WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR

Pesquisa FAPESP

AGOSTO DE 2021 | ANO 22, N. 306

O INPE EM RISCO

O principal centro de pesquisas espaciais do país chega aos 60 anos com forte restrição orçamentária, perda de pessoal e grandes projetos ameaçados

Testes sugerem que combinar vacinas contra Covid-19 é seguro e útil

Urna eletrônica aprimorou processo antes marcado por fraudes e desconfiança

Estudo associa baixa mobilidade acadêmica à agenda de pesquisa menos ambiciosa

Biodiversidade pode ser a base de novo ciclo de industrialização do país

Trinta e uma bactérias são comuns entre cidades de todos os continentes

Parte da floresta amazônica já emite mais carbono que absorve

3ª Conferência
FAPESP 60 ANOS

FAPESP 60 ANOS 1962 - 2022

SOCIEDADES VIOLENTAS

18 de agosto de 2021, às 10 horas

Especialistas discutirão a violência social nas sociedades contemporâneas sob dois ângulos: o da violência estatal exercida por polícias e outros agentes do Estado, para além de suas atribuições legais; e o da violência exercida por atores sociais, em defesa de atividades econômicas, caso das milícias, ou de valores políticos, caso dos movimentos sociais que fazem uso de táticas terroristas. O tema será debatido por três pesquisadores de referência na área:

DONATELLA DELLA PORTA
European University Institute e Scuola Normale Superiore, Itália;
Center on Social Movement Studies (Cosmos);
Autora de Clandestine Political Violence, Cambridge University Press, 2013.

SERGIO FRANÇA ADORNO DE ABREU
Núcleo de Estudos da Violência da USP/CEPID/FAPESP; "Building Democracy Daily: Human Rights, Violence and Institutional Trust"; responsável pela Cátedra UNESCO de Educação para a Paz, Direitos Humanos, Democracia e Tolerância.

MICHEL MISSE
Núcleo de Estudos em Cidadania, Conflito e Violência Urbana (NECVU/UFRJ);
INCT Violência e Segurança Pública;
Membro do Groupe Européen de Recherche sur les Normativités (GERN), França.

Informações e inscrições, acesse **https://60anos.fapesp.br**

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

Recado invisível

Quando estimulada com luz ultravioleta, a lula-morango (*Histioteuthis* sp.) se enche de pontos vermelhos brilhantes. O experimento foi feito a bordo do navio de pesquisa Alpha Crucis, da Universidade de São Paulo (USP), e ainda não se sabe o que revela sobre a realidade do animal, que vive entre 200 e mil metros abaixo da superfície. Nessas profundidades, a luz solar chega apenas em tons de anil e a visão dos habitantes costuma ser limitada a essa cor. A sinalização vermelha, talvez produzida e enxergada apenas por essas lulas, pode funcionar como a tinta invisível usada em brincadeiras de espionagem, decifrada apenas por quem tem o segredo para decodificá-la.

Imagem enviada pelo biólogo Marcelo Souto de Melo, do Instituto Oceanográfico da USP, destacada no concurso que comemora os 20 anos do Programa Biota FAPESP

3 FOTOLAB
6 COMENTÁRIOS
7 CARTA DA EDITORA

8 BOAS PRÁTICAS
Artigo usado por negacionistas de vacinas é retratado por erros metodológicos

11 DADOS
O impacto da Covid-19 na pesquisa

12 NOTAS
16 NOTAS DA PANDEMIA

COVID-19
18 Estudos sugerem que combinar vacinas diferentes pode ser útil para combater a pandemia

22 O esforço para criar um imunizante eficaz contra todos os coronavírus e suas variantes

ENTREVISTA
26 Geneticista Sérgio Pena expõe ancestralidade comum de brasileiros de Norte a Sul

CAPA
32 Inpe chega aos 60 anos com orçamento reduzido, projetos importantes ameaçados e desafios pela frente

38 As principais contribuições do instituto ao longo de sua história

MOBILIDADE ACADÊMICA
42 Trabalho correlaciona baixa mobilidade acadêmica a agendas de pesquisa pouco ambiciosas

PATENTES
46 Programa de proteção à propriedade intelectual da FAPESP cumpre objetivos e é encerrado

DESENVOLVIMENTO
50 Brasil investe pouco em tecnologias capazes de ampliar competitividade industrial

AMBIENTE
54 Leste da Amazônia se tornou uma fonte de carbono na década passada

GENÉTICA
60 Onça-pintada é ameaçada por redução de seu hábitat

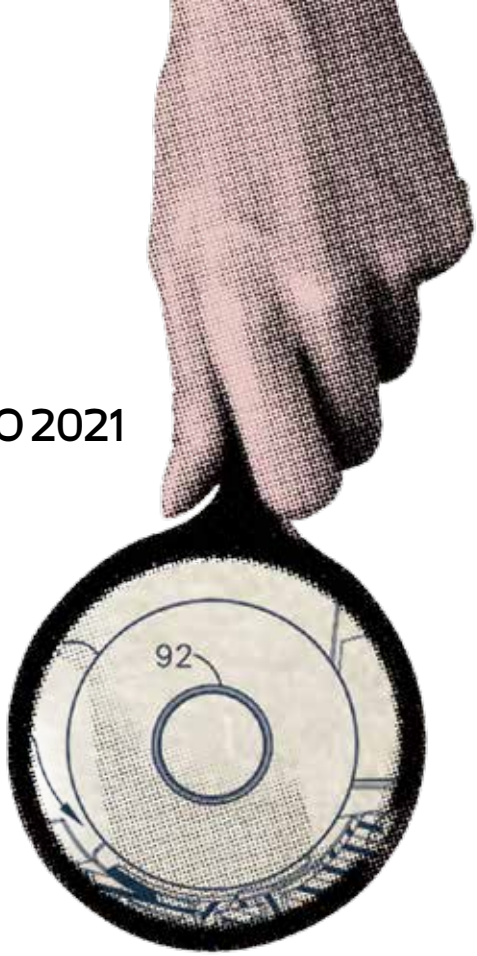
OCEANOGRAFIA
64 Maior lago do mundo se formou 12 milhões de anos atrás na Eurásia

BIOLOGIA MOLECULAR
67 Mapeamento indica que locais públicos de 60 cidades do mundo têm 31 bactérias em comum

Capa
Técnico Reginaldo Erineu na Sala de Operações Meteorológicas do Grupo de Previsão do Tempo do Inpe
Foto
LÉO RAMOS CHAVES

Pesquisa FAPESP 306

AGOSTO 2021



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
70 Urna eletrônica trouxe agilidade e estabilidade para um processo marcado por fraudes

ROBÓTICA AÉREA
74 Startup paulista obtém licença para drone que voa fora do campo visual do operador

ECONOMIA
76 Biodiversidade pode sustentar novo ciclo de industrialização

ARQUITETURA
84 Biografias mapeiam a trajetória da multifacetada Lina Bo Bardi

OBITUÁRIO
88 Oswaldo Luiz Alves (1947-2021)

90 MEMÓRIA
Químico propôs aprimoramento na produção de aguardente no século XVIII

94 RESENHA
A segurança coletiva da humanidade: Uma análise jurídico-institucional do sistema de segurança coletiva da ONU, de Ielbo Marcus Lobo de Souza.
Por Lucas Carlos Lima

95 CARREIRAS
Linguística aplicada investiga relações no campo das práticas discursivas

1. Corneta do radiotelescópio Bingo, em construção no Inpe (CAPA, P. 32)
2. Detalhe de ilustração (PATENTES, P. 46)

FOTO LÉO RAMOS CHAVES ILUSTRAÇÃO PATRICIA BRANDSTATTER

WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR

Leia no site a edição da revista em português, inglês e espanhol, além de conteúdo exclusivo

VÍDEO YOUTUBE.COM/USER/PESQUISAFAPESP

Esses passarinhos mostram como surgem as espécies
O ornitólogo Luís Fábio Silveira explica como os estudos com caboclinhos contribuem para entender sua diversificação por meio da evolução
bit.ly/igVCaboclinhos

A difícil recuperação depois da Covid-19
A médica Linamara Battistella conta como as especialidades desenvolvidas na Rede de Reabilitação Lucy Montoro ajudam a enfrentar sequelas da doença
bit.ly/igVRecuperacaoCovid

PODCAST
Coronavírus, dólares e carbono
Os resultados de teste de efetividade da vacina da AstraZeneca, as ambições do programa norte-americano de investimento em pesquisa básica e aplicada e o papel das planícies hipersalinas no combate ao efeito estufa
bit.ly/igPBR17jul21

CONTATOS

revistapesquisa.fapesp.br

redacao@fapesp.br

PesquisaFapesp

PesquisaFapesp

pesquisa_fapesp

PesquisaFAPESP

pesquisafapesp

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

ASSINATURAS, RENOVAÇÃO E MUDANÇA DE ENDEREÇO
Envie 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:
clair@fapesp.br

LICENCIAMENTO DE CONTEÚDO
Adquira os direitos de
reprodução de textos
e imagens de *Pesquisa FAPESP*.
E-mail:
mpiliadis@fapesp.br

COMENTÁRIOS

cartas@fapesp.br

Sequestros de revistas

No Brasil também vivemos casos de sites falsos de periódicos para "vendas" de publicação de manuscritos ("Nova onda de sequestro de revistas", edição 305), como o que ocorreu com os *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Até mesmo cartas de aceite com assinatura forjada do editor-chefe apareceram, com autores incautos sendo lesados. Todo cuidado é pouco.

Alexander Kellner (editor-chefe da *AABC*)

Histórias no hospital

Ouvir e contar histórias é bom demais ("O efeito tranquilizador da narrativa").

Angela Regina de Freitas

Sapo da Mata Atlântica

Obrigada à FAPESP por financiar essa e outras expedições e proporcionar a descoberta e o estudo dessa espécie de sapo ("O sapinho da neblina", edição 304). A ciência brasileira depende de investimento público, assim como da infraestrutura humana e física das universidades para existir.

Thais Condez

Revista

Parabéns a *Pesquisa FAPESP* pelas últimas edições da revista. Reportagens muito bem escritas, informações importantes e sempre atuais. A equipe de redação é muito competente. Leio tudo e passo informações para alunos e colegas do Instituto de Química da Unesp de Araraquara. Seleciono também muitos temas para discussões nesses tempos de pandemia. Continuem sempre assim. A comunidade científica agradece.

Antônio Carlos Massabni

Podcast

Vale a pena conferir o triste cenário do financiamento da ciência no Brasil ("Financiamento à pesquisa em crise", podcast de 3 de julho). Infelizmente estamos indo ladeira abaixo.

Allan Victor Ribeiro

Vídeos

Eu estudo para o vestibular e vejo dezenas de vídeos por dia. Posso dizer que fazia muito tempo que não via um vídeo simples, didático e com uma narração tão boa ("Leishmaniose visceral avança nas metrópoles").

Willian Lacerda Tavares

Didática perfeita e muito necessária para o período atual ("Como a Amazônia regula o clima do planeta").

Maria Graciele Santos

Ninguém imaginaria que produtos de beleza faciais prejudicariam o cabelo ("Dermatologista responde por que os cabelos se afastam da testa").

Antônio Jr. Lophez

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

Reportagens que você lê no site de *Pesquisa FAPESP*

bit.ly/igIlhasBiodiversidade

Formação de novas espécies amplia biodiversidade de ilhas próximas do litoral paulista

KELEN LEITE / ICMBIO

Em Alcatrazes vivem plantas idênticas às do continente, embora as duas populações sejam incompatíveis sexualmente

FAPESP
FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO

PRESIDENTE
Marco Antonio Zago

VICE-PRESIDENTE
Ronaldo Aloise Pilli

CONSELHO SUPERIOR

Carmino Antonio de Souza, Helena Bonciani Nader, Ignácio Maria Poveda Velasco, João Fernando Gomes de Oliveira, Liedi Legi Bariani Bernucci, Mayana Zatz, Mozart Neves Ramos, Pedro Luiz Barreiros Passos, Pedro Wongtschowski, Vanderlan da Silva Bolzani

CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO

DIRETOR-PRESIDENTE
Carlos Américo Pacheco

DIRETOR CIENTÍFICO
Luiz Eugênio Mello

DIRETOR ADMINISTRATIVO
Fernando Menezes de Almeida

Pesquisa FAPESP
ISSN 1519-8774

COMITÊ CIENTÍFICO
Luiz Henrique Lopes dos Santos (*Presidente*), Américo Martins Craveiro, Anamaria Aranha Camargo, Ana Maria Fonseca Almeida, Carlos Américo Pacheco, Catarina Segreti Porto, Claudia Lúcia Mendes de Oliveira, Deisy das Graças de Souza, Douglas Eduardo Zampieri, Eduardo de Senzi Zancul, Euclides de Mesquita Neto, Fabio Kon, Francisco Rafael Martins Laurindo, João Luiz Filgueiras de Azevedo, José Roberto de França Arruda, José Roberto Postali Parra, Leticia Veras Costa Lotufo, Lucio Angnes, Luciana Harumi Hashiba Maestrelli Horta, Mariana Cabral de Oliveira, Marco Antonio Zago, Marie-Anne Van Sluys, Maria Julia Manso Alves, Marta Teresa da Silva Arretche, Paula Montero, Richard Charles Garratt, Roberto Marcondes Cesar Júnior, Rui Monteiro de Barros Maciel, Sérgio Robles Reis Queiroz, Wagner Caradori do Amaral e Walter Colli

COORDENADOR CIENTÍFICO
Luiz Henrique Lopes dos Santos

DIRETORA DE REDAÇÃO
Alexandra Ozorio de Almeida

EDITOR-CHEFE
Neldson Marcolin

EDITORES Fabrício Marques (*Política C&T*), Glenda Mezarobba (*Humanidades*), Marcos Pivetta (*Ciência*), Yuri Vasconcelos (*Tecnologia*), Carlos Fioravanti e Ricardo Zorzetto (*Editores especiais*), Maria Guimarães (*Site*)

REPÓRTERES Christina Queiroz, Rodrigo de Oliveira Andrade

REDATORES Jayne Oliveira (*Site*) e Renata Oliveira do Prado (*Mídias Sociais*)

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

FOTÓGRAFO Léo Ramos Chaves

BANCO DE IMAGENS Valter Rodrigues

RÁDIO Sarah Caravieri (*Produção do programa* Pesquisa Brasil)

REVISÃO Alexandre Oliveira e Margô Negro

COLABORADORES Ana Paula Orlandi, Diego Viana, Domingos Zaparolli, Eduardo Geraque, Eugênio Sávio, Frances Jones, Lucas Carlos Lima, Marcelo Souto de Melo, Maria Palmeiro, Patricia Brandstatter, Sinésio Pires Ferreira, Sidnei Santos de Oliveira, Suzel Tunes, Tiago Jokura

REVISÃO TÉCNICA Célio Haddad, Fabio Kon, João Luiz Azevedo, José Roberto Arruda, Maria Beatriz Florenzano, Mariana Cabral, Paulo Artaxo, Ricardo Hirata, Walter Colli

MARKETING E PUBLICIDADE Paula Iliadis
CIRCULAÇÃO Clair Marchetti (*Gerente*), Aparecida Fernandes e Greice Foiani (*Atendentes 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 30.030 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-SP

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Instituto Verificador de Comunicação IVC
anatec www.anatec.org.br

Encruzilhadas

Alexandra Ozorio de Almeida | DIRETORA DE REDAÇÃO

A região leste da Amazônia deixou de ser um sumidouro de dióxido de carbono e passou a ser fonte daquele que é o principal gás de efeito estufa, indica estudo recém-divulgado. Confirmando dados anteriores, menos abrangentes, a pesquisa procurou dimensionar o balanço do carbono em áreas amazônicas com diferentes níveis de desmatamento, de queimadas e de mudanças climáticas. A imprensa ao redor do mundo divulgou os resultados do trabalho liderado pela química Luciana Gatti, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), financiado por meio do Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais e publicado na *Nature*.

