AGENCY, DENMARK'S ENERGY AND CLIMATE OUTLOOK 2018. * PROJEÇÃO

razão da melhoria nos algoritmos de balanceamento de carga empregados na etapa do treinamento do modelo, o que permitiu usar melhor os recursos computacionais sem degradação de desempenho. Também foram usados algoritmos de precisão mista, que otimizam processamento e comunicações na etapa de treinamento. Algoritmos de balanceamento de carga distribuem certa tarefa computacional entre diferentes servidores, enquanto os de precisão mista aceleram o processamento e reduzem o uso de memória, mantendo a precisão dos cálculos.

"A plataforma, de código aberto, é baseada em um grande modelo de linguagem e foi treinada a partir de dados que usam, de forma geral, a estrutura típica e as técnicas de otimização já adotadas por outros modelos, como o ChatGPT", aponta o engenheiro eletricista Fabio Gagliardi Cozman, diretor do C4AI e professor da Escola Politécnica da USP. "Não se trata de uma total revolução na área, mas sim de um trabalho bem-feito de análise dos passos necessários para a construção desses modelos, com a remoção de algumas etapas, ênfase no uso de dados de qualidade e em particular de dados obtidos de outros modelos", afirma, destacando que houve um grande esforço para reduzir as necessidades de memória e transmissão de informações durante o processo de treinamento. "Tudo isso somado levou a uma redução significativa nos recursos utilizados pela equipe."

CÁLCULOS APROXIMADOS

Uma das estratégias propostas para reduzir o impacto ambiental dos sistemas de IA e da computação como um todo é a adoção de um modelo conhecido como computação aproximada. Con-

siste em usar técnicas algorítmicas ou hardwares dedicados (usados para uma única função) a fim de obter uma solução menos precisa, porém aceitável, para uma tarefa computacional qualquer. Ao reduzir a carga computacional para resolver certo problema, fornecendo um resultado aproximado, diminui-se o gasto de energia.

"Várias técnicas algorítmicas podem ser aplicadas, incluindo a precisão numérica reduzida, que permite trabalhar com valores e operações aritméticas com um menor número de casas decimais para representar números reais", informa Fazenda, da Unifesp. Em vez de representar um número com precisão de 20 casas decimais, consideram-se apenas as 10 primeiras. "Isso pode causar arredondamentos indesejados e diferenças nos resultados, comprometendo a acurácia. No entanto, se forem insignificantes, é possível obter ganhos em desempenho e economia de energia, já que as operações com precisão reduzida demandam menos capacidade computacional", diz.

Um dos trabalhos do pesquisador buscou compreender como a redução na precisão de dados afetaria a qualidade da simulação computacional e, conseqüentemente, de modelos de previsão de tempo e clima. "Os algoritmos usados nessas simulações são altamente demandantes de recursos de computação e, portanto, de energia. Requerem também representações precisas dos dados simulados, resultando no uso de precisões numéricas extensas, com variáveis de 64 bits", explica o pesquisador. "Buscamos avaliar o potencial ganho em tempo e energia, dada a

menor exigência de processamento, quando a precisão numérica é reduzida de 64 para 16 bits.”

O estudo, detalhado nos anais da XI Escola Regional de Alto Desempenho de São Paulo (Erad-SP), evento realizado em 2020, partiu de uma revisão sistemática sobre o tema. Nele, procurou-se identificar em que trechos de um modelo numérico de previsão de tempo e clima tais adaptações poderiam ser positivas e quais não permitem o uso da técnica. Resultados preliminares revelam um viés positivo para seu uso, conforme resumo publicado nos anais do International Colloquium on Energy-Efficient and Sustainable Distributed Systems, ocorrido na UFRN em 2024.

A computação aproximada também pode ser aplicada a aceleradores de hardwares usados para decodificação de vídeos – aceleradores são circuitos ou processadores especializados otimizados para executar tarefas específicas com maior eficiência e menor gasto energético. Nesse caso, o resultado seria a apresentação de uma imagem do vídeo com alguns pixels incorretos, mas sem afetar a percepção geral do usuário. Esse processamento consumiria menos energia do que se fosse usado um decodificador preciso.

“O desafio da computação aproximada está em incorporar essas técnicas em processadores e em diferentes aplicações, separando claramente o que pode ser aproximado do que deve ser preciso”, avalia o cientista da computação Lucas Wanner, do Instituto de Computação da Universidade Es-

tadual de Campinas (IC-Unicamp), cuja pesquisa se concentra na eficiência energética de hardware e software, com ênfase em computação de alto desempenho, e em computação aproximativa.

Outra abordagem da computação verde é a produção de equipamentos energeticamente mais eficientes. “Vários grupos brasileiros e estrangeiros trabalham no desenvolvimento de novos tipos de hardware que apresentem o mesmo desempenho computacional, mas consumindo menos energia”, afirma o cientista da computação Fabio Kon, do IME-USP.

O uso de processadores de baixo consumo foi tema de um dos trabalhos do grupo de Franceschini, da UFABC. “Avaliamos o comportamento de uma aplicação específica da indústria de exploração de óleo e gás em quatro arquiteturas de hardwares diferentes”, explica. Os resultados, publicados no *Journal of Parallel and Distributed Computing*, em fevereiro de 2015, mostraram uma aparente contradição: muitas vezes a melhor abordagem é aceitar uma execução ligeiramente mais lenta do programa, desde que dentro das restrições estabelecidas, para reduzir o consumo de energia. Em outros casos, pode ser necessário aumentar o consumo energético para garantir um tempo de execução adequado. “Dependendo da aplicação, do hardware disponível e das limitações envolvidas, não é possível minimizar simultaneamente ambos os fatores, gasto energético e tempo de execução”, conta.

Em outra investigação centrada em explorar novas arquiteturas ou modelos de hardware, o grupo de Wanner aplicou uma técnica simples e eficaz para economia de energia, a *duty cycling*,

O drama da inteligência artificial

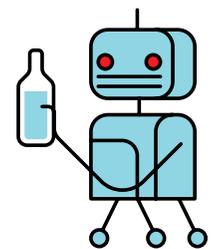
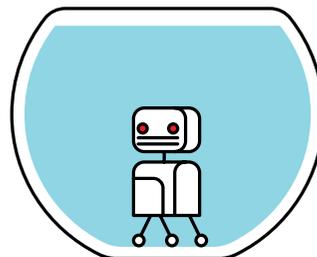
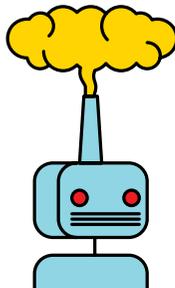
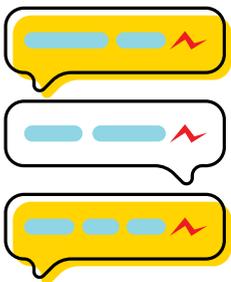
Programas de IA generativa demandam elevada carga energética e altos volumes de água

Uma pergunta simples ao ChatGPT consome **2,9 watts-hora (Wh)**, cerca de 10 vezes mais do que uma consulta similar feita ao Google (0,3 Wh)

Treinar um único programa de IA generativa libera **300 toneladas de CO₂ na atmosfera**, cinco vezes o que emite um veículo padrão ao longo de sua vida útil

Cerca de **700 mil litros de água** foram consumidos para treinamento do ChatGPT-3 nos data centers da Microsoft

O chatbot da OpenAI consome **500 mililitros de água** para cerca de 10 a 50 respostas de tamanho médio





Sistema de refrigeração de centro de dados do Google: canos azuis fornecem água fria e vermelhos retornam o líquido aquecido para ser resfriado

mas cuja implementação prática é desafiadora. *Duty cycling* significa desligar partes do circuito de um computador quando elas não estão sendo usadas. “Isso envolve pequenas modificações no hardware para permitir que as partes escolhidas sejam seletivamente desativadas, reduzindo a frequência de operação, ou completamente desligadas, cortando a fonte de energia”, esclarece o pesquisador da Unicamp. Hoje, todos os sistemas de computação incorporam uma variação dessa técnica. Em notebooks, a tela desliga após alguns minutos sem atividade; já teclados e mouses ficam inativos quando em desuso e “acordam” ao serem demandados.

“No caso de circuitos dedicados, como indicado no nosso trabalho, o desafio está em acordar o sistema na hora certa sem perder a qualidade de resultados para a aplicação. Outra dificuldade é que o *duty cycling* precisa operar de forma autônoma, já que não há um usuário indicando quando o sistema deve estar ativo e quando pode ‘dormir’, como ocorre com o uso trivial dos nossos computadores.” O trabalho foi publicado na *IEEE Embedded Systems Letters*, em junho de 2024.

RECOMENDAÇÕES NÃO VINCULANTES

A preocupação com os impactos da computação no planeta mobilizam não apenas a academia e a própria indústria, mas organizações internacio-

nais e governos. De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), mais de 190 nações já adotam recomendações não vinculantes – que não obrigam o cumprimento – sobre o uso ético de inteligência artificial que abrangem também questões relativas ao meio ambiente. Estados Unidos e União Europeia já têm legislações para enfrentar o problema.

Em uma nota técnica, o Pnuma recomendou que é preciso estabelecer procedimentos padronizados para mensurar o impacto ambiental da IA, dado que há uma escassez de dados confiáveis sobre o problema. Orienta também que os governos exijam que as empresas do setor divulguem as consequências ambientais de seus produtos e serviços baseados em inteligência artificial.

“Recomendações não vinculantes não serão suficientes para disciplinar o crescimento dos data centers e do uso de energia pela IA no mundo”, pondera o cientista social João Paulo Cândia Veiga, do Instituto de Relações Internacionais (IRI) da USP e pesquisador do C4AI. “As decisões envolvendo uma futura regulação serão tomadas em âmbito doméstico com, provavelmente, *guidelines* internacionais, como os da própria IEA e outros organismos.” ●

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

Centros de dados sustentáveis

Pesquisadores investigam como elevar a eficiência energética e reduzir o impacto do setor, em franco crescimento no Brasil e no mundo

YURI VASCONCELOS

A demanda global por data centers, a espinha dorsal do mundo digital, evolui de forma acelerada, impulsionada pela explosão do uso das tecnologias de inteligência artificial. No fim de 2023, eram mais de 11,8 mil unidades do gênero no mundo. Esse mercado também cresce no Brasil, com grande concentração no estado de São Paulo. A energia consumida por centros de dados de computação em nuvem, apontam estimativas, chega a 1% da demanda global.

Um dos caminhos para elevar a eficiência energética dos data centers é dotá-los de sua própria infraestrutura de energia renovável, com a instalação de painéis solares ou turbinas eólicas, destaca o cientista da computação Daniel Cordeiro, da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP). Com o apoio da FAPESP, seu grupo pesquisa a gestão de recursos computacionais em centros de dados para reduzir a pegada de carbono do setor.

As grandes multinacionais do setor têm cada vez mais integrado energia limpa a suas operações. Em 2023, o Google informou em seu relatório de sustentabilidade que, em média, a energia con-

sumida por seus centros de dados usava 64% de energia verde, com alguns lugares chegando a 90%, e 75% de sua pegada de carbono vinha de emissões indiretas – as que ocorrem, por exemplo, durante a fabricação de equipamentos. A Microsoft também reportou que 96% da pegada de carbono de seus centros de dados tem como origem as emissões indiretas.

Um desafio para criar data centers com fontes de energia renovável é o caráter intermitente delas. “Os painéis solares só geram eletricidade de dia, quando há Sol, enquanto as turbinas eólicas dependem de ventos em velocidade ideal. Por isso, é preciso usar dispositivos de armazenamento de energia, como baterias, que têm um custo ambiental”, ressalta o especialista em sistemas de informação Miguel Felipe Silva Vasconcelos. Atualmente em estágio de pós-doutorado no Instituto de Pesquisa em Informática de Toulouse (Irit), na França, ele investiga a sustentabilidade de sistemas computacionais distribuídos, que são compostos por múltiplos elementos, como computadores, celulares e sensores, que interagem entre si para realizar determinadas tarefas.

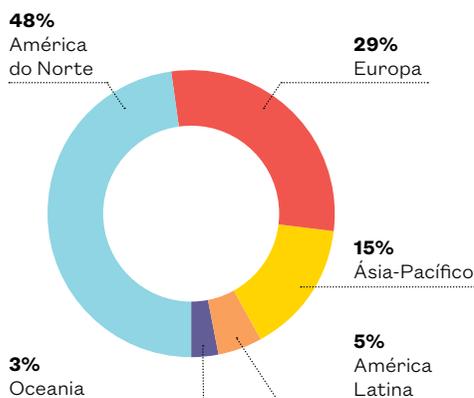
Vasconcelos começou a se dedicar ao tema durante o doutorado, coorientado por Cordeiro e Fanny Dufossé, da Uni-



Painéis solares fornecem energia renovável ao data center do Google em Saint-Ghislain, na Bélgica

Mercado global de data centers

As 11.879 instalações existentes estão localizadas em 136 países*



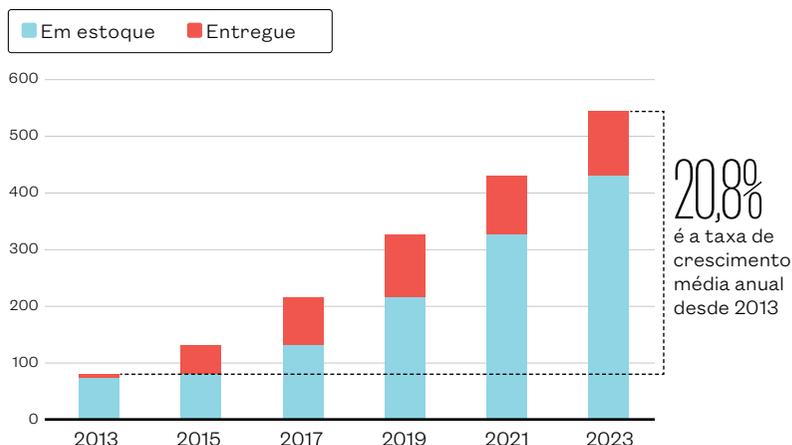
*Dados de 2023

FONTE RELATÓRIO "O CRESCIMENTO EXPONENCIAL DOS DATA CENTERS E AS OPORTUNIDADES PARA O BRASIL", DO BANCO SANTANDER

Evolução no Brasil

Setor teve crescimento contínuo de energia em 10 anos

EM MEGAWATTS (MW)



FONTE ESTUDO "BRAZIL DATA CENTER REPORT", DA JLL

versidade de Grenoble Alpes, na França. “Pesquisei como reduzir as emissões de carbono de um conjunto de data centers de computação em nuvem geodistribuído por meio da adoção de uma infraestrutura local de energia renovável e de estratégias de escalonamento”, relata ele, que contou com apoio da FAPESP.

Escalonar, no caso, significa definir o data center e o momento do dia em que as tarefas computacionais demandadas serão executadas, sempre visando minimizar o consumo de energia de alta emissão de carbono. Data centers de computação em nuvem são altamente requisitados porque hospedam os principais serviços digitais e aplicações que usamos diariamente.

Para realizar o estudo, apresentado no 23º International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing, ocorrido em Bangalore, na Índia, em 2023, Vasconcelos considerou nove centros de dados situados em diferentes cidades, entre elas São Paulo, Paris e Camberra, na Austrália – não por coincidência, locais que abrigam instalações da Microsoft.

A fim de dimensionar a área de painéis solares e a capacidade das baterias, o pesquisador avaliou as características do lugar onde o centro estava instalado. Considerou a irradiação solar durante o ano, a energia necessária para refrigerar os servidores e a pegada de carbono da rede elétrica local e da fabricação dos painéis solares e das baterias.

“O trabalho resultou em um modelo matemático que nos permite determinar o dimensionamento ótimo da infraestrutura de geração e armazenamento de energia renovável de um centro de dados”, conta Cordeiro. “O gestor de uma plataforma de computação em nuvem que queira avaliar a infraestrutura energética necessária para seus data centers poderá usar nosso software que implementa esse modelo e analisar diferentes cenários de investimento e os respectivos impactos ambientais.”

Dono de 1,5% do mercado global de data centers, com 181 unidades, o Brasil tem se mostrado um país atrativo para o setor. Esse mercado cresceu 628% entre 2013 e 2023 no país, segundo o estudo “Brazil data center report”, da consultoria imobiliária JLL (ver infográfico acima). “Investir em data centers é importante para garantir a nossa soberania digital, o que inclui o controle sobre ativos digitais, como dados, software, hardware e infraestrutura”, ressalta Cordeiro.

Vários projetos encontram-se em andamento, com destaque para três novos centros de dados da Microsoft na região de Campinas. O primeiro deles deve ficar pronto ainda este ano. A Amazon, também presente no Brasil, anunciou em setembro de 2024 investimento de R\$10

bilhões para expansão de sua infraestrutura de data centers no país até 2034.

“Países com uma matriz energética verde ou com condições favoráveis para geração de energia renovável, como é o caso do Brasil, estão atraindo os grandes operadores de plataformas de computação em nuvem, comprometidos em reduzir as emissões de CO₂ [dióxido de carbono] de suas operações utilizando fontes de energia com baixa emissão de carbono”, comenta Vasconcelos.

Especialistas ponderam, contudo, que mesmo que o país tenha uma matriz fortemente baseada em fontes renováveis, a instalação de centros de dados em território nacional afeta o ambiente – afinal, a construção de hidrelétricas não é isenta de impactos e sempre haverá um elevado consumo de água, assim como emissões de carbono, diretas ou indiretas, pelos centros de dados.

“Essa discussão sobre sustentabilidade ambiental é pertinente sempre que construímos infraestrutura de apoio a algum tipo de indústria no país”, diz Cordeiro. Para o pesquisador, se os grandes fornecedores de plataformas de computação produzirem a própria energia a partir de fontes renováveis, a operação dos data centers pode ser feita de forma mais sustentável. ●

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

O geólogo do vazio

Com humor e um forte senso de grupo, pesquisador conta do início e da evolução das investigações científicas sobre cavernas no Brasil

CARLOS FIORAVANTI E MARIA GUIMARÃES _retrato LÉO RAMOS CHAVES

Em janeiro de 1975, Ivo Karmann era um adolescente magricela que estudava no colégio Visconde de Porto Seguro, na capital paulista, quando se integrou à equipe de apoio da Operação Tatus, um experimento que pretendia avaliar os efeitos no organismo da ausência de luz solar, em um ambiente subterrâneo. Uma de suas tarefas era transportar os resíduos produzidos pelos 11 voluntários que se dispuseram a passar 15 dias em uma caverna no Vale do Ribeira, no sudeste do estado.

O jovem estudante começou nessa época a participar de expedições para explorar cavernas e não parou mais. Kursou geologia no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), do qual se tornou professor, andou muito por São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Santa Catarina e um pouco no Amazonas. Fez mapas de cavernas ainda desconhecidas (o primeiro quando estava na graduação), sofreu o desdém de colegas que desvalorizavam esse tipo de formação geológica e criou uma disciplina pioneira. Também incentivou o início da pesquisa em climas do passado com base em registros de minerais de cavernas e participou da descoberta de bactérias capazes de corroer rochas carbonáticas em grandes profundidades.

Com o tempo, esse paulistano descendente de alemães que chegaram a Santa Catarina no final de 1700 tornou-se uma das autoridades na pesquisa científica sobre cavernas no Brasil. Casado com uma geóloga, tem um filho arquiteto e completa 68 anos em março. Em entrevista a *Pesquisa FAPESP*, relatou parte de sua experiência.

Quando você entrou numa caverna pela primeira vez?

Eu era adolescente quando vi em um jornal uma reportagem sobre uns franceses que estavam explorando cavernas no Vale do Ribeira. Nessa turma estavam Guy Collet [1929-2004], Pierre Martin [1932-1986], o iugoslavo Peter Slavec e o grupo da Sociedade Brasi-

ESPECIALIDADE

Geologia de cavernas

INSTITUIÇÃO

Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP)

FORMAÇÃO

Graduação em geologia (1982), mestrado (1987) e doutorado (1994) em geociências pela USP



leira de Espeleologia, a SBE. Esses europeus praticamente fundaram a SBE. Fui à sede, no centro de São Paulo, e disse que queria ir com eles. Me perguntaram: “Mas você já entrou em cavernas?”. Respondi: “Não, nunca, só vi fotos em revista”. Minha família assinava a *National Geographic* e saía muita coisa sobre cavernas. Na época, a Mammoth Cave, localizada nos Estados Unidos e uma das maiores do mundo, estava sendo explorada. Eu tinha uns 15, 16 anos e eles permitiram que eu fosse, o Guy Collet praticamente me adotou. A primeira viagem foi para Itaoca, no Vale do Ribeira, com foco mais em arqueologia. Era e ainda é um sítio arqueológico superimportante, com sinais de ocupação humana de 10 mil anos comprovados. Achamos vários sepultamentos. Minha primeira caverna mesmo foi a gruta do Sumidouro, em Ribeirão Grande, São Paulo. Outra expedição com o pessoal da SBE foi para Iporanga, também no Vale do Ribeira, um dos municípios com mais cavernas no Brasil: são mais de 300. Nessas viagens conheci um pessoal do grupo de espeleologia do Centro Excursionista Universitário, o CEU, que existe até hoje. Faziam parte o Geraldo Gusso [1953-1993], mais conhecido pelo apelido, Peninha, e o Mauro Stavale, esses sim realmente caverneiros. Com eles, a primeira caverna foi a Gurutuva, também no sul de São Paulo, maravilhosa, com cachoeiras de até 10 metros de altura. Foi quando percebi o que é realmente a exploração, porque com o Collet era mais suave.

Quando decidi cursar geologia?

Naquela época, nos anos 1970, as cavernas Ouro Grosso, Água Suja e outras do Petar [Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira] estavam sendo descobertas. Iam também estudantes de geologia, e despertei para essa área. Entrei no curso e continuei nas expedições do CEU. Em uma delas, ficamos praticamente um mês acampados no norte de Brasília, na região de Posse e São Domingos, estudando o sistema São Mateus-Imbira, com 20 quilômetros [km] de galerias. Fizemos o primeiro mapa da caverna, saíram várias reportagens. Não tínhamos dinheiro, mas recebíamos muita doação. A Volkswagen e a GM nos emprestavam carros, que praticamente destruíamos naquelas estradas cheias de pedras e buracos.

Conseguiu estudar cavernas durante o curso?

Não havia ainda curso sobre geologia de cavernas. No início foi difícil achar alguém que topasse fazer alguma pesquisa científica com o tema carste [tipo de relevo] e cavernas. Quem nos incentivou bastante foi Aziz Ab'Saber [1924-2012], da geografia. Passávamos horas conversando na sala dele. Ainda lembro do que ele recomendava: “Quer entender uma caverna? Então, saia dela, olhe o que existe ao redor, entenda o sistema”. Essa abordagem foi muito importante, hoje se fala em sistema cárstico, que inclui a condução de água e materiais, porque uma parte do que entra sai, mas a outra fica retida. O pessoal da geologia era mais tradicional. Diziam: “Esse aí mexe com caverna, vai pra geografia, não é geólogo”. Mas sempre fui meio independente e cabeça-dura. Fiz um plano de pesquisa para pedir uma bolsa de iniciação científica na FAPESP e apresentei ao Thomas Fairchild, professor da geologia, que sempre foi muito aberto para novas ideias. Ele leu e disse: “Olha, nunca entrei em uma caverna, mas achei a proposta muito interessante e vou te orientar”. O projeto

era uma novidade, uma iniciação científica em grupo. Um orientador e seis alunos, todos com bolsa.

Por que seis?

Porque trabalho em caverna não se faz sozinho. Você precisa de no mínimo três para fazer o mapa. Um era o chamado ponta de trena, outro fica na base e o terceiro na caderneta, fazendo o croqui. Um é da geologia, outro mexe mais com relevo. Temos também de entender o exterior da caverna, fazer fotointerpretação. E assim fizemos uma pesquisa geológica sobre a caverna dos Ecos, em Corumbá de Goiás, a 60 km a oeste de Brasília. Os calcários não chegam à superfície, não afloram, e há um grande lago subterrâneo. Fizemos um mapa geológico mostrando essas coisas, que eram novidades. Nessa época não havia ainda nenhum outro grupo de pesquisa, só de espeleologia, de exploradores. A Sociedade Excursionista Espeleológica de Ouro Preto, uma das mais antigas, atuava mais em Minas Gerais, um paraíso dos calcários e de cavernas. Havia lá um professor que estava começando um trabalho mais científico, o Victor Dequech [1916-2011], da Universidade Federal de Ouro Preto.

O que vocês queriam ver na caverna dos Ecos?

Já tínhamos explorado cavernas enormes de calcários no norte de Brasília, na região de Posse e São Domingos. Estava começando o trabalho na caverna dos Ecos. É enorme, não em quilometragem, mas em dimensão, em volume, e não se desenvolve somente em calcários. Vimos que havia algo diferente. Para entrar, tem um desnível de uns 60 metros e no fundo, já junto do lago, descobrimos rocha não carbonática (micaxistos e quartzitos) sobreposta à carbonática. Vimos então como se formam as cavernas, com uma ação de dissolução e corrosão em grande profundidade, abrindo vazios na rocha solúvel e assim se conectando com a superfície. Na época, poucas ocorrências do tipo estavam descritas. Anos depois, publicamos essa descoberta na *Journal of Cave and Karst Studies* e virou uma referência do carste interestratil, onde há sobreposição de rochas insolúveis com um carste subterrâneo, que, por processos de abatimento e ero-

“

Vimos como se formam as cavernas, com dissolução e corrosão em profundidade, abrindo vazios na rocha solúvel



Na caverna do Diabo, em 2012: Veronica Ruiz, Bruna Cordeiro, Paul Williams, Bruno Lenhare, Karmann e William Sallun Filho

são, conecta a porosidade à superfície e abre um acesso.

Podemos usar caverna como sinônimo de carste?

Não. O carste é mais um tipo de relevo com predomínio de rochas solúveis. A superfície é modelada por dissolução química, gerando as cavidades. Ou seja, o carste é onde surgem as cavernas. O sistema cárstico inclui as estruturas de circulação da água subterrânea, com entradas, nascentes, sumidouros e saídas. A água que alimenta esse sistema vem da chuva e principalmente da bacia de captação, dos rios. Por isso, precisamos também mapear as rotas de fluxo, os condutos, como se fosse um encanamento, dentro da rocha.

Quem eram seus companheiros nessa época?

Luís Sánchez, o Luizão, que está na Poli [Escola Politécnica da USP], Peter Milko, Antônio Montanheiro, que acabou a geologia, se mudou para Pernambuco e resolveu fazer medicina, e um espanhol, Juan Carlos, mergulhador, porque tinha um lago na caverna dos Ecos e ninguém sabia como explorar.

Pelo jeito, sua graduação foi bastante animada.

Sim. E ainda dávamos palestras nas escolas de geologia, em Rio Claro [SP],

Ouro Preto [MG], Brasília, aproveitando as viagens de exploração que fazíamos. Queríamos incentivar os futuros geólogos a conhecer as cavernas e a fazer mapeamentos geológicos, que ainda não tínhamos. O pessoal se interessava muito. Perguntavam por que as cavernas eram importantes, diziam que eram um vazio, não tinha nada lá. Por isso, com o tempo, comecei a dizer que sou um geólogo do nada. Tenho de explicar a ausência de rocha, não ela em si. Uma vez, na UnB [Universidade de Brasília], a Mylène Berbert, que hoje faz trabalhos de espeleologia no Serviço Geológico do Brasil, perguntou: “Como é que nós vamos estudar as cavernas? Onde estão as cavernas no Brasil? E como são?”. Luizão e eu procuramos o Aziz, e a proposta foi dele: “Por que vocês não fazem um levantamento de onde ocorrem rochas favoráveis para desenvolvimento de cavernas e carste?”. Pegamos os mapas do DNPM [Departamento Nacional de Produção Mineral] e da SBE, na época era tudo meio feito à mão, e fizemos o primeiro mapa sobre as áreas de ocorrência de regiões carbonáticas e de cavernas. Terminamos em 1979, estávamos ainda na graduação, publicamos na revista *Espeleotema*, da SBE. Mapeamos cerca de 500 cavernas, hoje estamos em 23 mil, no cadastro do Cecav [Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas] do ICMBio [Instituto Chico Mendes

de Conservação da Biodiversidade]. O número cresceu muito porque inclui as de formação ferrífera, que são muitas, mas pequenas.

Como foi a receptividade desse mapeamento?

Esse trabalho das províncias espeleológicas teve um impacto grande, principalmente na ideia de regionalização do tipo e tamanho de cavernas, associados aos diferentes tipos de rochas. Começamos a mostrar resultados, ganhamos credibilidade e o apoio de outros professores do IGc, como Aldo Rebouças [1937-2011], Oscar Rösler e Roland Trompette, que foi meu orientador e sempre frequentou o instituto. Ainda no mestrado apresentei a proposta de uma disciplina de espeleologia. Tentei várias vezes, até que o conselho do departamento deixou passar, como optativa. E como espeleologia não é só geologia, mas inclui também ambiente, biologia, arqueologia, convidei Eleonora Trajano, do Instituto de Biociências, que também trabalhava com cavernas. Já a conhecia desde antes da graduação, porque ela também frequentava o CEU. Participamos juntos, em janeiro e fevereiro de 1975, da operação Tatus.

O que foi a operação Tatus?

Foi uma experiência de permanência em uma caverna. Participei da equipe externa, de apoio. Queríamos saber como seria viver em um ambiente subterrâneo. Na época era uma novidade, para entender como a luz solar influencia o ciclo de vigília e sono. Havia umas experiências sendo feitas na França e o pessoal do CEU resolveu fazer aqui também, com 11 pessoas na caverna de Santana, em Iporanga, no Petar, durante 15 dias. Ficavam no salão São Paulo, que é bem grande, apenas com luz artificial, principalmente carbureto, alguns lampiões a gás e fogareiro para preparar comida, além de coleta de resíduos. A comunicação por telefone era só de dentro para fora e não de fora para dentro, para ninguém saber o que acontecia externamente. Anotávamos o que faziam, quando dormiam. Alguns dormiam mais, outros menos. Vimos que os períodos de sono e vigília se estendiam por 73 horas, com quase 30 de sono ou de repouso e mais umas 30 e tantas horas de atividade. Quando passaram os 15 dias, o pessoal que ficou

lá dentro achou que estava ainda no sétimo ou oitavo dia. Tinha perdido a noção do tempo.

E a disciplina, como foi?

Começou como uma novidade, com alunos da geologia, biologia, geografia, porque oferecia vagas para outras unidades e até para o público geral. Havia também as atividades de campo, então a Eleonora, como bióloga, mostrava o que às vezes nem percebemos, como o bagre-cego e outros animais adaptados à vida nas cavernas (*ver Pesquisa FAPESP nº 224*). Depois mudei o enfoque e o nome para geologia de terrenos cársticos, com ênfase geológica, mas também com vagas para alunos de outras unidades. O curso continua em pé, sempre com muita procura. Até hoje eu participo, agora como professor sênior. Todo ano, em outubro, vamos às cavernas de Iporanga.

Como surgiu a ideia de que as cavernas poderiam guardar registros do clima do passado?

Em 1982, vi em uma revista alemã que eu assinava, *Bild der Wissenschaft [Imagem da Ciência]*, um artigo de Wolfgang Dreybrodt, da Universidade de Bremen. Foi um dos primeiros trabalhos sobre paleoclima [climas do passado] em espeleotemas [estruturas formadas pela circulação de água nas rochas das cavernas, como as estalactites e as estalagmites]. Era uma supernovidade, mas havia dificuldade para datar o material. Ainda não estava desenvolvido o método que usamos atualmente, com urânio-tório. Dreybrodt tentou datar com carbono 14, deu vários erros, mas lançou a ideia. Você vê uma estalagmite crescendo aos poucos, observa o gotejamento e pensa: por que para de gotejar? Porque não chove, não tem recarga. Você vê a estrutura interna de uma estalagmite, é uma bacia sedimentar, com camadas e variação de cor e espessura. A composição também varia, pode ser calcita, aragonita, tanta coisa. Por que isso? Quem controla a formação e o crescimento dos espeleotemas é o ambiente que circunda a caverna. Os espeleotemas registram processos de sedimentação, que é a precipitação química de minerais, como calcita. No salão Taqueupa, na caverna Santana, formam canudos de 2, 3 metros, com estratigrafias [distribuição de camadas] bem distintas.

Como resolveu?

Só decolamos quando o geólogo Chico Bill [Francisco Cruz] entrou na minha sala, vindo do Rio Grande do Norte, e declarou: “Quero trabalhar com grandes cavernas”. Opa, pesquei mais um. As grandes cavernas conhecidas na época estavam na região de Iraquara, na Chapada Diamantina, Bahia. Eu já tinha feito parte do doutorado no Canadá com Derek Ford, um marco na geoespeleologia, e aprendi a usar isótopos [variação do mesmo elemento químico] para datação. Propus ao Chico Bill: “Vamos entrar de cabeça com registros climáticos em espeleotemas. Essa área vai explodir”. Montamos um plano de pesquisa e fomos atrás de um espeleotema que pudesse ter registros climáticos. É importante alertar que não se pode tirar qualquer coisa de cavernas, porque é um ambiente protegido por lei – sempre carregamos a autorização do ICMBio para pesquisa e coleta. Quem nos ajudou muito foi uma colega do instituto, Marly Babinski, que conhecia o pessoal da geocronologia de rochas. Ela falou com o Warren Sharp, na época na Universidade de Minnesota [atualmente na Universidade da Califór-

nia em Berkeley, também nos Estados Unidos], que trabalhava com datação usando urânio e tório, exatamente o que queríamos. Fizemos contato, Chico Bill foi para lá e conseguimos fazer as datações. As proporções de isótopos de oxigênio e carbono medimos com o pessoal do Cena [Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da USP], em Piracicaba. E fizemos nossa primeira curva de variação de isótopos, indicando a variação do clima, com espeleotemas da caverna de Botuverá, no leste de Santa Catarina, e de Santana, no sudeste de São Paulo. Uma curva linda, mostrando também o ciclo solar e a variação da insolação (*ver Pesquisa FAPESP nº 111*). Foi um dos trabalhos mais importantes de que participei. Gostei muito de ver como a chuva modifica o gotejamento dentro das cavernas e como o sistema cárstico funciona. Para mim, o trabalho de campo é a parte mais emocionante da pesquisa.

Você também pesquisou o papel da atividade microbiana na formação de cavernas, não?

Na época da caverna dos Ecos já tínhamos essa pergunta: o que dissolve a rocha em profundidade, se o ácido carbônico não chega lá? Deve haver outro agente corrosivo ou outro mecanismo de produção de algum ácido que não vem com a água de infiltração. Se cogitava a ação bacteriana, que poderia transformar o sulfeto em algum ácido. A rocha calcária não tem enxofre, que faz parte do sulfeto. Resolvemos caçar esses bichos. Conseguimos avançar, em parte com o doutorado do químico Murilo Andrade Valle, já em 2010. Procurei o pessoal da microbiologia. Com Vivian Pellizari, que está agora no IO [Instituto Oceanográfico da USP], investigamos a microbiologia da água subterrânea e, em 2024, na pesquisa de mestrado do geólogo Tom Dias Morita, conseguimos, em parte, traçar o genoma da bactéria que age em profundidade nas cavernas do grupo Una, na região da Chapada Diamantina, em Iraquara, na Bahia. São bactérias anaeróbicas [não utilizam o oxigênio como fonte de energia], que chamamos de sulfo-oxidantes e sulforredutoras. Elas obtêm energia digerindo minerais com enxofre, como a pirita e a galena, que são sulfetos de ferro e chumbo. O enxofre do ácido sulfúrico que vai corroer a rocha vem da decomposição desses sulfetos.

“

**Com o tempo,
comecei a dizer
que sou um
geólogo do nada.
Preciso explicar
a ausência
de rocha, não
a rocha em si**

Quantas cavernas você descobriu?

Não falamos assim, porque o trabalho é sempre em grupo. As descobertas mais importantes das quais participei foram com o pessoal do CEU, das cavernas de Goiás, norte de Brasília, na região de Posse, a São Mateus, a Imbira e a Terra Ronca. O povo da região já conhecia. A São Mateus tinha uma dolina, um afundamento de terreno, e nos levaram até lá. Disseram: “Aqui tem um buraco para cá e outro para lá”. A dolina no meio. Descemos, era um ambiente grande. Pérolas [formações calcárias arredondadas no solo das cavernas] gigantes, estalagmites com 8, 10 metros de altura. Exploramos o Vale do Ribeira – as novidades ali eram as cavernas com desenvolvimento mais vertical, que chamamos de abismo. Descemos com corda e escadinha de cabo de aço. Participei da descoberta do abismo Ponta de Flecha, também em Iporanga, com restos de ossadas da megafauna pleistocênica. Fizemos um trabalho de escavação paleontológica por volta de 1980, com apoio de Oscar Rösler. A equipe era Clayton Lino [espeleólogo e arquiteto], Eleonora Trajano, que era aluna do zoólogo Paulo Vanzolini [1924-2013], outro padrinho que tivemos, e os arqueólogos Erika Robrahn e Paulo de Blasis, do MAE. Encontramos uma ponta de flecha de sílex em um conduto bem pequeno, ao lado de um dente grande de toxodonte, um bichão da megafauna. Já tínhamos visto ossadas de animais com alguns cortes, indicando que o pessoal tirava carne dos ossos.