A partir da análise de amostras do ar colhidas em quatro regiões da Amazônia entre 2010 e 2018, a pesquisa sinaliza que a emissão média de dióxido de carbono foi cerca de 10 vezes maior na parte oriental, onde fica o chamado arco do desmatamento, do que no lado ocidental da floresta tropical, um pouco mais preservado (*página 54*).

A ampla repercussão desse estudo coincide com o 60º aniversário da instituição-sede da pesquisa, o Inpe. Órgão central e pioneiro no monitoramento do desmatamento nacional, o instituto se destaca pelo bem-sucedido programa de desenvolvimento de satélites, pela introdução da previsão do tempo moderna no país, baseada em modelagem computacional, e pela pesquisa em áreas como astrofísica, clima espacial e mudanças climáticas.

Sediado em São José dos Campos, interior paulista, o Inpe está presente em outros seis estados; formou mais de mil doutores e quase 2,5 mil mestres. A efeméride o encontra em um momento delicado. Em 2019, dados de desmatamento divulgados pela instituição foram desautorizados pelo governo federal e seu diretor foi exonerado. O orçamento anual, que em 2006 era de R$ 417 milhões, em valor atualizado, neste ano é de R$ 75,8 milhões. Não há definição quanto à continuidade de projetos relevantes na área espacial, como o dos satélites de observação da Terra da Missão Amazonia e do programa CBERS, estes feitos em parceria com a China, mostra reportagem de capa desta edição (*página 32*).

Pode estar na biodiversidade amazônica, sob ameaça, uma promissora fonte de geração de riqueza, prosperidade e bem-estar no Brasil para as próximas décadas, defendem os proponentes de um tipo de atividade econômica regenerativa, circular e sustentável. A reportagem que começa na página 76 apresenta o conceito de bioeconomia, que se coloca como ponto de partida para um ciclo novo de industrialização. Para aproveitar a vantagem de ser o país com a maior biodiversidade do planeta e contar com uma estruturada base científica, o Brasil precisa adaptar e criar processos econômicos, enfrentar as mudanças climáticas e o avanço do desmatamento.

O geneticista mineiro Sérgio Danilo Pena mostrou, há 20 anos, que entre os brasileiros o cromossomo Y, herdado do pai, é predominantemente do colonizador europeu e o DNA mitocondrial, recebido da mãe, é em sua maioria ameríndio ou africano. Essa chamada herança tri-híbrida com assimetria sexual é compartilhada com países como Colômbia e Venezuela, mas distinta da Bolívia e do Peru, países com pouca presença de africanos.

Trabalhando com técnicas de análise de ancestralidade, Pena afirma em entrevista que, no Brasil, a associação entre cor e ancestralidade é tênue (*página 26*). Suas pesquisas mostram que, no Norte e no Nordeste do país, onde há uma proporção maior de pessoas que se autodeclaram pardas, não há mais miscigenação do que no Sul, onde há maior proporção da população que se declara branca. "Por baixo da pele, há as misturas mais variadas possíveis."

BOAS PRÁTICAS

O tumulto causado por um cálculo equivocado

Erros metodológicos e negligência em processo de revisão por pares justificam retratação de artigo utilizado por negacionistas de vacinas

A revista científica *Vaccines* perdeu em julho seis membros de seu Conselho Editorial. Eles renunciaram em protesto contra a publicação de um artigo que, ao interpretar erroneamente registros de eventos adversos da vacinação contra a Covid-19 nos Países Baixos, sustentou que, a cada três óbitos que os imunizantes evitam, duas pessoas morrem em decorrência de suas falhas ou efeitos colaterais. O *paper* foi alvo de retratação uma semana depois de publicado, após ser severamente criticado por especialistas e ante a evidências de que continha falhas metodológicas graves.

Os autores fiaram-se em um estudo sobre os efeitos da vacinação de 1,2 milhão de israelenses, metade dos quais recebeu a vacina Pfizer-BioNTech, e concluíram que, para evitar uma morte, é necessário imunizar um conjunto de 16 mil pessoas. De acordo com a bióloga neozelandesa Helen Petousis-Harris, especialista da Universidade de Auckland, essa estimativa é imprópria, uma vez que a eficácia das vacinas não se calcula simplesmente pelo número necessário de pessoas imunizadas. Há outros fatores relacionados à transmissão e à criação de uma imunidade coletiva que precisam ser levados em conta, explicou Petousis-Harris

FPG/GETTY IMAGES

em seu blog. Ela foi um dos membros do Conselho Editorial que pediu para deixar o posto e, ao contrário dos demais, decidiu retornar depois que o artigo foi retratado.

O erro principal do artigo estava no cálculo dos óbitos atribuídos à vacinação. Os responsáveis pelo *paper* utilizaram um banco de dados mantido por um centro de farmacovigilância dos Países Baixos, o Lareb, criado para receber relatos de possíveis efeitos colaterais em indivíduos imunizados. Seus registros contêm mortes, de pessoas vacinadas, por todo tipo de causa – o vínculo com a aplicação dos imunizantes necessita ser investigado e confirmado posteriormente. Os dados também incluem mortes provocadas pela Covid-19 em pessoas que só tinham tomado a primeira dose da vacina e estavam protegidas apenas parcialmente. O próprio site do Lareb declara que suas informações não exprimem uma relação de causa e efeito entre mortes e vacinação, mas os autores do *paper* ignoraram o alerta.

O artigo foi publicado em 24 de junho e já no dia seguinte o equívoco foi apontado pelo diretor de pesquisa do Lareb, Eugène van Puijenbroek, que pediu aos editores da *Vaccines* a retratação do artigo. Em um e-mail, ele afirmou que estava "longe da verdade" a ideia de que a vacinação causou as mortes. Mas o estrago já estava feito. As conclusões foram compartilhadas no Twitter por centenas de milhares de militantes contrários a vacinas. Liz Wheeler, comentarista política conservadora norte-americana, fez um vídeo para promover o *paper* em sua conta no Facebook, com o título "O estudo sobre a vacina que você não tem permissão para ver", assistido cerca de 250 mil vezes.

De acordo com o banco de dados do site Retraction Watch, 139 trabalhos sobre a Covid-19 já foram retratados de revistas científicas ou removidos de repositórios de *preprints* por apresentarem falhas metodológicas ou conclusões equivocadas. Na maioria dos casos, os erros resultam da afoiteza com que os manuscritos foram produzidos ou avaliados, no afã de encontrar respostas rápidas para a pandemia. A contundência com que o *paper* sobre as vacinas foi refutado se explica pelo tumulto que esse tipo de informação pode causar. "O dano à segurança da vacina e à confiança que pode ocorrer por meio da distribuição da pseudociência em periódicos acadêmicos de boa qualidade não pode ser subestimado", afirmou Petousis-Harris.

O exemplo clássico é o artigo publicado na revista *Lancet*, em 1998, pelo médico inglês Andrew Wakefield. Ele associou o uso da vacina tríplice viral (contra sarampo, rubéola e caxumba) a casos de autismo em 11 crianças no Reino Unido. Os índices de uso dessa vacina despencaram no Reino Unido nos anos seguintes. Só em 2010 o artigo foi retratado, quando se constatou que Wakefield descartou dados que refutavam suas conclusões e parecia ter interesse em desqualificar a vacina tríplice viral, pois havia ele próprio desenvolvido um imunizante para concorrer com ela. O médico perdeu sua licença, mas ainda hoje o artigo é usado por grupos negacionistas para lançar dúvidas sobre a eficácia das vacinas.

Uma das editoras da *Vaccines*, a imunologista Katie Ewer, do Instituto Jenner da Universidade de Oxford, no Reino Unido, apontou falhas no processo de avaliação do periódico. "Houve uma negligência grosseira e não posso acreditar que foi aprovado na revisão por pares." Outro editor que renunciou, o virologista Andrew Pekosz, reclamou que a revista não quis informar o que aconteceu de errado para que o artigo fosse aceito. "Para voltar ao conselho, eu precisaria de uma descrição muito mais detalhada de como esse artigo passou por revisão, dadas as falhas espetacularmente enormes listadas no documento de retratação", afirmou Pekosz, que é pesquisador da Escola de Saúde Pública da Universidade Johns Hopkins, nos Estados Unidos.

O artigo foi avaliado por três revisores. Um deles, a química Anne Ulrich, do Instituto de Tecnologia de Karlsruhe, na Alemanha, sustentou que a análise "foi realizada de forma responsável e sem falhas metodológicas". Outro revisor, anônimo, escreveu que o estudo "é muito importante e deve ser publicado com urgência". O Multidisciplinary Digital Publishing Institute, empresa baseada na Suíça que publica o *Vaccines* assim como outros 300 periódicos científicos de acesso aberto, atribuiu a decisão de divulgar o artigo ao editor acadêmico e psicólogo Ralph Di Clemente, professor do Departamento de Ciências do Comportamento da Universidade de Nova York.

"É muito evidente a partir de suas análises que os revisores não têm conhecimento suficiente sobre o assunto", disse Petousis-Harris à revista *Science*. "E os autores também não." Os três responsáveis pelo *paper* – Harald Walach, psicólogo clínico e historiador da ciência polonês; Rainer Klement, físico alemão interessado no uso de alimentos para prevenir o câncer; Wouter Aukema, cientista de dados holandês – não têm experiência em epidemiologia ou em estudos sobre vacinas. O trio sustenta que suas conclusões estão corretas.

Harald Walach foi desqualificado pela instituição a que se disse associado, a Universidade de Poznan, na Polônia. Em carta enviada aos editores da *Vaccines*, Jarosław Walkowiak, chefe do Colégio de Ciências da Saúde da instituição, classificou Walach como um "ex-colaborador" e ressaltou que o artigo é baseado em suposições erradas. "Embora valorizemos muito a liberdade de expressão no meio acadêmico, também acreditamos que é de extrema importância que um artigo científico seja baseado em pesquisa confiável e metodologia sólida", disse. "Em nossa opinião, o artigo em questão não atende a essa condição." ■

Fabrício Marques

Estudo indica extensão da má conduta nos Países Baixos

Um grande levantamento sobre integridade científica em universidades e instituições de pesquisa dos Países Baixos chegou a resultados preocupantes: mais da metade dos pesquisadores que participaram do estudo admitiu se envolver com regularidade em práticas questionáveis, como omitir falhas no desenho de projetos de pesquisa ou citar seletivamente a literatura científica de modo a corroborar seus achados e convicções. Cerca de 8% cometeram um tipo grave de má conduta nos três anos anteriores: falsificaram ou fabricaram resultados de pesquisa.

Os dados obtidos chegam a ser duas vezes maiores do que os alcançados em estudos anteriores. "Temos razões para acreditar que esses resultados são os mais próximos da realidade", disse à revista *Science* a epidemiologista Gowri Gopalakrishna, pesquisadora da Universidade de Amsterdã e idealizadora da pesquisa. Ocorre que os organizadores tomaram cuidados especiais para preservar o anonimato dos participantes a fim de garantir sinceridade nas respostas.

Intitulado "Pesquisa nacional holandesa sobre integridade científica", o levantamento esteve envolvido em controvérsias antes de sua realização. Cerca de 60 mil estudantes e docentes de todas as áreas do conhecimento e 22 instituições foram convidados a preencher os questionários, mas só 6,8 mil efetivamente responderam. Os reitores de várias instituições se recusaram a cooperar com o trabalho, alegando que as perguntas enfatizavam exageradamente temas relacionados à má conduta e, por conta disso, poderiam gerar resultados enviesados. O roteiro de perguntas chegou a ser ampliado para dobrar a resistência dos dirigentes, mas o boicote foi mantido (*ver* Pesquisa FAPESP *nº 299*). Ainda assim, o número de respondentes foi superior ao de estudos sobre integridade científica feitos anteriormente no país.

O ecólogo Daniele Fanelli, pesquisador da London School of Economics, que não fez parte do estudo, disse à *Science* que desde 2011 as universidades dos Países Baixos intensificaram esforços para promover a integridade científica e que, por isso, a situação encontrada ali provavelmente não é mais grave do que a de outras nações. "Infelizmente tendo a concordar com essa premissa", afirma o diretor científico da FAPESP, Luiz Eugênio Mello. "A revista *Pesquisa FAPESP* busca exatamente contribuir para que a discussão sobre esse tema seja também aprofundada no Brasil."

Trechos copiados da Wikipedia

A editora Elsevier retirou de circulação um livro ilustrado sobre elementos químicos e mineralogia, publicado no ano passado, ao descobrir que vários trechos haviam sido plagiados de verbetes da biblioteca on-line Wikipedia. A obra, *Tabela periódica, blocos de construção da natureza: Uma introdução aos elementos de ocorrência natural, suas origens e seus usos*, tinha como autor principal Theo Kloprogge. Professor da Universidade de Queensland, Austrália, e da Universidade das Filipinas, Visayas, Kloprogge é um prolífico pesquisador da área de química, autor de 387 artigos científicos. O geólogo norte-americano Tom Loomis e a pesquisadora filipina Concepcion Ponce também assinavam a obra. Procurado pelo site Retraction Watch, Kloprogge admitiu o plágio, mas não quis comentar o caso. "É muito doloroso falar sobre o que aconteceu. Concordamos com a retirada nesse momento, embora possamos publicar uma versão atualizada no futuro", respondeu.

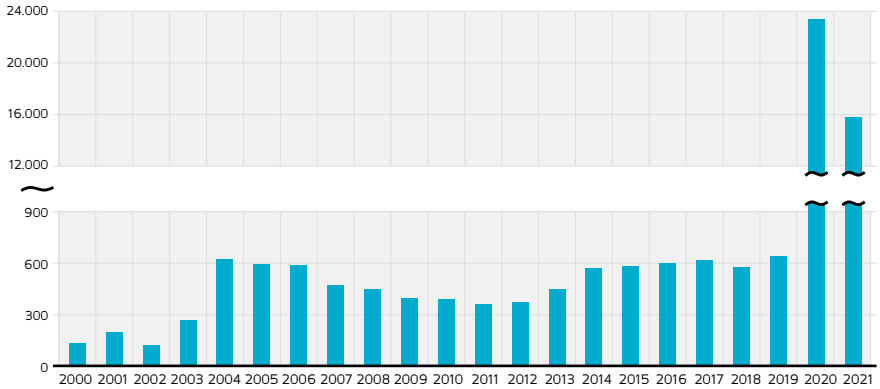
A Elsevier foi alertada pelo químico Thomas Rauchfuss, pesquisador da Universidade de Illinois, em Urbana-Champaign, que, por sua vez, soube do caso ao conversar com um editor da Wikipedia baseado na Finlândia. Constatada a má conduta, a editora enviou uma mensagem de agradecimento a Rauchfuss: "Gostaríamos de informar que investigamos a alegação de plágio e descobrimos que muitas seções do livro foram retiradas da Wikipedia ou de fontes semelhantes, conforme você indicou. Vamos tornar o livro indisponível em todas as nossas plataformas e retirá-lo de todos os nossos revendedores".

DADOS

Pesquisa científica sobre os coronavírus: o impacto da Covid-19

ARTIGOS CIENTÍFICOS SOBRE OS CORONAVÍRUS

Total no mundo: 2000 a 2021 (até 29/06/2021)

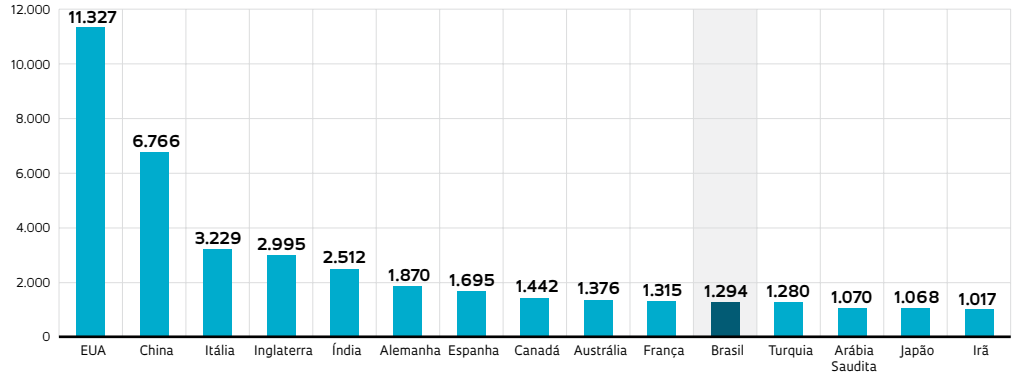


- Os primeiros estudos sobre os coronavírus, dos quais se conhece cerca de 40 espécies, são do final da década de 1960. Desde então, sobre esse assunto foram publicados 50.296 artigos científicos em revistas com revisão por pares[1] em todo o mundo, 78% desses a partir de 2020
- O gráfico ao lado mostra que, desde o início dos anos 2000, aumentou a atenção sobre o tema, refletindo as epidemias de Sars[2] (2003) e Mers[3] (2012). Mas foi em 2020 e 2021 que tais publicações explodiram

PAÍSES LÍDERES POR ENDEREÇO DOS AUTORES

Artigos com tópico coronavírus – 2020-2021 (até 29/06/2021)

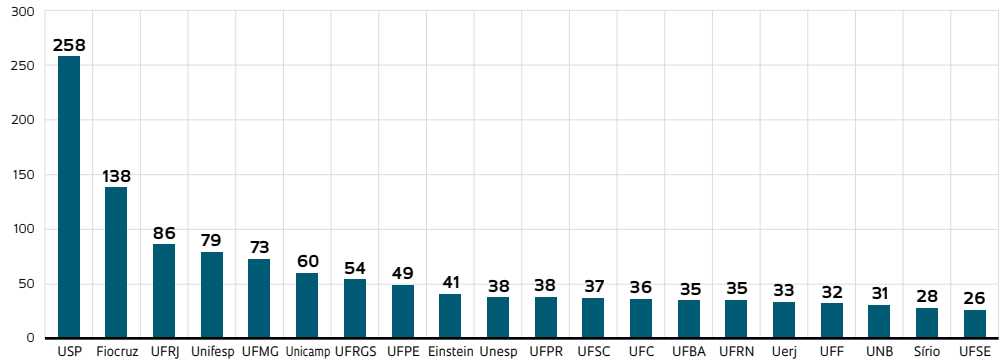
- Entre 2020 e o primeiro semestre de 2021, Estados Unidos, China e Itália[4] foram países líderes em publicações científicas com tópico coronavírus. No mesmo período, foram publicados 1.294 artigos com pelo menos um autor sediado em instituição do Brasil, o que coloca o país na 11ª posição entre os que lideram as publicações sobre o tema



ORGANIZAÇÕES BRASILEIRAS LÍDERES

Artigos com tópico coronavírus – 2020-2021 (até 29/06/2021)

- Entre as instituições brasileiras cujos pesquisadores assinaram artigos desse tópico, USP, Fiocruz e UFRJ[4] foram as mais ativas. Outras universidades públicas e dois hospitais compõem as 20 instituições com maior número de publicações sobre o tema. Além da USP, estão em São Paulo a Unifesp, Unicamp, Unesp e os hospitais Albert Einstein e Sírio-Libanês



NOTAS (1) ARTIGOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS EM REVISTAS COM REVISÃO POR PARES, INDEXADAS NA BASE WEB OF SCIENCE/CLARIVATE **(2)** SÍNDROME RESPIRATÓRIA SEVERA AGUDA (SEVERE ACUTE RESPIRATORY SYNDROME), DETECTADA EM 2003, CAUSADA PELO SARS-COV-1 **(3)** SÍNDROME RESPIRATÓRIA DO ORIENTE MÉDIO (MIDDLE EAST RESPIRATORY SYNDROME), DETECTADA EM 2012, CAUSADA PELO VÍRUS MERS-COV **(4)** UM ARTIGO É ATRIBUÍDO A PAÍS OU ORGANIZAÇÃO SE HOUVER PELO MENOS UM AUTOR COM ENDEREÇO NO PAÍS OU NA ORGANIZAÇÃO

FONTES PUBLICAÇÕES: **WEB OF SCIENCE/CLARIVATE**, CONSULTA EM 29/06/2021. METODOLOGIA DE BUSCA: TÓPICO: CORONAVÍRUS. SOBRE SARS-COV-1, MERS E INFORMAÇÕES SOBRE CORONAVÍRUS: ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS/ONU)

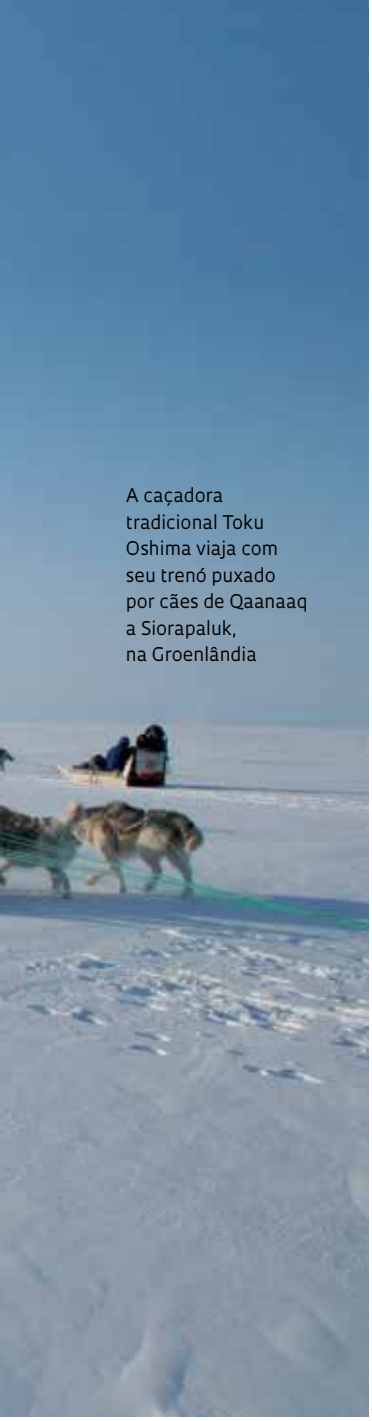
NOTAS

A cobertura de gelo da Terra está encolhendo

A camada de gelo que cobre a Terra diminuiu, em média, 87 mil quilômetros quadrados (km^2) por ano de 1979 a 2016, possivelmente em decorrência das mudanças climáticas. A redução anual foi equivalente à da área do lago Superior, na fronteira entre o Canadá e os Estados Unidos. A estimativa resulta de análises da equipe do físico e geógrafo Xiaoqing Peng, da Universidade de Lanzhou, na China. O encolhimento ocorreu principalmente no hemisfério Norte. A cobertura de gelo na região registrou uma perda anual média de 102 mil km^2. Essa diminuição foi ligeiramente compensada pelo aumento de 14 mil km^2 por ano na camada de gelo do hemisfério Sul no mesmo período (*Earth's Future*, 16 de maio). Essa expansão se deu principalmente no gelo marinho no mar de Ross, ao redor da Antártica, devido a alterações no padrão de vento e correntes oceânicas. A cobertura de gelo da Terra é importante porque reflete a luz do sol, ajudando a resfriar o planeta.

Controvérsias sobre novo medicamento para Alzheimer

Um novo composto indicado para combater a doença de Alzheimer, que afeta 30 milhões de pessoas no mundo, está gerando polêmica. Em 7 de junho, a Food and Drug Administration (FDA), agência reguladora de medicamentos e alimentos dos Estados Unidos, liberou o uso do anticorpo monoclonal aducanumabe para combater a possível causa da doença. Produzido pela empresa de biotecnologia norte-americana Biogen, o medicamento Aduhelm é o primeiro aprovado contra o Alzheimer desde 2003 (*The New York Times*, 7 de junho). Diferentemente dos compostos em uso, que retardam o surgimento de sintomas, o novo remédio atuaria sobre a possível causa biológica da doença. O consentimento para a venda do composto ocorreu por meio do programa de aprovação acelerada da FDA, destinado a obter medicamentos para doenças ainda sem tratamento efetivo, e contrariou a avaliação de um comitê consultivo independente afirmando não haver evidências de benefício. Um ensaio clínico indicava que a medicação retardaria levemente o declínio, enquanto o outro não mostrava resultados melhores que o do placebo – ambos foram interrompidos antes do término por parecer que não produziriam benefícios. Críticas de especialistas à liberação levaram a FDA a restringir em julho a indicação do medicamento só para casos leves. Em 9 de julho, foi pedida a um órgão federal independente uma investigação sobre a aprovação do Aduhelm. Há suspeita de interação informal entre representantes da Biogen e funcionários da FDA (*Stat*, 9 de julho; *New York Times*, 9 de julho).



A caçadora tradicional Toku Oshima viaja com seu trenó puxado por cães de Qaanaaq a Siorapaluk, na Groenlândia

1

Bilionários inauguram a era do turismo espacial

2

Julho foi o mês do turismo espacial. No dia 11, o bilionário britânico Richard Branson (*foto*), fundador do grupo Virgin, e outros cinco funcionários da empresa Virgin Galactic, a companhia que pretende levar turistas ao espaço por US$ 250 mil cada passagem, subiram à altitude de 86 quilômetros (km) a bordo do avião-foguete VSS Unity. Lançado no ar a partir de um avião, o VSS Unity superou a barreira dos 80 km – aceita pela Nasa como fronteira entre a atmosfera e o espaço; já a Federação Aeronáutica Internacional estabelece esse limite em 100 km – em um voo que durou menos de 15 minutos e permaneceu parte do tempo em ambiente de microgravidade, no qual é possível flutuar. No dia 20, data em que se celebraram os 52 anos do pouso do homem na Lua, foi a vez de o norte-americano Jeff Bezos, o homem mais rico do mundo, ir ao espaço. Fundador da empresa Amazon e dono do jornal *The Washington Post*, Bezos e seu irmão, Mark, fizeram um voo de 11 minutos e chegaram a 106 km de altitude a bordo do veículo New Shepard, da empresa Blue Origin. No voo sem piloto, foram acompanhados pela aviadora Wally Funk, de 82 anos, que integrou um programa espacial da Nasa nos anos 1960, mas na época não pôde ir ao espaço, e pelo holandês Oliver Daemen, de 18 anos, cuja passagem foi paga pelo pai. Ainda este ano, a empresa SpaceX, do bilionário Elon Musk, planeja levar civis ao espaço.