Lembra-se de algum momento de exultação?

Até hoje, o mais doido foi em São Mateus de Imbira, em Goiás, faz muito tempo. Foi o maior desbunde, um lugar cheio de coisas que você não sabe nem para onde olhar primeiro. Um show de espeleotemas, com formações minerais de aragonita de tudo quanto é tamanho, helictites [espeleotemas em forma de leque, saindo do teto ou das paredes] crescendo, aquele chão de estrelas. E o rio subterrâneo, uma represa de travertinos [barreiras de calcita ou outros minerais] gigantes... Um negócio de outro mundo. Depois, na gruta da Torrinha, a Lapa Doce, lá na Chapada Diamantina, vendo coisas que nunca imaginava. Você fica meio tonto com tanta beleza.



Aziz Ab'Saber recomendava: 'Quer entender uma caverna? Saia dela, olhe o que existe ao redor, entenda o sistema'

Já se perdeu?

Perdido, não, mas passei vários momentos de me perguntar: “Opa, onde estou? Como é que volta?”. Uma vez, acabou a luz. Usávamos um capacete com uma chama e lanternas com lâmpadas incandescentes. Cada integrante da equipe carregava na cintura um cilindro com dois compartimentos, um com pedras de carbureto e outro com água que pingava sobre ele. Quando o carbureto reagia com a água, soltava acetileno que ia por um caninho até o capacete e abastecia a chama. Não se usava ainda as lâmpadas de LED superpotentes de hoje, que basta uma para iluminar um salão enorme com facilidade. A chama apagou e o meu isqueiro estava molhado. Era na caverna de Santana. Ficamos uma, duas horas esperando, até que apareceu alguém com fogo. Outra vez, em 1990 ou 1991, numa pesquisa sobre a química da dissolução do quartzito na gruta do Lapão, em Lençóis, na Bahia, um bloco de rocha rodou e prendeu minha perna. Eu estava com um colega, que correu em busca de socorro. Depois de umas duas horas, veio um pessoal. Eles queriam rodar a pedra. Eu falei: “Não, pode parar, não vai rodar a rocha não, que vai esmagar minha perna! Pega meu martelo e a

talhadeira e corta, para liberar”. Consegui sair só com uns arranhões profundos.

Você tem zero de claustrofobia, não?

É quase zero, porque passagem muito estreita me deixa nervoso, evito. Tem uns caverneiros que parecem minhocas. Se passam e dizem que pode ir, aí vou. Várias vezes já disse: “Daqui eu não passo, não vou”. A gente fazia muita coisa doida, sem equipamento, sem corda boa. Descíamos e subíamos o abismo do Fóssil, que são 40 metros na vertical, como um prédio de 12 andares, com escadinha de cabo de aço. Treinávamos com a escadinha no poço de um dos prédios do Crusp [residência estudantil da USP]. No abismo do fóssil eu descia de escadinha, mas o Peninha ia de rapel, pulando na corda, depois subia. Uma hora ele estava entrando para pular, eu olhei e avisei: “A corda está corroída pela metade. Pode parar, e volta devagarzinho”. Seria uma queda vertical de 40 metros. Hoje a segurança é muito maior.

Quais são as regras básicas da exploração desses lugares?

A primeira, nunca entrar sozinho. Ter um grupo, três é o ideal, incluindo gente mais experiente. A segunda, conhecer a região. O pessoal que entra em caverna tem muito medo de cobra. Não tenho – mas tenho de abelha. Entradas rochosas, como as do Piauí, normalmente têm cachos de abelha. É bom ter um apoio de pessoas locais que vão falar dos eventuais perigos. Outra: levar iluminação de reserva. O iniciante se empolga, vai entrando e se tiver só uma lanterna pode ter dificuldade para voltar. Outra: avisar as pessoas de fora que está entrando. De resto, é bom ter um pouco de coragem, entrar com cautela, ser cuidadoso com espeleotemas frágeis, respeitar o lugar e deliciar-se com as maravilhas que vai encontrar.

Você ainda vai a cavernas?

Sim. Estamos planejando o monitoramento das águas na gruta da Tapagem [nome oficial da caverna do Diabo, em Eldorado, Vale do Ribeira], com colegas do IGc: Nicolas Stricks, Chico Bill e alunos. Essa caverna é uma coisa sensacional, do ponto de vista cênico e geológico. E tem algumas questões científicas interessantes, que ninguém explicou ainda muito bem. ●

Retratações em cascata

Uso de e-mails falsos em processo de avaliação de uma revista invalida 45 artigos de autores brasileiros

FABRÍCIO MARQUES

O biólogo brasileiro Guilherme Malafaia Pinto ganhou destaque em um ranking que nenhum cientista gostaria de galgar: a lista dos pesquisadores recordistas em número de artigos retratados, ou seja, de trabalhos científicos que deixaram de ser considerados válidos por conterem erros ou indícios de má conduta.

Pesquisador do Instituto Federal Goiano (IF-Goiano), *campus* de Urutaí, e chefe do Laboratório de Toxicologia Aplicada ao Meio Ambiente da instituição, ele teve até agora 45 *papers* de sua autoria invalidados – todos na mesma revista, a *Science of the Total Environment* (*Stoten*), da editora Elsevier. Segundo o site Retraction Watch, apenas 10 autores no mundo já tiveram mais retratações do que o brasileiro.

As notas de retratação, diferentemente do que costuma acontecer, não apontaram problemas no conteúdo dos artigos, mas, sim, informaram que sua revisão por pares – a análise de especialistas que aprecia os trabalhos e resulta na recomendação ou não de sua publicação – foi comprometida. Malafaia, o autor correspondente, sugeriu à *Stoten* nomes de pesquisadores que estariam habilitados a avaliar os *papers* – recorrer ou não a esses nomes é prerrogativa dos editores. O problema é que ele forneceu endereços falsos de e-mail, que não pertenciam a três dos cientistas indicados.

Os editores da *Stoten* encaminharam dezenas de artigos submetidos pelo biólogo a esses e-mails falsos – recebendo de volta pareceres bem elaborados que cancelaram sua qualidade. É certo que os *papers* também foram analisados



por outros pareceristas escolhidos pelos editores, mas a Elsevier decidiu retratá-los, alegando que “os editores perderam a confiança na validade/integridade” dos manuscritos. Todas as notas de retratação citam Malafaia como o responsável por fornecer os e-mails – o que varia é o número de revisores ilegítimos em cada *paper*: de um até três.

Antes de o caso vir à tona, o biólogo se destacava como um jovem pesquisador com alta produtividade acadêmica: em 15 anos de carreira, orientou 40 alunos de mestrado e 15 de doutorado e publicou perto de 350 artigos – só no ano passado, foram 40, um a cada nove dias. Em seu currículo Lattes, ele resalta sua boa posição em rankings que medem produção científica e citações. Também atuou no corpo editorial de diversas publicações, inclusive, de forma não remunerada, na *Stoten*: coordenou uma edição especial e emitiu pareceres para mais de 400 manuscritos do periódico.

Procurada por *Pesquisa FAPESP*, a Elsevier informou, por meio de sua assessoria de imprensa, que os artigos foram levados à atenção de sua equipe de integridade por um dos editores da revista e que, constatado o uso de e-mails fictícios, “foi tomada a decisão de retratar os artigos”. A editora colabora com o IF-Goiano, que abriu uma Investigação Preliminar Sumária no final de 2024 e tem seis meses para apurar a responsabilidade do biólogo. O nome de ao menos um avaliador que teve a identidade usurpada foi confirmado em uma reportagem da revista *Science*. O toxicologista Michael Bertram, da Universidade Sueca de Ciências Agrícolas, foi procurado pela Elsevier no ano passado e informou não reconhecer

a conta do Gmail fornecida por Malafaia nem ter conhecimento sobre os 30 manuscritos que supostamente analisara. Bertram afirmou não ter informações suficientes para saber quem se passou por ele, mas achou suspeita a alta produtividade da rede de autores dos artigos. “São extremamente prolíficos”, disse à *Science*. Também criticou os processos editoriais da *Stoten*. “Sou editor associado da *Proceedings of the Royal Society B* e, sempre que escolho um revisor, verifico seu e-mail.”

Malafaia nega de forma categórica que tenha participado da avaliação dos próprios artigos ou que saiba quem escreveu os pareceres, mas reconhece que sugeriu os e-mails, sem se dar conta de que eram falsos, segundo afirma. Ele diz que selecionou os nomes e contatos dos revisores há mais de 10 anos analisando artigos de uma plataforma eletrônica de publicações científicas da China chamada CNKI. Solicitado pela Elsevier a mostrar a fonte da informação, respondeu que não conseguiu recuperá-la. “A revista exigiu que eu apontasse seis possíveis revisores em cada manuscrito que eu apresentava. Como eu já havia pesquisado aqueles nomes uma vez, recortei e coleí a informação nos artigos, sem saber se seriam aproveitados”, disse o biólogo.

Em uma carta aberta de 28 páginas publicada em novembro de 2024, o pesquisador defende a consistência de seus *papers* e sustenta que o problema na revisão por pares não o beneficiou, com base em uma análise linguística apoiada em estatísticas que comparou pareceres sobre os trabalhos retratados com outros pareceres sobre trabalhos dele que não foram retratados. Dessa



forma, considerou que punições menos drásticas do que retratações deveriam ter sido aplicadas.

A maior parte de sua argumentação enfatiza a corresponsabilidade da *Stoten* nas violações de que é acusado. “Era obrigação dos editores checar os e-mails. A revista não quis assumir sua responsabilidade e me transformou em um bode expiatório”, opina. Ele destaca que o periódico para o qual colaborava como editor foi acusado recentemente de adotar práticas heterodoxas e que seus editores estão sob pressão. Em outubro de 2024, a Clarivate Analytics, responsável por calcular o fator de impacto de publicações científicas no *Journal Citation Reports*, suspendeu temporariamente a divulgação de indicadores de produtividade da *Stoten* devido a preocupações com a qualidade dos artigos. O título publica cerca de 7 mil *papers* por ano e seu último fator de impacto foi 8,2 – mais elevado do que o de qualquer revista científica do Brasil.

Alguns editores do periódico, como Damià Barceló, da Universidade de Almeria, na Espanha, e Daniel C. W. Tsang, da Universidade Politécnica de Hong Kong, enfrentaram críticas por integrarem redes de pesquisadores que publicam com bastante frequência na revista, uma prática conhecida como “edit-for-pal”, editar para amigo. Na correspondência com Malafaia, a Elsevier informou que os problemas da *Stoten* “são amplamente irrelevantes” para o caso dele. Após a retratação, o biólogo fez uma reclamação contra a Elsevier ao Comitê de Ética em Publica-

ções (Cope), um fórum internacional de editores que se dedica a temas de integridade, alegando que não teve acesso a informações importantes para formular sua defesa. Em resposta ao Cope, a Elsevier defendeu a necessidade de retirar os artigos e informou que não estava acusando Malafaia diretamente de manipulação de revisão por pares, mas apenas de ter fornecido os e-mails. “Solicitei que a investigação fosse conduzida com base em evidências concretas que comprovassem minha participação na revisão de meus próprios artigos e que ferramentas tecnológicas fossem utilizadas para rastrear a origem dos pareceres”, afirma Malafaia. “Isso nunca foi feito. Como não há acusação formal contra mim de manipulação do processo de revisão por pares, por que fariam essa verificação?”

Na carta aberta, ele diz que as retratações “tiveram um impacto devastador não apenas na minha carreira científica, mas também na minha vida pessoal e nas pessoas ao meu redor”. Os danos à reputação preocupam os mais de 50 autores que também assinavam os artigos. Muitos eram alunos de Malafaia, mas sua rede de colaboradores igualmente incluía líderes de grupos de pesquisa de grandes universidades. “Fui procurado por coautores pedindo para tirar o nome dos artigos e até solicitando uma declaração de que o Guilherme não os conhecia pessoalmente”, afirma o farmacologista Ives Charlie da Silva, que faz um estágio de pós-doutorado no Instituto de Química de Araraquara da Universidade Estadual Paulista (Unesp) e é autor de alguns dos trabalhos retratados. “A todos eu respondi que confio na qualidade dos *papers* e, enquanto não for provado



Quem dá nome ao artigo?

As regras para formular a lista de autores de um artigo científico podem variar entre as áreas do conhecimento, mas a convenção mais consagrada, a norma Vancouver, considera que o primeiro autor, aquele que aparece em primeiro lugar na relação e obrigatoriamente é mencionado nas referências bibliográficas do *paper*, deve ser o pesquisador que mais se dedicou ao trabalho. “É o autor que literalmente carregou o estudo nas costas, em geral um aluno de pós-graduação ou um pesquisador iniciante que ficou na bancada cuidando da parte experimental”, explica Sigmar de Mello Rode, ex-presidente da Associação Brasileira de Editores Científicos (Abec-Brasil).

Já o último nome da lista é a posição de maior prestígio e cabe ao idealizador ou o supervisor da pesquisa, em geral o líder do laboratório ou o orientador do primeiro autor. Os demais coautores disputam as posições intermediárias – o mais comum é que apareçam em ordem decrescente de contribuição. “A ordem dos nomes normalmente é objeto de discussão intensa entre os participantes”, afirma o ex-dirigente da Abec.

Outra figura é a do autor correspondente, a quem cabe submeter o manuscrito para publicação e responder as perguntas e exigências dos editores ao longo do processo de avaliação por pares. Não há uma regra para definir quem deve ser

escolhido, mas, segundo Rode, o ideal é que não seja primeiro autor, mas alguém que tenha vínculo formal com a instituição em que os experimentos foram feitos, como o líder do grupo. “Não deve ser um estudante de pós-graduação, porque ele pode ir embora depois de algum tempo”, explica Rode. Nem todas as áreas seguem essas regras. “O líder da pesquisa pode aparecer em primeiro lugar em algumas disciplinas das humanidades.” Em grandes consórcios de pesquisa, cujos artigos podem ter centenas de coautores, uma alternativa é usar a ordem alfabética, mas esse expediente vem se tornando raro, dada a necessidade de informar com transparência a contribuição exata de cada autor.



que as revisões manipuladas saíram da máquina do Guilherme, vou continuar do lado dele.”

Silva conta que teve participação direta na construção das redes de cooperação que resultaram nos artigos. “O Guilherme tem um laboratório bastante ativo e sabe fazer boas perguntas de pesquisa. Eu o conheço há mais de 10 anos e fiz a ponte com pesquisadores de vários estados, convidando-os a participar dos estudos, fornecer amostras, realizar parte dos experimentos ou de suas análises, de acordo com as suas especialidades”, explica. Em outubro de 2021, o site de *Pesquisa FAPESP* publicou uma reportagem mencionando um dos estudos que viriam a ser retratados: um experimento coordenado por Malafaia em que Silva era o primeiro autor, analisando a influência do vírus Sars-CoV-2 em animais que vivem em ambientes aquáticos. Entre os coautores, há pesquisadores das universidades de São Paulo (USP) e federais de Goiás, do Ceará e de Alfenas.

Amédica Luciani Silveira de Carvalho, coordenadora da unidade de multiusuários de zebrafish, um peixe usado como modelo na experimentação científica, do Centro de Bioterismo da Faculdade de Medicina da USP (FM-USP), conta que se aproximou da rede de colaboradores de Malafaia durante a pandemia. Uma de suas alunas de doutorado, Bianca Ventura Fernandes, foi convidada por Silva para participar de um estudo sobre os efeitos toxicológicos do Sars-CoV-2 em zebrafish. Quando o artigo ficou pronto, a doutoranda, responsável por parte dos experimentos, assinou como primeira autora. “Me convidaram para ser a autora correspondente, por ser a orientadora da Bianca, mas achei que não era para tanto. O Ives então propôs que o Guilherme assinasse como autor correspondente, já que era dele a ideia original, e também porque haveria chances maiores de publicar o estudo na *Stoten*, uma revista com fator de impacto significativo onde ele já tinha vários estudos. Nós aceitamos na hora”, recorda. A médica defende a lisura do artigo de que participou e, em um grupo

de WhatsApp que reúne coautores dos *papers*, defende o pesquisador do IF-Goiano. Segundo ela, o grupo está dividido. “Algumas pessoas fizeram críticas pesadas e outras, eu entre elas, consideraram as retratações injustas. Outra parte não se posicionou.”

Malafaia segue trabalhando no IF-Goiano. Procurada por *Pesquisa FAPESP*, a instituição se manifestou por meio de uma nota, informando que o caso está sendo avaliado pela comissão de ética e por uma comissão investigativa. As instituições a que estão afiliados os coautores não veem razão para entrar no caso. “Para se abrir algum tipo de investigação, seria necessário receber uma queixa, o que não ocorreu até agora”, diz Edson Cocchieri Botelho, pró-reitor de Pesquisa da Unesp, que, contudo, pretende levar o caso para discussão nos eventos sobre ética que a universidade promove todos os anos em suas unidades. O físico Paulo Nussenzveig, pró-reitor de Pesquisa e Inovação da USP, observa que os coautores partilham a responsabilidade sobre o artigo e todos precisam ler e autorizar a publicação. “Mas a responsabilidade de indicar revisores é específica do autor correspondente. Ele não precisa consultar os demais autores para fazer isso”, afirma. Nussenzveig destaca que conhecer bem e ter confiança nos colaboradores é um requisito das boas práticas de pesquisa, embora nem sempre isso seja simples de se fazer. “Em redes muito grandes, é muito difícil todos se conhecerem.” O pró-reitor acha inadequado, contudo, usar como critério de escolha de um colaborador o fato de ele ter um bom trânsito com revistas. “Eu quero trabalhar com colaboradores produtivos que tenham ideias inovadoras e uma boa capacidade de realizá-las.”

O ecólogo Daniel Brito, pesquisador da Universidade Federal de Goiás, onde também atua no comitê de integridade acadêmica e ministra disciplinas de ética para alunos de pós-graduação em ecologia e evolução, considera a repercussão das retratações ruim para a ciência brasileira e teme que episódios desse tipo prejudiquem a confiança da sociedade nos pesquisadores. “Por outro lado, mostra que os mecanismos de autocorreção da ciência estão funcionando”, afirma. ●



Credibilidade na balança

Divulgadores científicos em plataformas digitais discutem quais devem ser os limites para fazer campanhas de publicidade

SARAH SCHMIDT

O biólogo César Favacho, que faz vídeos sobre insetos e aracnídeos e tem 322 mil seguidores no TikTok, adota um procedimento ao receber convites para fazer campanhas publicitárias nas redes sociais: consulta outros divulgadores de ciência sobre eventuais conflitos de interesse e riscos de comprometer sua reputação. Em 2023, ele recebeu um convite para fazer vídeos para uma mineradora e, depois de conversar com colegas, declinou. “Embora o dinheiro pudesse ajudar no meu trabalho de divulgador, área que pretendo seguir, ponderei que minha credibilidade é o meu principal valor”, diz. Segundo Favacho, que cursa doutorado em biodiversidade e evolução no Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém, a atividade da empresa causava danos ambientais e as medidas de compensação nas quais investia eram tímidas. Hoje, discute com colegas uma proposta feita por uma empresa farmacêutica.



sociais. Três vídeos publicados entre setembro e outubro de 2024 para a empresa petrolífera Shell tratam das qualidades do etanol produzido pela companhia, a complexidade de substituir combustíveis fósseis, cuja importância econômica ainda é grande, por opções sustentáveis, e a expertise da empresa em fabricar derivados de petróleo de modo confiável. Este último criou controvérsia por conta de um trecho em que Iamarino afirma que a Shell tem tecnologia para extrair o insumo de forma segura, “oferecendo energia vital e ajudando a impulsionar vidas”.

Postado em 16 de outubro, já no dia seguinte o vídeo tinha mais de 3 mil comentários, muitos negativos – as peças continuam no ar, mas com comentários fechados após a repercussão. A principal queixa dizia respeito ao microbiologista ter aceitado dinheiro para referendar ideias de uma empresa cuja principal atividade tem como consequência a emissão de gases de efeito estufa. Também houve quem criticasse o influenciador, conhecido pelo combate ao negacionismo científico na pandemia, por defender o “negacionismo climático”, embora os vídeos não contestem nem minimizem o papel dos combustíveis fósseis na crise do clima. Procurado por *Pesquisa FAPESP*, Iamarino não respondeu aos pedidos de entrevista.

Não foi a primeira vez que o microbiologista deixou seu público contrariado – ou ao menos parte dele. Em 2020, Iamarino publicou no canal *Nerdologia*, no YouTube, o vídeo *O livre mercado é um computador*, patrocinado pela bolsa de valores brasileira, a B3, e a corretora Nova Futura Investimentos. O vídeo discute os fatores que determinam a flutuação de preços e traça uma analogia com o funcionamento de formigueiros. Uma menção favorável ao livre mercado em contraposição a ideias do “socialismo” serviu como gatilho para críticas. Um estudo publicado na *Revista Fronteiras – Estudos Midiáticos*, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), em janeiro de 2022, analisou as reações no X ao vídeo e classificou-as em quatro categorias. Uma delas reunia indivíduos que questionavam a autoridade de um biólogo tratar de economia e ciências sociais, temas alheios a sua especialidade. Outra atacava Iamarino por supostamente apoiar “posicionamentos neoliberais”. Uma terceira tratava de uma alegada contradição entre o histórico de combate à desinformação do divulgador e a publicação de um vídeo com ideias “equivocadas”. E uma quarta o censurava por ter aceitado apoio financeiro da B3.

“Para o grande público, o que o divulgador de ciência diz é como se recebesse uma chancela da

Capazes de atingir milhões de pessoas nas redes sociais, divulgadores de ciência são procurados para fazer propaganda de produtos que vão de relógios inteligentes a cosméticos ou promover empresas em vídeos institucionais. Suas escolhas nem sempre são bem recebidas pelos seguidores e têm despertado uma questão: quais limites éticos devem ser respeitados ao aceitar fazer publicidades, eufemismo para publicidades com formato de conteúdo informativo? Vincular a imagem a uma empresa é um tema sensível, pois a publicidade é vista como um endosso pessoal ao produto ou serviço. No caso dos divulgadores de ciência, há uma questão adicional, já que sua credibilidade se origina da veiculação de conteúdo embasado em evidências científicas.

Essa discussão ganhou fôlego no final de 2024 após o microbiologista e divulgador científico Átila Iamarino, com 1 milhão de seguidores só no Instagram, participar de uma campanha sinalizada como uma “parceria paga” em suas redes

ciência. Por isso, a credibilidade que ele constrói traz uma grande responsabilidade”, observa o biólogo Luiz Bento, divulgador científico da Fundação Centro de Ciências e Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro (Cecierj) e um dos coordenadores do grupo de pesquisa Cultura, Educação e Divulgação Científicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). “A divulgação científica tem uma função social. Há um problema ético quando o cientista empresta a sua imagem para uma empresa que tem entre suas práticas ações que ignoram as evidências baseadas na ciência”, avalia.

O dilema se coloca porque a rotina dos produtores de conteúdo na internet, para ser sustentável, precisa ser remunerada, e um dos principais caminhos é a obtenção de contratos de publicidade. “Os influenciadores digitais, normalmente, são pessoas que fazem de sua imagem e de sua visibilidade o seu ganha-pão”, explica a profissional de relações públicas Carolina Terra, da Escola de Artes e Comunicação da Universidade de São Paulo (ECA-USP) e autora do livro *Marcas influenciadoras digitais: Como transformar organizações em produtoras de conteúdo digital* (Difusão, 2021). Diferentemente dos veículos de comunicação tradicionais, eles são, ao mesmo tempo, a pessoa que cria o conteúdo informativo e empresta o rosto para a publicidade.

Para organizar esse ambiente fluido, no qual a publicidade paga pode se mesclar a recomendações espontâneas, em 2021 o Conselho Nacional de Autorregulamentação Publicitária (Conar) lançou um guia de publicidade para influenciadores digitais, no qual ressalta que todo conteúdo pago precisa ser sinalizado. “O objetivo é que o

consumidor não tenha dúvida de que se trata de um conteúdo publicitário”, explica Terra. “Mas não são abordadas questões éticas de conflito de interesses. Fica a cargo de cada um, em sua área específica, avaliá-los.”

Os limites podem não ser claros para divulgadores de ciência na internet, mas para jornalistas, incluindo especializados em ciência, existem códigos de ética com normas que regem a atividade profissional. Os veículos tradicionalmente separam a publicidade da produção de informação de interesse público. “Difícilmente um jornalista, no exercício de sua função, empresta sua imagem para uma marca. A propaganda é assunto da área comercial da empresa. Os jornalistas que fazem comerciais são aqueles que redirecionam a carreira para o entretenimento”, pondera Luiz Bento.

O jornalista Eugênio Bucci, da ECA-USP e autor do livro *Sobre ética e imprensa* (Companhia das Letras, 2008), propõe olhar para a história do jornalismo e perceber o que levou ao estabelecimento de regras autônomas para disciplinar o tema. Ele destaca que os códigos de ética importantes da imprensa têm pouco mais de 100 anos e que grandes jornais já separavam opinião, negócios e reportagem. “Isso apareceu para proteger o valor da credibilidade jornalística e para que o público pudesse conhecer as regras que orientavam os veículos de imprensa. E isso, na época, ampliou o público dos jornais”, explica, enfatizando que suas observações se aplicam ao campo do jornalismo de modo amplo e não se referem a casos específicos de influenciadores.

“Essa é uma questão ética nova e importante, à qual pouca atenção foi dada até agora, pelo menos no Reino Unido e na Europa”, afirmou o jornalista de ciência do *Financial Times* Clive Cookson a *Pesquisa FAPESP*. Para ele, se uma espécie de código de ética fosse discutida, deveria levar em conta duas questões – a seu ver, problemáticas. “A primeira é o fato de as pessoas usarem sua reputação científica para fazer propaganda de algo fora da sua área de especialização.” A segunda, de acordo com Cookson, envolve influenciadores com histórico científico que promovem visões que vão contra evidências, para influenciar o debate político, como ocorre no caso das mudanças climáticas – sem necessariamente ganhar dinheiro com isso. “Esse parece ser o principal problema que enfrentamos aqui [no Reino Unido]”, diz.

ESTRATÉGIAS DOS DIVULGADORES

Sem normas compartilhadas, muitos cientistas usam o bom senso para aceitar ou rejeitar campanhas publicitárias. A paleontóloga Beatriz Hörmanseder, que tem 244 mil seguidores no TikTok e faz doutorado em biologia animal na Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes),

Trechos de vídeos dos perfis de César Favacho (à esq.) e do canal Nunca Vi 1 Cientista, no TikTok



Divulgadores da ciência têm sido procurados para fazer propaganda de produtos

conta que se recusou a fazer publicidade para uma loja que vende fósseis importados – essa é uma linha que diz não pretender cruzar. “A loja não tem fósseis do Brasil, mas vende fósseis marroquinos. Patrimônio não se precifica, sou contra a venda de todo tipo de fóssil”, observa. Ela procura recursos em áreas onde não vê conflito de valores. Em 2023, fez uma parceria comercial com uma fabricante norte-americana de processadores. No acordo, a empresa lhe enviou um computador – segundo ela, com valor estimado entre R\$ 15 mil e R\$ 20 mil – em troca de uma série de vídeos que ela gravou para a marca, veiculados no YouTube, mostrando como uma cientista pode utilizar o computador – no seu caso, para uma pesquisa que envolve digitalização e preservação 3D de fósseis.

Ao ganharem visibilidade na internet, cientistas procuram ou são procurados por agências especializadas. A astrofísica brasileira Duília de Mello, vice-reitora na Universidade Católica da América, em Washington, nos Estados Unidos, está entre os clientes da publicitária Juliana Gongora, fundadora da Vésper Assessoria, especializada em orientar cientistas para publicidade, palestras e contato com a imprensa.

Entre os contratos fechados está uma campanha para o Mercado Livre América Latina, estrelada por Mello para a televisão. “Quando chega uma solicitação de uma marca para uma publicidade ou palestra, a primeira coisa a fazer é avaliar riscos e benefícios. Todo o roteiro da campanha precisa ser negociado. Se a imagem do cientista é arranhada, o estrago pode ser grande”, diz Gongora. Ela conta que recusou insistentes propostas de campanhas de bets que a agência recebeu.

Duília de Mello diz que procura apoio da agência para avaliar e triar empresas com que fecha

palestras e campanhas. “Como cientistas, precisamos mostrar o nosso rosto e o que fazemos, até para inspirar jovens a seguirem a carreira, mas devemos avaliar a quem associamos nossa imagem”, pondera a astrofísica.

A farmacêutica-bioquímica Laura Marise e a bióloga Ana Bonassa, criadoras da iniciativa de divulgação científica *Nunca Vi 1 Cientista*, que soma 1,1 milhão de seguidores no YouTube, Instagram e TikTok, também utilizam o trabalho de uma agência especializada em criadores de conteúdo. Marise explica que, quando uma marca pede que se fale sobre a eficácia de determinado produto, elas solicitam publicações científicas e documentos que embasem os dados. “Já houve casos em que, depois desse pedido, a empresa nunca mais nos respondeu”, conta.

Mesmo com os critérios que adotam, elas não passaram incólumes a críticas por escolhas que fizeram. Em 2024, Marise e Bonassa aceitaram ser apresentadoras do podcast *Nossa Energia*, da Petrobras. Embora não se tratasse de um publicitário, foram questionadas por associarem seus nomes ao de uma empresa petrolífera, em um contexto de mudanças climáticas. “Decidimos aceitar porque avaliamos que ter duas mulheres divulgadoras de ciência à frente de um projeto para a maior estatal do país, em um lugar geralmente ocupado por homens, traria uma representatividade e visibilidade”, explica Bonassa.

Desde 2022, elas deixaram a carreira de pesquisadoras para se dedicarem exclusivamente à divulgação científica na internet. No ano passado, emprestaram a imagem a 40 campanhas. “Há uma romantização de que dá para viver da divulgação científica apenas com a monetização dos canais e com algum apoio financeiro dos seguidores. Há meses em que as visualizações são mais baixas e mudanças no algoritmo afetam o desempenho”, afirma Marise.

A jornalista Sabine Righetti, do Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo (Labjor) da Unicamp, sugere que projetos de divulgação científica, incluindo os de divulgadores nas redes, tenham critérios éticos previamente definidos. Isso inclui estabelecer os tipos de apoio ou publicidade que o influenciador não pode aceitar, seja porque contrariam evidências científicas ou pertencem a um campo do conhecimento que o cientista não domina. Ela ressalta que ainda faltam mecanismos de apoio e financiamento para a divulgação científica no país. Por isso, pondera que, se as publicidades forem bem avaliadas, têm um papel importante. “Se o setor privado vai financiar o trabalho de alguém nas redes sociais, é bom que seja o de um influenciador de ciência sério e que tenha critérios claros sobre quais tipos de apoio aceita receber”, conclui. ●

Conexões da inteligência artificial

Diretora de instituto nacional de ciência de dados do Reino Unido discute colaborações de pesquisa com o Brasil

SARAH SCHMIDT



A cientista política durante visita a São Paulo. Ela também foi a Brasília e ao Rio de Janeiro

No final de janeiro, a cientista política norte-americana Allaine Cerwonka, diretora internacional e de parcerias do The Alan Turing Institute, instituto nacional de inteligência artificial (IA) e ciência de dados do Reino Unido, veio ao Brasil conversar sobre possíveis colaborações. Organização sem fins lucrativos, o Turing recebe financiamento do governo britânico e de instituições privadas para liderar e desenvolver projetos em parceria com universidades, governo e empresas em áreas como segurança, meio ambiente, economia e mudanças climáticas. A instituição é uma das coordenadoras do AI Standards Hub, que estuda e promove o desenvolvimento de normas e regras para a inteligência artificial. Também trabalha em pesquisas na interseção entre tecnologia, ciências sociais e políticas públicas e atua com autoridades da área de Justiça em ferramentas como o Online Harms Observatory, sistema criado para moni-

torar e combater ameaças on-line, inclusive em redes sociais, no Reino Unido.

Doutora em ciência política pela Escola de Ciências Sociais da Universidade da Califórnia em Irvine, nos Estados Unidos, Cerwonka já foi diretora da Escola de Ciências Sociais da Universidade de East London e do Programa de Estudos Sociais da Ciência na Central European University. Ela concedeu a entrevista a seguir por e-mail e videoconferência.

O que motivou a visita ao Brasil?

A colaboração internacional e a troca de conhecimento são fundamentais para o Reino Unido e o nosso instituto. O Brasil é particularmente interessante para nós, porque seu tamanho e população fazem dele um ator essencial para engajamentos na América Latina. O país participa de debates sobre o potencial uso da inteligência artificial para enfrentar desafios globais urgentes e demonstrou isso, por exemplo, nas discussões durante o G20, realizado no Rio de Janeiro em novembro de 2024. E em novembro deste ano vai li-

derar a COP 30, em Belém, no Pará. Essas reuniões refletem o papel de liderança do Brasil em questões como energias renováveis, impactos das mudanças climáticas no meio ambiente, segurança humana e saúde. No instituto, desenvolvemos inteligência artificial e novas tecnologias para ajudar a enfrentar vários desses desafios compartilhados e vemos o Brasil como um potencial parceiro nessa ambição de solucioná-los. O governo brasileiro, o setor privado e a sociedade civil estão envolvidos em discussões sobre regulamentação e desenvolvimento responsável da IA, temas de interesse comum entre nossos países.

Com quais instituições conversou?

Visitamos instituições e órgãos governamentais em São Paulo, Brasília e no Rio de Janeiro. Ficamos impressionados com o trabalho que o MCTI [Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação] tem desenvolvido, como o plano brasileiro de inteligência artificial, que aborda questões fundamentais como privacidade de dados, desenvolvimento ético e respon-

sável e regulamentação da IA para proteger os cidadãos sem sufocar a inovação. Conversamos sobre os esforços dos dois países para aprimorar a prestação de serviços públicos por meio do governo digital. Tivemos discussões produtivas com o LNCC [Laboratório Nacional de Computação Científica] sobre áreas de colaboração e intercâmbio de pesquisadores. Convidamos o governo brasileiro a enviar delegados para o Global Summit 2025 – AI Standards Hub, encontro que acontecerá em Londres em março deste ano. E tivemos discussões produtivas com líderes e pesquisadores ligados à FAPESP.

O que foi discutido?

No futuro, nosso instituto explorará com a FAPESP maneiras de conectar os novos Centros de Pesquisa Aplicada em Inteligência Artificial financiados pela Fundação aos centros de excelência do Reino Unido dentro da rede de universidades que fazem pesquisa com o Turing. Também há espaço para compartilhar as experiências do nosso instituto com um hub de inovação que a FAPESP planeja criar com o governo de São Paulo.

Que expertises da ciência brasileira chamaram mais sua atenção?

Fiquei encantada com o trabalho em sustentabilidade e meio ambiente. No instituto, trabalhamos, por exemplo, com a cibersegurança de turbinas eólicas. No ano passado, na Alemanha, houve um ataque cibernético que desativou milhares de turbinas de uma só vez. Não podemos depender dessas energias renováveis sem considerar questões de segurança. O Brasil é um parceiro relevante para esse trabalho, devido à sua força em energias renováveis. O Turing continuará conversando com o porto do Açú, no Rio de Janeiro, sobre navios autônomos e turbinas eólicas *offshore*. No campo da IA para o meio ambiente, ficamos animados com o trabalho do Inpo [Instituto Nacional de Pesquisas Oceânicas, instituição de pesquisa privada sediada no Rio] na criação de um gêmeo digital [modelo virtual de um sistema ou objeto físico que permite simulações] do Atlântico Sul.

O Turing liderou um programa para implementar IA e ciência de dados em áreas prioritárias no Reino Unido. Quais foram os principais resultados?

O programa, financiado pelo UK Research & Innovation [Ukri, principal agência de fomento do Reino Unido], foi responsável por cerca de 100 projetos, abordando áreas importantes para a sociedade e para a economia. Produzimos trabalhos relevantes sobre gêmeos digitais, por exemplo com a Rolls-Royce, para aumentar a eficiência da indústria aeroespacial. No setor da saúde, um exemplo é o projeto Sparra [*scottish patients at risk of re-admission*], que utiliza modelagem de IA para prever a necessidade de retorno de pacientes cardíacos aos hospitais, a partir de dados do sistema de saúde escocês. Para cada área em que trabalhamos com o governo, desenvolvemos *white papers*, documentos usados para informar parlamentares e setores do serviço público. Temos cerca de 75 pesquisadores internos, com os quais trabalhamos principalmente em questões como segurança e defesa, nas quais alguns projetos são confidenciais. Para questões menos sensíveis, conseguimos envolver os melhores pesquisadores das universidades.

Quais são os principais desafios enfrentados hoje no desenvolvimento de aplicações éticas e responsáveis de IA?