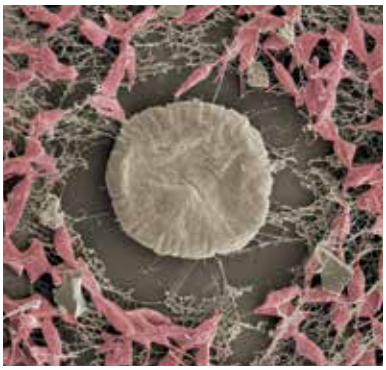
3

Uma presidente para o ERC

A geneticista alemã Maria Leptin será a nova presidente do Conselho Europeu de Pesquisa (ERC), principal agência europeia de fomento à ciência básica. Ela toma posse em outubro, no lugar do matemático francês Jean-Pierre Bourguignon – seu mandato se encerrou em fins de 2019, mas ele reassumiu o cargo em abril de 2020 após renúncia do engenheiro italiano Mauro Ferrari, sob suspeição de negligenciar suas responsabilidades à frente do ERC. Leptin é diretora da Organização Europeia de Biologia Molecular, sediada no Laboratório Europeu de Biologia Molecular (EMBL), em Heidelberg, Alemanha. Segundo a geneticista, suas prioridades no ERC serão persuadir a comissão a aumentar os aportes de financiamento e lançar campanhas de divulgação para reforçar o valor da ciência básica.

A saída explosiva de *Trypanosoma cruzi*

Transmitido aos seres humanos pelo inseto barbeiro, o protozoário *Trypanosoma cruzi*, causador da doença de Chagas, começa a se reproduzir tão logo entra no organismo. Formas maduras do parasita (com flagelo) transportadas pelo sangue penetram em células do coração, do baço e dos intestinos e se convertem em uma versão (sem flagelo) capaz de se multiplicar. Em dias, novos protozoários abarrotam o interior da célula, antes de estarem prontos para ganhar o sangue e iniciar outras invasões. Detalhes da entrada nas células eram conhecidos, mas pouco se sabia sobre a saída. Com a ajuda de microscópios, o biólogo Éden Ferreira, que faz estágio de pós-doutorado no laboratório do bioquímico Renato Mortara na Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), documentou como o parasita retorna para o sangue. À medida que amadurece, ele libera enzimas que digerem o citoesqueleto, rede de filamentos que dá forma e sustentação à célula. Na etapa final, com o citoesqueleto fragilizado, a movimentação dos parasitas flagelados rompe a membrana celular em um processo explosivo (*mBio*, 22 de junho).



4

Imagem de microscopia eletrônica mostra redução de filamentos do citoesqueleto próximo aos parasitas (*em rosa*)

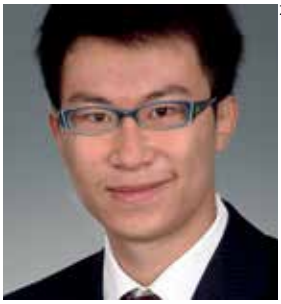
FOTOS 1 SHARI FOX / NSIDC 2 VIRGIN GALACTIC 3 EMBO 4 ÉDEN FERREIRA / UNIFESP

1

O desmatamento e a fome das harpias

A harpia ou gavião-real (*Harpia harpyja*), a maior águia do mundo, está desaparecendo de algumas regiões da Amazônia em consequência do desmatamento. Com pouco mais de 1 metro de altura, 9 quilos e 2,2 metros de envergadura, a harpia tem uma dieta restrita e vive mais de 50 anos. Come principalmente bichos-preguiça (*Choloepus didactylus*), macacos-prego (*Sapajus apella*) e macacos-barrigudos-cinzentos (*Lagothrix cana*) que encontra no alto das árvores. Para sobreviver e se reproduzir, precisa de pelo menos 50% de mata preservada em seu território, com um mínimo de 3 quilômetros de raio, segundo estudo realizado pelo biólogo brasileiro Everton Miranda durante seu doutorado realizado na Universidade de KwaZulu-Natal, na África do Sul (*Scientific Reports*, 30 de junho). Por quatro anos, ele e colaboradores monitoraram 16 ninhos de harpia em paisagens com diferentes graus de desmatamento no norte de Mato Grosso. Os pesquisadores esperavam que as aves alterassem sua dieta nas áreas desflorestadas e passassem a comer mamíferos terrestres, como gambás e tatus. Não foi o que ocorreu. Como mantiveram os hábitos alimentares, tiveram mais dificuldade para encontrar comida.

Universidade concede título póstumo



2

Yiran Fan, então com 30 anos, foi a primeira pessoa morta em um violento tiroteio que parou a cidade de Chicago, nos Estados Unidos, na noite de 9 de janeiro. Em 2014 ele havia se mudado de Beijing, na China, para estudar matemática financeira na Universidade de Chicago. Faltava pouco para concluir o doutorado quando morreu. Analisando documentos deixados por Fan no Dropbox, Lars Peters Hansen, Prêmio Nobel de Economia em 2013 e professor da universidade, e colegas concluíram que o estudante já havia pensado o bastante sobre como decisões aparentemente racionais de credores individuais podem colocar em risco o sistema bancário. Com outros dois professores, eles desenvolveram a tese de Fan em seu nome e a apresentaram publicamente em março, como exigido de todos os candidatos ao doutorado da universidade. Em 11 de junho, a universidade lhe concedeu um título póstumo de doutor em economia financeira. Um capítulo da dissertação será publicado no *Journal of Political Economy* (*Boletim da Universidade de Chicago*, 1º de junho; *Quartz at Work*, 15 de junho).

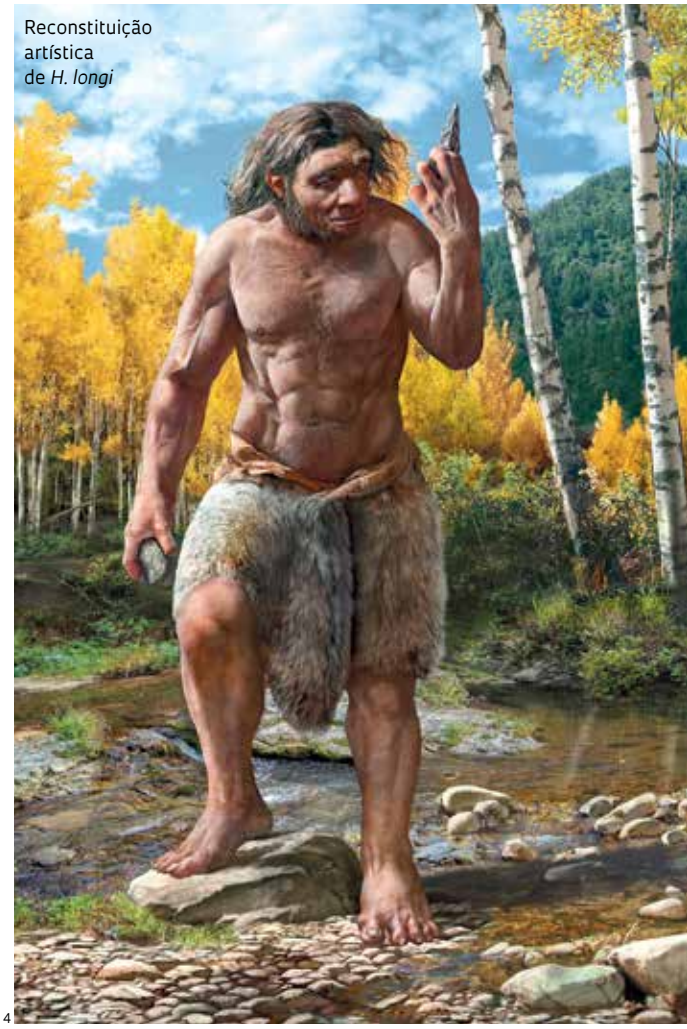
O custo elevado do Legislativo brasileiro

Marca-passo sem fio se dissolve no organismo

Pesquisadores das universidades Northwestern e George Washington, ambas nos Estados Unidos, desenvolveram um marca-passo sem chumbo, sem fio e sem bateria. Feito com componentes biocompatíveis que absorvem os fluidos do corpo, ele se dissolve em sete semanas, sem a necessidade de cirurgia para sua remoção, reduzindo o risco de infecções e coágulos sanguíneos causados pelo implante de fios e baterias dos aparelhos hoje em uso (*Nature Biotechnology*, 28 de junho). Com menos de meio grama de peso e 250 micrômetros de espessura, o dispositivo contém eletrodos que são implantados na superfície do coração para fornecer um pulso elétrico. O aparelho coleta energia de uma antena externa remota usando protocolos de comunicação semelhantes aos empregados por smartphones para pagamentos eletrônicos. O dispositivo mostrou-se eficiente para regularizar o ritmo cardíaco em modelos experimentais (camundongos, coelhos, cães e seres humanos). Se avançar, poderá ser usado por pessoas que precisam de estimulação temporária após cirurgia cardíaca ou enquanto esperam por um marca-passo permanente.

3 O dispositivo, feito de material biocompatível

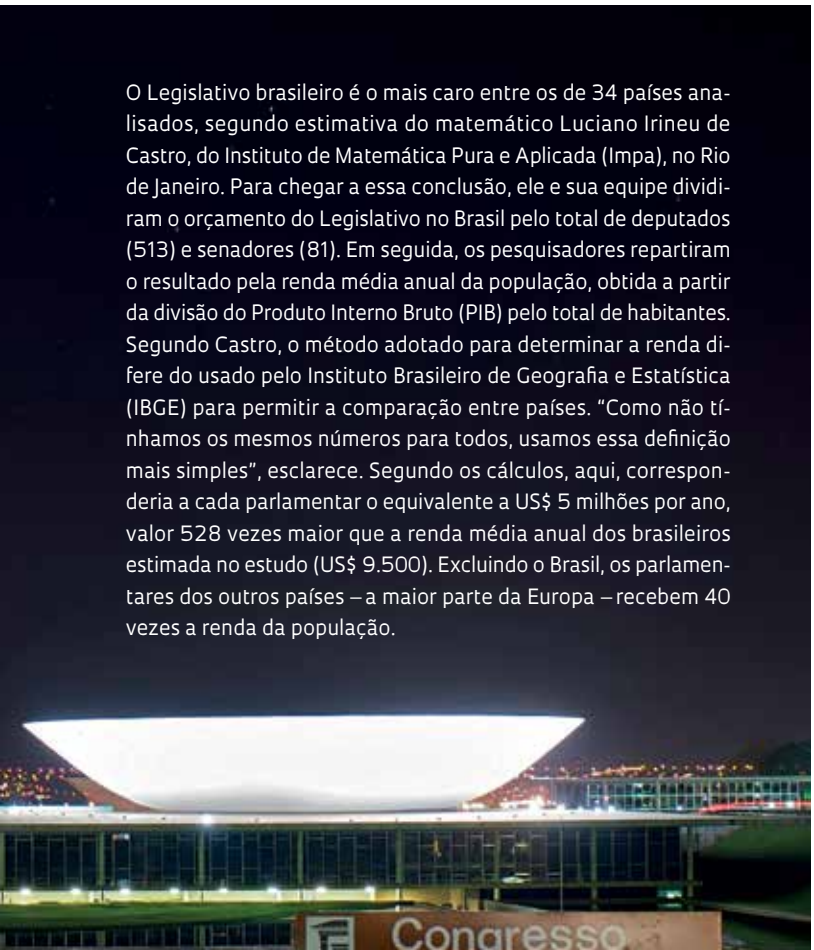
FOTOS 1 JIANG CHUNSHENG **2** UNIVERSIDADE DE CHICAGO **3** UNIVERSIDADE NORTHWESTERN E UNIVERSIDADE GEORGE WASHINGTON **4** CHUANG ZHAO **5** WIKIMEDIA COMMONS



Reconstituição artística de *H. longi*

4

O Legislativo brasileiro é o mais caro entre os de 34 países analisados, segundo estimativa do matemático Luciano Irineu de Castro, do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Impa), no Rio de Janeiro. Para chegar a essa conclusão, ele e sua equipe dividiram o orçamento do Legislativo no Brasil pelo total de deputados (513) e senadores (81). Em seguida, os pesquisadores repartiram o resultado pela renda média anual da população, obtida a partir da divisão do Produto Interno Bruto (PIB) pelo total de habitantes. Segundo Castro, o método adotado para determinar a renda difere do usado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para permitir a comparação entre países. "Como não tínhamos os mesmos números para todos, usamos essa definição mais simples", esclarece. Segundo os cálculos, aqui, corresponderia a cada parlamentar o equivalente a US$ 5 milhões por ano, valor 528 vezes maior que a renda média anual dos brasileiros estimada no estudo (US$ 9.500). Excluindo o Brasil, os parlamentares dos outros países – a maior parte da Europa – recebem 40 vezes a renda da população.



5

O enigmático homem dragão

Um crânio fossilizado quase completo que permaneceu escondido por 85 anos pode pertencer a uma nova espécie de ser humano arcaico. Ele foi encontrado em 1933 por um operário que trabalhava na construção de uma ponte na região de Harbin, noroeste da China, e o escondeu em um poço desativado das autoridades japonesas, que à época ocupavam a região. Antes de morrer, o operário relatou a localização do fóssil a familiares, que foram convencidos pelo paleoantropólogo Ji Qiang a doá-lo à Universidade Hebei GEO. Em três artigos, Ji e colaboradores descreveram o fóssil, apresentaram sua provável idade e o atribuíram a uma nova espécie do gênero humano: *Homo longi*, apelidada de homem dragão, em referência ao nome de um rio próximo ao local em que o fóssil foi achado. Segundo as análises, o crânio era de um indivíduo do sexo masculino que viveu há 146 mil anos (*The Innovation*, 25 de junho). Mais baixo e longo do que o dos seres humanos modernos (*Homo sapiens*), o crânio guarda também semelhanças com o de espécies humanas arcaicas. Para os pesquisadores, o homem dragão seria um parente mais próximo do *H. sapiens* do que os neandertais.

NOTAS DA PANDEMIA

Acesso a itens básicos de higiene é pior na África e na Oceania

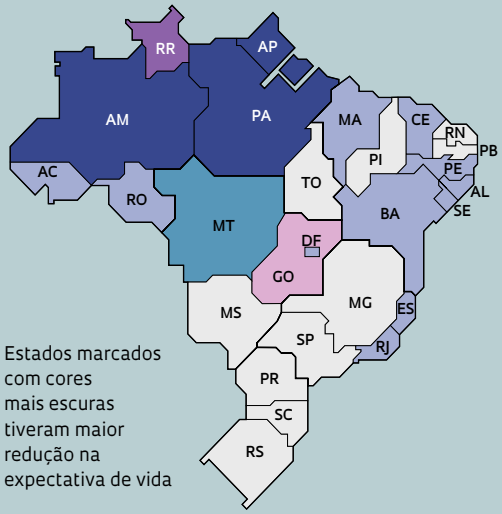
1

2,3 bilhões de pessoas sem água e sabão

Durante a pandemia, uma parte importante da população mundial não teve condições de seguir uma recomendação básica das autoridades de saúde para reduzir o risco de transmissão do novo coronavírus: a limpeza frequente das mãos. O motivo? Falta de água e sabão. Cerca de 2,3 bilhões de pessoas, o equivalente a 30% da população mundial, não dispunham de água, sabão ou ambos em 2020, estimam a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef) no relatório *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020*, publicado em 1º de julho. Os cálculos foram feitos com base em informações disponíveis de 79 países de todas as regiões do mundo – a maioria dos países de alta renda não dispõe de dados sobre essa questão. Apesar do cenário inimaginável, a situação melhorou nos últimos tempos. De 2015 a 2020, passou de 5 bilhões para 5,5 bilhões o total de pessoas com acesso aos serviços básicos de higiene. Os países que menos avançaram são os da África subsaariana e da Oceania. Tornar água e sabão disponíveis para toda a população até 2030 é uma das metas de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas. Para ser alcançada, exigirá que o ritmo de oferecimento desses serviços seja quadruplicado nos próximos anos.

Queda na expectativa de vida no Brasil

O Brasil foi um dos países mais atingidos pela pandemia, com cerca de 540 mil mortos (13% do total de óbitos no mundo) por Covid-19 até meados de julho. Essa mortalidade elevada diminuiu a expectativa de vida da população. A estatística e demógrafa brasileira Marcia Castro, da Escola de Saúde Pública da Universidade Harvard, nos Estados Unidos, e seus colaboradores, entre eles o demógrafo Cassio Turra, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), usaram o total de mortes relatadas no país em 2019 e 2020 para calcular a diferença de esperança de vida ao nascer entre esses dois anos. Segundo a estimativa, quem veio ao mundo em 2020 deve viver, em média, 1,3 ano a menos do que alguém nascido no ano anterior, regredindo aos níveis de 2012 – nos Estados Unidos, o país com mais mortos por Covid-19, a redução foi de 1,1 ano. Aqui, a queda na expectativa de vida atingiu de modo diferente homens e mulheres: foi maior entre eles (1,6 ano) do que entre elas (1 ano). No Amazonas, a diminuição chegou a 3,5 anos (*Nature Medicine*, 29 de junho). A previsão é de uma redução ainda maior neste ano.



Estados marcados com cores mais escuras tiveram maior redução na expectativa de vida

FONTE CASTRO, M. C. *ET AL.* **NATURE MEDICINE**. 2021

Questão de rearranjo e ventilação

O rearranjo dos músicos no palco, associado à abertura do maior número possível de portas e janelas, pode reduzir muito o risco de os integrantes de uma orquestra se infectarem com o novo coronavírus. Tomando como base medições anteriores de partículas potencialmente infecciosas emitidas pelos instrumentos musicais de uma orquestra, o grupo de Tony Saad, da Universidade de Utah em Salt Lake, Estados Unidos, usou modelagem computacional para projetar como o ar se move em uma sala de concerto e quais ajustes de posição protegeriam o grupo. Algumas das reorganizações conseguiram reduzir em cerca de 100 vezes a concentração de partículas potencialmente infecciosas no palco, de 1 por litro de ar para 0,001 por litro (*Science Advances*, 23 de junho). A estratégia foi testada pela Orquestra Sinfônica de Utah, que deslocou os instrumentos de percussão, a harpa e o piano para o centro do palco e os instrumentos de sopro para as bordas, próximo às saídas de ar (*ScienceNews*, 23 de junho).

2

Reorganização de músicos no palco reduz a concentração de partículas infecciosas

3

Começam os testes clínicos da ButanVac

Foi dado o pontapé inicial para os testes clínicos da ButanVac, o composto candidato a vacina que será produzido integralmente no Brasil pelo Instituto Butantan, sem a necessidade de importação de insumos. Em 9 de julho, dois dias depois de a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) aprovar o início dos testes, seis voluntários passaram por exames de triagem na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP) em Ribeirão Preto antes de receber a primeira dose do composto, prevista para ser dada nas semanas seguintes. A primeira das três fases de testes serve para avaliar a segurança do produto e envolverá a participação de 418 voluntários, que serão aleatoriamente separados em dois grupos: um receberá duas doses da ButanVac, com intervalo de 28 dias, e outro duas doses de placebo (composto inócuo). Na segunda etapa, da qual devem participar mais de 5 mil pessoas, será avaliada a capacidade da ButanVac de gerar resposta imune. Nessa fase, os dados serão comparados com os de vacinas contra a Covid-19 já em uso.

4

Biossensores para detectar o coronavírus

Pesquisadores da Universidade Harvard e do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), ambos nos Estados Unidos, desenvolveram um biossensor para detectar o novo coronavírus que pode ser incorporado a máscaras e roupas. O sensor utiliza uma série de compostos desidratados que participam de reações químicas características de organismos vivos. Quando o material entra em contato com a água, as reações começam e detectam material genético do vírus. O sensor pode ser projetado para produzir diferentes tipos de sinais, como uma mudança de cor, visível a olho nu, ou uma emissão de luz que pode ser medida com equipamentos específicos. Um dos protótipos criados pelo grupo é uma máscara. Ela contém um biossensor do lado interno, para detectar a presença do vírus no ar exalado pelo usuário, e outro do lado externo, para identificar exposição ao patógeno no ambiente. A máscara tem um reservatório de água que é acionado no momento do teste. O resultado sai em 90 minutos (*Nature Biotechnology*, 28 de junho). "Esse detector é tão sensível quanto o padrão-ouro, os testes de PCR, e tão rápido quanto os testes de detecção de antígenos", afirma Peter Nguyen, pesquisador de Harvard.

FOTOS 1 UNICEF/UNO388486/PANJWANI 2 ROXANNE MINNISH/PEXELS 3 GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO 4 INSTITUTO WYSS/UNIVERSIDADE HARVARD

COVID-19

PROTEÇÃO CRUZADA

Estudos preliminares sugerem que combinar duas vacinas diferentes pode ser útil para combater a pandemia

Eduardo Geraque

Os resultados iniciais de pequenos testes feitos em países como Reino Unido e Espanha sinalizam que a adoção da chamada vacinação heteróloga contra a Covid-19 parece segura e eficaz. Em certos casos, há indícios de que a mistura de vacinas produz uma melhor resposta imunológica do que duas doses de um único imunizante. Nesse esquema alternativo, a primeira dose do imunizante é diferente da segunda. A possibilidade de combinar produtos distintos ganhou força diante da falta de doses de um mesmo imunizante para completar o esquema vacinal tradicional em certas partes do mundo. Com exceção da vacina da Janssen, que necessita de apenas uma aplicação para conferir proteção, todos os imunizantes aprovados para uso requerem duas doses.

Outro fator que impulsiona esse tipo de pesquisa é o relato de raríssimos efeitos colaterais graves, como tromboses, em pessoas, especialmente mulheres, que receberam a primeira dose da vacina desenvolvida pela Universidade de Oxford, no Reino Unido, em parceria com o laboratório farmacêutico AstraZeneca. Para indivíduos com risco maior de apresentar efeitos colaterais que já receberam uma dose da vacina da AstraZeneca, alterar o tipo de imunizante a ser administrado na segunda aplicação poderia ser uma alternativa mais recomendável. Em vários países, como Reino Unido, Espanha, Suécia, França e Itália e Canadá, pessoas que tomaram a primeira dose da AstraZeneca estão sendo autorizadas a receber a segunda aplicação de outro imunizante, geralmente o da Pfizer/BioNTech, feito a partir da tecnologia de RNA mensageiro. No Brasil, o Ministério da Saúde recomendou oficialmente em 26 de julho o uso da vacina da Pfizer ou a CoronaVac como a segunda dose em grávidas e puérperas que receberam inicialmente o imunizante da AstraZeneca. Desde o final de junho, a prefeitura do Rio de Janeiro já tinha adotado essa estratégia.

Dados de estudo coordenado pela Universidade de Oxford com 830 voluntários acima dos 50 anos indicam que não haveria problema em misturar produtos feitos a partir de diferentes tecnologias vacinais. O trabalho, que foi publicado em junho como um artigo no formato *preprint* (sem a revisão por pares) em repositório científico, analisou o emprego de duas combinações. Uma delas aplicou a primeira dose com a vacina gênica da Pfizer, que usa a técnica de RNA mensageiro para produzir o antígeno do vírus Sars-CoV-2, e a segunda com o imunizante da AstraZeneca, que emprega um adenovírus de macacos (inócuo para seres humanos) para introduzir a proteína *spike* (espícula) do novo coronavírus e, assim, estimular uma resposta imunológica. O outro esquema vacinal inverteu a ordem dos imunizantes aplicados.

Nos dois casos, houve aumento das concentrações dos anticorpos contra o Sars-CoV-2 do tipo IgG presentes no sangue e maior produção das células T de defesa. "Os resultados mostram que, quando administrados em um intervalo de quatro semanas, ambos os esquemas induzem uma resposta imunológica acima do limite estabelecido pelo esquema padrão da vacina Oxford/AstraZeneca", resumiu Matthew Snape, virologista de Oxford e pesquisador chefe do estudo, em um comunicado à imprensa no final de junho. O grupo de Snape ainda vai publicar os resultados dos

THOMAS KIENZLE / AFP VIA GETTY IMAGES

testes feitos com um intervalo de tempo maior, de 8 a 12 semanas, entre a primeira e a segunda dose. Esse esquema é o mais comum entre os países que aplicam o imunizante da Oxford/AstraZeneca.

É também o caso do Brasil, que fabrica a vacina britânica na Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), no Rio de Janeiro. "Os resultados desse estudo são muito bons e mostram que é possível diminuir o intervalo entre as doses de vacinas diferentes e manter uma boa resposta imunológica", afirma o imunologista Daniel Youssef Bargieri, coordenador do Núcleo de Pesquisas em Vacinas da Universidade de São Paulo (USP). Segundo ele, por agirem de forma diversa no organismo, vacinas feitas com tecnologias distintas acabam atuando de forma complementar. "A vacinologia não é uma ciência exata. Une conhecimento, pesquisa e também uma parte empírica", pondera Bargieri. "Do ponto de vista imunológico, faz todo sentido pensar em usar vacinas diferentes. Isso não chega a ser uma novidade."

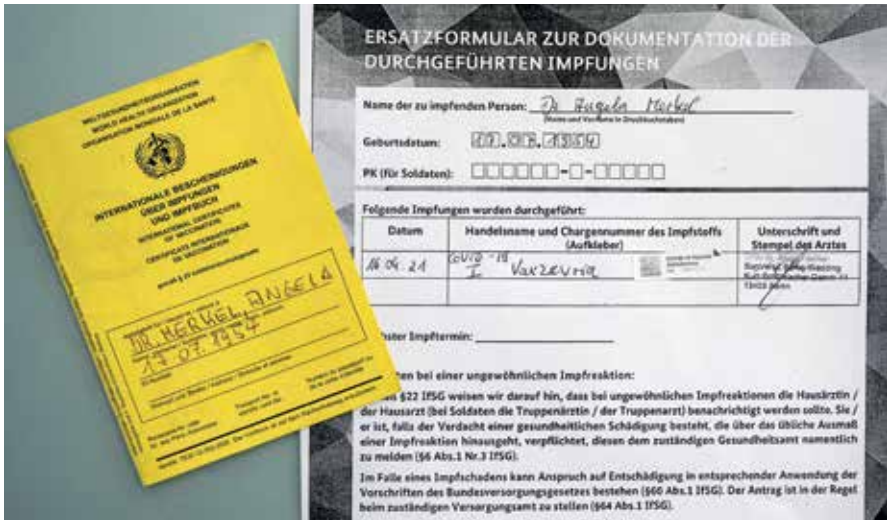
Antes dos britânicos, um grupo do Instituto de Saúde Carlos III, em Madrid, Espanha, tinha anunciado em maio dados preliminares, e promissores, do ensaio clínico CombiVacS. O trabalho analisou a resposta imunológica e a segurança da aplicação de uma vacinação heteróloga em um grupo de 663 pessoas com idades entre 18 e 60 anos. Dois terços dos participantes receberam a primeira dose da vacina da AstraZeneca e, ao menos oito semanas mais tarde, a segunda com o imunizante da Pfizer. O outro terço, que funcionou como grupo de controle, recebeu apenas a primeira dose do imunizante britânico durante o período de análise do estudo. Duas semanas após terem recebido a dose de reforço com o imunizante da Pfizer, as pessoas submetidas à mistura de imunizantes tinham 150 vezes mais anticorpos contra Covid-19 do que o grupo de controle. Foram verificadas apenas reações leves e moderadas ao emprego da vacinação heteróloga, que desapareciam dois a três dias após o recebimento da segunda dose. O estudo dos espanhóis foi publicado em repositório de *preprints* no final de maio.