Essa é uma questão muito importante. Infelizmente, não existe um conjunto fixo de regras para a criação de uma IA

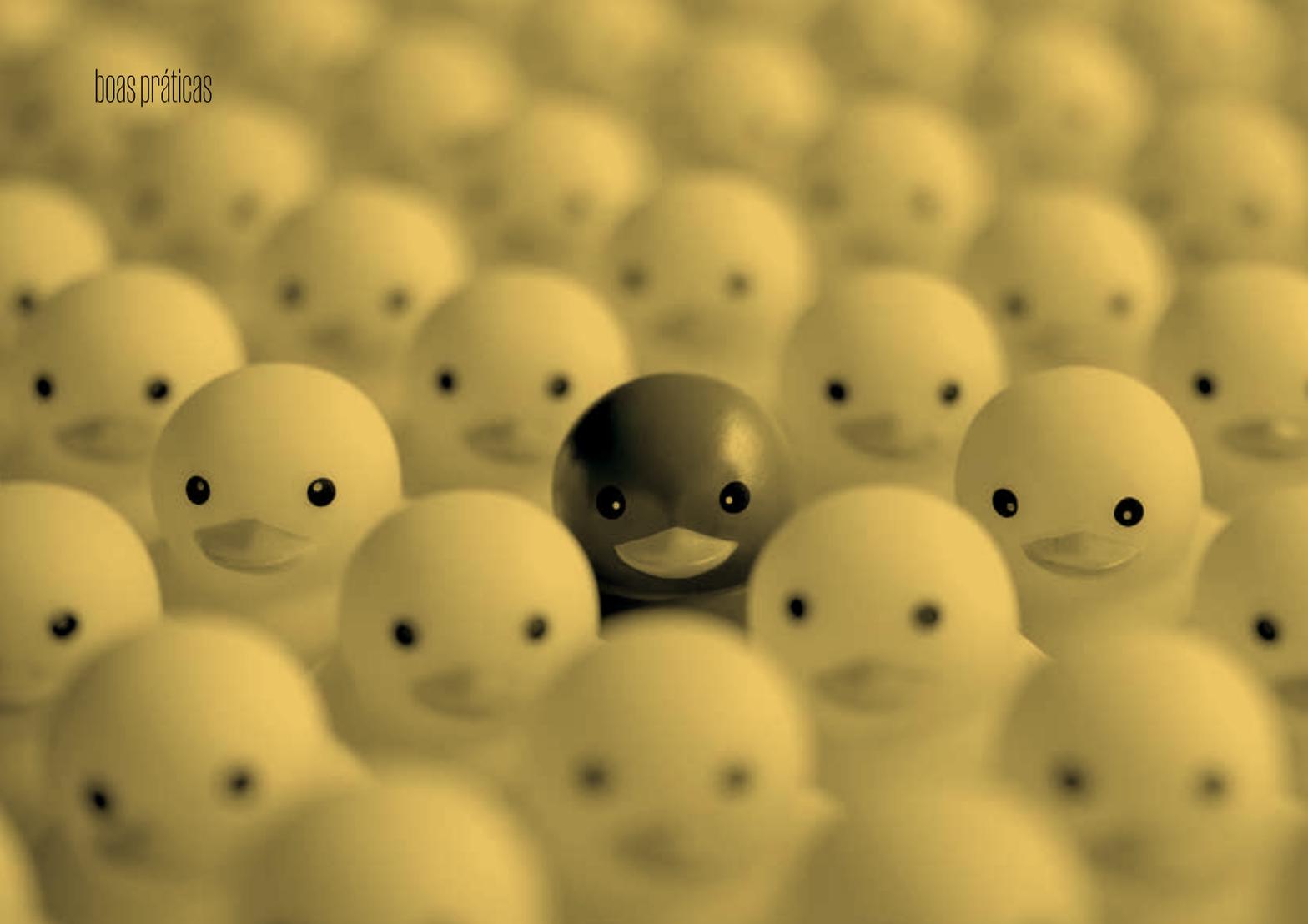
“

Potenciais riscos da IA devem ser gerenciados ao longo do processo da pesquisa, em uma reflexão contínua

ética e responsável, que os profissionais simplesmente precisem memorizar para evitar causar danos com suas pesquisas. No Turing, acreditamos que potenciais riscos da pesquisa e dos resultados da IA devem ser gerenciados ao longo do processo da pesquisa, em uma reflexão contínua. Produzimos um manual intitulado *The Turing way*, que busca abordar esses desafios e apoiar a aplicação dos objetivos e práticas da pesquisa reproduzível ao campo relativamente jovem do aprendizado de máquina. Também criamos um protocolo e um curso para IA ética e responsável, chamado The Turing Commons. O curso foi criado para treinar a nova geração de pesquisadores na identificação e construção de arcabouços éticos para diferentes aplicações de IA.

Como equilibrar a regulamentação da IA para garantir a proteção de direitos sem comprometer a inovação?

O Reino Unido adotou uma abordagem “pró-inovação” para a regulamentação da IA, definida e justificada em um *white paper* do governo, que busca um meio-termo entre a Lei de IA da União Europeia e a abordagem atualmente adotada pelos Estados Unidos. Reconhecendo que as tecnologias de IA estão evoluindo em um ritmo acelerado, o governo encarregou seus órgãos reguladores de desenvolver padrões e regulamentações dentro de seus respectivos setores. O Instituto Turing tem participado desse processo em colaboração com o National Physical Laboratory e o British Standards Institution, contribuindo com o AI Standards Hub, um centro voltado para facilitar a representação de diferentes partes do ecossistema no desenvolvimento de padrões para IA. O Hub também criou uma plataforma on-line para identificar todas as regulamentações e padrões relevantes para uma determinada tecnologia. Esse trabalho é crucial para fornecer clareza à indústria, permitindo que ela inove com segurança. O governo britânico está muito interessado em implementar IA e outras tecnologias emergentes para aumentar a eficiência e os padrões dos serviços públicos. Até agora, o Reino Unido já digitalizou grande parte dos seus serviços, tanto em nível nacional quanto local. Naturalmente, o padrão de responsabilização para o uso de IA pelo governo deve ser mais elevado do que em outros setores. ●



Estranhos no ninho

Estudo mostra que um em cada 25 cientistas altamente citados já teve um artigo retratado e levanta uma discussão sobre prestígio e integridade

Pesquisadores cuja produção científica é muito citada em trabalhos de outros autores em geral são vistos como influentes e produtivos – existem até rankings para reconhecê-los e celebrá-los. Mas também há evidências de que nem todos seguem os parâmetros mais rigorosos de integridade. Em um levantamento publicado em 30 de janeiro na revista *PLOS Biology*, o epidemiologista John Ioannidis, especialista em ética da Universidade Stanford, nos Estados Unidos, constatou que ao menos 8 mil pesquisadores que aparecem em uma lista de altamente citados têm uma retratação em seu currículo, ou seja, um de seus artigos foi invalidado após a publicação por conter erros ou indícios de plágio ou manipulação de dados.

Para chegar a esses resultados, Ioannidis e seu grupo tomaram como ponto de partida o banco de dados de um site de notícias sobre integridade científica, o Retraction Watch, que continha registros de 55.237 retratações quando o estudo foi feito. Em seguida, cotejaram essa lista de retratações com dados de citações da plataforma Scopus, uma base de dados mantida pela editora Elsevier. Foram descartados os casos em que o cancelamento se deu por fatores sem vínculo com

o comportamento dos autores (como problemas no processo de edição), os que desencadearam a republicação dos artigos com dados corrigidos e os que não estavam indexados na Scopus. Sobraram 39.468 *papers* para avaliar.

Por fim, os nomes dos autores desses *papers* foram cruzados com dois recortes diferentes de uma relação de cientistas altamente citados, conhecida como “Lista de Stanford”, extraída de um banco de dados mantido desde 2016 pelo próprio Ioannidis. Um dos recortes, com 223.152 nomes, reunia autores classificados entre os 2% mais citados do mundo em suas áreas no ano de 2023 – 8.747 deles, ou 4% do total ou 1 em cada 25, tiveram um artigo retratado. O outro recorte reunia 217.097 nomes dos 2% mais citados ao longo de todas as suas carreiras: 7.083 cientistas, ou 3,3% dessa amostra, amargaram uma retratação. No rol dos pesquisadores que tiveram duas retratações, apareceram, respectivamente nos dois recortes, 1.199 e 957 autores.

De acordo com o estudo, as retratações foram mais comuns nas ciências da vida – medicina clínica e biomedicina à frente, cada qual com cerca de 5% do total de artigos cancelados. Subcampos de áreas como artes, humanidades e ciências sociais tiveram pouquíssimos *papers* invalidados, provavelmente porque difundem seus resultados mais em formatos como livros e relatórios. Em números absolutos, os Estados Unidos se destacam, com 2.332 retratações em artigos assinados por autores cuja produção científica ao longo da carreira os colocou entre os 2% mais citados – seguidos por China (877), Reino Unido (430), Japão (362) e Alemanha (336). Já quando se analisa a proporção de autores com uma retratação no total de pesquisadores altamente citados de um país, sobressaem nações como Senegal (66,7%), Equador (28,6%) e Paquistão (27,8%). “Isso pode refletir ambientes problemáticos e políticas de incentivos em países em desenvolvimento, muitos dos quais vêm aumentando rapidamente sua produtividade geral”, escreveu Ioannidis. No rol de países com grande produção científica, os destaques foram a Índia, com 9,2% de pesquisadores altamente citados com uma retratação, China (6,7%), Taiwan (5,7%) e Coreia do Sul (5,3%). O Brasil, onde historicamente há poucas retratações na comparação com outras nações, não é mencionado no estudo.

O trabalho publicado na *PLOS Biology* não se debruçou sobre as causas do fenômeno, mas teve o condão de levantar um debate sobre o que pode haver de errado com os cientistas de alto prestígio. “Essa análise fornece evidências circunstanciais, embora fracas, de que existe um problema real, e que devemos olhar com cuidado para autores com altas taxas de citação, em vez de simplesmente presumir que eles são grandes pesquisadores”, disse à revista *Nature* a neuropsicóloga Dorothy Bishop, especialista em integridade científica

e professora aposentada da Universidade de Oxford, no Reino Unido.

Ioannidis é comedido ao analisar os resultados. “É necessário cautela ao interpretar retratações, pois elas nem sempre significam má conduta. Uma análise mais aprofundada caso a caso é essencial”, escreveu no *paper*. Segundo ele, é natural que cientistas prolíficos tenham mais retratações – como publicam muito, as chances de que algum *paper* tenha algum problema é maior do que entre colegas que publicam menos. De acordo com o trabalho, os pesquisadores com artigos cancelados tinham um número maior de publicações e um número elevado de coautores em seus trabalhos em relação aos demais. O epidemiologista ressalta que é importante ter uma visão panorâmica de características e vulnerabilidades dos cientistas mais influentes em diferentes disciplinas e lugares do mundo. Por isso, ele decidiu incluir os dados sobre retratações de cada autor mencionado na versão mais recente da Lista de Stanford, publicada em setembro de 2024.

Ivan Oransky, cofundador do site Retraction Watch, afirmou à *Nature* que os resultados indicam problemas na prática de classificar cientistas com base em citações. Na sua avaliação, os dados do estudo não chegam a ser surpreendentes, principalmente quando se referem a países que recompensam seus pesquisadores com base em indicadores de impacto acadêmico. “Meu palpite é que esse comportamento está ligado de alguma forma a práticas de manipulação de citações.” A suposição de Oransky é corroborada pelos coordenadores de uma outra lista de pesquisadores altamente citados publicada todos os anos pela empresa Clarivate Analytics. Para zelar pela credibilidade de sua lista, a Clarivate analisa caso a caso, a fim de detectar tentativas de manipulação.

São excluídos, por exemplo, pesquisadores que abusam das autocitações ou praticam citações cruzadas com outros autores, práticas que ampliam indicadores de impacto científico de modo artificial. Também são removidos os que enfrentam processos por má conduta em suas instituições; os que tiveram artigos retratados e até os que assinam trabalhos com centenas de coautores, tornando impossível avaliar a contribuição individual de cada um deles (*ver Pesquisa FAPESP nº 323*).

A inclusão progressiva desses filtros fez com que o número de desclassificados crescesse ano a ano. Em 2021, foram expurgados pouco mais de 300 cientistas por adotarem práticas capazes de manipular seus índices de desempenho. A exclusão alcançou 550 nomes em 2022 e pouco mais de mil em 2023. No ano passado, houve um recorde de 2 mil eliminações – isso, em uma lista que tem 6,6 mil pesquisadores. “Continuamos a refinar nossas políticas de avaliação e seleção para lidar com os desafios de registros de dados acadêmicos cada vez mais complexos e poluídos”, disse, em um comunicado, David Pendlebury, chefe de análise de pesquisa da Clarivate. ●

FABRÍCIO MARQUES

Estudo analisa a importância de códigos de conduta em conferências para prevenir assédio sexual

Dois pesquisadoras analisaram dados sobre 177 workshops e conferências científicas de ciência política e áreas correlatas realizadas nos Estados Unidos e constataram que só 19% dos eventos apresentavam em seus sites códigos de conduta com mecanismos para prevenir casos de má conduta sexual ou discriminação racial entre os participantes. As autoras do levantamento, Lucie Lu, que fez pós-doutorado da Universidade Columbia, em Nova York, e Nora Webb Williams, pesquisadora na Universidade de Illinois, Urbana-Champaign, identificaram um perfil comum das conferências com có-

digos de conduta. Eram eventos de grande porte realizados há várias décadas, amparados por comitês de diversidade e ética e promovidos por organizações que dispunham de equipes permanentes.

De acordo com o estudo, publicado na revista *Political Science & Politics*, nem todas as conferências lastreadas por diretrizes definiam claramente quais eram os comportamentos proibidos, ofereciam canais para relatar violações ou informavam quais seriam as punições para casos de má conduta. Esses três requisitos, segundo as autoras, são essenciais para que um código seja efetivo para evitar ou lidar com incidentes. Cerca de 85% das normas analisadas descreviam o que constitui uma violação e 74% ofereciam algum mecanismo para denunciar transgressões – embora apenas 6% dispusessem de um canal externo à organização do evento para receber relatos. O levantamento também mostrou que 62% dos códigos antecipavam como eventuais violações seriam investigadas e 74% listavam as consequências para o descumprimento de regras.

O estudo cita uma pesquisa feita pela Associação Americana de Ciência Política (Apsa) para justificar a importância dos códigos de conduta. Segundo esse levantamento, 37% dos 2,4 mil entrevistados afirmaram ter sido afetados por algum comportamento negativo nas reuniões anuais da entidade realizadas entre 2013 e 2016. Humilhações e comentários desdenhosos ou depreciativos foram relatados por 42% dos homens e 22% das mulheres entrevistadas. O uso de linguagem inapropriada, a exemplo de comentários sexistas ofensivos, foi criticado por 30% das mulheres e 10% dos homens, enquanto avanços sexuais não desejados foram reportados por 11% das mulheres e 3% dos homens. “Mesmo nos casos em que a proporção de membros que sofreram tais incidentes parece baixa, os números são desconcertantes”, informa o sumário-executivo do levantamento, mencionando, por exemplo, que 29 pessoas declararam ter sofrido ameaças de retaliação profissional por rejeitarem investidas sexuais.

Neurocientista acusado de manipular imagens em artigo sobre Alzheimer renuncia a cargo em universidade

O neurocientista Sylvain Lesné, acusado de manipular imagens em um celebrado artigo que sugeria uma possível causa da doença de Alzheimer, renunciou ao cargo de professor da Universidade de Minnesota, Twin Cities (Minneapolis e Saint Paul), nos Estados Unidos. Publicado em 2006 na revista *Nature*, o artigo indicava uma relação de causa e efeito entre uma proteína que se acumula no cérebro e a perda de memória em ratos e parecia ter encontrado um alvo para o desenvolvimento de fármacos contra a doença de Alzheimer. Sua repercussão foi grande: recebeu mais de 2,5 mil cita-

ções em outros artigos. Mas não resultou até hoje em tratamentos contra a doença. Lesné foi o responsável por coletar imagens de testes *western blot*, método usado para identificar proteínas – mas se descobriu em 2021 que elas haviam sido adulteradas digitalmente. No ano passado, o artigo sofreu retratação depois que sua autora principal, a neurocientista Karen Ashe, também da Universidade de Minnesota, Twin Cities, e supervisora de pós-doutorado de Lesné na época em que o estudo foi feito, reconheceu que as imagens foram manipuladas, embora ainda sustente que o problema não afeta as conclusões do *paper* (ver Pesquisa FAPESP nº 341). Uma investigação sobre a produção científica de Lesné feita pela Universidade de Minnesota durou dois anos e meio e encontrou problemas também em outros artigos assinados pelo pesquisador – a instituição pediu a retratação de mais quatro trabalhos publicados em diferentes periódicos entre 2011 e 2017, que juntos receberam mais de 600 citações.

CONTEÚDO EXTRA

Conhece a nossa newsletter de integridade científica?



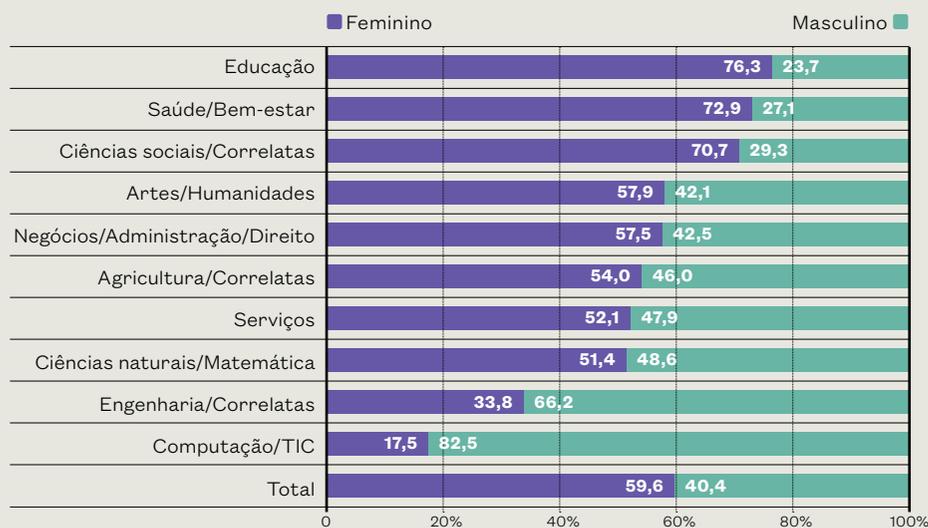
Acesse o QR Code para assinar nossas newsletters



dados_ Participação feminina entre concluintes no ensino superior, em 2023

Distribuição dos concluintes por sexo, segundo grande área de formação

EM % - BRASIL - 2023



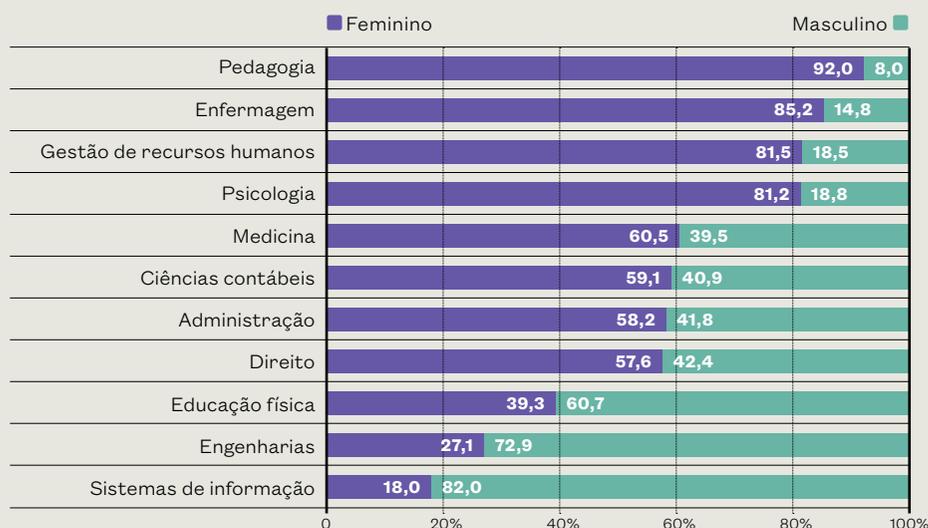
→ Do total de 1.374.669 concluintes de 2023, 59,6% (ou 819.821) eram do sexo feminino. Esse patamar se mantém desde 2010, embora com diferenças significativas entre grandes áreas de formação e cursos¹

→ Na área de educação, que compreende os cursos de formação de professores, registrou-se a maior participação feminina (76,3%), seguida pelas de saúde e bem-estar (72,9%), que incluem medicina e enfermagem, e ciências sociais e correlatas (70,7%)

→ Em apenas duas áreas a participação de mulheres mostrou-se minoritária: engenharia e correlatas (33,8%); e ciência da computação e tecnologia da informação e da comunicação (17,5%). Nas demais, inclusive ciências naturais e matemática, também prevaleceram as mulheres, cuja participação entre seus titulados situou-se entre 51% e 60%

Distribuição dos concluintes por sexo, segundo cursos selecionados

EM % - BRASIL - 2023



→ Em 2023, nos cursos² com maior número de concluintes³, a participação por sexo também apresentou diferenças significativas

→ Nos de pedagogia, enfermagem, gestão de RH e psicologia, a participação feminina superou 80%

→ Em medicina, ciências contábeis, administração e direito, a participação feminina situou-se em torno de 60%. Já em educação física, engenharias e sistemas de informação, a presença de mulheres foi minoritária: 39,3%, 27,1% e 18,0%, respectivamente

NOTAS (1) CLASSIFICAÇÃO CINE BRASIL (CES/INEP/MEC) **(2)** OS CURSOS DE ENGENHARIA (APENAS OS QUE ATRIBUEM GRAU DE ENGENHEIRO SEGUNDO A LEGISLAÇÃO) FORAM CONSIDERADOS EM CONJUNTO NESTA ANÁLISE **(3)** OS CURSOS SELECIONADOS SÃO OS 10 COM MAIOR NÚMERO DE CONCLUINTEES EM 2023, ALÉM DOS CURSOS DE ENGENHARIA (CONSOLIDADOS). EM TODOS OS CASOS, FORAM CONSIDERADOS TODOS OS GRAUS OFERECIDOS PELO CURSO: BACHARELADO, LICENCIATURA OU TECNOLOGIA

FONTES CENSO DA EDUCAÇÃO SUPERIOR (MICRODADOS, 2010-2023), MEC/INEP **ELABORAÇÃO** FAPESP/DPCTA/GIP



Cenário sombrio

Quase 40 milhões de pessoas podem morrer no mundo até 2050 em consequência de infecções por bactérias resistentes aos antibióticos

MARIANA CECI

O uso excessivo e indiscriminado de antibióticos na saúde humana e na agropecuária favorece, há décadas, o surgimento de variedades de bactérias resistentes a esses medicamentos, causadoras de infecções cada vez mais difíceis de combater. O resultado é a morte de centenas de milhares de pessoas todos os anos no mundo.

O total de óbitos atribuídos ao adoecimento por bactérias que não sucumbem aos antibióticos disponíveis passou de 1,06 milhão por ano em 1990 para 1,14 milhão em 2021, de acordo com a mais ampla e recente estimativa do problema, apresentada em setembro passado em um artigo na revista científica *The Lancet*. O mais preocupante: os óbitos por bactérias resistentes devem continuar subindo em todas as regiões do globo até 2050 em um ritmo mais acelerado do que nas últimas três décadas.

O trabalho foi realizado por centenas de pesquisadores, alguns deles brasileiros, que integram uma aliança internacional para o acompanhamento da resistência aos antibióticos e outros medicamentos – a GBD 2021 Antimicrobial Resistance Collaborators. Os autores chegaram a essas estimativas ao combinar informações sobre a causa da morte com dados de internações hospitalares e venda e uso de antibióticos, além do perfil de resistência de 22 espécies de bactérias aos mais potentes antimicrobianos disponíveis, coletados em 204 países e territórios entre 1990 e 2021.

O cenário projetado para o futuro próximo, levando em conta o crescimento e o envelhecimento da população, é sombrio: as mortes por infecções bacterianas resistentes a antibióticos devem aumentar no mundo todo até 2050 e chegar a 1,91 milhão de óbitos ao ano. É uma elevação média no total de óbitos atribuídos a esses patógenos de 69,6% em relação a 1990, podendo ser ainda maior em regiões como o sul da Ásia, onde está a Índia, o país mais populoso do mundo, e a América Latina e o Caribe (*ver gráficos na página 44*). Se o quadro geral continuar o mesmo e não surgirem novos antibióticos capazes de debelar essas bactérias nem forem adotadas medidas eficazes (e já conhecidas) para evitar infecções, 39,1 milhões de pessoas podem morrer de 2025 a

2050 como resultado de infecções por microrganismos resistentes aos antibióticos – quase 10% desses óbitos devem ocorrer na América Latina e no Caribe (*ver gráfico na página 45*).

O quadro se torna ainda mais assustador quando às mortes atribuídas aos patógenos resistentes se somam também as associadas, aquelas nas quais havia infecção por bactérias resistentes, mas elas não necessariamente foram as causadoras do óbito. Foram 4,78 milhões de óbitos de ambos os tipos em 1990 e 4,71 milhões em 2021. No período, o crescimento não foi maior porque diminuíram muito as fatalidades por sepse (resposta desajustada do sistema de defesa à infecção), em consequência de avanços no tratamento. Esse número, no entanto, deve chegar aos 8,2 milhões em 2050, em razão do aumento esperado de mortes de infecções por bactérias resistentes entre as pessoas com mais de 50 anos. De hoje até meados deste século, os óbitos diretamente provocados por bactérias resistentes e aqueles em que elas estão presentes, mas não foram as responsáveis pela morte, podem tirar a vida de 169 milhões no mundo, mais do que a população de muitos países.

“Os medicamentos antimicrobianos são um dos pilares da assistência médica moderna, e o aumento da resistência a eles é uma grande causa de preocupação”, afirmou, em um comunicado à imprensa, o epidemiologista iraniano-americano Mohsen Naghavi, líder das pesquisas sobre resistência a antimicrobianos no Instituto de Métricas de Saúde (IHME), na Universidade de Washington, nos Estados Unidos, e autor principal do artigo da *The Lancet*. “Entender como as tendências nas mortes por infecções resistentes aos antimicrobianos mudaram ao longo do tempo e como provavelmente mudarão no futuro é vital para tomar decisões baseadas em informações que podem ajudar a salvar vidas”, completou.

Parte do aumento registrado entre 1990 e 2021 nos óbitos atribuídos e nos associados às bactérias resistentes é consequência do crescimento da população e da mudança no perfil etário. Em 1990, havia cerca de 5,3 bilhões de habitantes no mundo, e aproximadamente 6% tinham mais de 65 anos. Em 2021, a população mundial havia chegado a 7,9 bilhões, e os idosos já eram quase 10%. Os

Ilustração computacional da bactéria *Haemophilus influenzae*, causadora de meningites e pneumonias, que está se tornando resistente a antibióticos

mais velhos são mais suscetíveis a infecções por terem o sistema imune mais frágil, além de mais doenças crônicas, que podem complicar o combate às bactérias. Segundo os autores do estudo, as mortes por infecções bacterianas resistentes a antibióticos nesses 31 anos só não aumentaram mais porque houve uma queda importante entre as crianças com até 5 anos: nesse grupo etário, os óbitos diminuíram mais de 50% – no período, as mortes aumentaram em todos os grupos com mais de 25 anos, em especial entre aqueles com mais de 70 anos, no qual o crescimento foi superior a 80%.

“A queda das mortes entre as crianças mostra que algumas intervenções já conhecidas, como o uso de vacinas para prevenir infecções bacterianas, realmente funcionam”, afirma a neonatologista Cristina Carvalheiro, da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP-USP), uma das autoras do estudo da *The Lancet*. “Vacinar de maneira abrangente as crianças ajuda a evitar infecções e a necessidade do uso de antibióticos, o que pode diminuir as oportunidades de surgimento da resistência microbiana”, explica.

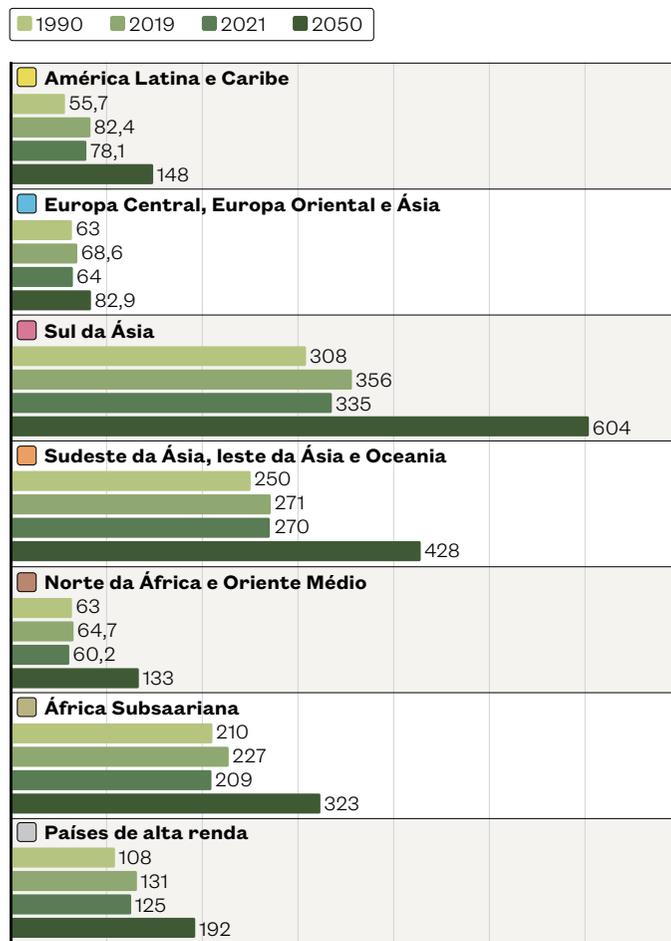
Uma parte do avanço nas mortes em geral se deve, claro, à disseminação das bactérias resistentes aos antibióticos. Esses medicamentos, que inibem o crescimento dos microrganismos ou os matam, podem ter origem natural – produzidos por fungos ou outras bactérias – ou sintética e agem sobre diferentes estruturas das bactérias. Expostas à concentração adequada dos antibióticos e por tempo suficiente, os microrganismos em geral morrem. Se a dosagem e a duração do tratamento forem inferiores ao necessário para eliminá-las, uma parte pode sobreviver e se multiplicar, acumulando alterações genéticas que permitem escapar aos fármacos. Com o uso intensivo desse tipo de remédio na saúde humana e na produção de alimentos, para proteger de doenças e induzir ganho de peso nos animais de criação, as bactérias são continuamente expostas a ele, o que favorece a seleção das variedades resistentes (ver Pesquisa FAPESP nº 335).

No trabalho publicado na *The Lancet*, os pesquisadores projetam o que pode acontecer de 2025 a 2050 em três cenários. No primeiro – e mais provável –, as mortes por infecções bacterianas (resistentes ou não) seguem sem grandes alterações. No segundo, a indústria farmacêutica consegue criar novos antibióticos, em especial contra bactérias do tipo gram-negativo, que têm parede celular mais estruturada – um número crescente de espécies gram-negativas apresenta resistência contra os mais potentes remédios existentes. E,

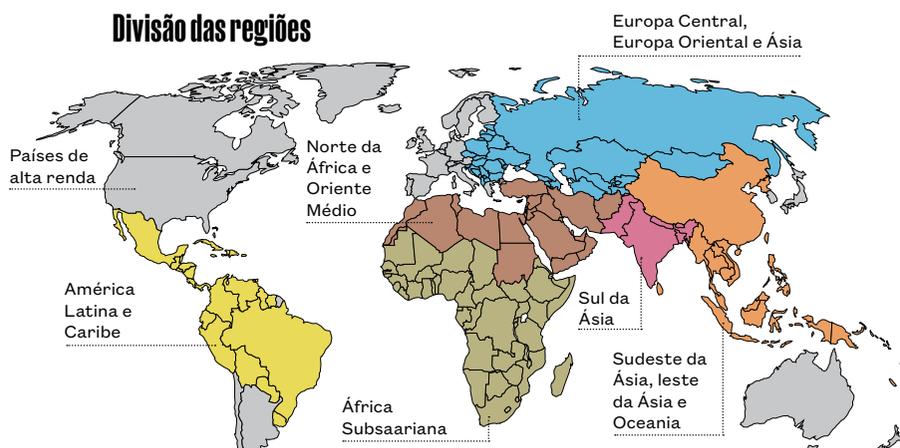
No mundo todo

Estudo estimou a evolução das mortes anuais por bactérias resistentes a antibióticos entre 1990 e 2021 e projetou a taxa para 2050

MORTES ATRIBUÍDAS - EM MILHARES

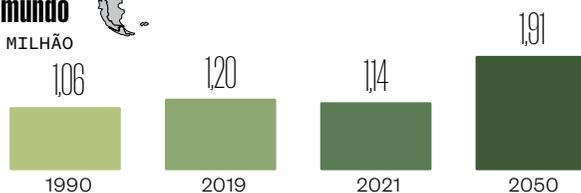


Divisão das regiões



No mundo

EM MILHÃO



FONTE: NAGHAVI, M. ET AL. THE LANCET. 16 SET. 2024

no terceiro, melhoram-se os níveis de vacinação, os cuidados de saúde para prevenir infecções e o acesso adequado aos antibióticos atuais, além do uso correto deles – a falta de antibióticos ainda é comum em países pobres.

Se nada mudar (cenário 1), esperam-se 169 milhões de mortes associadas às infecções por bactérias resistentes no mundo para as próximas duas décadas e meia. Com novos antibióticos (cenário 2), 11,1 milhões de pessoas seriam salvas, segundo os cálculos dos pesquisadores. O impacto maior, porém, seria obtido no terceiro cenário: medidas de prevenção de infecções e o uso adequado dos antibióticos já existentes poupariam 92 milhões de vidas.

“Prevenir infecções por meio de medidas existentes pode gerar um efeito desproporcional por múltiplas vias”, escreveram os autores. Primeiro porque, ao prevenir infecções, reduz-se o risco de microrganismos resistentes entrarem em contato com as pessoas. Segundo porque a prevenção de infecções até mesmo por bactérias suscetíveis a antibióticos leva a uma diminuição no número de pessoas que recebem antibióticos, reduzindo a pressão de seleção para bactérias resistentes a medicamentos. Finalmente, ao melhorar o acesso a água tratada, esgoto e medidas de higiene, baixa-se o risco de disseminação de bactérias resistentes em uma comunidade.

“Nos países em desenvolvimento, a baixa disponibilidade de testes para o diagnóstico de bactérias resistentes, o acesso restrito aos antibióticos apropriados e a falta de infraestrutura nos sistemas de saúde e no saneamento básico contribuem para agravar cada um desses cenários”, explica a geógrafa brasileira especialista em modelagem

epidemiológica Jessica Andretta Mendes, que atualmente faz pós-doutorado na Universidade de Oxford, no Reino Unido, e é coautora do artigo da *The Lancet*. “Uma medida importante para tentar mitigar as mortes é aperfeiçoar a coleta de dados sobre a resistência bacteriana e o seu monitoramento. Quanto mais eficientes forem os serviços de registro, mais compreenderemos as especificidades da resistência nas diferentes regiões, possibilitando, assim, o planejamento de intervenções mais direcionadas”, conta a pesquisadora, que em seu doutorado, financiado pela FAPESP, estudou as epidemias de dengue em Campinas, no interior de São Paulo, e a influência dos focos do mosquito na incidência da doença.

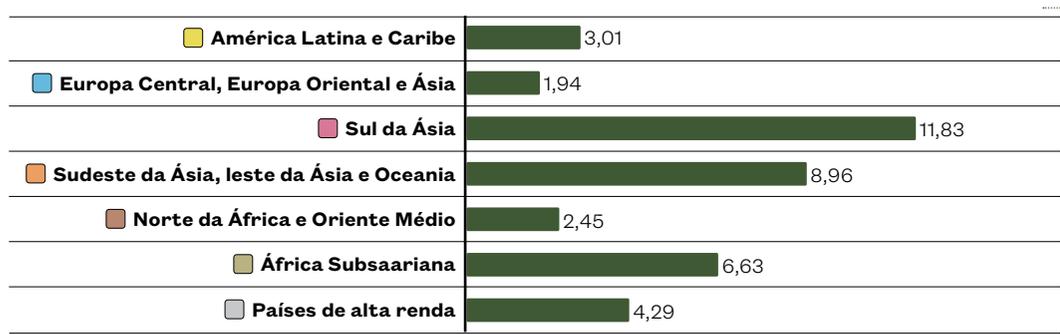
“Além do aumento no acesso e no uso apropriado dos antibióticos e na vigilância das infecções, é preciso fortalecer os programas de educação em saúde para a comunidade, reforçando a importância da vacinação e de medidas preventivas, como a higiene das mãos”, afirma o cirurgião-dentista e patologista brasileiro Marcos Palone, do Saveetha Dental College and Hospitals, na Índia, também coautor da pesquisa.