Como a tendência do novo coronavírus é continuar circulando entre os humanos, o que implicaria imunizações anuais ou com intervalos de dois em dois anos pelo menos, a alternância do tipo de imunizante pode ser útil para o sucesso das futuras campanhas de vacinação. Essa prática seria benéfica tanto do ponto de vista da logística – aplica-se a vacina que estiver disponível – quanto em relação ao controle imunológico da Covid-19. Vacinas sempre iguais podem fazer com que a eficiência desse tipo de intervenção perca efeito ao longo do tempo, ainda mais em um contexto em que o vírus está em constante evolução e surgem novas linhagens do Sars-CoV-2.

A imunização contra a poliomielite é sempre citada como um exemplo bem-sucedido do emprego conjunto de vacinas desenvolvidas com distintas tecnologias contra uma doença. Há duas vacinas, a Salk, na forma de injeção, e a Sabin, de uso oral. Na Salk, o vírus é inativado. As gotinhas da Sabin contêm o vírus vivo, porém atenuado. Atualmente, as primeiras doses aplicadas nas crianças são da Sabin e os reforços realizados com a Salk.

"Faz todo sentido misturar vacinas porque essa estratégia induz uma resposta mais ampla do organismo contra o coronavírus", afirma o imunologista Alessandro Farias, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Ao lado do seu trabalho cotidiano, o pesquisador liderou uma força-tarefa em Campinas para o desenvolvimento de testes contra a Covid-19 nos meses iniciais da pandemia em 2020. "O sistema imunológico pode desenvolver, ao longo do tempo, uma resposta de defesa contra o adenovírus da vacina da AstraZeneca antes que esse vetor consiga cumprir seu papel de levar a espícula do Sars-CoV-2 para dentro das células. Se isso ocorrer, essa vacina vai perder eficácia", explica Farias. O pesquisador avalia que a alternância de vacinas também vai ser importante em termos de

A mistura de vacinas diferentes ocorre no combate à poliomielite, que conta com um imunizante de uso oral e outro na forma injetável



Documento de vacinação de Angela Merkel indica que a chanceler alemã tomou a vacina da AstraZeneca contra Covid-19 como primeira dose, mas, segundo a imprensa, a segunda dose foi com o imunizante da Moderna

distribuição dos imunizantes por regiões geográficas muito extensas, como ocorre pelo interior do Brasil. "Mas, no momento, nosso problema ainda é outro: falta vacina para todos", lembra.

Apesar de os testes britânicos mostrarem que, independentemente da ordem de aplicação das vacinas, a estratégia combinada produz respostas imunológicas robustas, algumas diferenças foram observadas. A dupla AstraZeneca-Pfizer, nessa sequência, induziu mais anticorpos e aumento de células T de defesa do que a mistura Pfizer-AstraZeneca. Ainda assim, qualquer uma das duas combinações gerou mais anticorpos do que a aplicação padrão de duas doses da AstraZeneca. No entanto, o esquema que produziu a resposta imunológica mais robusta foi o emprego de duas injeções do imunizante da Pfizer.

Segundo Andrew Ustianowski, líder clínico do programa de vacinação contra a Covid-19 do Instituto Nacional de Pesquisas Médicas do Reino Unido, é importante avançar no conhecimento sobre a ação das novas vacinas contra o coronavírus. "O esquema de duas doses da AstraZeneca é altamente eficaz e ajudou a salvar muitas vidas. O fato de agora sabermos que esse imunizante também funciona bem quando combinado com a vacina da Pfizer permite maior flexibilidade para vacinar mais pessoas em todo o mundo", afirmou Ustianowski, em junho, em material de divulgação do estudo, quando os primeiros resultados dos testes sobre a conjugação de vacinas foram anunciados.

Na Alemanha, dois estudos disponibilizados em junho como *preprints* no repositório medRxiv chegaram a resultados similares aos obtidos no Reino Unido e na Espanha. Em um trabalho, coordenado por uma equipe da Charité Universitätsmedizin, em Berlim, a segurança e a eficácia do esquema combinado (vacina de Oxford mais a da Pfizer) foram confrontadas com o emprego de duas doses do imunizante desenvolvido com a técnica de RNA mensageiro. A pesquisa foi feita com 340 trabalhadores da área da saúde da capital alemã, que receberam o esquema conjugado a um intervalo de 10 a 12 semanas entre as doses de vacinas distintas ou a estratégia convencional de duas injeções do imunizante da Pfizer em um período de três semanas. Três semanas após a administração da segunda dose, o grau de proteção imunológica do esquema combinado foi ligeiramente maior do que a abordagem padrão. Um segundo estudo de desenho similar, também na Alemanha, conduzido com 216 funcionários da Universidade do Sarre, chegou a conclusões semelhantes.

Apesar de a eficácia real e a segurança a longo prazo de combinar dois imunizantes contra Covid-19 ainda necessitarem de mais tempo e pesquisas para serem respondidas em mais detalhes, as evidências preliminares a favor do emprego desse esquema vacinal alternativo parecem ser satisfatórias. Segundo a imprensa alemã, a chanceler Angela Merkel, chefe de governo do país, foi aconselhada por sua equipe médica a recorrer a tal procedimento. Como primeira dose, Merkel recebeu a vacina da AstraZeneca. A segunda injeção consistiu no imunizante da empresa Moderna, outra vacina de RNA mensageiro. A Alemanha recomenda que todas as pessoas inicialmente imunizadas com o produto da AstraZeneca recebam a segunda dose de uma vacina com a tecnologia de RNA mensageiro. ■

Artigos científicos

LIU, X. *et al.* Safety and immunogenicity report from the com-CoV study – A single-blind randomised non-inferiority trial comparing heterologous and homologous prime-boost schedules with an adenoviral vectored and mRNA Covid-19 vaccine. **SSRN** (*preprint*). 25 jun. 2021.

HILLUS, D. *et al.* Safety, reactogenicity, and immunogenicity of homologous and heterologous prime-boost immunisation with ChAdOx1-nCoV19 and BNT162b2: A prospective cohort study. **medRxiv** (*preprint*). 2 jun. 2021.

BOROBIA, A. M. *et al.* Reactogenicity and immunogenicity of BNT162b2 in subjects having received a first dose of ChAdOx1s: Initial results of a randomised, adaptive, phase 2 trial (CombiVacS). **SSRN** (*preprint*). 27 mai. 2021.

FOTOS 1 E 2 TOMAZ SILVA / AGÊNCIA BRASIL 3 STEFFEN SEIBERT / GOVERNO DA ALEMANHA

VACINA UNIVERSAL

Pesquisadores tentam desenvolver um imunizante de amplo espectro que proteja contra todos os tipos de coronavírus e suas variantes

Frances Jones

O sucesso da primeira geração de vacinas contra o Sars-CoV-2, vírus causador da Covid-19, conseguiu alterar o curso da pandemia em várias regiões do planeta, mas não demoveu cientistas de outro objetivo: o desenvolvimento de um imunizante de amplo espectro, ou universal, contra o coronavírus. A ideia é garantir múltiplas proteções: contra as variantes que alimentam a atual epidemia; que combata as mutações que certamente surgirão enquanto a transmissão do vírus não for reduzida drasticamente em nível global; e que seja eficaz contra eventuais cepas ainda desconhecidas de múltiplos coronavírus, capazes de infectar humanos, vindos de hospedeiros animais como aves e morcegos e trazendo a ameaça de novas pandemias. Universidades, institutos de pesquisa, farmacêuticas e empresas de biotecnologia de diversas regiões do mundo abraçaram projetos nesse sentido e os mais avançados, em boa parte nos Estados Unidos, conseguiram provocar fortes respostas imunes em camundongos e macacos contra mais de um coronavírus. A próxima etapa são os ensaios clínicos em humanos.

"É difícil dizer o quão distante estamos de uma vacina como essa até de fato criarmos uma", afirmou a *Pesquisa FAPESP* o biólogo estrutural Jason McLellan, da Universidade do Texas, em Austin, nos Estados Unidos. Há também diferentes níveis de sucesso. "O primeiro deles seria uma proteção contra todos os coronavírus do tipo Sars [relacionados à Síndrome Respiratória Aguda Grave, SRAG], também conhecidos como sarbecovírus", diz. O segundo nível é a proteção contra todos os betacoronavírus, que incluem a totalidade de vírus Sars, além do Mers (Síndrome Respiratória do Oriente Médio) e dos coronavírus do resfriado comum. "O terceiro conseguiria proteger contra todos os possíveis coronavírus", explicou o pesquisador. O grau de dificuldade para o desenvolvimento aumenta a cada nível, segundo McLellan, que atualmente trabalha no desenho de proteínas da espícula (*spike*) para usar como antígeno vacinal.

Principal alvo das atuais vacinas, as proteínas *spike* envolvem cada uma das partículas virais dos coronavírus e são responsáveis por enganar as células saudáveis do corpo, pois a ponta delas parece uma molécula humana comum de sinalização celular. Todos os coronavírus têm essa estrutura proteica, semelhante a uma coroa e que dá nome à família dos Coronaviridae. É por meio dela que alguns conseguem entrar nas células humanas.

Mas essas proteínas podem ser mais ou menos diferentes conforme as variantes, gêneros e subgêneros dos coronavírus. A subfamília Orthocoronavirinae da grande família dos coronavírus tem quatro gêneros: alfa, beta, gama e delta. Dentro do gênero betacoronavírus, há cinco subgêneros e um deles é o dos sarbecovírus, ao qual pertence o novo coronavírus, responsável pela pandemia. As vacinas atuais, desenvolvidas a partir do código genético da cepa original encontrada em Wuhan, na China, ensinam o sistema imune a reconhecer a proteína *spike* do Sars-CoV-2. Por enquanto, funcionam bem, inclusive com as novas linhagens que vêm surgindo.

Os cientistas temem, no entanto, que novas mutações favoreçam o aparecimento de variantes do Sars-CoV-2 que sejam diferentes a ponto de não serem reconhecidas pelo sistema imune mesmo de pessoas vacinadas, tornando os imunizantes de primeira geração ineficazes. "Quando surgiu uma primeira variante do Reino Unido, ouvi: 'Ah, mas a Moderna em três meses faz uma vacina'. Fazer em três meses é uma coisa, produzir e distribuir é outra. Estamos vendo no Brasil o tempo que demora", afirma a infectologista Nancy Bellei, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp). "Não dá para fazer uma nova vacina a toda hora. O ideal é termos uma universal."

Especialista em vírus respiratórios, ela defende que talvez seja mais fácil desenvolver uma vacina universal contra os coronavírus do que um imunizante com a mesma proposta contra influenza, vírus causador da gripe, que circula há muito mais tempo entre os humanos e cuja taxa de mutação é bem superior à do Sars-CoV-2. Todos os anos, diz ela, é preciso escolher, entre as mais de 10 mil cepas de influenza em circulação, as quatro que serão usadas no imunizante. O Centro para Política e Desenvolvimento contra Doenças Infecciosas (Cidrap), da Universidade de Minnesota, nos Estados Unidos, informa que há 110 candidatas a vacina universal contra influenza em desenvolvimento no mundo, usando seis plataformas tecnológicas diferentes. Vinte e uma estão na etapa de ensaios clínicos. Nenhuma foi aprovada para uso até agora.

"A primeira vacina de influenza é de 1940. Nesses mais de 80 anos, não houve avanço em termos de plataforma como o que tivemos em um ano com a Covid. O imunizante mais distribuído no mundo é de um modelo da década de 1940, produzido em ovos embrionados", informa

ARTEM PODREZ / PEXELS

Bellei. Embora as plataformas tenham evoluído, a alta taxa de mutação do vírus da gripe dificulta o trabalho de seleção do material genético a ser incluído na vacina. A pesquisadora diz que o Sars-CoV-2 ainda está se adaptando à espécie humana, mas tende a ser muito mais estável do que o vírus da gripe por ter uma enzima que corrige erros de replicação – e isso é positivo, pois o coronavírus sofre menos mutações. Segundo ela, não há atualmente uma vacina universal para doenças infecciosas com mais de um subtipo viral.

Em março deste ano, a Coalizão para Inovações para Prevenção de Epidemias (Cepi) lançou uma chamada de propostas de US$ 200 milhões para apoiar o desenvolvimento de vacinas que forneçam proteção contra o Sars-CoV-2 e outros betacoronavírus. Antes da emergência da Covid-19, as doenças prioritárias da organização incluíam os vírus chikungunya, ebola, entre outros. Fruto de uma parceria entre entidades públicas e privadas, a Cepi foi criada em 2017 na cidade suíça de Davos para apoiar o desenvolvimento de imunizantes para barrar futuras epidemias.

"Estima-se que a atual pandemia terminará por custar entre US$ 8 trilhões e US$ 16 trilhões globalmente, cerca de 500 vezes mais do que o necessário para evitar a próxima pandemia", escreveram Wayne Koff, diretor-executivo do Projeto Vacinas Humanas, e Seth Berkley, diretor-executivo da Aliança Global por Vacinas e Imunização (Gavi), em editorial na *Science* de fevereiro, defendendo esforços conjuntos para o desenvolvimento de uma vacina universal contra o coronavírus. "O Sars-CoV-2 está rapidamente se adaptando aos humanos e outros novos coronavírus estão sofrendo mutações, recombinando e replicando em morcegos e outras espécies animais, prestes a fazer o salto entre espécies em algum momento no futuro. Se escolhermos esperar a emergência de um próximo coronavírus, pode ser tarde demais, assim como foi com a Covid-19."