As infecções por bactérias resistentes, além de provocar mortes, também causam prejuízos importantes no sistema público de saúde. Em 10 anos, de 2013 a 2022, as três infecções mais comuns – pneumonias, urinárias e da corrente sanguínea – levaram a 2,4 milhões de internações em hospitais públicos do estado de São Paulo (com aproximadamente 500 mil mortes associadas às três infecções) e custaram cerca de R\$ 4,7 bilhões, parte delas causada por bactérias resistentes a antibióticos. Esses números foram estimados pelo Grupo de Análise em Infecções e Antimicrobianos (Gaia), coordenado pelo infectologista Carlos Kiffer, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp). Eles integram trabalhos

Ainda evitáveis

Total de óbitos por bactérias resistentes que podem ocorrer de 2025 a 2050 sem novos antibióticos nem melhoras na prevenção de infecções – por região

ACUMULADO DE MORTES ATRIBUÍDAS - 2025-2050 - EM MILHÃO



No mundo

39,11





Fazenda de produção de frangos na China: taxa de infecção por bactérias cresce dos criadouros até o supermercado

aceitos para apresentação em abril no Congresso da Sociedade Europeia de Microbiologia Clínica e Doenças Infecciosas, na Áustria, e receberam financiamento do Projeto Aries, um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) apoiados pela FAPESP.

No estado de São Paulo, existe um sistema de vigilância para a resistência microbiana em operação desde 2004. Mais recentemente, em 2016, começou a ser implementado nos hospitais paulistas o Plano de Prevenção e Controle de Bactérias Multirresistentes (BMR). Ele define as responsabilidades de hospitais, laboratórios de microbiologia e da coordenação estadual e tem como objetivo garantir a notificação dos indicadores epidemiológicos, a realização de testagens e a capacitação de profissionais para medidas de prevenção – entre elas, a já citada prática de higienizar as mãos e a adoção de precauções de isolamento, para evitar que pacientes com suspeita de infecção resistente compartilhem o ambiente com outros.

“A participação de 97% dos hospitais da rede, que enviam regularmente os dados para a Secretaria de Estado da Saúde, já contribui para reduzir as taxas de infecção por meio do chamado ‘efeito da vigilância’”, explica a infectologista Denise Brandão, coordenadora do Programa Estadual de Prevenção e Controle de Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde. De acordo com o relatório mais recente da secretaria, de 2023, o número de amostras isoladas no estado contendo bactérias resistentes apresentou uma queda de 9%, caindo de 2.803, em 2022, para 2.531, em 2023.

Em âmbito nacional, a vigilância da resistência microbiana é feita de forma conjunta pelo Ministério da Saúde e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Desde 2018, o país conta com o Plano Nacional de Prevenção e Controle da Resistência aos Antimicrobianos no Âmbito da Saúde Única (PAN-BR), com a indicação de várias intervenções para reduzir o problema. O plano, no entanto, ainda enfrenta desafios para ser implementado.

Apesar das iniciativas propostas pelo plano nacional para padronizar e sistematizar a coleta e a análise de dados sobre resistência microbiana, há disparidades nas informações que chegam dos estados. Segundo o *Boletim Epidemiológico* publicado em 2024 pelo Ministério da Saúde, de 2015 a 2022, foram identificadas 85.718 amostras de bactérias resistentes a antibióticos no país. Minas Gerais registrou o maior número (20.146), seguido por Paraná (17.748). Já os números mais baixos foram anotados em Alagoas (8) e Roraima (2). De acordo com o boletim, essa sub-representação não reflete necessariamente um baixo volume de casos nesses estados, mas sim “menor sensibilidade da vigilância RAM [organismos resistentes aos antimicrobianos] e o envio limitado dessas amostras aos Laboratórios Centrais de Saúde Pública”.

O infectologista Matias Salomão, pesquisador da Faculdade de Medicina da USP, integra uma equipe internacional que desenvolveu um teste para a detecção mais rápida de bactérias multirresistentes em hospitais. Em sua opinião, o desafio para o controle e a prevenção das infecções por bactérias resistentes ultrapassam os muros hospitalares. “Um exemplo é o das instituições de longa permanência para idosos, onde o isolamento de pessoas com suspeita de infecção não pode ser feito como em uma UTI.”

O problema não está só aí. O controle das infecções vai além da saúde humana. Em um estudo publicado na edição impressa de dezembro da revista *Emerging Microbes & Infections*, pesquisadores da Universidade Agrícola da China analisaram a presença de bactérias resistentes a antibióticos em toda a cadeia produtiva de frangos e porcos da cidade de Chengdu, de 20,9 milhões de habitantes. Esses microrganismos foram identificados em 4,7% das criações de frango e em 2% das de porcos. Essa frequência subiu, respectivamente, para 7,6% e 22,4% nos abatedouros e atingiu 65,5% e 34,2% nas carnes disponíveis nas redes de varejo. “O enfrentamento do problema requer uma abordagem integrada e multissetorial, que considere a saúde humana, o trato com animais e o meio ambiente”, escreveram os autores. ●

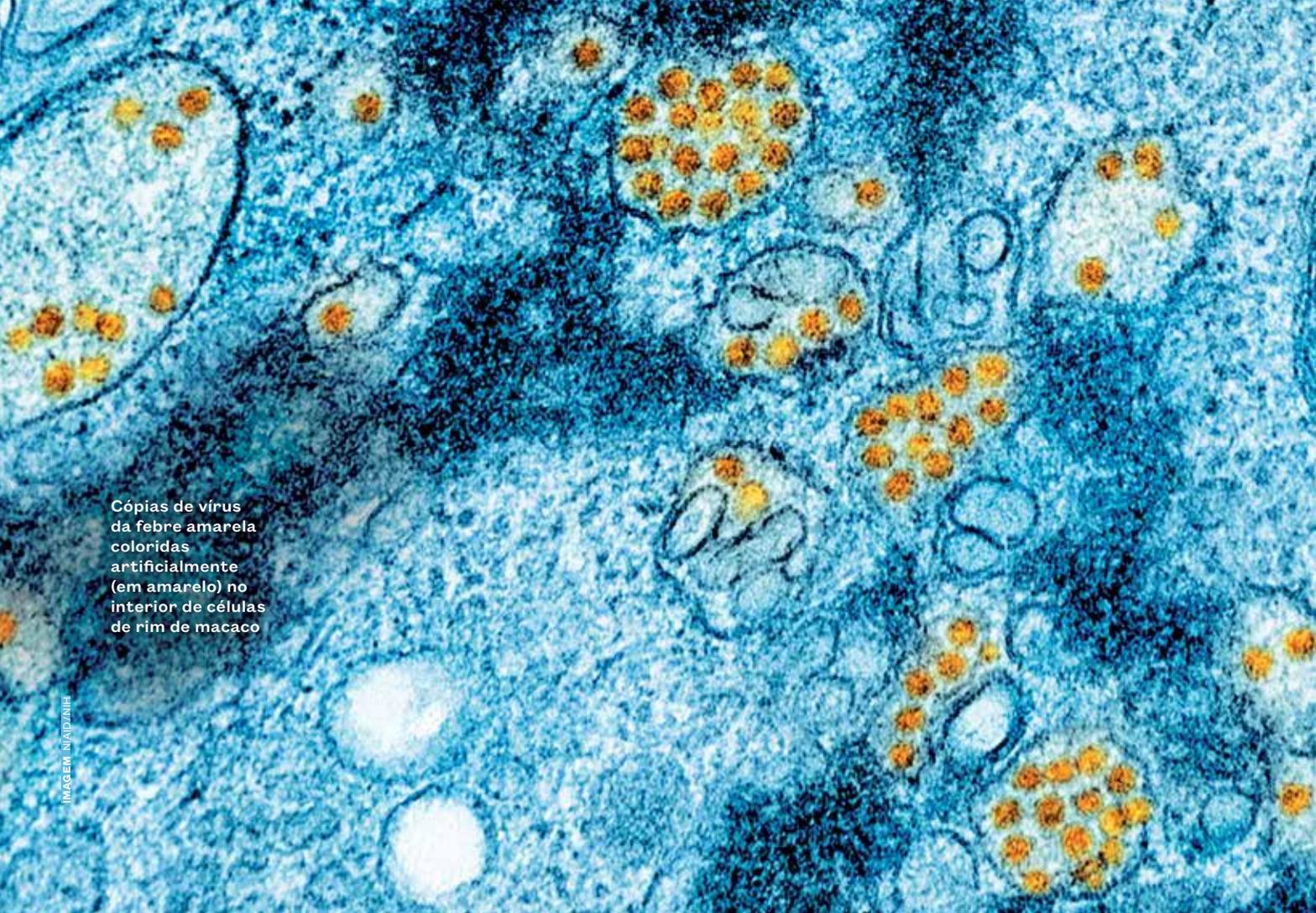
O projeto e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Um vírus devastador

Análises genéticas de pacientes e dados de autopsias revelam como a febre amarela se agrava e leva à morte

RICARDO ZORZETTO

Todo início de ano surgem no país novos casos de febre amarela. Uma razão é que o período é favorável à proliferação dos mosquitos que transmitem o vírus a macacos e seres humanos nas florestas e áreas de mata próximas às cidades. Tem sido assim há décadas e, em 2025, não foi diferente. Até meados de fevereiro, 12 pessoas foram diagnosticadas com a infecção no estado de São Paulo e oito morreram, mais do que em todo o ano anterior. Bem inferiores aos do surto que tomou o Sudeste do país em 2017 e 2018, os números atuais foram suficientes para o Ministério da Saúde emitir uma nota orientando que os viajantes se vacinassem antes de ir para as áreas com transmissão documentada. A Secretaria de Estado da Saúde paulista (SES), por sua vez, alertou os paulistas para se imunizarem. “É importante que toda a população que nunca se vacinou contra a febre amarela o faça”, afirmou Tatiana Lang, diretora do Centro de Vigilância Epidemiológica da SES, em um comunicado de 14 de fevereiro. Endêmica das áreas de floresta da América do Sul e da África Subsaariana, a febre amarela apresenta alta letalidade. Cerca de 90% das pessoas



Cópias de vírus da febre amarela coloridas artificialmente (em amarelo) no interior de células de rim de macaco

infectadas pelo vírus não apresentam sintomas ou têm sinais leves, parecidos com os de um resfriado. Nos 10% restantes, porém, o quadro costuma ser grave e até metade morre. Analisando os dados de quem foi a óbito em consequência da infecção, em especial no último grande surto (ver gráfico nesta página), pesquisadores brasileiros começam a identificar indicadores de como a doença se agrava e a conhecer melhor a desorganização que o vírus causa no sistema de defesa.

No trabalho mais recente, publicado em dezembro no *Journal of Medical Virology*, a equipe do biólogo e imunologista Helder Nakaya e a do imunologista e infectologista Esper Kallás, ambos da Universidade de São Paulo (USP), investigaram o padrão de expressão de quase 25 mil genes em 79 pessoas com infecção confirmada por febre amarela nos primeiros meses de 2018. Elas foram internadas e tratadas no Instituto de Infectologia Emílio Ribas ou no Hospital das Clínicas (HC) da USP e acompanhadas por até dois meses. Vinte e seis morreram e 53 se curaram.

O perfil de expressão dos genes foi bem diferente entre os dois grupos e indicou que, nas pessoas que sucumbiram, o sistema imune apresentou uma resposta bem mais intensa, mas, ao mesmo tempo, ineficaz. “A reação inicial à infecção foi tão exacerbada que contribuiu para a morte dessas pessoas”, conta Nakaya, que também é pesquisador do Instituto Israelita de Ensino e Pesquisa Albert Einstein (IIEPAE), em São Paulo.

Um indicador dessa potência foi a ativação da via gênica associada à produção de interferon, sinalizador químico que integra a primeira bateria da resposta antiviral, chamada de imunidade

inata. Uma vez que o vírus é injetado no corpo pelo mosquito, um tipo de célula de defesa encontrada na pele – a célula dendrítica – o engloba e o digere. Em seguida, inicia a síntese e liberação de interferon, que atua em outros tipos de célula induzindo uma resposta que limita a replicação do vírus. Ao mesmo tempo, o perfil de expressão dos genes de quem morreu provavelmente apresentou falha na produção de outro comunicador químico, a interleucina 1, que estimula a proliferação e o amadurecimento de células de defesa.

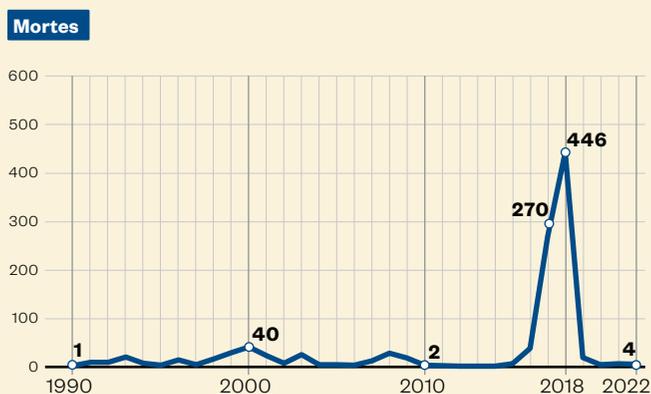
“A síntese de interferon e de outras citocinas que promovem a inflamação é importante, mas, quando é excessiva e prolongada, como nos casos graves de febre amarela, leva ao esgotamento dos órgãos produtores de células de defesa”, explica o imunologista Juarez Quaresma, da Universidade Federal do Pará (UFPA). Ele investiga os mecanismos de morte celular na febre amarela e não participou desse estudo.

Além de produzir interferon, as células dendríticas desempenham outro papel importante: exibem em sua superfície pedaços do vírus e, assim, estimulam outro tipo de célula de defesa – os linfócitos T, que integram a resposta adaptativa – a produzir uma resposta específica contra o agente infeccioso. Nas pessoas que morreram de febre amarela, no entanto, essa apresentação parece estar debilitada, o que pode ter contribuído para a perda de efetividade.

“Os métodos tradicionais de análise da resposta imune permitem avaliar umas poucas proteínas do sangue e dão uma visão limitada de como a infecção evolui. Por isso, usamos a técnica de análise da expressão gênica, que oferece acesso ao quadro global”, explica o bioinformata André Gonçalves, primeiro autor do estudo, que faz pós-doutorado na Universidade de Oxford, no Reino Unido.

O grande surto

Os anos de 2017 e 2018 concentraram o maior número de casos e mortes, em décadas, no Brasil



FONTE ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS)



Mosquito do gênero *Sabethes*, um dos transmissores da febre amarela silvestre na América do Sul

“Esse trabalho ajuda a compreender como o sistema imune das pessoas responde à infecção natural. Muito do que se sabia da imunopatogênese da doença em humanos era baseado na resposta imune à vacina, que simula uma infecção mais branda. Hoje temos indícios de que a resposta à infecção e à vacina podem ser diferentes”, conta a biomédica Cássia Terrassani Silveira, coautora do trabalho e pesquisadora da equipe de Kallás, que também é diretor do Instituto Butantan.

A análise gênica trouxe ainda outro sinal de resposta imune desajustada e ineficiente em quem sucumbe ao vírus. O perfil de expressão gênica dessas pessoas sugeria que seu organismo produzia nos estágios iniciais da febre amarela uma célula de defesa inata mais comum em infecções causadas por bactérias, mas não nas por vírus: os neutrófilos. Mais grave: os neutrófilos aparentemente eram imaturos.

Versáteis e de vida curta, os neutrófilos são uma das primeiras células a migrar para o local da infecção. Ao encontrar um patógeno, em geral uma bactéria, o neutrófilo o envolve e lança sobre ele um banho químico corrosivo. Se a situação foge ao controle, sinais do ambiente o levam a desnovelar o seu DNA e, em um evento explosivo, lançá-lo embebido em compostos tóxicos sobre os invasores. O papel desse mecanismo ainda é investigado nas infecções virais.

Por que, então, o organismo produziria neutrófilos contra o vírus da febre amarela? Esse aliás, era um fenômeno que Kallás e colaboradores já haviam observado no primeiro estudo com os pacientes do Emílio Ribas e do HC, publicado em

2019 na *The Lancet Infectious Diseases*. Na época, os pesquisadores analisaram dados clínicos e laboratoriais de 76 pessoas com febre amarela, das quais 27 morreram. Eles buscavam sinais que pudessem prever quando o caso ia se agravar e o risco de óbito era maior. Identificaram 10 fatores, entre eles ter mais de 45 anos, marcadores elevados de danos nos rins e no fígado e problemas de coagulação do sangue. Dois, no entanto, se sobressaíram: ter uma concentração elevada de vírus no sangue, algo que não havia sido medido na febre amarela (na dengue, por exemplo, essa relação não importa); e apresentar uma contagem de neutrófilos considerada alta para uma infecção por vírus, superior a 4 mil cópias por mililitro.

“Duas das hipóteses que podem explicar a taxa de neutrófilos envolvem a ocorrência de uma resposta inflamatória muito elevada. Ela pode estar estimulando a produção e a liberação de neutrófilos pela medula óssea e a passagem de bactérias do trato gastrointestinal para o sangue em decorrência de uma lesão no revestimento dos intestinos”, explica o biomédico Mateus Thomazella, da equipe de Kallás, que estuda o último fenômeno, a chamada translocação bacteriana, e recentemente identificou no sangue sinais de danos às células intestinais, dados submetidos para publicação.

Os intestinos podem ser apenas mais um dos órgãos danificados na febre amarela grave. O vírus se reproduz preferencialmente nas células dos rins e, em particular, do fígado, mas análises de tecidos e órgãos coletados em autopsias vêm mostrando estragos mais amplos. Inspeccionando os órgãos de 73 pessoas que morreram em consequência da febre amarela, o grupo do patologista Amaro Duarte Neto, da USP, identificou lesões no coração de mais de 90% delas. Os dados foram apresentados em um artigo publicado em 2023 na revista *eBioMedicine*. No ano seguinte, na mesma publicação, a equipe da médica Ester Sabino, também da USP, demonstrou um mecanismo pelo qual o vírus lesiona o endométrio, o revestimento interno dos vasos sanguíneos.

Anos antes, Quaresma, da UFPA, analisando tecidos de 10 pessoas que morreram de febre amarela em outros estados brasileiros, já havia observado que as citocinas produzidas em resposta ao vírus alteravam o comportamento do endotélio, facilitando a entrada de células de defesa no tecido pulmonar, o que produz danos, sangramento e acúmulo de muco, como detalhou em artigo na revista *Viruses* em 2022. “Com o agravamento da infecção, o pulmão é o último órgão a ser comprometido e leva à morte”, afirma o imunologista. ●

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



O Alzheimer e as mulheres

Moléculas irmãs ligadas à produção de energia e ao controle da ativação dos genes podem explicar por que o declínio cognitivo é mais comum no sexo feminino

MARIANA CECI

Por razões não muito claras, a doença de Alzheimer, a forma mais comum de demência, é duas vezes mais frequente nas mulheres do que nos homens. Uma possível explicação para a diferença foi apresentada em janeiro em um artigo na revista *Molecular Psychiatry*. No trabalho, um grupo internacional de pesquisadores, com vários brasileiros, analisou o desempenho cognitivo e compostos encontrados no sangue e no líquido que banha o cérebro e a medula espinhal de 125 homens e mulheres do Brasil e dos Estados Unidos. Os resultados sugerem que um provável fator por trás das taxas desiguais do problema sejam duas moléculas: a carnitina e uma de suas formas modificadas, a L-acetil-carnitina (LAC), que estão em níveis mais baixos no sangue de quem tem demência do que no das pessoas saudáveis.

Resultado da combinação de dois aminoácidos (componentes básicos das proteínas), a carnitina é obtida pela ingestão de carnes, peixes e laticínios e produzida em menor quantida-

Alterações hormonais após a menopausa podem desregular o metabolismo e afetar o cérebro

de pelo corpo. A maior parte fica estocada nos músculos e uma pequena proporção que circula no sangue – a carnitina livre – serve como reserva para os tecidos.

Nas células, parte da carnitina é transformada em LAC e executa várias funções importantes. Uma é transportar para as mitocôndrias, a usina de energia das células, um tipo específico de gordura – os ácidos graxos de cadeia longa, como o ômega-3, encontrado em peixes, e o ômega-9, contido no azeite de oliva – que é convertido em combustível celular. A LAC também regula a atividade de genes que codificam proteínas associadas à formação de conexões (sinapses) entre os neurônios, em especial no hipocampo, região cerebral ligada à formação da memória e comprometida no Alzheimer, e entra na composição da acetilcolina, um mensageiro químico (neurotransmissor) fundamental para a memória e o aprendizado. Ela auxilia ainda as mitocôndrias a se livrarem de compostos tóxicos.

A medição dos níveis de LAC e de carnitina no sangue dos participantes mostrou que tanto a primeira quanto a segunda caem com o avanço do declínio cognitivo. A concentração média de LAC em homens e mulheres foi de 9,5 micromoles por litro de sangue ($\mu\text{mol/L}$) nas pessoas sem perda cognitiva, de 8,4 $\mu\text{mol/L}$ naquelas com declínio cognitivo leve e 7,9 $\mu\text{mol/L}$ nas diagnosticadas com Alzheimer.

Já a carnitina, que é reciclada na mitocôndria e retorna ao sangue após a transformação da gordura em energia, comportou-se diferente. Nas mulheres, o nível médio caiu de 39,3 $\mu\text{mol/L}$ nas saudáveis, para 36 $\mu\text{mol/L}$ naquelas com declínio cognitivo leve e 31,3 $\mu\text{mol/L}$ nas com Alzheimer. Os homens já tinham níveis de carnitina mais baixos, e não houve variação entre a concentração medida nos saudáveis e naqueles com perda cognitiva. Segundo os autores, esse achado sugere que as mulheres com risco de desenvolver demência apresentam um estágio mais avançado de disfunção mitocondrial do que os homens na mesma situação.

Os resultados encontrados para os 75 brasileiros foram semelhantes aos observados entre os 50 norte-americanos participantes do estudo, coordenado pela neurocientista Carla Nasca, da Universidade de Nova York, nos Estados Unidos, e pelos neurocientistas brasileiros Mychael Lourenço, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e Fernanda De Felice, da UFRJ, do Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino (Idor) e da Queen's University, no Canadá.

“Essas alterações na carnitina livre e na LAC podem refletir mudanças no metabolismo das

mitocôndrias em todo o organismo”, conta De Felice, que anos atrás foi convencida pelo neurocientista Bruce McEwen (1938-2020), então da Universidade Rockefeller, a investigar o papel dessas moléculas no Alzheimer – ele estudava seu efeito na depressão.

Na época, experimentos com roedores e macacos tinham mostrado que alterações no funcionamento das mitocôndrias poderiam estar associados aos danos observados na doença de Alzheimer. Paralelamente, trabalhos anteriores da equipe de Nasca indicaram que o aumento dos níveis de LAC melhorava o desempenho de camundongos em testes cognitivos por ativar genes que favoreciam a formação de novas sinapses. Roedores com níveis diminuídos de LAC no cérebro e no sangue se saíram pior nesses testes. “O papel da LAC de realizar alterações epigenéticas [que mudam a expressão dos genes, mas não alteram o DNA] é de especial interesse para a saúde das sinapses”, conta Lourenço.

“Essas evidências devem direcionar os estudos para investigar as alterações metabólicas em mulheres, como as que ocorrem depois da menopausa”, afirma o biomédico Ricardo Lima-Filho, coautor do estudo da *Molecular Psychiatry*. As mulheres dos dois grupos tinham 55 anos ou mais, e todas, exceto uma, já haviam passado pela menopausa. “Ainda estudamos pouco se certas patologias afetam as mulheres de modo diferente dos homens. Há diversas hipóteses sobre como as mudanças metabólicas podem ser um dos fatores por trás dessas diferenças no caso do Alzheimer”, completa o pesquisador, que faz pós-doutorado sob a supervisão de Lourenço na UFRJ.

O grupo suspeita que as alterações hormonais após a menopausa desregulem o metabolismo de gordura e a disponibilidade de carnitina e LAC, com possível impacto no cérebro. “Queremos explorar o mecanismo por trás disso em experimentos com animais”, conta Lourenço.

Para o neurologista Paulo Bertolucci, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), compreender melhor o impacto metabólico na doença pode abrir caminhos para novas estratégias de prevenção e tratamento. “Esses compostos atuam de várias formas, com efeitos mais ou menos específicos no Alzheimer. Por isso, o mais viável não é pensar em cápsulas de LAC, mas incentivar uma alimentação que forneça esses nutrientes naturalmente”, explica. ●

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



O grande milharal amazônico

Sítios arqueológicos bolivianos guardam resquícios de plantações capazes de sustentar uma numerosa população humana, contribuindo para a domesticação de patos

MARIA GUIMARÃES

Antes da chegada dos europeus à América do Sul, a cultura Casarabe ocupava grandes áreas do sudoeste amazônico, em um período estimado entre os anos 500 e 1400. Cada vez mais surgem indícios de uma ampla população que, na planície boliviana conhecida como Llanos de Moxos, mantinha extensos milharais. E isso é surpreendente. Artigos publicados nos últimos meses permitiram classificar essas plantações como monoculturas, como o do fim de janeiro na revista *Nature*, reforçar a importância do milho na dieta humana e associá-lo à domesticação de patos, segundo o divulgado em dezembro na *Nature Human Behaviour*.

“Sempre achamos que as populações pré-colombianas daquela região cultivassem uma variedade de plantas, como as ‘três irmãs’ [milho, abóbora e feijão] na América Central, ou que adotassem práticas agroflorestais”, explica o arqueólogo ambiental italiano Umberto Lombardo, da Universidade Autônoma de Barcelona, na Espanha, autor principal do artigo da *Nature*, que teve participação de integrantes do grupo do arqueólogo Eduardo Góes Neves, do Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo

(MAE-USP). “Encontrar uma monocultura de milho foi uma verdadeira surpresa”, completa ele, que viveu na região há pouco mais de 20 anos e pesquisa ali desde 2006.

Já se sabia, de trabalhos anteriores, que toda aquela área é repleta de resquícios de assentamentos humanos, com centenas de montes monumentais conectados por canais e caminhos. “Eles são organizados de acordo com um padrão hierárquico, com montes maiores no centro de agregados de montículos menores”, descreve Lombardo. “Isso sugeriria a presença de uma organização social acima do nível de cada assentamento, provavelmente com algum poder centralizado.”

Uma mistura de técnicas de sensoriamento remoto, análises microbotânicas e levantamentos de campo evidenciaram agora uma engenharia da paisagem voltada ao plantio, com canais de drenagem para escoar a água nos meses chuvosos, quando tudo alaga, e lagos para reter água na estação seca, o que também seria precioso para atrair caça. De acordo com a investigação de vestígios de plantas, como os fitólitos (moldes petrificados das células vegetais, preservados em grande quantidade nos Llanos de Moxos), havia uma presença intensa de milho nos campos e lagoas, mas não nas partes onde havia floresta – o que deixaria claro que o cultivo não se dava em um contexto agroflorestal.

Lavoura antiga

Estudos arqueológicos na região de **Llanos de Moxos**, na Bolívia, indicam que o milho era um alimento central na vida da **cultura Casarabe**

FONTE HERMENEGILDO, T. ET AL. NATURE HUMAN BEHAVIOUR. 2024



“Por décadas houve muito debate sobre o papel do milho”, relata a arqueóloga britânica Jennifer Watling, do MAE-USP, que supervisionou o trabalho de pós-doutorado do arqueobotânico brasileiro Lautaro Hilbert, coautor do artigo, na região. A dúvida vinha, em parte, do fato de que é uma planta que requer solos férteis, o que se pensava não existir na Amazônia – e já se demonstrou falso com o conhecimento sobre a terra preta ainda hoje fabricada por povos indígenas.

Em menor escala, Watling e colegas identificaram – também nas áreas florestais – fitólitos de abóbora, mandioca, cabaça, entre outras plantas.

Milharal na Amazônia peruana: em alguns lugares há raças nativas





Lagos pré-colombianos serviam para irrigação

“Nos pontos mais altos, que não alagam na estação das chuvas, há floresta, que provavelmente era manejada”, destaca. Segundo ela, o trabalho da *Nature* ressalta a importância do milho na dieta daqueles habitantes. O mesmo vale para o artigo de dezembro na *Nature Human Behaviour*, cujo primeiro autor é o arqueólogo brasileiro Tiago Hermenegildo. Ele estudou material dos Llanos de Moxos durante o doutorado, concluído em 2022, na Universidade de Cambridge, Reino Unido, com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O material agora foi repatriado e está depositado no museu em Trinidad, Bolívia, construído como retribuição a partir de fundos do projeto europeu.

“No sítio há evidências consideráveis da presença do milho”, afirma Hermenegildo. “Há vestígios nas cerâmicas, no solo, nos restos de grãos e de sabugos.” Os achados dependem muito do acaso, que em parte determina o que é preservado ou não, e de estarem presentes nas áreas amostradas pelos arqueólogos, que recolhem os pequenos grãos depois de peneirar os sedimentos escavados. Para fugir um pouco dessa necessidade de sorte, Hermenegildo desde o mestrado se concentrou no estudo de isótopos estáveis, formas variadas de átomos cuja composição não se altera ao longo do tempo, como acontece com os radioativos.

A COMIDA QUE FICA NO COLÁGENO

“O tipo de carbono encontrado no colágeno preservado junto aos ossos é indicativo dos vegetais consumidos, enquanto o nitrogênio está associado à proteína animal”, explica. Ele complementa que na Amazônia não ocorrem naturalmente plantas do tipo C4 consumidas por seres humanos, como é o caso do milho, cujo mecanismo de fotossíntese produz moléculas com quatro átomos de carbono. Encontrar esse tipo de carbono em ossos humanos e animais indica, portanto, o consumo de milho.

Watling, que não trabalha com isótopos estáveis, considera esse tipo de análise mais informativo para inferir a dieta, já que se detecta aquilo que as pessoas e animais consumiram em vida. Mas o quadro mais amplo não deixa de ser importante. Antes do estudo isotópico, é fundamental conhecer a caracterização zooarqueológica e arqueobotânica do sítio, de acordo com Hermenegildo: quais animais e plantas existiam no contexto da vida humana. “Fomos descobrindo muitos ossos de pato durante a ex-

Dificuldades com o uso de isótopos na arqueologia

Custo, acesso e preocupações éticas ainda limitam expansão da técnica

Tiago Hermenegildo terminou o mestrado em 2009 no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq-USP). “Fui para lá pela experiência com análises de isótopos estáveis, mas ninguém trabalhava com arqueologia.”

Ainda hoje, a ferramenta tem uso incipiente no país, inclusive por um problema de investimento, de acordo com a antropóloga portuguesa Maria Ana Correia, pesquisadora do Centro Interdisciplinar para Arqueologia

e Evolução do Comportamento Humano, Portugal, e associada ao Laboratório de Arqueologia e Antropologia Ambiental e Evolutiva da USP. Ela também afirma que a preservação do colágeno é difícil em muitos sítios arqueológicos brasileiros, em consequência da alta temperatura e umidade.

Correia é coautora de um artigo publicado na edição de janeiro da revista *American Journal of Biological Anthropology*, que ressalta os cuidados éticos necessários nesse

tipo de estudo. “Devemos selecionar amostras arqueológicas criteriosamente, priorizando a preservação para estudos futuros – não sabemos que técnicas estão por inventar – e registrando todo o processo”, sugere. “Também é preciso estabelecer relações de responsabilidade com a sociedade como um todo, mas particularmente com atuais representantes das comunidades em estudo.” Para ela, é encorajador ver estudos desenvolvidos sob liderança latino-americana.



2

Ossos de pato-do-mato, a única espécie local domesticada a leste dos Andes (à esq.), estão presentes nos achados arqueológicos (abaixo)



3

ploração do material de fauna”, conta ele. Isso foi surpreendente por ser incomum, e fez diferença nas interpretações.

O estudo trouxe os primeiros indícios arqueológicos reforçando a posição do pato-do-mato (*Cairina moschata*), nativo daquela região, como a única domesticação local a leste da cordilheira dos Andes. “Os isótopos estáveis mostram que eles comiam uma proporção de milho ainda maior do que as pessoas”, conta Hermenegildo.

Ele ressalta, no entanto, que o uso das aves era provavelmente ritual – algo registrado em relatos deixados por padres que andaram por ali nos séculos XVI e XVII. “Ainda não dá para saber em qual contexto e quantidade as pessoas comiam patos.” Os dados de isótopos estáveis ainda não permitem distinguir as fontes de proteína animal, ele explica, mas os ossos de fauna recuperados da escavação são principalmente de cervídeos. Esses animais, que podiam chegar a 40 quilogramas (kg), eram caçados e representavam uma refeição bem mais significativa para a comunidade.

Para Hermenegildo, o que seu trabalho mostra de mais importante é a centralidade do milho na alimentação pré-colombiana daquela área, cuja urbanização se deu em torno do cultivo. Há indícios, segundo ele, de uma rede de troca entre as terras baixas amazônicas e os Andes, de forma que utensílios e adornos de cobre aparecem em sítios dos Llanos de Moxos. O milho acabou sendo também plantado nas montanhas, mas ainda não se sabe por qual rota. “A domesticação desse cultivo à altitude demorou mais”, explica. Depois da chegada dos colonizadores europeus, as populações amazônicas

começaram a ser dizimadas e os registros de milho também se tornaram mais escassos, uma vez que a lavoura precisa de cuidado humano para prosperar.

“O sudoeste da Amazônia é um importante centro de diversificação em que raças nativas de milho foram desenvolvidas e adaptadas”, reitera a geneticista Flaviane Costa, pesquisadora em estágio de pós-doutorado na Universidade de Oxford, Reino Unido, que não participou dos estudos. Para ela, que é especialista na domesticação do milho e nas raças nativas ainda hoje plantadas na Amazônia, entender o histórico ligado à agricultura e ao patrimônio genético e cultural é importante inclusive, no âmbito de políticas públicas atuais de conservação e de segurança alimentar.

Costa considera crucial que os estudos de Hermenegildo, Lombardo e colaboradores sejam aprofundados para mensurar o tamanho dos campos de cultivo da cultura Casarabe e entender a diferença em relação ao que os povos indígenas praticam hoje. Ela põe ressalvas no uso do termo “monocultura”. “Os sistemas agrícolas tradicionais são muito dinâmicos em relação ao manejo e cultivo do milho e conservam uma diversidade grande em termos de raças locais e suas características, possibilitando usos diversos.” De acordo com Lombardo, os achados na Bolívia sugerem que a produção de alimento seria suficiente para alimentar uma população numerosa, mas isso ainda é especulativo. “Precisamos de um mapa de todos os lagos e canais para ter uma estimativa de quanto poderia ser produzido na área inteira, e a partir daí talvez possamos traçar um modelo da população passada”, planeja o arqueólogo italiano. ●

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

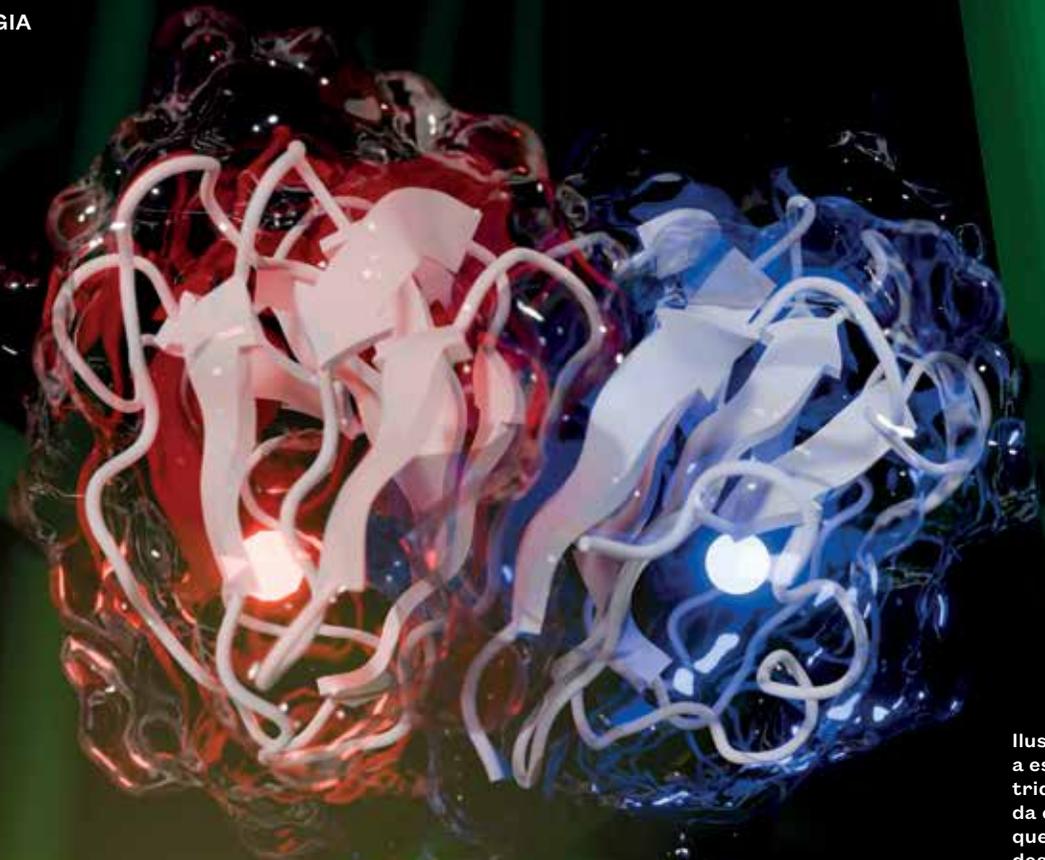


Ilustração mostra a estrutura tridimensional da enzima CelOCE, que acelera a degradação da celulose em glicose

Do chão para a usina

Enzima de bactéria que vive entre o solo e pilhas de bagaço de cana pode aumentar a produtividade do etanol de segunda geração

MARCOS PIVETTA

Qual seria o lugar com maior probabilidade de haver microrganismos especializados em quebrar a parede celular da cana-de-açúcar, desconstruir a celulose (um carboidrato longo que dá rigidez às plantas e não fermenta), e transformá-la em moléculas menores, de glicose, esse sim um tipo de açúcar que fermenta facilmente?