Empenhados em resolver essa questão, pesquisadores da Escola de Medicina da Universidade Duke e do Departamento de Epidemiologia da Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill, nos Estados Unidos, obtiveram resultados animadores em testes em macacos e camundongos com duas plataformas diferentes. Uma delas, semelhante à das vacinas da BioNTech/Pfizer e Moderna, usou RNA mensageiro, mas com sequências genéticas de diversos vírus; a outra baseou-se no uso de nanopartículas de ferritina, que funcionaram como base para entregar proteínas de um segmento específico da proteína *spike*. Ambas levaram à produção de anticorpos neutralizantes contra diferentes sarbecovírus, mostrou estudo publicado em maio na *Nature*.

"Mostramos que a nossa vacina funciona em macacos e protege contra o Sars-CoV-2; em ratos, foi eficaz contra vírus de morcegos. O próximo passo é produzi-la para um ensaio clínico de fase 1, em humanos, que levará ao menos um ano. Depois disso, um ensaio para verificar a segurança e o estudo do nível de anticorpos neutralizantes levará outro ano, mais ou menos", afirmou por e-mail o imunologista Barton Ford Haynes, da Escola de Medicina da Universidade Duke, autor principal do artigo. "No momento, estamos aguardando financiamento para produzir a vacina para os ensaios em humanos."

Em abril, a Agência de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos (FDA) deu o aval para o Instituto de Pesquisa do Exército Walter Reed iniciar ensaios clínicos de fase 1 também usan-

DIFERENTES ESTRATÉGIAS

Pesquisas para a vacina universal contra os coronavírus empregam duas tecnologias principais

RNA MENSAGEIRO

É uma abordagem semelhante à das vacinas da BioNTech/Pfizer e Moderna, só que em vez de incluir no RNA mensageiro o código para apenas uma cepa, os cientistas produzem um RNA mensageiro quimérico, combinando códigos para diferentes variantes e coronavírus.

QUEM DESENVOLVE Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill (EUA) e Universidade Duke (EUA)

RESULTADOS Em testes com camundongos, a vacina conseguiu produzir anticorpos contra o Sars-CoV-1, Sars-CoV-2, incluindo a variante beta (B.1.351), e outros vírus do subgênero sabercovírus

PRÓXIMOS PASSOS Teste em primatas. Se os resultados forem promissores, a vacina será testada em humanos, em um pequeno ensaio de fase 1

NANOPARTÍCULAS

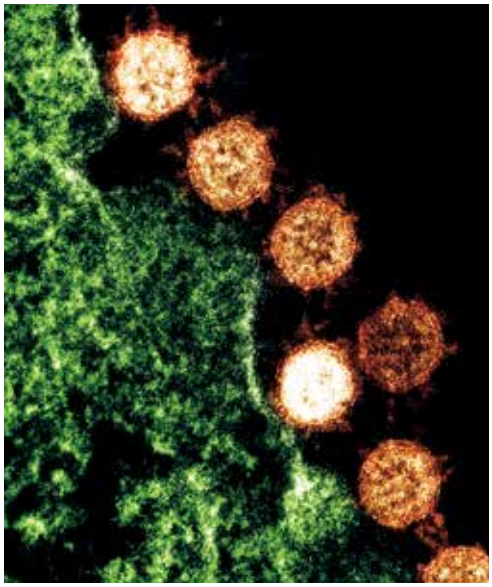
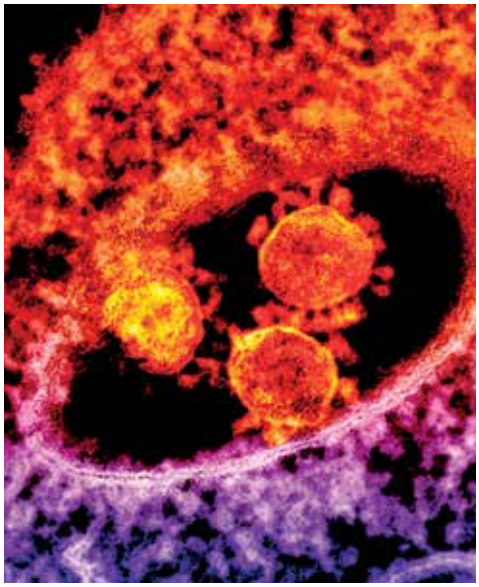
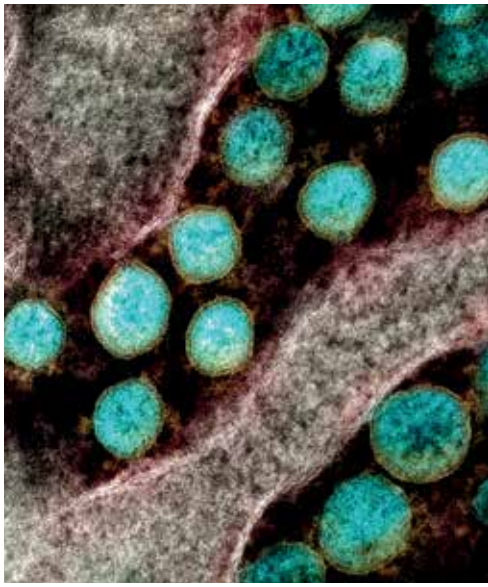
Diferentes iniciativas apostam no uso de nanopartículas para ensinar o corpo a reconhecer as proteínas dos coronavírus. Em uma delas, nanopartículas de ferritina que imitam partículas virais são conjugadas a nanopartículas de um segmento da proteína *spike*, reunidas em forma de mosaico.

QUEM DESENVOLVE Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech-EUA), Universidade Duke (EUA), Instituto de Pesquisa do Exército Walter Reed (EUA), Instituto de Pesquisa Scripps (EUA), farmacêutica GlaxoSmithKline (Reino Unido) e Osivax (França e Bélgica), uma empresa de biotecnologia

RESULTADOS Testes em camundongos, hamsters, macacos, cavalos e tubarões mostraram forte resposta imune contra a cepa original do Sars-CoV-2 e três de suas variantes, além de anticorpos contra a Sars

PRÓXIMOS PASSOS Testes de fase 1 em humanos

FONTES DAVID MARTINEZ, ANA MARISA CHUDZINSKI-TAVASSI, DIEGO GRANDO MODOLO, FLAVIO LICHTENSTEIN, PEDRO HENRIQUE RODRIGUEZ, SORAIA ATTIE CALIL JORGE, BARTON F. HAYNES

Imagens de microscopia eletrônica dos vírus Sars-CoV-1 (*à esq.*), Mers (*centro*) e Sars-CoV-2

do a plataforma com nanopartículas de ferritina. Os testes, iniciados no dia 6 daquele mês, terão a participação de 72 pessoas não vacinadas e que não tenham sido previamente infectadas com o vírus. O esquema previsto é de duas doses com intervalo de um mês entre elas.

Kayvon Modjarrad, diretor do programa para doenças infecciosas emergentes do instituto e coordenador do ensaio, espera que a vacina funcione para todas as variantes do Sars-CoV-2 e também para o Sars-CoV-1, responsável pela primeira epidemia de Sars, ocorrida em 2002 e 2003, que não chegou ao Brasil. "Até o momento, tudo parece correr bem em termos de segurança. Com relação à resposta imune, teremos informações dos primeiros 25 voluntários nas próximas semanas", afirmou Modjarrad a *Pesquisa FAPESP*. "Até pensamos em aplicar uma terceira dose, mas nossos estudos mostraram uma resposta muito forte com duas doses." Os participantes do estudo serão seguidos por 18 meses.

"O problema em desenvolver uma vacina mais universal que proteja não apenas contra o Sars-CoV-2, mas também contra os coronavírus dos resfriados comuns como 229E, OC43, NL63 e o HKU1, é que esses vírus são muito diferentes entre si e do Sars-CoV-2. Isso torna tudo mais difícil. Estamos trabalhando em estudos de prova de conceito para demonstrar se será ou não possível", disse à reportagem o cientista David Martinez, da Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill.

No ponto oposto dos Estados Unidos, na costa oeste, uma equipe do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech) adotou outra abordagem – nanopartículas em mosaico, com diferentes versões da parte da *spike* que se liga às células humanas – que conseguiu estimular a produção de anticorpos neutralizantes em camundongos contra o sarbecovírus, mas não contra o causador da Mers. "Estamos iniciando estudos para avaliar a proteção contra os vírus Sars-CoV-1 e Sars-CoV-2 em primatas vacinados versus não vacinados", informou à reportagem a coordenadora do estudo, a bioengenheira Pamela Bjorkman. "Se tivermos sucesso, o próximo passo serão os ensaios clínicos em humanos."

Ana Marisa Chudzinski-Tavassi, diretora do Centro de Desenvolvimento e Inovação (CDI) do Instituto Butantan, explica que diversos grupos de pesquisa buscam a mesma coisa com estratégias diferentes. "Todos procuram sequências virais que sejam comuns e de baixa mutação em diversos vírus, que sabidamente podem estar em reservatórios animais e passar para os humanos", esclarece. Os projetos do CDI estão focados no desenvolvimento de uma vacina multiantigênica, formulada com diferentes antígenos, aproveitando o conhecimento obtido a partir de um imunizante composto de peptídeos quiméricos, que o grupo vem trabalhando há mais de três anos.

"Desde o início da pandemia, estamos fazendo análises computacionais para entender como as diversas possibilidades de estruturas proteicas podem ser capazes de induzir respostas imunogênicas amplas", diz Chudzinski-Tavassi. Essas análises incluem a avaliação de possíveis mutações, ou seja, regiões com alta taxa mutacional; segmentos do vírus sem mutações até o momento; e locais onde as mutações já se fixaram. "Nossas análises avaliam a capacidade de diferentes apresentações de antígenos quiméricos em estimular uma resposta imune desejada", diz. "Com a análise computacional relativa a epítopos [regiões do antígeno ao qual o anticorpo se liga] escolhidos e às possíveis variações das proteínas *spike* e nucleocapsídeo, por exemplo, podemos colocar tudo isso numa plataforma proteica, que já desenvolvemos, a fim de obter, na forma de proteína recombinante, um antígeno vacinal que favoreça um maior reconhecimento das diversas variantes do Sars-CoV-2 e, quiçá, de outros vírus." ■

Artigos científicos

COHEN, A. A. *et al.* Mosaic nanoparticles elicit cross-reactive immune responses to zoonotic coronaviruses in mice. **Science**. 12 fev. 2021.

SAUNDERS, K. O. *et al.* Neutralizing antibody vaccine for pandemic and pre-emergent coronaviruses. **Nature**. 10 mai. 2021.

MARTINEZ, D. R. *et al.* Chimeric spike mRNA vaccines protect against Sarbecovirus challenge in mice. **Science**. 22 jun. 2021.

IMAGENS NATIONAL INSTITUTE OF ALLERGY AND INFECTIOUS DISEASES – NIH **ILUSTRAÇÕES** ALEXANDRE AFFONSO

SOB A PELE

Geneticista mineiro mostra que, no interior de suas células, os brasileiros são muito parecidos

Carlos Fioravanti e Ricardo Zorzetto | RETRATO **Eugênio Sávio**

Não importa a cor da pele. No Brasil, boa parte de brancos, negros e indígenas teve ou tem ancestrais paternos vindos da Europa e ancestrais maternos de origem africana ou amerínDia. Determinada por algo entre 20 ou 30 genes, um número pequeno ante os mais de 20 mil que compõem o genoma humano, a cor da pele nada diz sobre a capacidade intelectual do indivíduo. "A cor da pele é apenas uma adaptação geográfica. Há pessoas com pele escura nas regiões equatoriais de todo o globo, que é onde há mais insolação", afirma o médico geneticista Sérgio Danilo Junho Pena.

Depois de trabalhar 12 anos como médico, pesquisador e professor universitário nos Estados Unidos, Inglaterra e Canadá, ele começou a estudar as origens genéticas do povo brasileiro no final da década de 1980. Seus trabalhos se destacaram ao mostrar que no Brasil a população tem uma herança tri-híbrida e que a associação entre cor e ancestralidade é tênue. Foi assim com o sambista carioca Luiz Antônio Feliciano Marcondes, que, apesar de ter incorporado a cor da pele em seu nome artístico, Neguinho da Beija-flor, descobriu que tinha 67,1% de ancestralidade europeia e apenas 31,5% de africana, depois de examinado pela equipe de Pena.

Em 2020, aos 72 anos, o geneticista pediu a aposentadoria na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), mas nem pensou em parar de trabalhar. De casa, acompanha as pesquisas do grupo que mantém na universidade e o trabalho de suas duas empresas de testes genéticos – uma delas, o Laboratório Gene, é administrada por sua esposa, Betânia, citogeneticista. Eles têm um filho que mora em São Paulo e quatro netos. Pena conversou com os editores de *Pesquisa FAPESP* por plataforma de vídeo enquanto aguarda o desejado momento de voltar a atender no consultório – pessoalmente, em vez de on-line, como durante a pandemia. "Sinto muita falta do contato pessoal com os pacientes", ele diz.

IDADE 72 anos

ESPECIALIDADE
Genética médica

INSTITUIÇÃO
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

FORMAÇÃO
Graduação em medicina pela UFMG (1970) e doutorado em genética humana na Universidade de Manitoba, Canadá (1977)

PRODUÇÃO
305 artigos científicos e 6 livros

O senhor e outros dois professores da UFMG, Fabrício Santos e Eduardo Tarazona-Santos, publicaram um artigo no* American Journal of Medical Genetics *em novembro de 2020 sobre a mistura genética dos brasileiros. Como esse trabalho dialoga com seu primeiro estudo nessa área, publicado na* Ciência Hoje *em abril de 2000?