Resposta: em um ponto de uma usina de açúcar e álcool em que o solo é repetidamente coberto, há anos, por pilhas e pilhas de bagaços de cana. Foi em ambientes com essas características em refinarias de cana-de-açúcar do interior paulista que um grupo de pesquisadores do Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) descobriu uma pequena enzima que acelera a desconstrução da celulose e a reduz a moléculas de glicose. O LNBR é um dos quatro laboratórios do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas.

Batizada de CelOCE (do inglês, Cellulose Oxidative Cleaving Enzyme), a enzima é composta de 110 aminoácidos e é produzida por uma bactéria até então desconhecida, do filo não caracterizado UBP4, que vive em meio aos resíduos de biomassas-

sa da cana e em ambientes aquáticos. A partir de amostras do solo sobre o qual, há mais de duas décadas, são estocados resíduos de cana, os pesquisadores obtiveram o DNA da bactéria e descobriram a sequência genética do microrganismo que fornece as instruções para produção da enzima.

“Mostramos que existem bactérias na natureza que sabem explorar a poderosa química redox para desconstruir a celulose”, diz Mario Murakami, diretor científico do LNBR, coordenador do grupo de pesquisa que publicou em fevereiro artigo na revista *Nature* sobre a descoberta da CelOCE. “Essa enzima tem grande potencial para aumentar a produtividade das biorrefinarias de biomassa vegetal, como as de etanol.”

A maioria dos autores do trabalho, que contou com financiamento parcial da FAPESP, é do CNPEM. Também assinam o estudo colegas do *campus* de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (USP), da Universidade Aix Marseille, da França, e da Universidade Técnica da Dinamarca (DTU).

Para simular o emprego da nova enzima em condições semelhantes às utilizadas pela indústria, a equipe de Campinas testou seu uso em biorreatores menores, de 65 litros (l) e 300 l. Segundo o estudo, a adoção da CelOCE elevou em 21% a eficiência do coquetel enzimático comercial hoje usado para produzir etanol de segunda geração. Esse tipo de biocombustível é obtido a partir da desconstrução parcial da parede celular de resíduos vegetais, no caso da cana, do bagaço ou da palha. Parte dos açúcares presentes nessas estruturas vegetais que não fermentam, como a celulose, é transformada em glicose, que fermenta e gera o etanol. Esse processo é caro e bem menos eficiente do que a obtenção de álcool da forma mais tradicional, a partir do sumo da cana, líquido em que os açúcares já estão prontos para fermentar. “Hoje é possível aumentar em 10% a eficiência do coquetel com o emprego das LPMO [enzimas descobertas há mais de 20 anos que auxiliam a degradação da celulose]”, comenta o diretor científico do LNBR. “Mas o ganho incremental de eficiência proporcionado pela nossa enzima é aproximadamente o dobro do obtido com as LPMO.”

A equipe de Murakami dominou todo o processo de produção da enzima, cujo pedido de patente já foi solicitado. Eles clonaram o gene da bactéria que produz a CelOCE e o introduziram, com a ferramenta de edição molecular Crispr-Cas9, no fungo *Trichoderma reesei*. Assim, o fungo é capaz de produzir a CelOCE concomitantemente com as enzimas comercialmente empregadas no coquetel para degradar a celulose.

“Um dos momentos mais interessantes da pesquisa foi quando conseguimos, usando as instalações do Sirius, resolver a estrutura cristalográfica

da enzima”, comenta o biólogo molecular Clelton Aparecido dos Santos, do LNBR, primeiro autor do artigo. “Descobrimos que ela tem um arranjo incomum, com um sítio ativo compacto e um modo peculiar de interação com a celulose.” Maior equipamento científico do país, o acelerador Sirius é a fonte de luz síncrotron do CNPEM.

“É um trabalho fantástico”, diz Igor Polikarpov, do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da USP, que não participou da pesquisa e estuda biologia estrutural e biofísica molecular e suas aplicações nas áreas de bioenergia e biotecnologia. “A CelOCE certamente será útil na hidrólise [quebra] enzimática de biomassa com celulose e pode vir a ser aplicada para a produção de etanol de segunda geração.”

Para o botânico Marcos Buckeridge, do Instituto de Biociências (IB) da USP, que pesquisa a produção de bionergia, o *paper* é extremamente bem-feito. “Eles usam muito bem as melhores técnicas de pesquisa disponíveis. Com isso, conseguiram fazer uma caracterização muito boa da enzima”, diz o pesquisador, que não participou do estudo com a CelOCE. O LNBR está em negociação com duas empresas para possivelmente licenciar a utilização do biocatalisador para a produção de etanol de segunda geração. ●

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

A nova enzima foi descoberta em bactérias que vivem no bagaço de cana em usinas de etanol



As vantagens de ser ultrapreto

Couraça escura de espécies de vespas da Caatinga permite manter o corpo a uma temperatura menor que a do ambiente

CARLOS FIORAVANTI

Exoesqueleto de *Traumatotutilla bifurca* absorve 99,5% da luz



“**P**edro, esse bicho é diferente.” Vinicius Lopez ainda fazia a graduação em biologia em Dourados, em Mato Grosso do Sul, quando, no início de 2017, mandou por celular essa mensagem e fotos de vespas machos e fêmeas de uma espécie aparentemente desconhecida para o biólogo Pedro Bartholomay, então cursando o doutorado no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), em Manaus, Amazonas. Bartholomay é especialista em himenópteros, o grupo que reúne abelhas, formigas e vespas.

Lopez recebeu as imagens do também estudante de biologia Herbeson Martins, que fotografou as vespas em uma área de Caatinga preservada no *campus* da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), em Petrolina, Pernambuco. A troca de informações e o trabalho conjunto entre os três amigos embasaram um estudo sobre um grupo

peculiar de vespas, dotadas de mecanismos evolutivos raros: são as primeiras vespas com manchas ou faixas ultrapretas, capazes de refletir apenas 0,5% da luz, identificadas no Brasil. Outros animais – borboletas, peixes, aves e ursos panda – também têm manchas brancas, pretas ou ultrapretas, que lhes permitem se apagar na paisagem e confundir predadores.

Ao receber a mensagem de Lopez, Bartholomay conta que se lembrou de um exemplar de uma fêmea dessa espécie aparentemente nova guardada na Universidade Federal do Paraná (UFPR). Havia sido coletada em 2012 no município cearense de Russas pelo biólogo Kevin Williams, do Departamento de Alimentos e Agricultura da Califórnia, nos Estados Unidos. O norte-americano a classificou como provável espécie nova, chamada provisoriamente de *Goncharovtilla oblomovi*, mas não pôde avançar em sua descrição por não ter exemplares suficientes.

Bartholomay, Lopez e Martins confirmaram por análise de DNA que os exemplares coletados em Pernambuco e no Ceará eram realmente espécies singulares. Em seguida, começaram a escrever uma descrição detalhada, em colaboração com Williams e Roberto Cambra, da Universidade do Panamá, que também havia descoberto uma espécie nova naquele país. O relato completo dos dois novos gêneros, cada um com uma espécie, agrupados na família Mutillidae, foi publicado em novembro de 2024 na revista científica *Zootaxa*.

FILTROS DE LUZ

Durante o doutorado, concluído em 2024 na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP) da USP, mediu em um espectrômetro – aparelho que mede a luz refletida de um objeto – a intensidade do preto de *G. oblomovi* e *Traumatotutilla bifurca*, outra espécie de vespa da Caatinga, encontrada também no Cerrado. “O preto das duas espécies

era mais intenso que o preto usado para calibrar o equipamento”, observou Lopez, desde 2024 em estágio de pós-doutorado na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

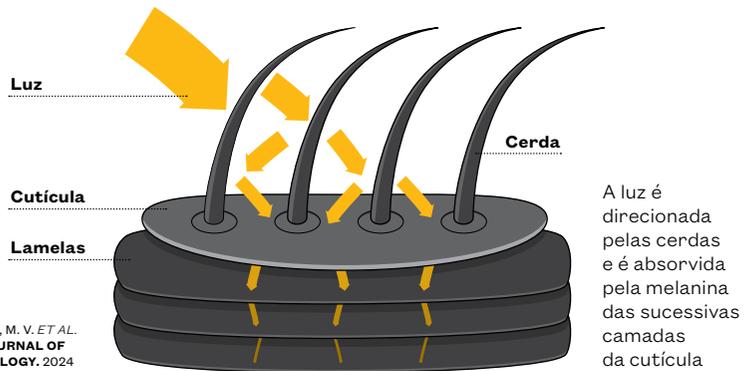
T. bifurca reflete tão pouca luz por causa da estrutura de sua couraça, também chamada de cutícula. Como detalhado em um artigo de dezembro na *Beilstein Journal of Nanotechnology*, as cerdas direcionam a luz para as camadas – ou lamelas. Em cada camada, o pigmento melanina absorve a luz, e o que sobrar passa à camada seguinte e é absorvido, sucessivamente (ver infográfico).

A cor escura ajuda a manter o corpo das vespas 2 graus Celsius abaixo da temperatura externa, como mostrado experimentalmente pelos biólogos brasileiros e alemães. “Nem sempre a ideia de que o preto esquenta mais que o branco está correta”, diz Lopez. “As cores escuras podem resultar de absorção da luz por estruturas que dissipam muito calor, e as claras de superfícies que absorvem pouca luz, mas, como emitem pouca radiação, retêm quase tudo o que recebem na forma de calor.” Segundo ele, as partes brancas e pretas das vespas apresentam o mesmo comportamento térmico, por serem constituídas pelo mesmo tipo de cutícula. Nos urubus, porém, o preto esquenta muito e ajuda a matar os patógenos que saem das carniças que comem.

“Para vermos os efeitos da coloração superpreta na camuflagem, teríamos de

Caminho sem volta

Cerdas e revestimento preto de *T. bifurca* favorecem absorção da luz



FONTE LOPEZ, M. V. ET AL. BEILSTEIN JOURNAL OF NANOTECHNOLOGY, 2024

saber quem são os predadores, pois tudo depende de como quem está caçando localiza a presa”, comenta o biólogo Alexandre Palaoro, da UFPR, especialista em lutas animais (ver reportagem “A hora de brigar ou desistir”). Segundo ele, o preto se associa ao mecanismo de controle da temperatura, que guia a luz e o calor para regiões específicas do corpo. “O abdômen de insetos é notoriamente fino e dissipa muito bem o calor.”

FÊMEAS DURONAS

Martins, desde 2024 cursando o doutorado no Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP), observou que os machos e as fêmeas são solitários, mais ativos no início da manhã e final da tarde e igualmente cobertos por manchas brancas e pretas. Ambos chamam, uma habilidade que rendeu a elas

o popular nome de formigas chiadeiras. Quando se sentem ameaçadas, as vespas fazem vibrar duas placas sob o abdômen, e a fricção gera um chiado que tende a afastar o suposto perigo.

Também há grandes diferenças entre eles. Os machos têm asas, voam, não têm ferrão e medem de 4 a 9,5 milímetros (mm) de comprimento, tentam acasalar com fêmeas até mesmo de outras espécies e morrem após copular. As fêmeas não voam, têm ferrão (cuja picada é dolorida), são maiores, com 6 a 10 mm, recusam outros machos depois de terem sido fertilizadas e parasitam ninhos de abelhas, nos quais depositam os ovos. A couraça das fêmeas também é mais dura que a dos machos. “São pequenos tanques blindados”, compara Lopez.

Pesquisadores do Hanover College e das universidades dos estados de Missouri e do Tennessee, nos Estados Unidos, concluíram que as fêmeas de outras espécies de vespas da família Mutillidae, todas com manchas ultrapretas “parecem ser quase imunes à predação”, como relatado em um artigo publicado em maio de 2014 na *Ecology and Evolution*. A constatação resultou de um experimento em que as vespas foram oferecidas a lagartos, aves, sapos e pequenos mamíferos. Duas aves bicaram uma vespa, após vários ataques fracassados, e apenas um sapo as comeu, mas depois regurgitou, piscando muito, uma indicação de dor; na segunda vez em que foi oferecida, recusou. ●



Em aves como este urubu-de-cabeça-amarela, o calor gerado pela coloração preta favorece a eliminação de microrganismos

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

Mais calor, menos aves



Aumento de 1°C teria reduzido em 63% a taxa de sobrevivência aparente de espécies que vivem em um trecho de floresta preservada da Amazônia

RENATA FONTANETTO

Na Amazônia, muitas aves encontram refúgio na rica vegetação de menor porte que cresce abaixo da copa das árvores. Artigo publicado em 29 de janeiro no periódico *Science Advances* sugere que o aumento de 1 grau Celsius (°C) na temperatura média durante a estação seca, de maio a outubro, tenha reduzido em quase dois terços a taxa de sobrevivência aparente das aves que habitam sub-bosques da floresta tropical, mesmo que essa área esteja em uma região praticamente sem interferência humana.

A conclusão do estudo se baseia em um trabalho de modelagem estatística que associou dados de temperatura e de pluviosidade com números de captura e de recaptura de 4.264 exemplares de 29 espécies de aves, previamente pegadas, identificadas por meio de um anel e soltas na natureza. Os animais foram apanhados entre 1985 e 2012 em 20 pontos dentro dos 3.180 hectares de floresta preservada do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (PDBFF), situado a 80 quilômetros ao norte de Manaus.

Composto de 23 parcelas de floresta, o PDBFF é uma unidade de conservação federal e a pesquisa em sua área é coordenada pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) em parceria com o Instituto Smithsonian, dos Estados Unidos.

Segundo o estudo, o aumento de calor durante a estação seca reduziu em 63% a taxa média de sobrevivência aparente da comunidade das aves que vivem nos sub-bosques do PDBFF. Isso significa que, em razão do aumento da temperatura, a probabilidade de uma ave sobreviver de um ano para o outro caiu para cerca de um terço do que seria o esperado caso a temperatura tivesse se mantido mais amena.

“Aves tropicais são muito sensíveis às mudanças que afetam seu meio de vida”, afirma a *Pesquisa FAPESP* o autor principal do estudo, o ornitólogo Jared Wolfe, da Universidade Tecnológica de Michigan, nos Estados Unidos, e colaborador do Inpa. “Há uma influência bastante dramática de uma estação seca cada vez mais quente e árida na sobrevivência de praticamente todas as aves que analisamos no sub-bosque da Amazônia.”

Mãe-de-taoca-de-garganta-vermelha, papa-formiga-de-topete e cabeça-branca: três das 29 espécies de aves estudadas



jogar para baixo os números relativos à sobrevivência aparente: o óbito propriamente dito de membros da população estudada, a migração para fora da área de estudo e até a simples não recaptura de animais dentro do prazo esperado.

Quando uma ave não é recapturada, isso é sinal de que pode ter morrido ou simplesmente não foi pega de novo. Os autores do artigo utilizaram um modelo estatístico para distinguir essas duas probabilidades. Assim, ajustaram as estimativas de sobrevivência aparente, que indicam a probabilidade de uma ave ainda estar viva no ano seguinte.

É possível que o aumento da temperatura e a queda observada na chuva influenciem as aves a procurarem outro território, menos quente e com maior oferta de água. Mas a recorrência na falha de recaptura ano a ano é, na avaliação de Wolfe, um indicativo de que o calor e a seca vêm sendo mais fatais para os bichos.

No cenário geral, 24 das 29 espécies se mostraram afetadas pelo aquecimento da região, com tendência de impacto maior no grupo de aves que vivem por mais tempo. Espécies como o barranqueiro-pardo (*Automolus infuscatus*), o arapaçu-de-garganta-pintada (*Certhiasomus stictolaemus*), o bico-virado-miúdo (*Xenops minutus*) e o mãe-de-taoca-de-garganta-vermelha (*Gymnopithys rufigula*) estão entre as mais vulneráveis identificadas pelo estudo.

“No nosso modelo estatístico, os dados relativos à temperatura explicavam cerca de 85% da variação na taxa de sobrevivência aparente das aves”, comenta Wolfe. Quando um ano ficava mais quente, a taxa caía; quando esfriava, ela

aumentava. O trabalho também calculou qual teria sido o impacto de uma redução de 10 milímetros (mm) de chuva durante a estação seca na taxa anual de sobrevivência aparente das aves. O efeito foi bem menor do que no caso do aumento da temperatura. Em média, a queda na pluviosidade estaria associada a uma redução de 14% na quantidade de aves da população estudada.

Sobrevivência aparente é um conceito usado para expressar a manutenção da vida em animais previamente identificados dentro de uma área determinada ao longo do tempo. A queda nessa taxa não significa necessariamente que houve morte entre os membros da amostra. Três fatores, que essa definição não distingue, podem

A chuva, a disponibilidade de água e a diversidade do relevo local parecem ser importantes para criar microclimas que permitam às aves se refrescar diante de temperaturas cada vez mais altas. “Essas espécies têm a capacidade adaptativa para desenvolver respostas evolutivas que acompanham as condições que estão enfrentando agora?”, indaga o biólogo Philip Stouffer, da Universidade Estadual de Louisiana, outro autor do estudo, em entrevista a *Pesquisa FAPESP*. “Sob

as condições atuais, as populações estão diminuindo e sua sobrevivência se reduz. Até agora, os resultados não são encorajadores.”

Segundo o biólogo, a resiliência das aves de sub-bosque depende da manutenção de amplos trechos de floresta intacta. Dessa forma, mesmo com populações em declínio, as espécies poderiam se manter viáveis. “Áreas mais baixas dentro da floresta, como ao longo de riachos, também são particularmente relevantes para proteger as aves, pois parecem fornecer nichos de refúgio”, observa Stouffer.

O ornitólogo Mario Cohn-Haft, curador do setor de aves do Inpa, também enfatiza que os resultados do estudo reforçam a importância de conservar grandes áreas de floresta intacta. “As mudanças climáticas se devem, em parte, ao desmatamento”, diz ele, que não participou do trabalho publicado na *Science Advances*. “Precisamos restaurar a floresta e parar de desmatar. Isso ajudará a restabelecer o clima e a preservar as condições necessárias para a manutenção da biodiversidade.”

Para a bióloga evolutiva Ana Paula Assis, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP), o estudo feito na Amazônia se destaca por ter

utilizado dados de longo prazo, de quase 30 anos. “Se eles obtiveram esses resultados trabalhando em áreas de mata virgem, imagine o quão pior deve ser o cenário em trechos de floresta desmatada ou que sofreram fragmentação”, indaga Assis, que também não participou do artigo.

Ela sugere um possível desdobramento para a pesquisa: tentar entender se existe alguma variação na taxa de sobrevivência entre as aves que possa estar relacionada a fatores hereditários. “Se alguns indivíduos das espécies mais ameaçadas conseguem sobreviver bem ao aumento de temperatura, talvez eles possam passar essa capacidade para os filhotes caso essa resiliência esteja baseada numa característica genética”, comenta a bióloga.

Estudos semelhantes ao feito no PDBFF foram realizados no Panamá e no Equador. Os trabalhos indicam que as aves, em especial as de espécies que comem insetos, estão desaparecendo das seções mais baixas e intermediárias das florestas. Trabalhos como o realizado na Amazônia, que vincula as mudanças do clima à sobrevivência das aves, ainda são raros e há poucos dados de longo prazo sobre essa questão. ●

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

Área de sub-bosque dentro do projeto PDBFF, a 80 quilômetros de Manaus



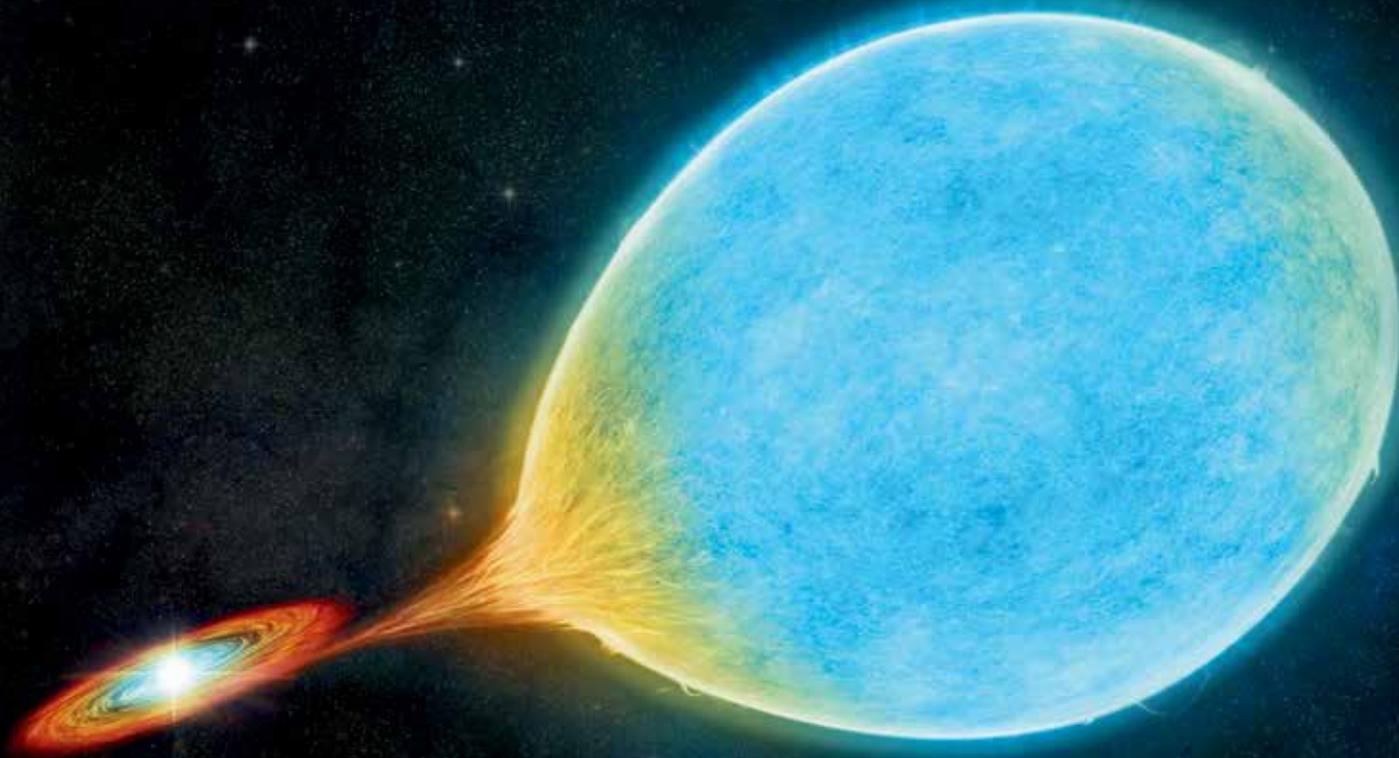


Ilustração mostra a constituição de um sistema formado por variáveis cataclísmicas: uma anã branca (à esq.) que captura matéria de uma estrela companheira

Banquete estelar

Mapeamento brasileiro do céu encontra 10 sistemas raros, formados por uma estrela que captura matéria da outra

MARCOS PIVETTA

Desde 2016, o levantamento Southern Photometric Local Universe Survey (S-Plus) se dedica a mapear metade do céu do hemisfério Sul. A tarefa está a cargo do T80S, um pequeno telescópio robótico brasileiro instalado no Observatório Interamericano de Cerro Tololo, nos Andes chilenos. O diâmetro de seu espelho principal é de apenas 83 centímetros. Nas noites com boas condições de observação, o T80S, que tem um campo de visão amplo, dedica-se a varrer o firmamento austral. Cerca de 80% da área a ser observada no âmbito do projeto S-Plus já foi mapeada. Foram obtidos registros de aproximadamente 111 milhões de corpos celestes, como galáxias, estrelas e asteroides. Em meio a uma quantidade tão grande de objetos, volta e meia surgem descobertas surpreendentes.

Esse é o caso de um artigo publicado em fevereiro deste ano na revista científica *Astrophysical Journal Letters* (*ApJL*), coordenado por um grupo de brasileiros. No estudo, são apresentados 10 novos sistemas binários, compostos por duas estrelas, classificados como variáveis cataclísmicas. Esses pares de estrelas desconhecidas foram identificados com o emprego de uma técnica alternativa, concebida pelos pesquisadores e que se baseou em características do T80S.

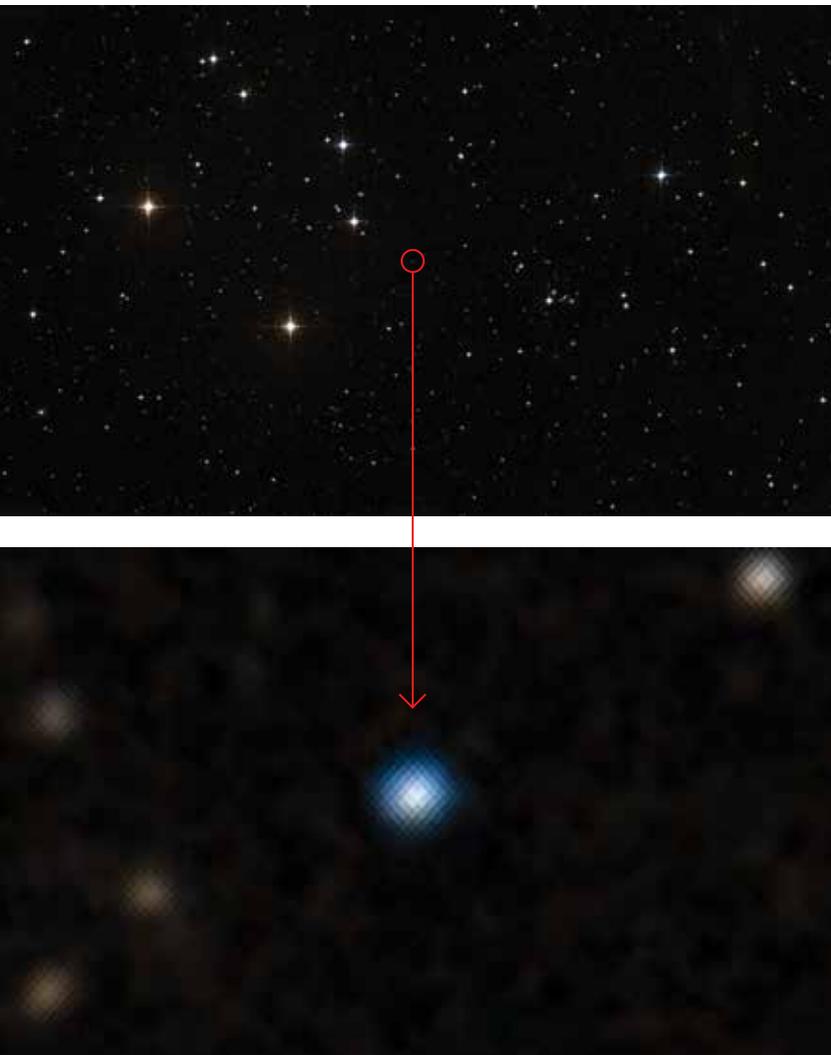
“Ao encontrar sistemas não identificados em mapeamentos anteriores, estamos potencializando a descoberta de variáveis cataclísmicas ditas exóticas”, comenta o astrofísico Raimundo Lopes de Oliveira, da Universidade Federal de Sergipe (UFS), autor principal do estudo. “Apenas alguns exemplares desses sistemas não típicos são conhecidos. Mas, segundo os modelos teóricos, eles devem representar a maioria dos sistemas.”

Para ter certeza de que se tratava de variáveis cataclísmicas e validar a nova metodologia, Lopes de Oliveira e seus colegas de artigo realizaram

um projeto-piloto. Depois de terem identificado as 10 novas candidatas a variáveis cataclísmicas a partir de dados do S-Plus, confirmaram o *status* desses sistemas por meio de observações, feitas no telescópio Gemini Sul, também no Chile, e no telescópio espacial de raios X Swift, da Nasa, agência espacial norte-americana.

As variáveis cataclísmicas são sistemas constituídos por duas estrelas muito próximas entre si. A distância entre elas varia ao longo do tempo, mas tende a ser similar à da Terra em relação à Lua, de cerca de 380 mil quilômetros. Uma é sempre uma anã branca, classificação dada a uma estrela moribunda extremamente densa e compacta, que se encontra em seu estágio evolutivo final. A outra, a companheira, é geralmente uma estrela comum, similar ao Sol. A proximidade entre elas induz a companheira a perder matéria, que, posteriormente, é atraída pela anã branca. A troca de matéria causa emissão intensa de radiação e, às vezes, leva à formação de um disco de acreção ao redor da anã branca. Esses sistemas apresentam variações pronunciadas de brilho ao longo do tempo, com eventuais erupções intensas.

Pontinho branco destacado no centro da imagem é uma das 10 variáveis cataclísmicas descobertas pelo S-Plus. Mesmo com um zoom, é impossível diferenciar uma estrela da outra



Não é possível descobrir esses objetos com apenas uma imagem do céu. As duas estrelas estão tão próximas entre si que não podem ser distinguidas. O brilho de uma se sobrepõe ao da outra. São vistas como se fossem apenas um só objeto em meio à escuridão celeste. Nada muito diferente das outras estrelas. Nem a esperada oscilação no brilho das variáveis cataclísmicas é uma pista muito fácil de ser obtida. Afinal, não se sabe em que ponto do céu esses sistemas binários se encontram, nem quando, com que intensidade e por quanto tempo seu brilho vai variar.

A abordagem mais tradicional adotada para encontrar esse tipo de sistema binário é baseada na detecção da flutuação do brilho, costumeiramente no óptico (luz visível), e na detecção de emissões de raios X. A técnica de espectroscopia, que decompõe a luz captada, é importante para esses estudos. Mas ela permite a observação de um ou poucos objetos por vez e apenas os mais brilhantes. Por isso, consome muito tempo e, por conseguinte, dinheiro.

Mas, graças a um diferencial da câmera instalada no T80S, Lopes de Oliveira e seus colegas do levantamento S-Plus conseguiram conceber um método para procurar por variáveis cataclísmicas a partir das observações feitas pelo telescópio brasileiro. Embora mapeie o céu austral majoritariamente na luz visível e em uma pe-



Instalado no Chile, o telescópio robótico brasileiro foi usado para descobrir as estrelas

quena parte do infravermelho e do ultravioleta, a câmera do T80S é dotada de 12 filtros ou bandas que podem ser entendidos como 12 olhares diferentes para cada região do céu observada.

Cada filtro representa uma cor distinta. Assim, em vez de gerar somente um registro óptico, decorrente da contribuição da emissão de radiação em todas as frequências, o telescópio produz 12 imagens, uma de cada cor. Cada imagem indica a quantidade de luz emitida dentro de uma faixa específica de comprimentos de onda. “O S-Plus, com suas observações em diferentes regiões do espectro eletromagnético, nos oferece uma alternativa à espectroscopia”, diz Lopes de Oliveira.

“Ele é o único mapeamento do hemisfério Sul que conta com uma câmera com esse sistema de bandas”, diz a astrofísica Cláudia Mendes de Oliveira, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), uma das coautoras do artigo na *ApJL*. Além de coordenar o levantamento S-Plus, a pesquisadora foi a principal responsável pela concepção e instalação do T80S no Chile, um projeto financiado pela FAPESP.

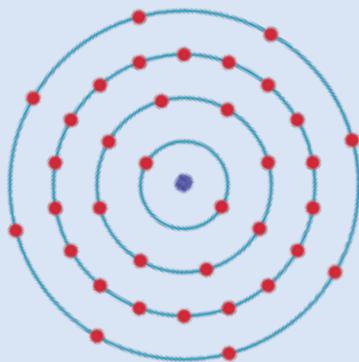
As imagens multicoloridas do S-Plus possibilitam a criação de um gráfico que indica a intensidade da luz de cada região espectral observada pelo T80S. Com base em estudos anteriores sobre variáveis cataclísmicas, os pesquisadores constataram que, nos dados produzidos pelo levantamento, esse tipo de sistema binário tende a gerar um gráfico com uma figura em V. Há um excesso de emissão nas cores mais azuladas, uma baixa nas de comprimentos de onda maiores e outro exagero nas regiões mais avermelhadas.

“Conseguimos ver a manifestação da luz azulada, que vem da anã branca e de linhas espectrais provenientes da matéria que ela está capturando, e também da emissão mais avermelhada, oriunda da estrela companheira, mais fria”, comenta a astrofísica Amanda de Araújo, que faz doutorado na UFS, sob orientação de Lopes de Oliveira, e assina o novo estudo.

Para a astrofísica brasileira Ingrid Pelisoli, da Universidade de Warwick, no Reino Unido, a técnica proposta para encontrar variáveis cataclísmicas a partir dos dados do levantamento S-Plus é muito interessante. “O método proposto é bem astuto”, comenta Pelisoli, que também estuda esses sistemas binários, mas não participou do trabalho com dados do S-Plus. “É uma abordagem intermediária entre a espectroscopia e a fotometria que se usa normalmente para fazer a caracterização inicial de estrelas.” Em mapeamentos fotométricos clássicos, a luz de um objeto é captada por um ou poucos filtros, mas não com as 12 bandas do S-Plus.

A partir das assinaturas espectrais típicas das variáveis cataclísmicas, os pesquisadores do S-Plus esperam criar um processo automatizado, talvez com auxílio de inteligência artificial, que procure sozinho por esse tipo de sistema binário dentro dos milhões de objetos celestes cobertos pelo levantamento. Se tudo correr como esperado, o mapeamento brasileiro deverá continuar a descobrir novos pares de estrelas explosivas. ●

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



Gigantes e sensíveis

Átomos com tamanho até mil vezes maior que o normal podem ser a base de sensores quânticos mais refinados

DANILO ALBERGARIA

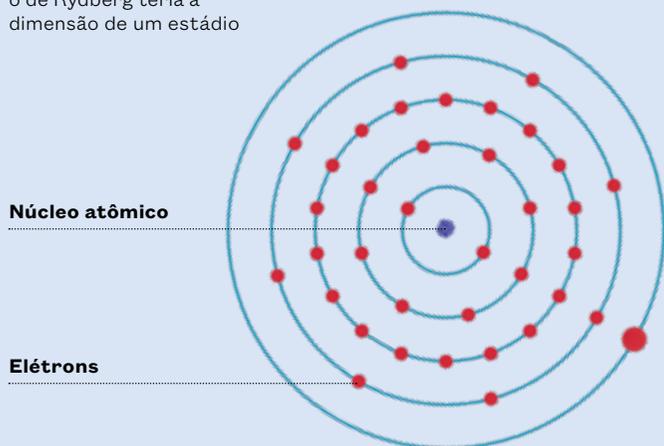
Estudo coordenado por físicos brasileiros produziu indícios de que um tipo de interação quântica, ainda não comprovada, pode estar envolvido, em certas condições, no enorme ganho de energia responsável pelo surgimento dos chamados átomos de Rydberg. Essas estruturas são variantes superexcitadas e gigantes dos átomos tradicionais, com tamanho até mil vezes maior do que o padrão. Sua camada mais externa de elétrons está muito mais distante do núcleo atômico em comparação com seu estado normal. Os átomos de Rydberg são hipersensíveis à influência de campos elétricos e magnéticos e podem ser a base para o desenvolvimento de sensores mais precisos para aplicações na área de tecnologias quânticas, como computação e telecomunicação.

Em experimentos realizados no Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC-USP), os pesquisadores excitaram com um feixe de laser átomos de rubídio submetidos à ação de um campo eletromagnético na

faixa das micro-ondas. O laser é composto de fótons, partículas de luz que representam a menor quantidade de energia que pode ser envolvida em uma interação, conceito denominado *quantum*. Ao se tornar mais energizados, os átomos de rubídio se expandiram de tamanho por ter entrado no estado de Rydberg. No processo, os físicos colheram evidências de que um mesmo fóton seria capaz de transferir energia para mais de um átomo de rubídio à medida que seus elétrons externos se excitam e o campo eletromagnético também poderia partilhar o mesmo *quantum*, o pacote mínimo de energia, com os átomos.

“Ainda precisamos de mais experimentos para confirmar essa questão”, diz o físico Luis Gustavo Marcassa, do IFSC, coordenador do estudo, cujos resultados foram publicados em dezembro de 2024 no periódico *Physical Review A*. “O que temos é uma evidência da quantização do campo eletromagnético, que se mistura com os átomos de Rydberg.” Um campo é chamado de quantizado quando deixa de ser descrito como ondas eletromagné-

Átomo de rubídio no estado de Rydberg, com o elétron da última camada muito afastado do núcleo (*página à esq.*), e átomo normal de rubídio. Se o átomo normal fosse do tamanho de uma bola, o de Rydberg teria a dimensão de um estádio



Os tamanhos dos desenhos estão fora de proporção

FONTE LUIS MARCASSA (IFSC-USP)

ticas clássicas e passa a ser um conjunto de fótons, pacotes de energia.

As interações relatadas no artigo não podem ser descritas de maneira clássica, em que um fóton energiza um elétron, mas apenas de maneira quântica. “Vimos que dois átomos de rubídio podem dividir um mesmo fóton para fazer uma transição de energia [passar de um estado menos excitado para um mais energético, como o de Rydberg]”, diz o físico Jorge Massayuki Kondo, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), outro autor do estudo. “Isso nunca tinha sido observado antes.” Um terceiro brasileiro, Daniel Varela Magalhães, do IFSC, também assina o trabalho, que ainda tem quatro pesquisadores do exterior como coautores.

No experimento relatado no artigo, entre 10 e 100 milhões de átomos de rubídio foram colocados no vácuo de uma cavidade, onde foram submetidos a um feixe de laser e ao campo de micro-ondas. O laser diminui drasticamente o movimento das partículas, levando-as a temperaturas extremamente baixas, próximas do zero absoluto, pouco acima

de -273 graus Celsius (°C). Em conjunto com uma configuração especial de campo magnético, ele forma uma espécie de buraco tridimensional no centro da cavidade e aprisiona nessa área cerca de 1% do total dos átomos, os mais frios. Conforme se excitam por ação do campo de micro-ondas, os átomos escapam da armadilha e deixam uma assinatura espectral que pode ser registrada e analisada. Para explicar os registros espectrais, os pesquisadores adaptaram – em colaboração com físicos do exterior – um modelo que descreve um sistema de um átomo transitando entre dois níveis de energia em interação com um campo quantizado.

“Eles criaram dentro do sistema átomo-cavidade uma excitação coletiva, uma mistura entre o estado atômico e o fotônico. Isso quer dizer que não se pode mais falar do estado atômico separado da luz da cavidade: há um estado emaranhado”, explica o físico Raul Celistrino Teixeira, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que não participou do estudo. “Para mim, o aspecto mais interessante do trabalho é ver

como o modelo proposto se ajusta bem aos dados do experimento”, comenta, em entrevista a *Pesquisa FAPESP*, o físico Hannes Bernien, da Universidade de Chicago, que trabalha com física quântica e átomos de Rydberg e também não teve envolvimento com os experimentos da equipe do IFSC.

CONCEITO DO SÉCULO XIX

Átomos mais energizados são conhecidos desde os anos 1880 e levam o nome do físico sueco Johannes Rydberg (1854-1919), responsável pela fórmula matemática que descreve a excitação atômica. Esses átomos têm a camada mais externa (e energética) de elétrons elevada a órbitas muito mais distantes do núcleo em comparação com seu estado normal. Elétrons mais afastados são mais sensíveis a campos eletromagnéticos externos. Por isso, são importantes para o desenvolvimento de sensores quânticos. O átomo de rubídio tem 37 elétrons, mas apenas um deles está no nível mais externo, na camada de valência, que influencia a interação de um átomo com os demais (*ver ilustrações*). “Se um átomo em estado normal fosse uma bola de futebol, um átomo de Rydberg teria o tamanho de um estádio”, compara Marcassa.

Átomos de Rydberg vêm sendo produzidos em laboratório desde os anos 1970. No fim da década de 1980, câmaras de aprisionamento magneto-ótico permitiram o estudo de átomos excitados em interação com campos eletromagnéticos. Desde então, a pesquisa na área tem crescido e os primeiros produtos explorando essa variante agigantada dos átomos foram lançados. A alta sensibilidade de átomos de Rydberg vem sendo usada no desenvolvimento de emissores e receptores quânticos, peças-chave em futuras tecnologias de comunicação. “Os efeitos extremos observados no estudo de Marcassa podem levar a sensores mais sensíveis do que os atuais”, avalia o físico brasileiro Luis Felipe Gonçalves, pesquisador da empresa norte-americana Rydberg Technologies. A companhia, baseada no estado de Michigan, produz aparelhos de comunicação a longa distância por frequência de rádio baseados na manipulação de átomos de Rydberg. ●

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



Quando o motorista é dispensável

Caminhões e ônibus autônomos operam experimentalmente em trajetos predefinidos com sistema de navegação desenvolvido por startup de Vitória

SUZEL TUNES

Desde 2023, quatro caminhões sem motorista carregam caixas com produtos de limpeza entre a linha de produção e o centro de distribuição da fabricante Ypê, em Amparo, no interior paulista. Eles dispensam o condutor porque têm um sistema de navegação autônoma desenvolvido pela startup capixaba Lume Robotics, criada em 2019 por seis engenheiros formados na Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes). Os dispositivos integram câmeras e sensores, que captam dados do ambiente e funcionam como os olhos do motorista, e programas de computador, que controlam o motor e as rodas.

“Por ser uma tecnologia extremamente avançada, esse tipo de inovação traz desafios e um processo de aprendizado”, informa a Mercedes-Benz, a fabricante dos caminhões sem motorista, por meio de seu setor de comunicação com a imprensa. “Cada entrega envolve muitos estudos, visitas à operação do cliente e discussões a fim de entendermos e oferecermos a melhor solução

para cada operação”, acrescenta o comunicado. “Acreditamos nessa tecnologia e atestamos os benefícios que ela traz para a operação dos clientes em ambientes controlados.”

Em outras operações experimentais, caminhões autônomos transportam fardos de celulose em áreas portuárias da empresa PortCel, no Espírito Santo, e da Suzano, no Maranhão, e um veículo sem motorista carrega amostras no Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Petrobras, no Rio de Janeiro. Procuradas pela reportagem para comentar os testes em campo, as companhias não se manifestaram.

Com 55 funcionários, dos quais 35 no setor de pesquisa e desenvolvimento, a startup de Vitória instalou também seu sistema de navegação em um micro-ônibus fabricado pela empresa gaúcha Marcopolo, com capacidade para 21 passageiros. O veículo é programado para mapear instantaneamente a região e evitar obstáculos, circular em ambientes internos e chegar ao destino predefinido. Foi testado em março de 2023 na siderúrgica ArcelorMittal Tubarão, na Grande Vitória, e apresentado publicamente três meses depois.

“As empresas querem otimizar as operações e reduzir custos”, comenta o engenheiro da computação Rânik Guidolini, diretor-executivo da Lume. Segundo ele, a chamada navegação autônoma propicia uma economia de até 17% no consumo de combustível e de 75% com mão de obra, além de uma redução de acidentes em até 94%. “O motorista, mesmo o mais experiente, nem sempre consegue fazer as trocas de marcha no tempo certo, da forma mais econômica e eficiente”, ele argumenta.

Os movimentos atuais da empresa resultam da experiência bem-sucedida de construção do Automóvel Robótico Autônomo Inteligente (Iara) pela equipe do Laboratório de Computação de Alto Desempenho (LCAD), da Ufes, do qual Guidolini participava. Em 2017, o veículo percorreu 74 quilômetros (km) entre o *campus* e a cidade de Guarapari, na Região Metropolitana da Grande Vitória, atravessou três municípios e enfrentou o tráfego normal de ruas e avenidas, semáforos e pedágios. Um motorista acompanhou a experiência dentro do carro autônomo durante o trajeto para assumir o controle caso houvesse problemas, o que não ocorreu.

Em 2018, ainda na Ufes, Guidolini participou do desenvolvimento de uma tecnologia que tem se mostrado útil, um rastreador que enquadra

cada pedestre em um cruzamento e acompanha momentaneamente seu movimento para prever sua posição instantes depois, como detalhado em um artigo de novembro de 2019 na *Computers & Graphics*.

No ano seguinte, antes de fundar a empresa, ele integrou a equipe da Ufes e da Embraer que fez o primeiro teste de uma aeronave autônoma do Brasil, um jato Legacy 500. “O objetivo era provar a capacidade do sistema de dirigir o avião pelas pistas de um aeroporto”, conta. “Instalamos os sensores que captam informações do ambiente e computadores para o processamento desses dados e o avião fez o taxiamento [movimento em solo para estacionar ou ir a uma pista de decolagem] sem intervenção humana.”

O funcionamento dos veículos autônomos se apoia em dois sistemas – o de percepção e o de tomada de decisão –, pesquisados tanto na startup quanto nas universidades de Brasília (UnB), de São Paulo (USP) e federais do Espírito Santo, de Minas Gerais (UFMG) e do Rio Grande do Sul (UFRGS) (*ver Pesquisa FAPESP nº 315*).

O sistema de percepção é constituído por câmeras, sensores, radares e instrumentos de navegação por satélite, instalados em diferentes pontos do veículo, conforme detalhado em um artigo de revisão publicado em março de 2021 na revista *Expert Systems with Applications*, do qual Guidolini é um dos autores. Em conjunto, esses dispositivos executam tarefas essenciais, como a localização do veículo, o mapeamento de estradas, a detecção de obstáculos e o reconhecimento de sinalização de trânsito.

A plataforma de tomada de decisão, dotada de programas de inteligência artificial, interpreta os dados coletados pelo sistema de percepção e cuida do planejamento de rota e da prevenção de acidentes, de forma que o veículo chegue ao destino definido pelo usuário. Os tipos e a quantidade dos dispositivos variam conforme o veículo e as tarefas que deve desempenhar.

ESCALA DE AUTOMAÇÃO

Os níveis de automação veicular vão do zero, quando o automóvel, ônibus ou caminhão dependem totalmente do motorista, ao cinco, em que os veículos são totalmente automatizados, sem nenhuma intervenção humana, seja qual for o lugar ou a situação em que operam. Essa classificação foi elaborada pela Sociedade de Engenheiros Automotivos (SAE), dos Estados Unidos.

Os caminhões e ônibus em operação experimental enquadram-se entre os níveis 3 e 4 – nesse último, o veículo circula em percursos restritos em velocidade de até 50 quilômetros por hora (km/h). Para construir uma versão mais avançada, não apenas sem motorista, mas também sem cabine, a startup capixaba conseguiu no segundo semestre de 2024 um financiamento de R\$ 2,5 milhões da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). A previsão é de que o primeiro protótipo esteja pronto em 2027 e, se tudo der certo, os ensaios em campo comecem em 2028.

“A Lume é uma das empresas mais avançadas na área de robótica móvel no Brasil. A primeira companhia que chegar ao nível 4 de automação terá mais condições de ser a dona do mercado”, comenta o cientista da computação Fernando Santos Osório, do Laboratório de Robótica Móvel do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (LRM-ICMC) da USP em São Carlos. Em cidades dos Estados Unidos e do Japão, diz o pesquisador, já há carros rodando sem motorista em rotas planejadas e mapeadas por satélites. “Nenhum deles ainda com o nível máximo de automação, o 5”, afirma Osório.

Ainda há obstáculos a serem superados para que os veículos desse tipo ganhem as ruas do país, entre eles o alcance da maturidade tecnológica, dificuldades para a certificação e questões legais. Não se sabe, por exemplo, quem deverá ser responsabilizado se um veículo com automação total atravessar um sinal vermelho e atropelar uma pessoa ou destruir o muro de uma casa.

Apesar disso, o mercado de veículos autônomos encontra-se em expansão. Uma análise de agosto de 2024 da consultoria norte-americana Goldman Sachs estima que as vendas de veículos sem motoristas com nível intermediário de automação deverão representar cerca de 60% de todas as vendas de veículos leves em 2040.

Prevê-se que as vendas se concentrem na China, onde já circulam carros com nível 4 de automação, como os robotáxis da empresa Apollo Go, subsidiária da Baidu, em cidades como Shenzhen e Wuhan. A General Motors, dos Estados Unidos, desistiu do negócio de robotáxis chamados por aplicativos, após acumular prejuízos.

Em janeiro, a multinacional anunciou uma tecnologia de assistência ao motorista Super Cruise, semelhante ao Autopilot, da também norte-americana Tesla. Os dois sistemas oferecem tecnologia de direção parcialmente automatizada, com câmeras, radar e um módulo de atenção para garantir que o motorista fique atento à estrada.

“Em outros países, os carros autônomos rodam em cidades mais estruturadas, com vias em boas condições e trânsito e fluxo mais organizados do que no Brasil”, adverte o engenheiro cartógrafo Edvaldo Simões da Fonseca Júnior, coordenador do Laboratório de Topografia e Geodésia da Escola Politécnica (Poli) da USP, que atua nessa área desde o início dos anos 2010. Para exemplificar as dificuldades de implantação dessa tecnologia

No lugar dos olhos e das mãos

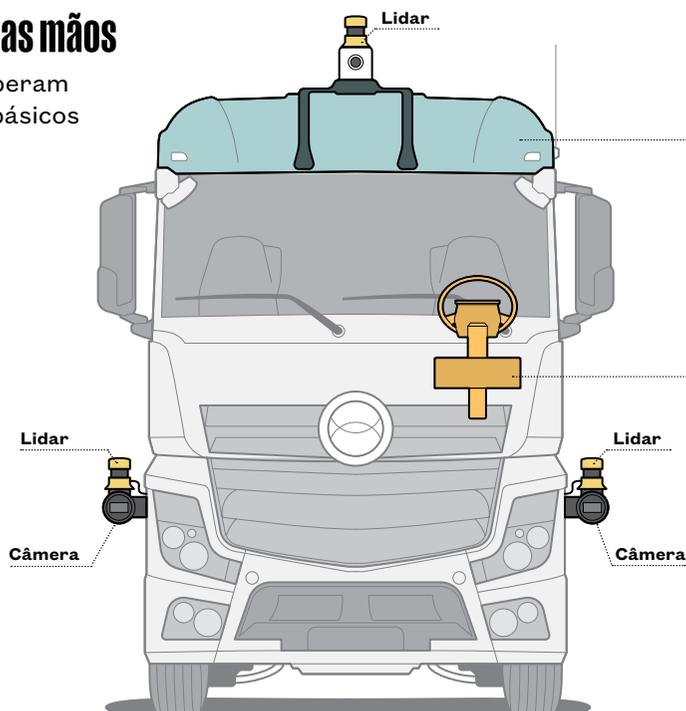
Caminhões autônomos operam com quatro dispositivos básicos

Lidar

Sensor que calcula a distância de objetos e produz imagens tridimensionais que permitem ao sistema de direção do veículo reduzir a velocidade, desviar ou parar

Câmeras

Associadas ao Lidar, aumentam a precisão na percepção espacial



GNSS RTK

Sistema de navegação por satélite, que inclui o GPS e, com o dispositivo RTK (Real Time Kinematic), ganha mais precisão em tempo real

Atuador do volante

Dispositivo que usa as informações dos sensores para controlar a direção do veículo



Ônibus sem condutor foi testado em siderúrgica em Vitória (ES); abaixo, detalhe do sensor Lidar



em cidades brasileiras, ele relata uma situação que apresentou aos alunos durante uma aula: “Outro dia tirei a foto de um semáforo que tinha, ao mesmo tempo, luz verde e vermelha. Como o carro autônomo resolve uma situação dessa?”. A decisão do veículo vai depender da programação, diz Fonseca. “Se ele buscar sempre o vermelho vai ficar parado no cruzamento o tempo todo. Se buscar o verde vai passar e poderá ocorrer uma colisão. Se o carro identifica que ambas as luzes estão acesas, ele vai se aproximar do cruzamento e, com outros sensores, verificará se poderá prosseguir ou não.”

PROJETO CARINA

Para o engenheiro eletricista Marco Henrique Terra, da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da USP, a maior barreira às pesquisas com veículos autônomos no Brasil não é a falta de infraestrutura: “O grande gargalo é o capital. Precisamos de investidores com fôlego para apoiar o desenvolvimento dessa tecnologia, até atingir a maturidade”.

Terra coordena o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Sistemas Autônomos Cooperativos (InSAC), um dos INCT apoiados pela FAPESP e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que sucedeu ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos (INCT-SEC), encerrado em 2014. O apoio desses dois INCT foi fundamental para o desenvolvimento do projeto Carro Robótico Inteligente para Navegação Autônoma (Carina), primeiro automóvel autorizado a trafegar sem motorista numa cidade brasileira – em São Carlos, interior paulista, em 2013. “Compramos o primeiro veí-

culo em 2009, com verba do INCT-SEC, e ele estava automatizado e operacional, sem motorista, em 2010”, lembra Osório.

No Brasil, uma dificuldade adicional para o avanço dos projetos de veículos autônomos é o alto custo dos componentes importados. Osório espera ajudar a resolver esse problema com sua participação no projeto “Implementação e testes de componentes e dispositivos para o desenvolvimento de sistemas de assistência à condução” (Segcom), que faz parte do programa Mobilidade Verde e Inovação (Mover) do governo federal. “O Segcom pretende levantar alternativas tecnológicas que possam ser repassadas às empresas nacionais”, diz ele. Uma das metas é implementar um sistema de visão computacional utilizando câmeras da empresa brasileira Intelbras.

“Estamos incorporando tecnologias gradativamente”, avalia Terra. Segundo Osório, ainda é difícil prever quando carros robóticos estarão nas ruas das cidades brasileiras, não apenas por questões técnicas, mas também pela falta de uma legislação específica que autorize a circulação de veículos desse tipo. Em busca de alternativas, equipes da EESC e do ICMC, ambos da USP, por meio de um acordo de cooperação com a Scania, coletam dados para treinar um caminhão autônomo para atividades de mineração. “De maneira realista”, conclui Terra, “é nesse nicho de operações restritas que podemos entrar, por enquanto.” ●

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



Visão profunda do campo

Radare acoplado a drone facilita monitoramento de plantações, análise de solos e localização de jazidas minerais, formigueiros e ossadas no subsolo

DANILO ALBERGARIA

Para ter ampla
visão do terreno,
o radar é posicionado
na parte inferior
do drone



Na agricultura, os drones espalham sementes ou fertilizantes com precisão, permitindo ganhos de tempo e dinheiro. Combinados com sensores e inteligência artificial, podem realizar sensoriamento remoto, como é feito com satélites e aviões, monitorar grandes plantações, executar análises apuradas dos elementos químicos do solo ou indicar problemas, como a existência de erosão. Uma das técnicas mais avançadas nessa área, conhecida como radar de abertura sintética (SAR, de Synthetic Aperture Radar), foi aprimorada pela Radaz, startup nascida em 2017 na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e hoje sediada em São José dos Campos, interior paulista.

“É uma tecnologia inovadora com enorme potencial para gerar ampla variedade de produtos, atendendo a diversos segmentos de mercado”, avalia o engenheiro eletricista Hugo Enrique Hernández Figueroa, da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (Feec) da Unicamp, que liderou a equipe responsável pelo desenvolvimento de um radar acoplado a um drone de pequeno porte. Para isso, o grupo precisou miniaturizar o hardware eletrônico e as antenas do radar. O princípio do SAR, explica o pesquisador, é usar o radar em movimento para emular uma antena significativamente maior do que as que compõem o próprio radar. Como a diretividade da antena aumenta com seu tamanho, a resolução do sistema também se torna maior.

Por meio de sua antena, o radar emite ondas eletromagnéticas pulsadas que são refletidas pelos obstáculos encontrados no solo. Posteriormente, essas ondas são captadas pela antena enquanto o radar se desloca, a bordo de um avião, satélite ou drone. O movimento do radar ao longo de sua trajetória cria uma antena virtual de grandes dimensões, permitindo altas resoluções e observações precisas.

O princípio de funcionamento do SAR é similar ao da interferometria, em que a combinação de várias antenas de rádio simula uma única antena de grandes dimensões relacionadas à trajetória percorrida. Se o drone se deslocar por 100 metros (m) em linha reta, o SAR pode emular uma antena de 100 m de abertura; se a trajetória for circular, com um raio de 300 m, o radar emulará uma antena em formato espiral com 300 m de raio.

Desenvolvido nos Estados Unidos na década de 1950 e usado desde a década de 1960 em satélites e sondas espaciais, o SAR já foi utilizado para mapear o relevo de Vênus, oculto por nuvens compostas de gotas microscópicas de ácido sulfúrico e de outros aerossóis. No início dos anos 2000, integrou-se a drones de grande porte para uso militar. A crescente miniaturização de componentes eletrônicos e a disseminação dos drones indicavam que seria possível acoplar sistemas SAR em aparelhos pequenos, de uso civil.

“O desafio era fazer, e ninguém fazia”, comenta Figueroa. O primeiro relato do SAR em drone remonta a 2016, da Universidade do Texas, Estados Unidos, mas essa versão era artesanal e gerava imagens de baixa qualidade. A empresa paulista apostou em um caminho próprio, com três bandas (ou faixas) espectrais, incluindo um sistema de navegação inercial avançado (*ver infográfico na página 74*).

Com sua equipe, o pesquisador da Unicamp trabalhou para reduzir o porte de um equipamento de 100 quilogramas (kg), que só poderia ser utilizado em aviões, para um que pesa 5 kg e se ajusta a drones de pequeno porte. A engenheira eletrônica Laila Moreira, diretora-técnica da Radaz, que participou do desenvolvimento do aparelho na Unicamp, conta que outra modificação relevante foi a incorporação de programas de computador para processamento e interpretação das imagens, baseados em redes neurais artificiais.

O apoio da FAPESP, por meio do programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe),

facilitou a transformação do protótipo, concluído em 2017, em um equipamento comercial. Os primeiros resultados em monitoramento de plantações de eucalipto e cana-de-açúcar foram publicados em fevereiro e abril de 2020 na revista *Remote Sensing*.

O drone executa, basicamente, duas trajetórias de voo: linear, em uma única direção, e helicoidal, em forma de espiral descendente, simulando uma antena parabólica, o que aumenta a resolução do radar. Os pulsos emitidos pelo radar na trajetória helicoidal e refletidos pelas diferentes estruturas subterrâneas fornecem dados precisos do subsolo. Essas informações são processadas com o chamado algoritmo de retroprojeção, comum em tomografias, que reconstrói a reflexão dos pulsos em imagens tridimensionais.

Olhar afiado

O radar de abertura sintética conta com três antenas operando em diferentes faixas espectrais

■ Banda C

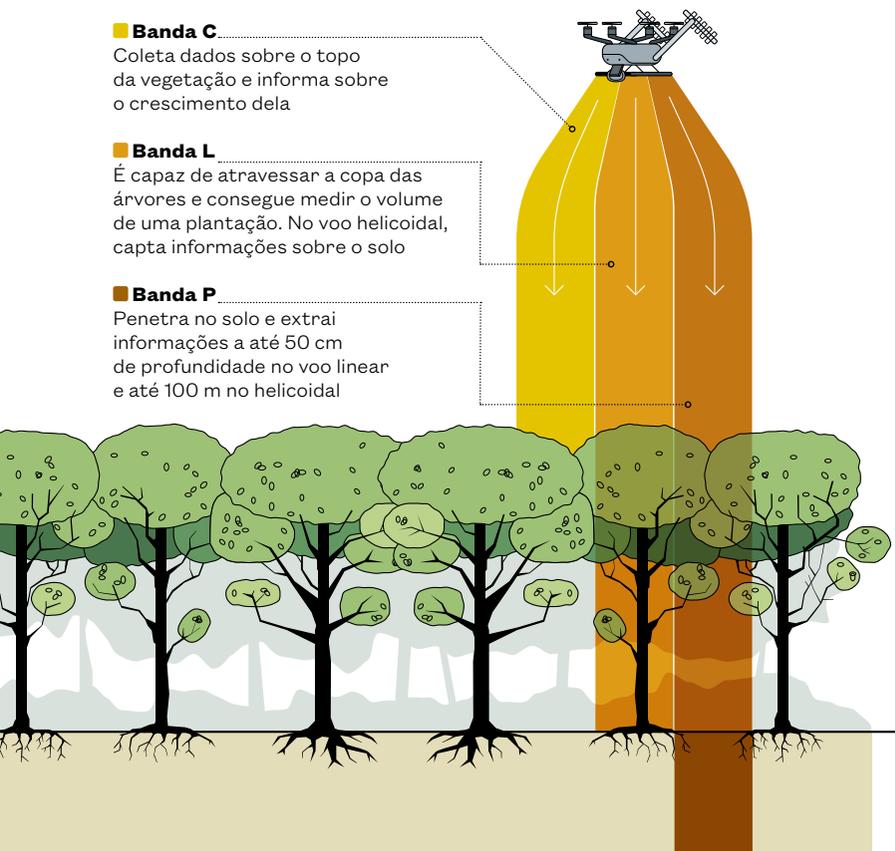
Coleta dados sobre o topo da vegetação e informa sobre o crescimento dela

■ Banda L

É capaz de atravessar a copa das árvores e consegue medir o volume de uma plantação. No voo helicoidal, capta informações sobre o solo

■ Banda P

Penetra no solo e extrai informações a até 50 cm de profundidade no voo linear e até 100 m no helicoidal



Banda	Comprimento da onda	Frequência	Resolução
■ C	5,5 cm	5,5 GHz	2 cm
■ L	25 cm	1,2 GHz	6 cm
■ P	75 cm	400 MHz	18 cm

FONTE RADAZ

O dispositivo carrega três antenas, cada uma operando em uma banda diferente. A banda C colhe informações sobre o topo da vegetação e informa sobre o crescimento das plantas. A banda L penetra até a vegetação abaixo das copas das árvores e pode ser usada para medir o volume de uma plantação ou, no voo helicoidal, captar dados sobre o solo. Já a P penetra o solo e extrai informações a até 50 cm de profundidade no voo linear e até 100 m no helicoidal. De acordo com a Radaz, não há outro aparelho no mundo com essa configuração.

Usada em um teste de campo em 2022, a banda P encontrou ninhos de formigas-cortadeiras em plantações de eucalipto e pinus da fabricante de papel Klabin, no Paraná. O equipamento identificou 29 formigueiros desconhecidos, com áreas entre 1 e 100 metros quadrados (m²), em uma plantação de eucaliptos em Ortigueira, no Paraná. Os ninhos de formiga, mostrou o aparelho, estavam em profundidades de até 7 m, como detalhado em um artigo *preprint* depositado no repositório arXiv em dezembro de 2024.

Esse foi “o primeiro registro mundial de um formigueiro no subsolo por meio dessa tecnologia”, afirmou o gerente de pesquisa e desenvolvimento florestal da Klabin, Bruno Afonso Magro, à Agência FAPESP em julho de 2022. Usualmente monitoradas por amostragem por área e por ação humana, as formigas-cortadeiras fazem ninhos que reduzem a produtividade em até 15%.

Em outro teste, também divulgado em dezembro no arXiv, o equipamento reconheceu a altura e o estágio de crescimento de 340 mudas de cana-de-açúcar plantadas em uma área experimental de 20 mil m² da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) da Unicamp. Em relato apresentado em 2024 em um congresso em Atenas, na Grécia, o equipamento obteve 100% de precisão na busca de carcaças de vacas e porcos enterradas a 1,5 m de profundidade. O aparelho também registra o afundamento, a erosão e a umidade do solo.

DEMANDA ESTRANGEIRA

O sistema da Radaz também já foi usado, com bons resultados, para acompanhar o crescimento do canavial em uma fazenda de São Paulo e para localizar jazidas de minério de ferro, diz o engenheiro eletrônico Fernando Ikedo, diretor comercial da Radaz. Por questões contratuais, o nome dos clientes não pode ser revelado.

O mercado de sensoriamento remoto com drones parece ter potencial de crescimento. Segundo Ikedo, o faturamento da startup saltou de R\$ 1,1 milhão em 2022 para R\$ 5,1 milhões no ano seguinte. Em 2024, atingiu R\$ 17,3 milhões,

Detalhe do dispositivo
acoplado ao drone
(ao lado) e o radar em
testes nos laboratórios
da startup



a maior parte resultante de vendas para interessados do exterior.

Um dos clientes é o físico Henrik Persson, da Universidade Sueca de Ciências Agrícolas, que usa o drone com radar para avaliar a biomassa e o metabolismo de árvores, a umidade do solo, os lençóis freáticos e as camadas rochosas subterrâneas. “As medições tomográficas permitiram novas pesquisas sobre condições do solo, geralmente ainda feitas por retiradas de amostras, algo caro, tedioso e demorado”, comentou a *Pesquisa FAPESP*.

Já a empresa britânica Surveyar adquiriu a inovação para mapear tocas de castores, que causam prejuízos aos agricultores por construírem diques em cursos de água que inundam plantações. Segundo informou à reportagem o diretor da empresa, William Kirk – que descobriu a Radaz lendo artigos de pesquisadores brasileiros sobre detecção de formigueiros –, a experiência deu certo e motivou o uso para detecção de umidade de solo e vegetação, monitoramento de deformação de solo, medidas de biomassa e identificação de objetos enterrados.

DESAFIOS PELA FRENTE

Sem similares no mercado nacional, a nova tecnologia enfrenta o desafio de explorar mercados inéditos. Considerando o custo dos componentes eletrônicos e a alta tecnologia envolvida, o equipamento completo não é vendido por menos de R\$ 1 milhão, sem contar o valor do drone. Também pesa a existência de outras tecnologias complementares de menor custo que atendem a demandas específicas de produtores rurais – nenhuma delas, contudo, oferece as funcionalidades do aparelho da Radaz.

Dependendo do objetivo, o monitoramento das lavouras pode ser feito com câmeras convencionais simples, do tipo RGB, que captam apenas o espectro visível e são vendidas por R\$ 12 mil a R\$ 60 mil. Já as multiespectrais, que abrangem outras frequências, como o infravermelho, custam até US\$ 300 mil (cerca de R\$ 1,6 milhão). Aparelhos desse tipo podem fornecer dados satisfatórios sobre o crescimento, biomassa e estado de saúde das plantas, de acordo com o engenheiro ambiental Lucas Osco, da Universidade do Oeste Paulista (Unoeste) e da unidade Instrumentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em São Carlos, que trabalha com sensoriamento remoto.

Outra alternativa, segundo Osco, é a tecnologia Lidar (detecção de luz e medida de distância), que usa feixes de laser no lugar de sinais de radar. Com preços a partir de R\$ 100 mil e podendo chegar a cerca de R\$ 1 milhão, ela faz mapeamentos detalhados tridimensionais, porém apresenta restrições de visibilidade, dando espaço para o uso do SAR.

Tecnologias inovadoras voltadas ao campo também precisam superar questões relacionadas à regulamentação e capacitação dos operadores. Além disso, há resistência dos agricultores brasileiros que, no passado recente, obtiveram resultados aquém do esperado dos drones que prometiam aumentar a produção. “Os produtores optam por tecnologias que já estão estabelecidas, com retorno alto e garantido. Isso dificulta a venda de produtos inovadores”, observa o engenheiro-agrônomo José Marques Júnior, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Jaboticabal, especialista em análises de solos (*ver Pesquisa FAPESP nº 336*). ●

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

Bola dividida





Partida na periferia paulistana: campos de várzea estão desaparecendo de regiões centrais

Futebol de várzea se transforma diante do crescimento urbano e da escassez de terrenos para jogos

CHRISTINA QUEIROZ

Aos finais de semana, o Campo de Marte, no bairro paulistano da Casa Verde, reúne centenas de pessoas em torno de seis campos de futebol de terra batida. Calcula-se que ao menos 200 partidas são disputadas ali aos sábados e domingos, enquanto torcedores acompanham os jogos em cadeiras dobráveis e crianças correm pelo espaço. Alguns times chegam uniformizados, outros jogam sem camisa e certos atletas arriscam entrar nas partidas descalços. Essas cenas, que há mais de um século se repetem país a fora, estão se tornando cada vez mais raras, na medida em que as cidades crescem e a especulação imobiliária avança. Assim, o futebol de várzea, que nasceu da ocupação espontânea de terrenos e da mobilização comunitária, precisa lidar com a escassez de áreas disponíveis para jogos e disputar espaço com condomínios, estacionamentos e centros comerciais.

Os primeiros registros da prática de futebol no Brasil datam do final do século XIX. Nessa época, migrantes, imigrantes, afrodescendentes e operários organizavam partidas em campos improvisados nas várzeas de rios, ao lado de linhas de trem ou em terrenos baldios. No caso de São Paulo, uma das primeiras partidas noticiadas em jornais aconteceu em 1895, quando o brasileiro de ascendência britânica Charles William Miller (1874-1953) promoveu um jogo na Várzea do Carmo, no bairro do Cambuci. “Esse espaço, que mais tarde se tornou um reduto do futebol amador paulistano, marcou o início da difusão do esporte pela cidade”, afirma o geógrafo Alberto Luiz dos Santos, um dos curadores da mostra *Vozes da várzea*, em cartaz no Museu do Futebol, em São Paulo, até o final de abril.

De acordo com Santos, que defendeu doutorado na Universidade de São Paulo (USP) em 2021 sobre futebol de várzea, membros da elite paulistana fundaram clubes como Sport Club Internacional, Clube Atlético Paulistano e São Paulo Athletic Club, que disputaram, a partir de 1902, campeonatos no Velódromo Paulista, considerado o primeiro estádio da cidade de São Paulo. “Com isso, parte do futebol praticado em São Paulo passou por um processo de elitização”, diz o pesquisador.



Ao lado, atletas do Santa Marina Atlético Clube, de São Paulo, fundado em 1913. Abaixo, jogadores em campo próximo a uma área fabril, também na capital (sem data)



Na mesma época, o futebol de várzea floresceu nos campinhos paulistanos, ocupando áreas alagadas e terrenos baldios. “A cidade, cortada por rios, oferecia espaços de planície que, ao secarem, eram transformados em campos de futebol”, relata a historiadora Diana Mendes Machado da Silva, que faz estágio de pós-doutorado na The New School, em Nova York, instituição de ensino superior focada em ciências sociais e filosofia.

Nesse período, a ausência de um sistema profissional estruturado permitia que times populares disputassem competições contra clubes de elite, em uma relação de relativa proximidade. As partidas eram organizadas pela Liga Paulista de Futebol (LPF), fundada em 1901. De acordo com o antropólogo Enrico Spaggiari, do Grupo de Estudos de Antropologia da Cidade, da USP, a década de 1930 foi marcada por um processo de profissionalização do futebol no Brasil. “Nesses primórdios, a várzea teve forte ligação com equipes profissionais, funcionando como celeiro de talentos”, diz o pesquisador, um dos organizadores do livro *Futebol popular*, publicado no ano passado pela Editora Ludopédio, com apoio do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) Estudos do Futebol Brasileiro. “Nas décadas seguintes,

times profissionais passaram a estruturar suas categorias de base, de forma que essa transição direta se tornou cada vez mais difícil.”

A partir da década de 1930, ao mesmo tempo que o futebol se profissionalizava, os times amadores se espalharam por São Paulo. Esse movimento teve grande força entre trabalhadores de fábricas e moradores de vilas operárias, parte deles imigrantes europeus, que passaram a organizar seus times. Além disso, populações de territórios negros nos bairros da Barra Funda, do Bixiga, Peruche, Glicério e na Várzea do Carmo formaram agremiações, da mesma forma que comunidades estabelecidas ao longo de ferrovias. “O futebol de várzea emergiu como uma prática que ia além do esporte: era uma forma de apropriação da cidade, por meio da qual as pessoas limpavam terrenos, demarcavam campos e organizavam competições”, destaca Santos, curador da exposição no Museu do Futebol.

Silva concorda. Para a historiadora, os clubes de várzea não são apenas espaços esportivos, mas também pontos de encontro e articulação social e política das comunidades que habitavam e trabalhavam em espaços de vazão dos rios. No mestrado defendido na USP em 2013, a pesquisadora estudou a trajetória da Associação Atlética Anhanguera, fundada por operários ítalo-brasileiros em 1928, que existe até hoje. Os resultados do trabalho foram publicados em livro, lançado em 2017 pela editora Alameda. “Imigrantes pobres, ex-escravizados e, posteriormente, nordestinos foram sendo excluídos das oportunidades de moradia e emprego na cidade. Por isso, se valeram de práticas associativas para se ajudarem mutuamente nessas questões práticas, assim como para formar clubes voltados ao lazer, caso da Associação Atlética Anhanguera e do futebol popular e amador que se espalhou pela cidade”, detalha.

Em Porto Alegre, times organizados por jogadores negros tiveram papel essencial na consolidação do futebol de várzea, afirma Mauro Myskiw, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). “A população negra estruturava ligas próprias, criando um movimento esportivo singular. Elas ofereciam um espaço de inclusão e sociabilidade quando os clubes tradicionais impunham restrições raciais à escolha de seu elenco”, relata o pesquisador, que também é um dos coordenadores da linha de pesquisa Futebol comunitário e de várzea do INCT mencionado anteriormente. Criada em 2022, a iniciativa é financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

De acordo com Myskiw, os primeiros registros de futebol de várzea na capital gaúcha datam do início do século XX. Nesse período, o esporte era jogado, principalmente, em clubes étnicos fundados por imigrantes italianos, alemães e portugueses.

A partir dos anos 1930 e 1940, as ligas formadas por pessoas negras se disseminaram pela cidade, de acordo com o pesquisador. Mais tarde, os jogadores negros passaram a ser aceitos em equipes profissionais que antes os excluía por causa da cor da pele. “Com a possibilidade de atuar em times cada vez mais estruturados, esses atletas foram sendo gradualmente incorporados ao cenário esportivo mais amplo”, afirma o pesquisador, mencionando uma das constatações de sua pesquisa.

Conforme acontecia na capital paulista, o futebol popular em Belo Horizonte, Minas Gerais, entre os anos 1930 e 1940 era fortemente vinculado às fábricas e à siderurgia. “Os clubes ligados a esses empreendimentos tinham maior capacidade financeira de contratar jogadores”, diz o historiador Raphael Rajão Ribeiro, autor de tese de doutorado sobre a cultura futebolística popular no município mineiro, defendida na Fundação Getúlio Vargas (FGV) de São Paulo, em 2021. “Eles eram oficialmente empregados como operários, mas, na prática, dedicavam-se ao futebol”, pros-

segue Ribeiro, professor do Instituto Federal do Ceará (IFCE) e um dos organizadores do livro *Futebol popular*.

No Rio de Janeiro, a estrutura geográfica do futebol de várzea em seus primórdios estava ligada à rede ferroviária que conectava o centro aos subúrbios. Na cidade, o futebol de várzea também é chamado de futebol suburbano. Em doutorado defendido na Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2023, o historiador Glauco José Costa Souza analisou o futebol suburbano em bairros como Engenho de Dentro, Madureira e Olaria entre 1906 e 1930.

O pesquisador afirma que a criação do Campeonato Carioca, em 1906, impulsionou a formação de times de elite, enquanto bairros periféricos começaram a organizar suas próprias competições, como a Liga Suburbana de Futebol. “Os clubes suburbanos se fortaleciam por meio de ligas próprias, fomentando uma intensa cultura futebolística na periferia carioca”, enfatiza Costa, que utilizou como fontes periódicos da época, como *Jornal do Brasil*, *Gazeta de Notícias* e *Gazeta Suburbana*, além de documentos oficiais de clubes. Segundo o historiador, a maioria dos times su-

Jogo no campo do Xurupita Futebol Clube, localizado no Jardim Vivan, na zona oeste de São Paulo



burbanos da cidade desapareceu e as equipes que sobreviveram até hoje foram aquelas que tiveram jogadores comprados por clubes grandes ou encontraram formas alternativas de financiamento, por meio de aportes de comerciantes locais ou de recursos provenientes do jogo do bicho.

Para Osmar Moreira de Souza Junior, professor de educação física e coordenador do Grupo de Estudos e Pesquisas dos Aspectos Pedagógicos e Sociais do Futebol da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), o futebol de várzea e o amador devem ser hoje analisados de forma distinta. Na sua perspectiva, o amador tornou-se um subgrupo do futebol de várzea, que segue pautado pela informalidade e a ocupação espontânea de terrenos. “Por outro lado, o futebol amador envolve times que começaram como equipes de várzea e avançaram para um modelo institucionalizado, com torneios regulares, estádios pequenos e mecanismos financeiros para sustentar as equipes”, detalha Souza Junior, um dos coordenadores do livro *Do futebol moderno aos futebolis transmodernos*, que levou o Prêmio Jabuti Acadêmico na categoria Educação Física, Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional, em 2024.

É o que acontece, por exemplo, em São José do Norte e Pelotas, no interior do Rio Grande do Sul. Ali, o futebol amador se organiza com um nível de eficiência comparável ao de ligas profissionais, segundo o educador físico Luís Carlos Rigo, da Universidade Federal de Pelotas (UFPEl). “Nessas cidades, as diferentes ligas de futebol amador possuem sites oficiais para divulgar os resultados das rodadas, as estatísticas de cartões vermelhos e outras informações detalhadas dos campeonatos locais”, conta Rigo, um dos coordenadores

da linha de pesquisa Futebol Comunitário e de Várzea do INCT.

Em São Paulo, o futebol de várzea vem se transformando. Em artigo publicado no ano passado, Spaggiari, da USP, recorda que as margens dos rios Pinheiros e Tietê abrigavam dezenas de campos de várzea até as primeiras décadas do século XX, muitos dos quais foram perdidos com a construção das marginais, nos anos 1950. A partir da década de 1980, o adensamento da metrópole se intensificou, reduzindo drasticamente a disponibilidade de terrenos livres para essa prática.

Em outro estudo, realizado em 2023 para o Departamento do Patrimônio Histórico da prefeitura de São Paulo, Spaggiari mapeou e documentou a história de campos e clubes independentes da cidade. “Na lógica da urbanização, os campos de várzea ocupam uma posição cada vez mais enfiada. Hoje, a maior parte deles se localiza na periferia”, informa. Uma das exceções é o Campo de Marte, situado em área central.

Outra mudança envolve a profissionalização de parte dos times de várzea. Na concepção de Souza Junior, da UFSCar, essas equipes passam a ser classificadas como amadoras. Segundo ele, esse processo foi impulsionado por competições de grande porte, como a Copa Kaiser, que começaram a ser organizadas a partir da década de 1990 na capital paulista. Os torneios aumentaram a visibilidade de certos times, que começaram a receber patrocínio de empresas. “A presença crescente nas redes sociais, com transmissões ao vivo de torneios e a produção de conteúdo digital, possibilitou a monetização dos jogos e o fortalecimento de circuitos econômicos”, complementa Santos, curador da mostra do Museu do Futebol. “Hoje, é possível estimar que São Paulo reúne mais de mil times não profissionais de futebol, embora essa quantidade seja imprecisa, pois muitos são criados



Uma das equipes vencedoras da edição de 2024 da Copa Centenário, realizada em Belo Horizonte desde 1997

Ao lado, torneio do Festival Feminino de Várzea, realizado em 2021 no Campo de Marte, em São Paulo. Abaixo, notícia sobre partida disputada entre equipes femininas na inauguração do Estádio do Pacaembu, em 1940



2

S. Paulo assiste, pela primeira vez, a uma partida de futebol feminino

○ INTERESSE QUE ESSA NOVIDADE DESPERTOU — UM FUTEBOL DE TÉCNICA APRECIÁVEL — JOGADORAS DE BONS RECURSOS — CONSEGUIRAM FIRMAR-SE EM NOSSO PAÍS ○ O FUTEBOL FEMININO? — OUTRAS NOTAS



3

a cada ano, ao passo que outros interrompem suas atividades”, prossegue o geógrafo, que analisou a situação contemporânea da várzea paulistana em artigo de 2019.

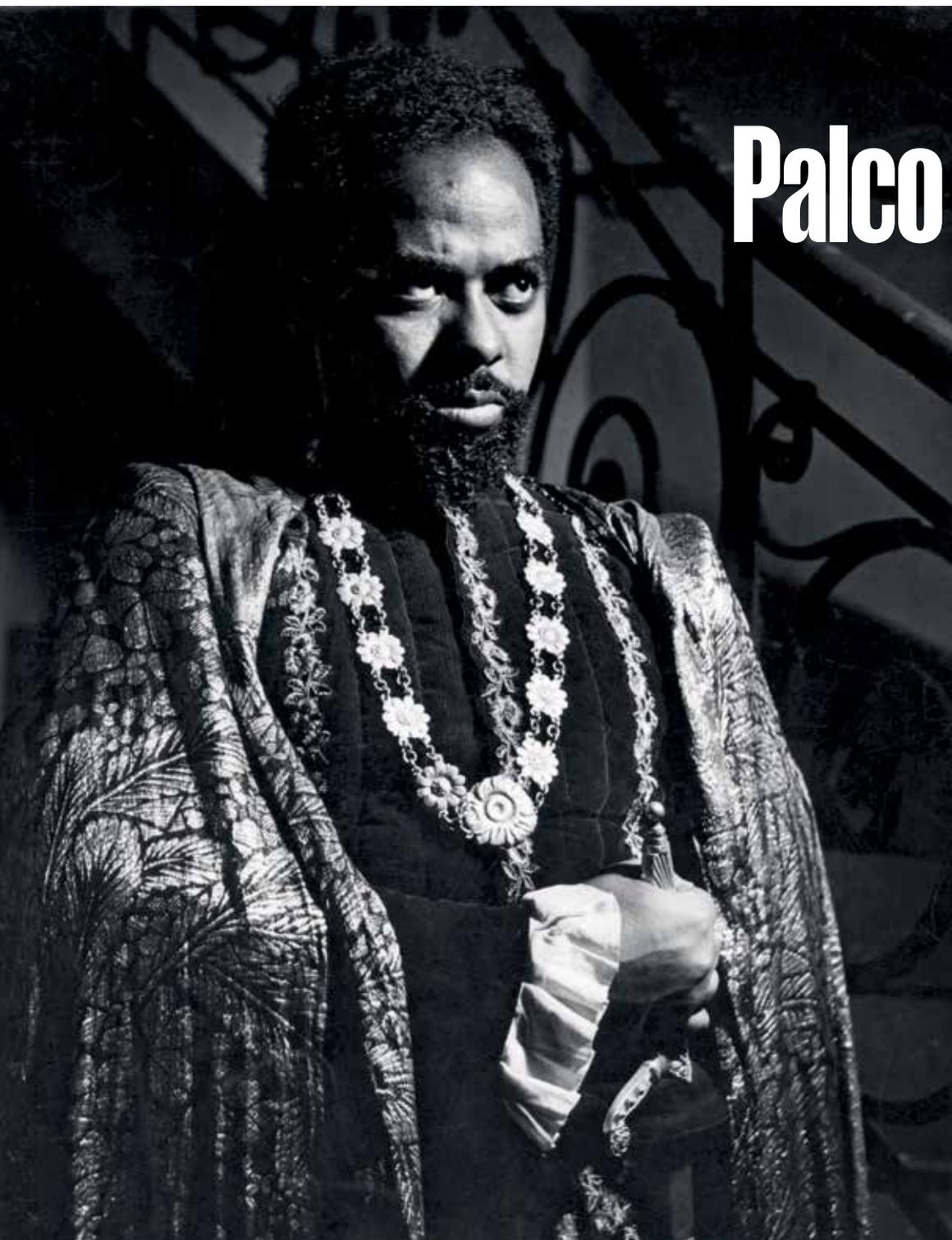
A trajetória de times de futebol femininos não profissionais vem atraindo a atenção da historiadora Aira Bonfim, que defendeu mestrado sobre o tema na FGV de São Paulo, em 2019. Segundo a pesquisadora, há registros em jornais que mostram meninas disputando partidas com meninos em clubes de elite da cidade desde 1915. Nesses primórdios, o futebol feminino também era praticado por artistas de companhias circenses, que jogavam futebol em cena. Em 1926, o Circo Piolin, por exemplo, encenou um espetáculo no seu espaço montado no largo do Paissandu (SP), no qual atrizes vestidas com uniformes do time Palestra Itália, hoje Palmeiras, disputaram um jogo.

A prática do esporte por mulheres se expandiu para as periferias ao longo do tempo. “Os anos

1930 marcaram um crescimento expressivo das equipes femininas, especialmente no Rio de Janeiro. Nessa década, havia pelo menos 15 times de mulheres em bairros suburbanos da cidade”, destaca Bonfim. Na medida em que as mulheres demonstravam habilidades com a bola, passaram a ser convidadas para abrir campeonatos masculinos. Em 1940, por exemplo, duas dessas equipes cariocas foram convidadas para jogar na inauguração do Estádio do Pacaembu, em São Paulo. “A presença das jogadoras scandalizou o público”, relata a historiadora, uma das fundadoras do Centro de Referência do Futebol Brasileiro (CRFB), do Museu do Futebol.

Em 1941, o governo de Getúlio Vargas (1882-1954) vetou a prática do futebol feminino no Brasil, proibição que permaneceu vigente até 1979. “No entanto, nesse intervalo, elas seguiram jogando, organizando partidas com o pretexto de realizar eventos beneficentes, treinando em espaços fechados como clubes e escolas e em áreas periféricas, onde ficavam distantes de qualquer tipo de fiscalização”, relata a pesquisadora. Um marco recente no cenário paulistano se deu em 2019. Naquele ano, a jogadora Maria Amorim, moradora do bairro de Parelheiros, na zona sul, fundou uma inédita liga feminina, que desde então promove campeonatos com agremiações de várias partes do município. “Hoje existem 150 times femininos atuantes na cidade”, comemora Bonfim, que realizou esse mapeamento como parte de um curso de extensão oferecido por ela na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), em 2022. ●

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



Palco de luta

Nascimento no papel título da peça *Otelo*, de Shakespeare, nos anos 1940

Expoente do movimento antirracista, Abdias Nascimento aliou criação artística e engajamento político em iniciativas como o Teatro Experimental do Negro, que estreou há 80 anos

JULIANA VAZ

Em 8 de maio de 1945, enquanto a Alemanha nazista assinava o termo de rendição que colocaria fim à Segunda Guerra Mundial, o Brasil também vivia um dia histórico. No Rio de Janeiro, o palco do Teatro Municipal recebia pela primeira vez uma produção teatral com um protagonista e elenco majoritariamente negro, quebrando um paradigma nas artes cênicas nacionais. A peça *O imperador Jones*, do dramaturgo norte-americano Eugene O'Neill (1888-1953), com Aguinaldo Camargo (1918-1952) no papel principal, contava a história de um afro-americano que, após cometer um assassinato, foge para uma ilha do Caribe, onde é coroado imperador.

O evento marcou a estreia do Teatro Experimental do Negro (TEN), companhia fundada um ano antes no Rio de Janeiro pelo dramaturgo, ator e diretor paulista Abdias Nascimento (1914-2011). “Encerrada estava a fase do negro sinônimo de palhaçada na cena brasileira”, lembraria o intelectual, cinco décadas mais tarde, em artigo publicado em 1997 na *Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional*. Ele se referia à tradição da dramaturgia nacional de reservar aos negros apenas os papéis menores ou caricaturais, “ridículos, brejeiros e de conotações pejorativas”. Nos papéis de maior protagonismo predominava até então o *blackface*, recurso no qual um ator branco entrava em cena com o rosto pintado de preto.

Dali em diante, o TEN ajudou a formar e revelar atrizes e atores que se tornariam grandes nomes do teatro brasileiro, como Ruth de Souza (1921-2019) e Léa Garcia (1933-2023). Um dos momentos emblemáticos da companhia se deu na Festa Shakespeariana, em 1949, no Teatro Fênix (RJ). Na ocasião, uma cena da peça *Otelo*, de William Shakespeare (1564-1616), foi interpretada por dois atores negros, Souza e Nascimento, nos papéis de Desdêmona e Otelo.

“A presença negra no teatro brasileiro precisa ser mais estudada e analisada”, comenta Leda



2

Maria Martins, professora aposentada da Faculdade de Letras da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). “No século XVIII, os negros interpretavam todo e qualquer personagem no teatro, já que a função de ator e atriz era muito desqualificada. É a partir do século XIX que o negro vai sendo excluído da cena principal e passa a interpretar personagens secundários extremamente estereotipados.”

De acordo com a pesquisadora, a companhia criada por Nascimento contribuiu para a modernização do teatro brasileiro, mas sua participação nesse processo é pouco reconhecida. “Abdias inovou, por exemplo, ao incorporar aos espetáculos gestuais performáticos de matrizes negras, principalmente de rituais, como o candomblé”, conta Martins, autora da tese de doutorado “A cena em sombras: Expressões do teatro negro no Brasil e nos EUA”, defendida na UFMG, em 1991, e um dos primeiros trabalhos acadêmicos sobre o TEN.

Na ausência de uma dramaturgia que refletisse a situação do negro no Brasil, a companhia passou a encomendar, receber e produzir textos brasileiros, a exemplo de *O filho pródigo* (1947), de Lúcio Cardoso (1912-1968), *O anjo negro* (1946), de Nelson Rodrigues (1912-1980), e *Sortilégio, mistério negro* (1951), do próprio Nascimento. As nove peças escritas para o TEN foram reunidas na antologia *Dramas para negros e prólogo para brancos*, lançada originalmente em 1961 e agora reeditada pela editora Temporal.

“Muitas das peças feitas para o TEN trazem o desejo de protagonistas negros de embranque-

Ensaio do Teatro Experimental do Negro, em 1944, com o ator Grande Otelo, ao centro, de gravata

cerem. Isso porque quanto mais branco fossem, maior seria a possibilidade de ascensão na pirâmide social. Há também uma ênfase muito grande nas relações inter-raciais”, relata Martins, que assina o prefácio do livro. “Pode parecer contraditório, mas essa é uma questão que fazia parte daquele contexto em que a eugenia ainda se alastrava pelo país. No século XX, o ideal da nação era se tornar branca, o que se expressava em textos de grandes e respeitados intelectuais, como Monteiro Lobato [1882-1948].”

A iniciativa de valorizar um elenco negro no teatro brasileiro não era inédita: duas décadas antes, por exemplo, o ator, diretor e dramaturgo baiano De Chocolat (1887-1956) havia criado no Rio de Janeiro a Companhia Negra de Revistas, que se manteve ativa entre 1926 e 1927. Porém nenhuma teve o alcance do TEN. Apesar dos poucos recursos financeiros, suas atividades incluíram, por exemplo, cursos de alfabetização e cultura à população negra, frequentados por operários e empregadas domésticas.

Além disso, o TEN inspirou o surgimento de outras iniciativas, como o Teatro Experimental do Negro de São Paulo (TENSP), idealizado em 1945 pelo professor e jornalista Geraldo Campos de Oliveira. “O TEN e o TENSP só existiram graças ao intervalo democrático entre o fim do Estado Novo [1937-1945] e o golpe de 1964. Não por acaso, a partir de 1964, as duas companhias entram em derrocada”, constata o sociólogo Mário Augusto Medeiros da Silva, da Universidade

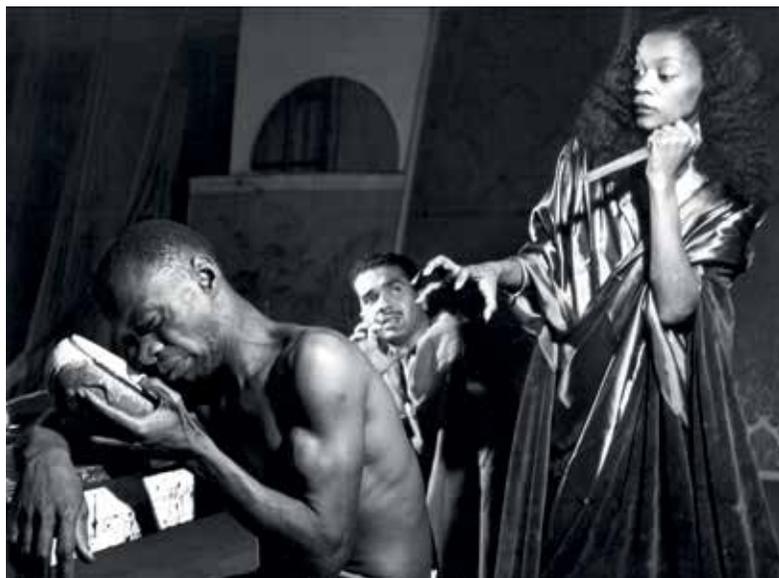
Estadual de Campinas (Unicamp), estudioso do movimento negro. “Por considerar a luta antirracista subversiva, a ditadura militar [1964-1985] sufocava esse tipo de proposta.”

A estreia do TEN no Teatro Municipal do Rio representou uma reviravolta na trajetória de Nascimento. Apenas dois anos antes, em abril de 1943, ele se encontrava preso na Casa de Detenção de São Paulo, o Carandiru. Com então 29 anos, chegara ali após resistir a um episódio de racismo junto com o amigo Sebastião Rodrigues Alves, ocorrido na década de 1930. A dupla, que então servia o Exército, tinha sido proibida de entrar pela porta da frente de uma boate em São Paulo e acabou se envolvendo numa briga com um delegado do Departamento Estadual de Ordem Política e Social de São Paulo (Deops-SP).

Excluído do Exército nos anos 1930 por esse motivo, Nascimento viajou em 1941 ao Amazonas e ao Peru com o grupo *Santa Hermandad de la Orquidea*, composto por intelectuais argentinos e brasileiros, do qual fazia parte. Em solo peruano, assistiu a uma montagem do mesmo *O imperador Jones*, com um protagonista branco pintado de preto. Ali, teve a ideia de fundar uma companhia de teatro negro no Brasil. Ao voltar ao país, no entanto, descobriu que havia sido condenado à reclusão pelo episódio da briga.

No Carandiru, criou com companheiros de cárcere o Teatro do Sentenciado, grupo formado exclusivamente por presos condenados, que realizou, ao todo, seis encenações. Ainda na prisão, Nascimento escreveu *Submundo: Cadernos de um penitenciário*, espécie de diário em que registra a história de outros presos notórios da época, como Lino Catarino, o “Lampião paulista”, e aborda os desafios enfrentados por seu projeto teatral. Em 2023, o manuscrito saiu pela editora Zahar.

A partir da esquerda, cenas dos espetáculos *O imperador Jones* (1945), com Aguinaldo Camargo (*em pé*), e *O filho pródigo* (1947), com Ruth de Souza





“Eles desenvolveram sua própria dramaturgia e cuidavam de todas as etapas da produção, dos figurinos à iluminação”, diz Viviane Becker Narvaes, da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio). “O Teatro do Sentenciado promoveu o debate sobre raça dentro da prisão ao resgatar a figura do abolicionista José do Patrocínio [1853-1905]”, prossegue a pesquisadora, cuja tese de doutorado sobre o grupo, defendida em 2020 na USP, será publicada neste primeiro semestre pela editora Hucitec.

Em 1968, com a decretação do Ato Institucional nº 5 (AI-5) e o aprofundamento da repressão política pela ditadura militar, Nascimento decidiu permanecer nos Estados Unidos, onde se encontrava devido a uma bolsa de estudos concedida pela Fairfield Foundation. “Em Oakland, Abdias foi recebido pelos Panteras Negras, quando já era considerado uma figura central do pan-africanismo, movimento social internacional para a defesa das questões dos povos negros”, afirma Gilberto Alexandre Sobrinho, do Instituto de Artes da Unicamp, que durante estágio de pós-doutorado na Universidade de Nova York, entre 2021 e 2022, com apoio da FAPESP, investigou a estada de Nascimento nos Estados Unidos. O intelectual permaneceu naquele país até 1981, mas passou uma temporada na Nigéria entre 1976 e 1977.

Nos anos 1970, Nascimento tornou-se professor na Universidade do Estado de Nova York,

em Buffalo. Ali, criou a cadeira de Culturas Africanas no Novo Mundo. Por não dominar o inglês, ensinava em português, contando com o auxílio de tradutores. Paralelamente a isso, dedicou-se à pintura, produzindo imagens relacionadas aos orixás e à cultura religiosa africana no Brasil. “Abdias integrou a cena artística latino-americana do Harlem, na parte norte de Manhattan, e se encontrou com vários artistas do Black Arts Movement”, diz Sobrinho. “Ele não queria vender para galerias, mas criar uma imagem coletiva que servisse às aspirações do negro brasileiro.”

Ao retornar ao Brasil, Nascimento fundou em 1981 o Instituto de Pesquisas e Estudos Afro-brasileiros (Ipeafro), hoje presidido por sua viúva, a cientista social Elisa Larkin Nascimento. A partir dos anos 1980, ele enveredou pela política partidária. Eleito deputado federal (1983-1987) pelo Partido Democrático Trabalhista (PDT), na década de 1990 foi também suplente de Darcy Ribeiro (1922-1997) no Senado, pela mesma agremiação. Com a morte do antropólogo, Nascimento assumiu a vaga até 1999.

Nos mandatos, apresentou propostas como a adoção de medidas de ação compensatória para a população negra. Os projetos de Nascimento foram aprovados em todas as comissões legislativas, mas não chegaram ao plenário. Antes de morrer em 2011, no Rio de Janeiro, aos 97 anos, ele pôde ver algumas de suas ideias se tornar realidade pela iniciativa de outros parlamentares. “O que hoje nós conhecemos como políticas reparatórias, ou políticas afirmativas, já estava em pauta no Teatro Experimental do Negro. O TEN pleiteou até mesmo algo equivalente às cotas raciais”, finaliza Sobrinho. ●

Acima, Nascimento discursa na Serra da Barriga (AL), em 1983, e, ao lado, a tela *Oké Oxóssi* (1970), de sua autoria

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

Em todos os sentidos





A onomástica estuda os nomes próprios em geral, como os de pessoas e lugares

ARTHUR MARCHETTO — ilustrações SANDRA JÁVERA

Os nomes Francinaldo e Florisvalda têm um ponto em comum para além da letra inicial. “São nomes essencialmente brasileiros, resultado da fusão de duas partículas oriundas de nomes tradicionais”, comenta Juliana Soledade, professora da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e autora do livro *Os brasileiros e seus nomes: Teoria e história da antroponímia no Brasil* (Pontes Editores, 2024). “O Brasil inovou o seu quadro de nomes de pessoas e possui características bem peculiares se comparada, por exemplo, ao sistema de nomenclatura português, que segue uma lista fixa determinada pelo governo. Infelizmente esses nomes brasileiros são estigmatizados e desprestigiados no país, mas têm tudo a ver com a criatividade brasileira.”

Segundo a pesquisadora, as criações brasileiras aproveitaram o modelo biformativo do padrão germânico, que foi herdado dos colonizadores portugueses. “Em geral, os nomes de raiz germânica resultam da junção de duas palavras comuns que criam um nome com um terceiro significado. É o caso de Eduardo, constituído pela união de *ead* (‘rico, feliz’) e *ward* (‘guarda’), significando ‘guardião da riqueza’, ou da junção de *ber* (‘urso’) e *hard* (‘duro, forte’), que gera Bernardo, cujo significado poderia ser ‘urso forte’ ou ‘forte como um urso’”, explica Soledade. “Os brasileiros fizeram novas combinações de nomes com essas partículas. Assim, por exemplo, José, um nome de origem hebraica, se une a *naldo*, formativo de origem germânica, para criar Josenaldo, sobre o qual não podemos fazer nenhuma inferência de significado.”

Até o final do século XIX, os prenomes que circulavam em território nacional, em especial pelas vias oficiais, eram da tradição luso-judaico-

-cristã, diz a pesquisadora. Esse cenário começa a mudar a partir da vigência do Decreto nº 9.886 da Constituição de 1888, que retira da Igreja Católica a incumbência exclusiva nos registros de nascimento, casamento e óbito. “Outro ponto importante foi a abolição da escravatura. Os antigos escravizados queriam se distanciar dos nomes da elite branca e criaram outras opções”, explica Soledade, que atualmente coordena a elaboração do *Novo dicionário de nomes em uso no Brasil*, projeto que criou em 2017, quando atuava como docente na graduação da Universidade de Brasília (UnB).

As pesquisas de Soledade pertencem ao campo da onomástica, vertente da linguística que se dedica ao estudo dos nomes próprios em geral, sobretudo de pessoas (antroponímia) e de lugares (toponímia). “Trata-se de uma área essencialmente interdisciplinar por envolver conhecimentos de searas como do direito, da história, da sociologia, da psicologia e da geografia”, exemplifica Patrícia Carvalhinhos, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH-USP).

Segundo Carvalhinhos, em termos mundiais a instauração da onomástica como disciplina científica se deu no século XIX com o historiador e arquivista francês Auguste Longnon (1844-1911). “Porém, essa discussão remonta à Antiguidade. Até Platão refletia sobre os nomes, como no diálogo *Crátilo*”, diz a pesquisadora. Entre os pioneiros na língua portuguesa está o filólogo lusitano José Leite de Vasconcelos (1858-1941), autor da obra *Antroponímia portuguesa* (1928). Já no Brasil, um dos marcos é o *Dicionário etimológico da língua portuguesa* (1952), de Antenor Nascentes (1886-1972), voltado para a etimologia dos nomes próprios.

No âmbito acadêmico, os primeiros trabalhos surgiram no país na primeira metade do século

XX. É o caso dos estudos de Plínio Ayrosa (1895-1961), da cadeira de etnografia e língua tupi-guarani da USP, que publicou títulos como *Termos tupis no português do Brasil* (1937). “A toponímia foi um dos meios que ele utilizou para compreender a linguística indígena”, diz Carvalhinhos. Entretanto, o campo se consolidou de fato no Brasil na década de 1990, a partir da atuação de pesquisadores como Maria Vicentina de Paula do Amaral Dick (1936-2024), também da USP. “Em sua tese de doutorado, defendida em 1980 e publicada em 1992, ela adaptou para a realidade brasileira a análise com uso de campos semânticos, metodologia que vinha sendo empregada em pesquisas realizadas em nível mundial desde os anos 1950”, explica Carvalhinhos. “Em linhas gerais, a ideia é segmentar a realidade para entender melhor suas particularidades. Podemos pegar, por exemplo, os nomes das cidades brasileiras e dividi-los em dois grandes grupos: aqueles inspirados pela natureza e outros originários de artefatos humanos. Na sequência são criadas subcategorias e assim por diante.”

Para Eduardo Amaral, da Faculdade de Letras da Universidade Federal de Minas Gerais (Fale-UFMG), há ainda muito a se avançar nessa área de estudo no país, principalmente na antroponímia. Em parceria com Márcia Seide, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), ele idealizou o Observatório Onomástico (O-Onoma), rede criada em 2020 com a meta de facilitar o intercâmbio dos resultados de pesquisas e a cooperação entre instituições. No ano passado, o grupo com integrantes de mais de 20 universidades brasileiras lançou o livro *Os nomes próprios no Brasil: Contribuições do Observatório Onomástico (O-Onoma)*, publicado pela Pontes Editores.

Formado em direito e letras, Amaral realiza estudos sobre diferentes categorias de nomes próprios, com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig). Entre elas está o nome social, reconhecido no Brasil pelo Decreto nº 8.727, de 2016. A medida efetivou o direito de uso de nome social em ambientes públicos por pessoas com identidade de gênero diversa do que consta no registro civil. “O nome social, que é a designação pela qual a pessoa travesti ou transgênero prefere ser chamada, começa a ser reconhecido institucionalmente a partir da primeira década deste século. Isso passou a acontecer primeiramente no âmbito da saúde para evitar constrangimento da população LGBTQ+ em hospitais e demais atendimentos públicos, sendo seguido depois pela educação, em universidades e escolas”, diz Amaral. “Infelizmente, ao contrário de países como a Espanha e a Argentina, não temos no Brasil uma lei para

garantir esse direito de forma definitiva. Não se pode esquecer que um decreto federal pode ser revogado com a assinatura do presidente.”

Em tese de doutorado realizada com apoio da FAPESP e defendida em 2024 na FFLCH-USP, Letícia Rodrigues investigou os sobrenomes portugueses em uso no Brasil. A pesquisadora utilizou como fontes a lista de imigrantes que se alojaram na Hospedaria de Imigrantes do Brás, em São Paulo, entre 1887 e 1889, e também passaportes dos portugueses que emigraram para o Brasil entre 1888 e 1890, que consultou durante temporada como pesquisadora visitante na Universidade de Coimbra, em Portugal. Além disso, recorreu à lista de aprovados na primeira etapa da Fundação Universitária para o Vestibular (Fuvest) em 2017.

Ao todo, Rodrigues levantou cerca de 50 mil sobrenomes, mas trabalhou com cerca de 1.700 deles. “Essa discrepância numérica se deu, sobretudo, porque há muitas formas variantes de um mesmo sobrenome, que divergem apenas na grafia, como ‘Queirós’ e ‘Queiroz’”, justifica a pesquisadora, que atualmente se dedica à formulação do *Dicionário onomástico etimológico dos sobrenomes portugueses em uso no Brasil*.

“Alguns desses sobrenomes estão relacionados à natureza, como Pereira e Oliveira, enquanto outros são derivados de elementos religiosos, como Trindade e Rosário. Existem ainda sobrenomes associados a nomes de animais, tais como Cordeiro, Coelho e Sardinha, e nomes profissionais, como Ferreiro, Machado e Monteiro”, comenta Rodrigues. “Já Lacerda deriva da expressão espanhola *la cerda*, referindo-se a um tufo de pelo que se projetava da camisa, na altura do peito, ou Pestana, que designa uma pessoa com cílios compridos.”

O povo indígena Parkatêjê, que vive no sudeste do Pará, chama o rio Tocantins de Pyti, cujo significado é “muito urucum”



Desde a graduação em letras, que concluiu em 2014 na Universidade Federal do Pará (UFPA), Tereza Tayná Coutinho Lopes estuda diferentes aspectos da língua e cultura da etnia Parkatêjê, que vive no sudeste daquele estado. “Durante o ato da nomenclatura, o nominador escolhe uma característica, positiva ou negativa, de seu próprio comportamento com a qual chamará seu nominado”, relata Lopes, docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Um dos exemplos é o nome Kôkupati, que significa “medo de água”. “É um nome pessoal transmitido por um nominador que tem como característica de sua personalidade o fato de ter medo da água e uma característica que será lembrada pelas próximas gerações por meio do nome próprio criado”, prossegue.

Além disso, na pesquisa de doutorado defendida em 2022 pelo Programa de Pós-graduação em Letras da UFPA, Lopes analisou a toponímia dos Parkatêjê. “Alguns dos nomes são literais, como é o caso da aldeia Kôjakati, que significa água branca ou clara e leva esse nome devido às características de um igarapé próximo”, conta a pesquisadora.

Outros nomes trazem, por exemplo, aspectos culturais. “Os indígenas chamam o rio Tocantins de Pyti, que significa ‘muito urucum’”, prossegue Lopes. “Isso em função do mito que conta como, após a criação do mundo, os indígenas da região encontraram muito urucum, amassaram todas as sementes e as jogaram no rio, tingindo suas águas. Ele adquiriu mitologicamente a cor típica desse fruto amplamente utilizado na cultura Parkatêjê.”

Lopes integra o grupo de pesquisa “Estudos funcionais-descriptivos de Parkatêjê e de outras línguas minoritárias”, da UFPA, que trata, por exemplo, da importância da preservação dos no-

mes próprios de povos originários em solo brasileiro. “No caso do Parkatêjê, as gerações mais novas enfrentam dificuldades para preservar a língua tradicional do povo, uma vez que a predominância do português tem feito com que apenas os anciões dominem os conhecimentos ancestrais dos mitos, das práticas culturais e a fluência na língua”, observa a pesquisadora.

Os nomes de lugares exercem um papel importante na constituição da memória, mas nos últimos anos as metrópoles brasileiras vêm sofrendo um processo conhecido como comercialização de *namings rights*. “Nessa estratégia de marketing, o nome de uma marca comercial é anexado ao nome de um espaço, como estádio de futebol e estação de metrô”, explica Martin Jayo, professor da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP), coautor de um artigo sobre o tema.

No ano passado, o largo da Batata, na zona oeste paulistana, foi alvo de uma tentativa de contrato desse tipo entre a prefeitura de São Paulo e uma multinacional de alimentos e bebidas. A ideia era acrescentar ao nome do espaço, de forma temporária, a alcunha de uma marca de batata-frita da empresa. Em função da repercussão negativa junto à população, a gestão municipal recuou e desistiu do acordo. “Pensamos no patrimônio físico, tombamos construções, mas os nomes são um tipo de patrimônio que não é levado em consideração no Brasil”, lamenta o pesquisador. ●

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



memória

O primeiro degrau

Estudos sobre condições de vida dos trabalhadores influenciaram debates sobre o salário mínimo na década de 1930

RICARDO BALTHAZAR

Em 1934, um grupo de pesquisadores foi às ruas de São Paulo investigar as condições de vida dos trabalhadores da cidade e se surpreendeu com a realidade que encontrou.

Uma imigrante italiana pediu ajuda para conseguir a doação de dois cestos de alimentos. Algumas famílias só aceitaram participar do estudo depois que os pesquisadores tiraram dinheiro do bolso para ajudá-las a comprar comida. Outras se negaram a cooperar porque temiam sofrer represálias dos patrões.

O levantamento foi uma iniciativa da então recém-criada Escola Livre de Sociologia e Política de São Paulo, fundada em 1933. Entre as famílias que for-

neceram aos pesquisadores informações sobre rendimentos e despesas, 27% não ganhavam o suficiente com seu trabalho para garantir a cada integrante da família o consumo de 2.500 calorias diárias, na época considerado o mínimo necessário para a sobrevivência de um indivíduo.

A maioria conseguia comer o suficiente para repor suas energias, mas muitos tinham se endividado no comércio e poucos mantinham uma dieta equilibrada. “As rendas baixas obrigam as famílias operárias a escolher alimentos, considerados por elas maus, mas que se tornam os únicos possíveis de fornecer-lhes as energias necessárias”, afirmou o relatório final da pesquisa, publicado na



Tecelãs da Indústria Matarazzo, em São Paulo, em 1925, quando ainda não havia garantias de rendimento mínimo

Revista do Arquivo Municipal de São Paulo em junho de 1935.

O estudo foi coordenado pelo sociólogo norte-americano Horace Bancroft Davis (1898-1999), um dos primeiros professores contratados pela escola paulista, e teve impacto imediato, numa época em que o Brasil estava no início de sua industrialização e ainda discutia a melhor maneira de implementar leis de proteção social como a que criaria o salário mínimo.

“Os debates sobre o salário mínimo no Brasil sempre foram muito pautados pelo problema da subsistência”, observa o professor de economia Victor Cruz e Silva, da Universidade Federal do Paraná (UFPR). “Outros países, como os Estados Unidos, já se preocupavam com a necessidade de compartilhar os ganhos de produtividade da economia com os trabalhadores, mas isso demorou a se tornar assunto aqui, porque ainda precisávamos garantir a eles condições básicas de sobrevivência.” O primeiro país a ter um salário mínimo fixado em lei foi a Nova Zelândia, em 1894.

Num artigo publicado em setembro no *Journal of the History of Economic Thought*, Cruz e Silva apontou o trabalho coordenado por Davis como o primeiro a aplicar métodos rigorosos de pesquisa e análise estatística ao estudo das condições de vida dos trabalhadores no Brasil. Os pesquisadores submeteram questionários a 221 famílias operárias e conseguiram que 75 delas anotassem em cadernetas informações minuciosas sobre seu consumo de alimentos, durante um período de três meses.

Na mesma época, médicos investigaram o regime alimentar de famílias pobres com questionários mais simples e obtiveram resultados semelhantes. O trabalho de maior repercussão, publicado em 1935 também, foi coordenado pelo pernambucano Josué de Castro (1908-1973), que em 1946 lançou o livro *Geografia da fome*. Ele constatou que os trabalhadores do Recife ingeriam em média 1.646 calorias por dia, muito abaixo do recomendado e metade da média observada por Davis em São Paulo, equivalente a 3.235 calorias por dia (ver Pesquisa FAPESP nº 324).

Pouco depois, Samuel Harman Lowrie (1894-1975), outro sociólogo norte-americano que dava aulas na escola paulista, usou a metodologia de Davis para estudar a situação dos funcionários do serviço de limpeza pública de São Paulo. Ele reuniu informações de 306 famílias e fez um amplo levantamento sobre a evolução dos preços dos alimentos na capital, com base em registros da antiga Bolsa de Mercadorias de São Paulo e do órgão municipal que fiscalizava as feiras livres.

Lowrie concluiu que os servidores ganhavam o suficiente para sustentar uma família, mostrou que os preços dos alimentos estavam subindo mais rápido do que seus salários e recomendou que a prefeitura os reajustasse. Para Lowrie, era preciso não só corrigir essa defasagem, mas também atender a outras necessidades básicas e evitar que crianças e adolescentes deixassem a escola e ingressassem no mercado de trabalho precocemente para ajudar suas famílias.

Esses estudos, embora com amostras pequenas, contribuíram para os debates sobre o salário mínimo ao salientar três aspectos centrais, segundo Cruz e Silva: a insuficiência da renda de muitos trabalhadores para garantir uma dieta alimentar saudável, as diferenças regionais e a necessidade de um mecanismo que os protegesse contra a inflação dos preços dos alimentos.

Getúlio Vargas (1882-1954) defendeu a instituição do salário mínimo no Brasil antes de assumir a chefia do governo provisório instalado pela Revolução de 1930, mas levou uma década para honrar o compromisso. A Constituição de 1934 incluiu o piso entre os direitos assegurados aos trabalhadores e o primeiro passo



Getúlio Vargas assina o decreto de salário mínimo, em 1940

para implementá-lo foi dado em 1936, quando o Congresso aprovou uma lei com os procedimentos que precisariam ser seguidos para determinação do seu valor. Foram necessários anos de discussões até que ele finalmente saísse do papel, em maio de 1940.

“A pressão dos sindicatos nos centros urbanos era crescente, mas houve forte reação dos empresários e a turbulência política desse período levou Vargas a postergar a definição, enquanto se equilibrava entre os dois polos”, comenta o historiador Paulo Fontes, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), estudioso da história do movimento sindical no Brasil. O martelo só foi batido no Estado Novo (1937-1945), regime que deu a Vargas poderes ditatoriais e submeteu sindicatos de patrões e empregados a férreo controle governamental.

Segundo a Constituição de 1934, o salário mínimo deveria ser “capaz de satisfazer, conforme as condições de cada região, as necessidades normais do trabalhador”. Lei de 1936 listou cinco delas: alimentação, habitação, vestuário, higiene e transporte.

O Ministério do Trabalho organizou um inquérito censitário para averiguar as condições de vida no país e recolheu informações sobre rendimentos e gastos de 834 mil trabalhadores de baixa renda em mais de mil municípios. No cálculo das despesas com alimentação, foi considerada uma cesta composta por 13 produtos essenciais, listados por um decreto de 1938 – carne, leite, feijão, arroz, farinha, batata, tomate, pão francês, café

em pó, banana, açúcar, óleo de cozinha e manteiga.

O censo mostrou que a renda era mais elevada nas capitais, onde o custo de vida também era mais alto, e indicou que as dificuldades dos trabalhadores eram maiores no interior do país. O rendimento médio *per capita* das famílias da amostra que moravam nas capitais era 56% maior do que o recebido pelas que viviam em áreas rurais e no interior. Gastos com alimentação consumiam 55% do orçamento doméstico nos grandes centros urbanos e representavam 68% do total nos rincões.

O decreto que fixou o primeiro salário mínimo em 1940 dividiu o país em 50 sub-regiões e estabeleceu 14 valores distintos. Em geral, a referência adotada foi a média dos salários que eram pagos a trabalhadores de baixa qualificação no mercado, conforme apurado pelo censo. Nas tabelas publicadas pelo governo, os pisos variaram de 90 mil-réis, válido para as áreas mais pobres no interior do Norte e do Nordeste, a 240 mil-réis, valor fixado para a cidade do Rio de Janeiro, então a capital do país. Não é possível saber se eram suficientes para suprir as necessidades básicas previstas pela legislação. Os pesquisadores do censo pediram que as pessoas estimassem seus gastos, mas não levantaram informações sobre preços de alimentos e outros itens, e o governo ainda não dispunha de estatísticas sobre isso.

Poucos tiveram acesso a esses valores, porém. A informalidade no mercado de



trabalho era grande e a proteção só seria estendida efetivamente aos trabalhadores do campo nos anos 1960. “A novidade demorou a chegar para a maioria, especialmente os mais pobres”, afirma o professor de economia Thales Zambran Pereira, da Fundação Getúlio Vargas (FGV) em São Paulo, que pesquisou as diferenças salariais entre as regiões do país no início do século XX. “Mesmo entre os operários da indústria, que eram mais organizados, as taxas de sindicalização ainda eram muito baixas nessa época, o que reduzia seu poder de barganha.”

A legislação estabelecia que o valor do salário mínimo poderia ser revisto pelas comissões regionais três anos depois, em 1943. Houve dois reajustes nesse ano, para compensar a inflação acumulada desde o início da década, mas o poder aquisitivo



Porto de Santos, início do século XX: embarque de café, base da economia nacional





Feira livre no Rio de Janeiro em 1923 e mercado atual em São Paulo: alimentação saudável e suficiente é uma das necessidades básicas a serem atendidas pelo salário mínimo



FOTOS 1 GUILHERME GAENSLY/ACERVO DO INSTITUTO MOREIRA SALLES
2 BIBLIOTECA NACIONAL 3 DOMÍNIO PÚBLICO/ACERVO DO INSTITUTO
MOREIRA SALLES 4 LEO RAMOS CHAVES/REVISTA PESQUISA FAPESP

do piso logo voltou a ser corroído. A aceleração dos preços e a agitação sindical levaram o governo a promover reajustes mais frequentes a partir de 1951, quando houve nova recomposição do seu valor.

“O salário mínimo foi ganhando relevância na agenda trabalhista”, diz o economista Renato Perim Colistete, da Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo (FEA-USP), que estudou a evolução dos salários, da produtividade e dos lucros na indústria brasileira na segunda metade do século XX. “Os sindicatos perceberam que o reajuste do piso induzia os patrões a aumentar também os salários de outras faixas acima do mínimo, premiando trabalhadores um pouco mais qualificados, e incorporaram isso às suas estratégias de negociação com as empresas.” Esse

efeito continua a ser observado no Brasil nos dias de hoje, de acordo com várias pesquisas.

Após o golpe de 1964, os governos militares extinguiram as comissões tripartites da era Vargas, acabaram com os pisos regionais e arrojaram os salários por um bom tempo. A recuperação só ocorreu depois do Plano Real (1994) e foi intensificada a partir de 2007, quando uma nova política articulada pelo governo com as centrais sindicais garantiu ao piso salarial ganhos reais, além da reposição anual da inflação.

Segundo o Departamento Inter-sindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese), o valor real do salário mínimo caiu pela metade entre 1986 e 1994. Nas três décadas seguintes, seu poder aquisitivo praticamente dobrou. Em 1995, um salário mínimo era suficiente para a aquisição de uma cesta básica de alimentos, composta pelos mesmos produtos listados pelo decreto de 1938, que continua vigente. O valor atual do piso, que foi reajustado em janeiro para R\$ 1.518, permite comprar 1,8 cesta.

A política de valorização deu uma contribuição importante para a redução da desigualdade da renda no país, que caiu nesse período, sem produzir efeitos negativos relevantes no mercado de trabalho como muitos economistas temiam, preocupados com o encarecimento dos custos da mão de obra para as empresas. “Os melhores estudos disponíveis mostram que, mesmo nos períodos em

que houve aumento do desemprego e da informalidade após os reajustes do salário mínimo, esse impacto negativo foi pequeno”, afirma o economista Miguel Foguel, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), ligado ao Ministério do Planejamento, que avaliou os efeitos da política no mestrado, defendido na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) em 1997, e em trabalhos posteriores.

A maior preocupação dos economistas hoje é com o aumento dos custos da política de valorização para os cofres do governo. “O crescimento econômico do início dos anos 2000 criou condições propícias para essa política, permitindo uma recomposição significativa do poder de compra do salário mínimo sem gerar inflação e outros efeitos negativos, mas ficou mais difícil sustentar os custos dessa política”, afirma o sociólogo Pedro Ferreira de Souza, do Ipea, autor de *Uma história da desigualdade: A concentração de renda entre os ricos no Brasil (1926-2013)* (Hucitec, 2018). A Constituição de 1988 ampliou o alcance do salário mínimo no Brasil ao defini-lo como piso para pensões e aposentadorias da Previdência Social e benefícios assistenciais pagos a idosos e pessoas com deficiência, não mais apenas uma referência para os trabalhadores da ativa. Estudos mostram que a vinculação produziu efeitos distributivos importantes, mas fez aumentar bastante o peso da Previdência no orçamento federal. ●



Cortadores de cana em Campos dos Goytacazes (RJ), sem data: garantia de renda mínima só chegou aos trabalhadores do campo nos anos 1960

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

Escombros, memórias e imigrações

O etnógrafo e historiador José Rafael Medeiros Coelho quer estabelecer conexões entre a Antioquia e São Paulo



Como conduzir uma pesquisa arquivística e etnográfica quando as fontes primárias, a exemplo de documentos, fotografias e cartas, estão sob escombros? Como registrar relatos e narrativas quando grande parte das pessoas migraram para outras cidades ou, pior, se foram para sempre? Em 2022, quando iniciei meu doutorado no Departamento de História da Universidade de Koç, em Istambul, na Turquia, meu objetivo era analisar os processos emigratórios de árabes cristãos para o Brasil entre o final do século XIX e meados do século XX. Em específico queria entender as conexões sociais, históricas e culturais entre a região da Antioquia e São Paulo. No entanto, os terremotos de fevereiro de 2023 que atingiram a Síria e a Turquia e devastaram a Antioquia influenciaram profundamente o curso do meu projeto.

Antes de prosseguir, uma explicação. A Antioquia (ou Antakya, em turco) foi

fundada no final do século IV a.C. e se tornou uma das principais cidades do Império Romano, sendo considerada um dos berços do cristianismo. Hoje é a capital da província de Hatay, criada pelo Estado turco como parte de um esforço de integrar a região à República da Turquia, proclamada em 1923. Entretanto, até hoje as comunidades autóctones costumam utilizar o nome “Antioquia” como sinônimo de toda a província de Hatay. O recorte temporal que abordo na pesquisa foi marcado pela instabilidade política e por conflitos nessa região, que forçaram muitas famílias a emigrar para várias partes do mundo, incluindo o Brasil.

Minha vida é também marcada por mudanças geográficas. No início dos anos 1990, quando eu ainda era bebê, meus pais deixaram o Ceará em busca de uma vida melhor em São Paulo. Cresci no ABC paulista, próximo de tios e tias, todos migrantes nordestinos, que trabalhavam juntos em um pequeno restaurante da família.

Sempre estudei em escola pública, mas no ensino médio, devido ao esforço da minha mãe, frequentei um colégio particular e optei pelo curso técnico de química.

Nessa época, comecei a estudar inglês e espanhol, por conta própria, pela internet, porque queria viajar para fora do Brasil. Entre as ferramentas que usava estava uma plataforma onde os usuários podiam interagir com pessoas de vários países. Foi lá que conheci Yalçın Kaya, um engenheiro de computação turco apaixonado pela língua portuguesa e pela cultura brasileira. Ficamos amigos e minha família o hospedou em uma das viagens dele ao Brasil.

Em 2009, ingressei no curso de graduação de química na Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), em Uberaba. Eu me mudei para Minas Gerais, morava em uma pensão, mas não estava feliz. Nesse mesmo ano, a convite da família do Yalçın, viajei para a Turquia. Ele conseguiu um estágio de meio período para mim em um *call center*, onde eu poderia

Coelho na Universidade de Groningen, nos Países Baixos (à esq.), e em trabalho de campo na Turquia, no ano passado

exercitar o inglês, e me matriculou em um curso de turco. A ideia era passar dois meses naquele país, mas a empresa quis me efetivar. Como tinha dúvidas sobre minha vocação para a química e a família do Yalçın se dispôs a me acolher por um tempo maior, resolvi ficar em Istambul.

A língua turca não é fácil de aprender, mas tenho muita facilidade com idiomas. Em 2012 ingressei no curso de sociologia e no ano seguinte também fui aceito no curso de antropologia, ambos na Universidade de Istambul. Concluí as duas formações em 2017 e, no mesmo ano, iniciei o mestrado em estudos críticos e culturais na Universidade do Bósforo. Foi quando me aproximei da Antioquia. No trabalho, investiguei a noção de pertencimento de comunidades de cristãos árabes dessa região. Vivi por mais de um ano na Antioquia durante a pesquisa e fiz laços de amizade.

Como disse, iniciei meu doutorado em 2022, na Turquia. No ano seguinte veio o terremoto. A Antioquia foi duramente atingida. Vários dos meus amigos ficaram presos entre os escombros de suas casas e quase todos perderam parentes. Mais de 80% de tudo o que eu conhecia ficou em ruínas. Não havia outra coisa a fazer a não ser ajudar. Com a Nehna (que em português significa “nós”), uma organização antioquina que reúne acadêmicos, jornalistas e pessoas interessadas na cultura e na história da comunidade cristã árabe do país, me envolvi intensamente em campanhas de apoio às pessoas afetadas pela catástrofe.



SAIBA MAIS
Plataforma
Nehna



Em dezembro daquele ano fui aceito como pesquisador no Departamento de Estudos do Oriente Médio da Universidade de Groningen, nos Países Baixos. Foi assim que retomei minha pesquisa de doutorado, agora intitulada “Migrações árabes otomanas para a América Latina (Antioquia-São Paulo): Mapeando centros transnacionais, redes e patrimônio cultural”. A previsão é concluí-la em 2027.

Devido à destruição do centro histórico da cidade, de arquivos públicos e privados, bem como de extensas áreas residenciais, minha pesquisa se expandiu. Agora, além de investigar a ida de moradores da Antioquia para o Brasil entre os séculos XIX e XX, pretendo documentar também o patrimônio cultural daquela comunidade, que está ameaçado. Estamos falando de um risco duplo: à devastação provocada pelo terremoto se somam processos de reconstrução promovidos pelo governo turco que, a meu ver, são equivocados por não levar em conta a história local. Até hoje, por exemplo, a fundação que administra a Igreja Ortodoxa Grega da Antioquia, mesmo já dispondo dos recursos, não foi autorizada a iniciar a reconstrução de seu templo, um dos principais patrimônios religiosos da comunidade cristã árabe de forma geral.

No trabalho de campo na Turquia tenho me conectado às famílias árabes cristãs deslocadas após os terremotos, reali-

zando entrevistas e coletando documentos pessoais, como as fotografias salvas dos escombros. Entre os resultados parciais da minha pesquisa estão dois artigos que escrevi para o livro, inédito no Brasil, cujo título em português é *Antioquia pós-terremoto: Testemunhos, herança e futuro*. A publicação foi lançada em fevereiro, na Turquia, para marcar os dois anos da tragédia, e é fruto de uma parceria da Nehna com a Istos, uma editora independente ligada à comunidade grega de Istambul. Sou um dos editores, juntamente com a pesquisadora da Universidade de Koç Ana Maria Beylunioğlu.

Em abril vou a São Paulo para mais uma etapa do trabalho de campo. Pretendo visitar famílias oriundas da Antioquia, além de instituições como o Arquivo Público do Estado de São Paulo e a Sociedade Antioquina do Brasil. Nunca perdi o vínculo com meu país e com minha família. A partir do conhecimento da língua turca, comecei a trabalhar com traduções de autores turcos para o português. No momento, em parceria com Nadia Duarte Marini, psicóloga brasileira da organização Médicos sem Fronteiras, estou vertendo *Alvorada*, romance da escritora turca Sevgi Soysal [1936-1976], cuja obra denunciou os horrores da ditadura militar na Turquia nos anos 1970. O livro deve sair em breve pela editora Tabla, do Rio de Janeiro. Mal posso esperar! ●

DEPOIMENTO CONCEDIDO A
PATRICIA MARIUZZO

Zona de desconforto

LEONARDO VIDIGAL



O som no cinema de horror

Rodrigo Carreiro
 Editora UFPR
 207 páginas
 R\$ 90,00

O *som no cinema de horror* é uma coletânea de artigos publicados anteriormente em diversos periódicos acadêmicos, além de novos textos, de Rodrigo Carreiro, professor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Alguns deles foram revistos e ampliados para o livro, quase todos apresentados em diversos estágios de desenvolvimento para serem debatidos nos encontros anuais da Sociedade Brasileira de Estudos de Cinema (Socine) e da Associação Nacional dos Programas de Pós-graduação em Comunicação (Compós).

O livro parte da premissa de que o som no cinema de horror catalisaria uma conexão mais profunda e visceral com os espectadores-ouvintes. Um cinema de sensações, um cinema-vertigem, que hiperboliza e transforma nossos medos arquetípicos em matéria-prima para o espetáculo cinematográfico.

Para fazer jus a esse pressuposto, o autor procura, em primeiro lugar, elaborar uma teoria geral, enraizada na empiria, para embasar a análise do elemento sonoro nesse gênero, dissecando por meio dela o cinema de horror dos últimos 50 anos. Mesmo que leitores ou leitoras possam questionar essa linha de raciocínio e mencionar outros gêneros como igualmente engajadores em termos sonoros, podemos, sem cair em “generismos” (que podem ser análogos ao clubismo no futebol), afirmar que o trabalho de Carreiro é convincente na sua argumentação e bem construído em sua tarefa de examinar profundamente a elaboração do que o autor chama de “afeto horrorífico” desse gênero de cinema por meio do som.

Para tanto, o autor se propõe a catalogar e analisar as mais destacadas técnicas de sonorização trabalhadas nos filmes selecionados, dando especial atenção aos três elementos da trilha de áudio: voz, efeitos sonoros e música. Isso implica, por exemplo, ressaltar elementos não semânticos da voz, a sonoplastia hiperdetalhada de alguns filmes, assim como algumas técnicas musicais típicas e outras mais inovadoras entre os filmes de horror. Carreiro também se debruça sobre a montagem e a mixagem, enfatizando usos específicos da voz, como a distorção sonora que torna as vozes de monstros e entidades malignas mais graves e guturais, além do papel das novas

tecnologias sonoras digitais. A abrangência do livro é extensa em termos históricos, citando ou analisando desde clássicos como *Drácula* (1931), de Tod Browning, a filmes contemporâneos como *Um lugar silencioso* (2018), de John Krasinski.

Outro mérito do livro é dar audibilidade a alguns dos filmes de horror realizados fora do eixo norte-americano e europeu, em países como Argélia, Irã e Tailândia, com especial destaque para os filmes produzidos no Brasil. O subgênero dos falsos *found footage* de horror (não confundir com os *found footage* documentais e experimentais), popularizado com o sucesso de *A bruxa de Blair* (1999), de Daniel Myrick e Eduardo Sánchez, é ressaltado por sua originalidade, pois simula um registro amador de experiências reais, mas produzidas e montadas como filmes de ficção.

Teoricamente, o livro se vale de uma gama ampla de autores e autoras, desde nomes básicos como Noël Carroll, Mary Ann Doane e Michel Chion, até novos teóricos como Fernando Moraes e Davina Quinlivan. Em um dos capítulos finais, Carreiro se dedica a experimentar, com bons resultados, uma metodologia diferente, inspirada na crítica genética, por ter acesso às telas das sessões de edição sonora e mixagem de um software especializado usado pela equipe técnica do curta-metragem *Inquérito policial nº 0521/09* (2011), de Vinicius Casimiro. Teria sido interessante saber também como o autor analisaria o som de alguns desses filmes no ambiente doméstico, mas essa é realmente uma área muito pouco coberta na pesquisa atual.

O livro de Carreiro reafirma a vitalidade dos estudos de cinema no Brasil, nesse caso na vertente que estuda o elemento sonoro, e a efervescente rede acadêmica formada em torno dessa área de estudos. Mesmo com algumas repetições, o texto flui com facilidade e o desconforto fica nas salas de cinema, não na leitura. É altamente recomendável para docentes e discentes dos cursos de graduação em cinema e comunicação e seus respectivos programas de pós-graduação, além de todas as pessoas interessadas no assunto.

Leonardo Vidigal é professor no curso de cinema de animação e artes digitais e do Programa de Pós-graduação em Artes na Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

PRESIDENTE

Marco Antonio Zago

VICE-PRESIDENTE

Carmino Antonio de Souza

CONSELHO SUPERIOR

Antonio José de Almeida Meirelles, Helena Bonciani Nader, Herman Jacobus Cornelis Voorwald, Marcílio Alves, Maria Arminda do Nascimento Arruda, Mayana Zatz, Mozart Neves Ramos, Pedro Luiz Barreiros Passos, Pedro Wongtschowski, Thelma Krug

CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO**DIRETOR-PRESIDENTE**

Carlos Américo Pacheco

DIRETOR CIENTÍFICO

Marcio de Castro Silva Filho

DIRETOR ADMINISTRATIVO

Fernando Menezes de Almeida

pesquisafapesp

ISSN 1519-8774

COMITÊ CIENTÍFICOLuiz Nunes de Oliveira (*Presidente*), Américo Martins Craveiro, Ana Claudia Torrecilhas, Ana Maria Fonseca de Almeida, Carlos Américo Pacheco, Carlos Graeff, Celio Haddad, Dario Simões Zamboni, Daniel Scherer Moura, Deisy de Souza, Douglas Zampieri, Eduardo Zancul, Eduardo Magalhães Rego, Fernando Menezes de Almeida, Fabiana Cristina Komesu, Flávio Henrique da Silva, Flávio Vieira Meirelles, Gustavo Dalpian, Helena Lage Ferreira, João Pereira Leite, José Roberto de França Arruda, Liliam Sanchez Carrete, Luiz Vitor de Souza Filho, Marcio de Castro Silva Filho, Mariana Cabral de Oliveira, Marco Antonio Zago, Maria José Giannini, Marta Arratche, Michelle Rattton Sanchez Badin, Nina Stocco Ranieri, Paulo Schor, Reinaldo Salomão, Richard Charles Garratt, Rodolfo Jardim Azevedo, Sergio Costa Oliveira, Sydney José Lima Ribeiro, Sylvio Canuto**COORDENADOR CIENTÍFICO**

Luiz Nunes de Oliveira

DIRETORA DE REDAÇÃO

Alexandra Ozorio de Almeida

EDITOR-CHEFE

Nelson Marcolin

EDITORESFabrício Marques (*Política Científica e Tecnológica*), Carlos Fioravanti (*Ciências da Terra*), Marcos Pivetta (*Ciências Exatas*), Maria Guimarães (*Ciências Biológicas*), Ricardo Zorzetto (*Ciências Biomédicas*), Ana Paula Orlandi (*Humanidades*), Yuri Vasconcelos (*Tecnologia*)**REPÓRTERES** Christina Queiroz e 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**

Ana Maria Fonseca de Almeida, Angela Krabbe, Célio Haddad, Claudia Plens, Douglas Zampieri, Fabiana Komesu, José Roberto Arruda, Gustavo Dalpian, Marcelo Finger, Maria de Fátima Morethy Couto, Reinaldo Salomão

COLABORADORES

Ana Paula Linhares, Arthur Marchetto, Danilo Albergaria, Juliana Vaz, Leonardo Vidigal, Mariana Ceci, Patricia Mariuzzo, Renata Fontanetto, Ricardo Balthazar, Sandra Jávera

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 28.270 exemplares
IMPRESSÃO Plural Indústria Gráfica
DISTRIBUIÇÃO RAC Mídia Editora**GESTÃO ADMINISTRATIVA** FUSP - FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**PESQUISA FAPESP** Rua Joaquim Antunes, nº 727, 10º andar, CEP 05415-012, Pinheiros, São Paulo-SP**FAPESP** Rua Pio XI, nº 1.500, CEP 05468-901, Alto da Lapa, São Paulo-SPSecretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA**

Penso que o problema não é a EaD, ao contrário do que é muito propagandeado por aí, especialmente em universidades e institutos federais (“Formação remota”, edição 348). O ponto é a supervisão da qualidade dos egressos, das instituições de ensino superior e dos cursos. EaD é uma estratégia viável para um país de dimensões continentais como o Brasil.

Thiago Ferreira Querino

Falta abrir concursos públicos para que docentes qualificados entrem, também, na EaD. Em vez disso, vemos uma chuva de bolsas de tutoria e para professores formadores que exigem alta qualificação e experiência docente e, em troca, pagam muito pouco. É desanimador.

Thais Presa Martins**INDICADORES**

Fico muito feliz em saber do aumento de pesquisa na área de humanidades (“Realidade ampliada”, edição 348). Porém a educação básica desestimula o interesse do aluno, diminuindo a quantidade de aulas dessa área e tornando o conjunto de saberes cada vez mais superficial.

Silmara Vedoveli**CIANOBACTÉRIAS**

Simplesmente incrível (“Um relógio biológico surpreendente”, edição 348). A cada dia fico fascinado com o po-

tencial das cianobactérias. Excelente conteúdo.

Rodrigo Souza**INTEGRIDADE CIENTÍFICA**Enquanto não acabar com essa maneira de avaliar a pesquisa e pesquisadores, continuaremos a conviver com fraudes (“Revistas clonadas”, *disponível apenas no site*). E pagando para acessar trabalhos feitos com dinheiro público.**Jorge Cardoso****VÍDEOS**

Ótima reflexão sobre o uso da inteligência artificial para regenerar as memórias sobre essas mulheres retratadas na exposição (“O impacto da inteligência artificial nas artes plásticas”). O binarismo é realmente ra- so e a arte é uma grande aliada para derrubar esse muro. Lindo trabalho.

Laura Visoni

Produção muito boa no vídeo “Os impactos de Belo Monte na vida de indígenas e ribeirinhos”. Que os ribeirinhos e indígenas consigam recuperar suas vidas e se manter firmes e potentes. São ações e pesquisas de imensa importância e relevância. Espero que elas continuem acontecendo nas comunidades e mais pessoas e grupos se mobilizem.

Raquel Novaes

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

ASSINATURAS, RENOVAÇÃO E MUDANÇA DE ENDEREÇOEnvie um e-mail para assinaturaspesquisa@fapesp.br**PARA ANUNCIAR**Contate: Paula Iliadis
E-mail: publicidade@fapesp.br**EDIÇÕES ANTERIORES**Preço atual de capa acrescido do custo de postagem.
Peça pelo e-mail: assinaturasrevista@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



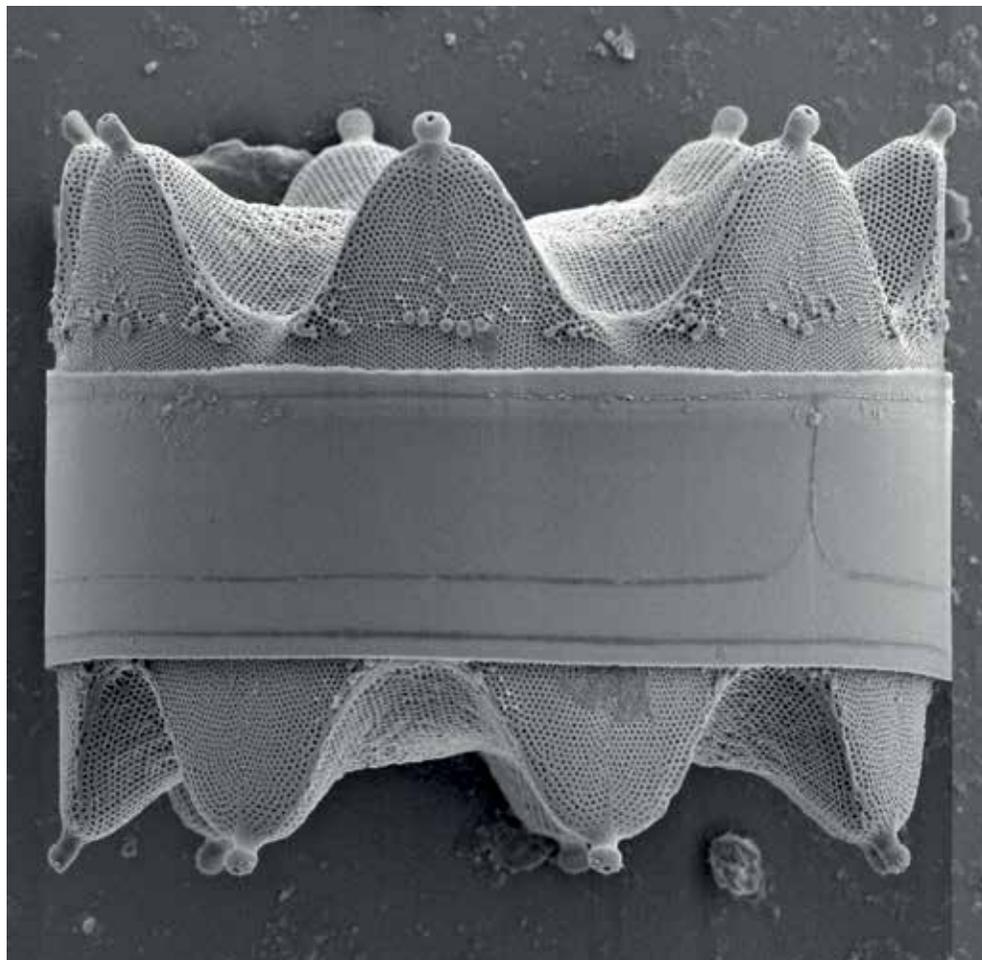
PesquisaFapesp



pesquisafapesp

cartas@fapesp.brR. Joaquim Antunes, 727
10º andar
CEP 05415-012
São Paulo, SP

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



Rainha da Amazônia

A coroa acima apareceu quando o biólogo Leonardo Rocha examinava, ao microscópio eletrônico de varredura, uma amostra de água dos arredores da ilha de Cotijuba, na Região Metropolitana de Belém. Foi o primeiro registro dessa diatomácea *Polymyxus coronalis*, um tipo de microalga com largura de cerca de 60 micrômetros, usando a tecnologia. A espécie é típica da baía do Guajará e funciona como indicador de qualidade ambiental. Para as biólogas Ana Paula Linhares e Priscilla Almeida, orientadoras do estudo, é um argumento a favor da candidatura da região como Área de Proteção Ambiental. O registro foi premiado em dezembro, no I Encontro Brasileiro de Diatomologia.

Imagem enviada por **Ana Paula Linhares**, professora vinculada ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e à Universidade Federal do Pará (UFPA)



acompanhe
pesquisafapesp
no YouTube

Novos vídeos de
ciência e tecnologia
semanalmente



ANO MAIS QUENTE DA HISTÓRIA ALERTA PARA O FUTURO DO CLIMA



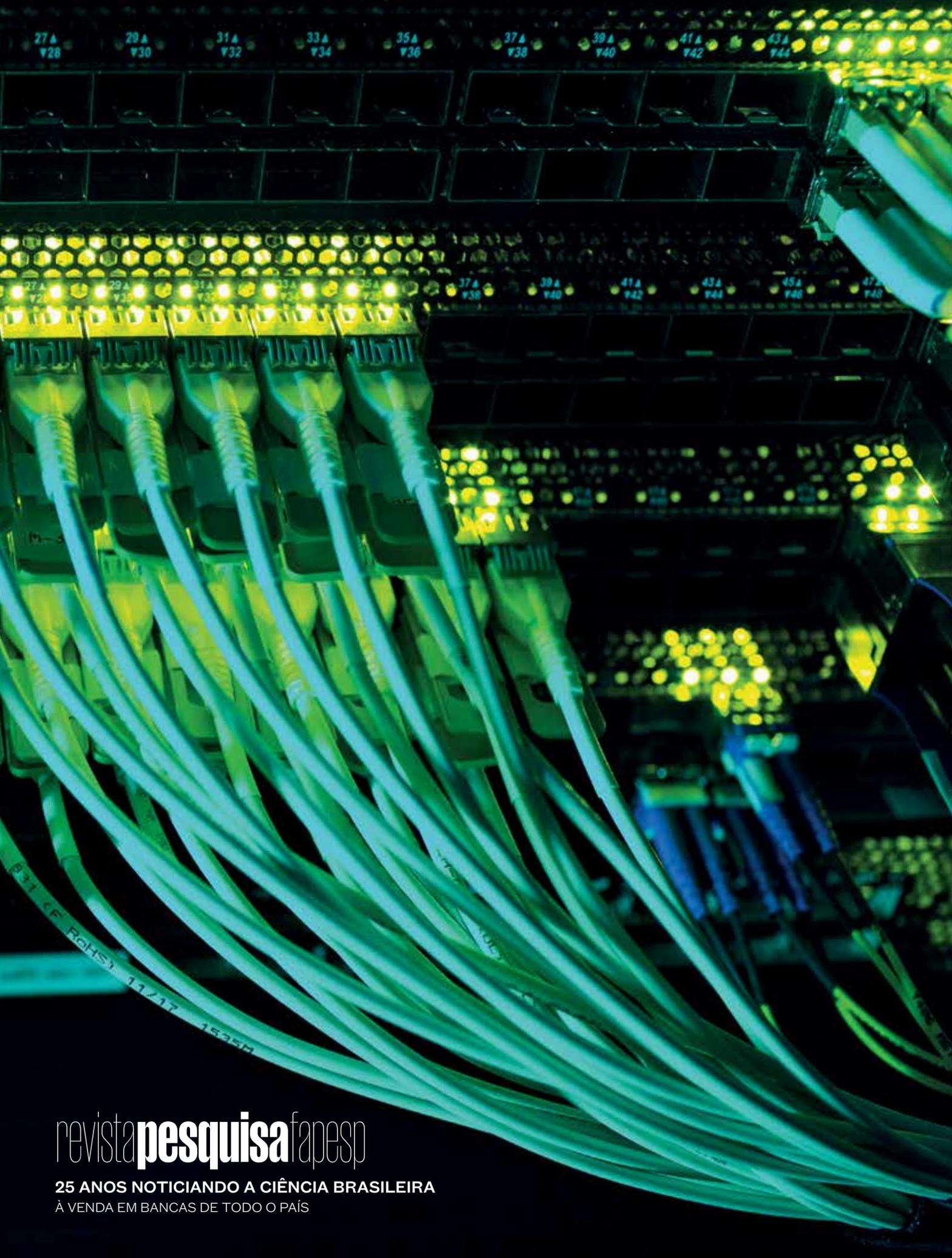
PROJETO XINGU: CONHEÇA O PROGRAMA QUE HÁ MEIO SÉCULO
CUIDA DA SAÚDE INDÍGENA



COMO A CIÊNCIA PODE AJUDAR A MELHORAR
O DESEMPENHO NO FUTEBOL?

INSCREVA-SE!
revistapesquisa.fapesp.br |  Pesquisa Fapesp





revista **pesquisa** fapesp

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