O que veio depois complementou, mas não contrariou qualquer descoberta feita naquela época. Fomos os primeiros a comprovar que os brasileiros têm uma herança tri-híbrida com assimetria sexual. O cromossomo Y, da linhagem paterna, é predominantemente do colonizador europeu, e o DNA mitocondrial, da linhagem materna, é principalmente ameríndio ou africano. Na *Ciência Hoje*, mostramos que existiam países com dois perfis genéticos distintos na América Latina: um grupo com população tri-híbrida, como o Brasil, a Colômbia e a Venezuela, e outro com população di-híbrida, como a Bolívia e o Peru, para os quais houve muito pouco tráfico de africanos escravizados. Nossos resultados foram replicados e confirmados em vários países da América do Sul, Caribe e, de certa maneira, até nos Estados Unidos. Existe uma peculiaridade nesse país. Quando se olha a constituição genética do preto norte-americano, vê-se uma introgressão [incorporação] de genes europeus, principalmente no cromossomo Y. Ao analisar os brancos, não se encontra a esperada herança mitocondrial africana. Uma das razões é o sistema de classificação racial, apoiado na ancestralidade, e não nos critérios fenotípicos, a aparência, como no Brasil. Nos Estados Unidos, uma pessoa é considerada negra se tem alguma ancestralidade africana, independentemente de sua aparência física. Assim, mesmo pessoas de aparência branca podem ser socialmente categorizadas como negras. Como só são considerados brancos os indivíduos sem ancestralidade africana, não se encontra no material genético deles nenhum traço de origem africana. Além disso, os Estados Unidos receberam menos de 1 milhão de africanos escravizados, enquanto ao Brasil chegaram de 4 a 5 milhões.

No Brasil, durante o período colonial e imperial, a miscigenação se deveu a uma assimetria de poder, não?

Exatamente. O cromossomo Y era predominantemente europeu e o mitocondrial principalmente ameríndio por duas razões. A primeira razão é que os portugueses não trouxeram as esposas. A outra é que houve exploração sexual, porque certamente as relações geralmente não eram consensuais. Não há outro país no mundo com tanta miscigenação quanto o Brasil. Já escrevi que o país era o ponto de encontro de todos os grupos da diáspora que ocorreu na África por volta de 100 mil anos atrás. O *Homo sapiens* teve uma origem única, no continente africano, mas depois povoou a Oceania, a Ásia, a Europa e finalmente as Américas. Todos os povos dessas origens se reencontraram no Brasil.

Como as técnicas de análise da ancestralidade evoluíram desde seus primeiros trabalhos?

Em 2003 paramos de trabalhar apenas com o cromossomo Y e o DNA mitocondrial e passamos a avaliar a herança autossômica, ou seja, quase todo o genoma.

> “Moradores de Porto Alegre, de pele branca, têm os mesmos níveis de ancestralidade africana que pessoas pardas do Norte

Com essa abordagem, mostramos que no Brasil a associação entre cor e ancestralidade é tênue. Por baixo da pele, há as misturas mais variadas possíveis. Em 2007, em um estudo encomendado pela BBC sobre alguns negros brasileiros famosos, emergiu a questão do sambista carioca Neguinho da Beija-flor [nome artístico de Luiz Antônio Feliciano Marcondes]. Mesmo tendo incorporado a cor da pele no nome artístico, vimos que ele tinha 67,1% de ancestralidade europeia e apenas 31,5% de africana. Ele não esperava. Mas a genética é descritiva, nunca prescritiva. É uma descrição científica, e não o que cada pessoa tem de ser. Identificar-se com um ou outro grupo social é uma escolha pessoal.

Seu trabalho com moradores de diferentes regiões do Brasil também desfez alguns pressupostos.

Sim. Existia no Brasil a ideia de que, apenas olhando para o fenótipo, seria possível dizer algo sobre a ancestralidade das pessoas. No Norte e no Nordeste, onde há uma proporção maior de autodeclarados pardos, seria esperado que a população fosse mais miscigenada do que no Sul, onde há mais brancos. Mas, trabalhando com DNA, mostramos que existe uma similaridade ancestral nas diferentes regiões brasileiras. Essa homogeneidade decorre do fato de terem entrado quase 6 milhões de imigrantes europeus no Brasil a partir de 1870. Eles vieram como consequência de um processo racista, porque o governo brasileiro daquela época só aceitava europeus e havia proibido a entrada de africanos e asiáticos. Essa discriminação começou com dom Pedro II, que se deixou influenciar por teorias racistas que pregavam a ideia de branquear o Brasil. Queriam trazer gente branca para tornar o Brasil um país branco, não de pessoas escuras. Não conseguiram em nível de fenótipo, mas em nível de genoma sim, porque o genoma dos brasileiros é predominantemente de origem europeia. Em consequência dessa imigração europeia intensa, o brasileiro, em geral, acabou ficando mais ou menos 70% europeu, independentemente da região. A preponderância de pardos no Norte e no Nordeste decorre de um fenômeno geográfico: os indivíduos são mais expostos ao sol. Encontramos moradores de Porto Alegre, de pele branca, com os mesmos níveis de ancestralidade

Pena entre James Watson e Francis Crick (*à dir.*) em Paris em 1973

ACERVO PESSOAL

africana que pessoas pardas do Norte. O que as fazem mais brancas ou mais pardas é um fator ambiental, a insolação. O único critério aceitável para a cor do brasileiro é a autodeclaração. Não existem critérios objetivos para cor, principalmente se considerarmos os fatores ambientais e culturais.

Quais as consequências dessa miscigenação?

A miscigenação permite que no Brasil haja pessoas brancas com anemia falciforme, uma doença genética característica de regiões onde há elevada prevalência de malária, como grande parte da África, e pessoas pretas ou pardas com fibrose cística, uma doença genética característica de europeus. No Brasil somos 220 milhões de pessoas igualmente diferentes. Ao mostrar a mistura genética dos brasileiros, esperávamos atenuar o racismo no país, mas não sei se conseguimos. Não deveria existir classificação de grupos nem por cor nem por sexo. Homens e mulheres deveriam ter contribuições iguais na sociedade e ser tratados da mesma maneira. Não deveria haver discriminação sexual nem homofobia, que são comparsas do racismo. Existem apenas 20 ou 30 genes envolvidos na determinação da cor da pele, entre os cerca de 20 mil genes do genoma. Como eu já disse, esses genes ligados à cor da pele nada têm a ver com a capacidade intelectual do indivíduo. A cor da pele é apenas uma adaptação geográfica. Há pessoas com pele escura nas regiões equatoriais de todo o globo, que é onde tem mais insolação.

Por que a cor de pele pesa no Brasil?

No século XVI, os países que faziam o tráfico de escravizados eram cristãos, Inglaterra, Espanha e Portugal. Como era difícil para um cristão tratar o outro como um indivíduo de categoria menor, eles criaram um mito de que os africanos seriam inferiores aos brancos porque eram descendentes de Cam, um dos filhos de Noé. Um dia Noé bebeu muito vinho, ficou bêbado e se deitou nu dentro da sua barraca. Cam viu que o seu pai estava nu e saiu para contar aos seus dois irmãos. Por isso, Noé castigou Canaã, filho de Cam, com a maldição: "Seja servo dos servos de seus irmãos". Isso servia como justificativa moral para o tráfico de africanos escravizados, que tinha elevado ganho financeiro. Por exemplo, a revolução industrial e a revolução científica da Inglaterra foram em grande parte custeadas pelo tráfico de escravizados. Infelizmente, a ciência ainda não conseguiu fazer com que essa classificação do valor de indivíduos baseada na cor da pele desaparecesse. A genética mostra que raças humanas não existem. O racismo é uma construção cultural – assim como o inventamos, podemos e devemos desinventá-lo. Podemos e devemos construir uma sociedade sem raças.

Os geneticistas nunca foram racistas?

Só quando lucraram para trabalhar com o conceito de raça. Os cientistas infelizmente são subservientes aos donos do dinheiro e aos mandantes. No século XIX criaram teorias racistas para agradar os políticos, que controlavam o dinheiro. Atualmente, é triste constatar que alguns indivíduos extremamente valorizados na genética, como James Watson [codescobridor da estrutura da molécula de DNA em 1953 e um dos ganhadores do Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1962], são racistas. Watson tem feito várias declarações recentes dizendo que acha os africanos intelectualmente inferiores, o que é ridículo.

O que o motivou a estudar as raízes genéticas do brasileiro?

Morei 12 anos no exterior. Fiz uma residência médica nos Estados Unidos e outra no Canadá, onde também concluí o doutorado em genética humana. Depois fiz um pós-doutorado na Inglaterra, antes de voltar para o Canadá e lá me tornar professor universitário. Um belo dia minha mulher falou: "Chega. Vamos voltar para o Brasil". Como marido ajuizado, obedeci. Voltamos em 1982 e, como geneticista, comecei a trabalhar com testes de paternidade e HLA [antígenos leucocitários humanos, que atuam na resposta do organismo contra vírus, bactérias e protozoários]. Por causa das limitações do HLA, adotamos em 1988 a metodologia do DNA. De fato, fomos os primeiros a realizar testes de DNA para paternidade no Brasil e na América Latina. Nessa mesma época foi inventada a técnica da reação em cadeia da polimerase (PCR) e fomos um dos primeiros no mundo a usá-la na caracterização dos polimorfismos genéticos do cromossomo Y humano. Aplicamos a PCR para estudar a genética dos ameríndios, desde a Patagônia até os Estados Unidos. Descobrimos uma homogeneidade muito grande do cromossomo Y: mais de 90% deles pertenciam a uma mesma linhagem. Fomos os primeiros a identificar essa característica, resultado de um efeito fundador. O primeiro grupo de seres humanos que chegou às Américas trouxe uma linhagem de cromossomo Y que se propagou por todos os países do continente. Fabrício Santos, que foi meu aluno de doutorado no início dos anos 1990, mais tarde usou as características

genéticas desse cromossomo Y fundador para mostrar que os ameríndios das três Américas descendiam de indivíduos vindos da Sibéria central. Perto do ano 2000, quando se comemoravam os 500 anos da chegada dos europeus, adicionamos a metodologia de PCR do DNA mitocondrial para fazer um estudo de ambos marcadores de linhagem paterna e materna para caracterizar a ancestralidade dos brasileiros brancos. Foi então que descobrimos que o cromossomo Y do brasileiro branco era principalmente europeu e o DNA mitocondrial era predominantemente ameríndio ou africano. Depois estendemos o trabalho para marcadores genéticos biparentais nos autossomos humanos. Na época estudávamos menos de 100 marcadores. Hoje em dia estudamos centenas de milhares deles. Mas as conclusões permeceram as mesmas. Uma coisa muito importante que descobrimos é que a distribuição das diversas origens ancestrais não é uniforme no genoma. Os genes estão agrupados em blocos, chamados haplotípicos. No genoma do brasileiro os blocos de genes com origem ameríndia, africana e europeia estão segregados, em um mosaico. Hoje em dia podemos ver a origem de cada trecho de cromossomo, se é africano, europeu ou ameríndio. É um refinamento tecnológico, chamado de ancestralidade local.

Como foi sua participação nos primeiros projetos de sequenciamento de genomas no Brasil?

Em 1992, como presidente da Sociedade Brasileira de Bioquímica, coordenei um congresso em Caxambu, Minas Gerais, e trouxemos quase 100 estrangeiros pioneiros em genômica humana. Como os norte-americanos e europeus já estavam sequenciando o genoma humano, resolvemos usar as mesmas técnicas para estudar *Schistosoma mansoni*, causador da esquistossomose, e *Tripanosoma cruzi*, da doença de Chagas. Não eram tão interessantes quanto *Homo sapiens*, mas eram as duas parasitoses mais importantes no Brasil. Com os dois, conseguimos fazer estudos em DNA de populações parasitárias. Havia várias teorias sobre a doença de Chagas, algumas defendendo que era o parasita que a causava, outras que o parasita levava a uma doença autoimune. Ao estudar diferentes formas da doença de Chagas (cardíaca ou gastrointestinal), descobrimos que as linhagens dos parasitas tinham preferência por um órgão ou outro. Os parasitas encontrados no esôfago eram geneticamente distintos dos protozoários descobertos em corações de cardíacos.

Com* S. mansoni*, como foi?

Um dos convidados para o congresso de 1992 foi o Craig Venter [bioquímico e empresário norte-americano, um dos pioneiros no sequenciamento privado do genoma humano], que estava desenvolvendo uma técnica de sequenciamento chamada EST [Expressed Sequence Tags ou etiquetas de sequências expressas]. Eu já colaborava com o bioquímico britânico Andrew Simpson, que tinha trabalhado com esquistossomose na Inglaterra e nessa época estava na Fiocruz [Fundação Oswaldo Cruz] de Belo Horizonte. Formalmente, esse foi o primeiro projeto com metodologia genômica no Brasil e deu muito certo. Depois Simpson mudou-se para São Paulo e coordenou os projetos de sequenciamento do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa* e do Genoma Humano do Câncer [ambos financiados pela FAPESP].

> “Ao mostrar a mistura genética dos brasileiros, esperávamos atenuar o racismo no país, mas não sei se conseguimos

O que achou do sequenciamento do genoma humano, concluído em 2003?

O genoma tem coisas fantásticas. Por exemplo, 8% do genoma humano é composto de retrovírus endógenos, que inseriram seu material genético no DNA humano. Como em arqueologia, podemos desencavar fósseis genômicos, elementos que foram úteis no passado e são mantidos simplesmente porque o genoma não joga nada fora. Por isso é que não gosto da expressão DNA lixo. Prefiro tralha, porque lixo você joga fora e tralha, como uma bicicleta velha, você guarda, porque ainda pode servir para alguma coisa no futuro. Mas, como achávamos que os seres humanos eram o ápice da evolução, foi humilhante descobrir que tínhamos o mesmo número de genes que alguns vermes nematódios ou moscas-das-frutas. Há amebas cujo genoma é centenas de vezes maior que o humano. O que salvou um pouco nosso orgulho ferido foi a descoberta de que, por meio de um processo chamado edição alternativa, podemos gerar centenas de milhares de transcritos diferentes a partir dos 20 mil genes existentes no genoma. Outro ganho importante foi a mudança no próprio conceito do que é um gene. Tínhamos uma visão muito simples de genes como sendo um segmento de DNA capaz de codificar uma proteína. Mas descobrimos que é mais complicado. Vimos que existem vários tipos de genes, sendo que nem todos codificam proteínas. Alguns codificam RNAs, que não serão traduzidos em proteínas, mas terão ações próprias, como ribozimas, similares às enzimas.

Em 2001, quando saiu o rascunho do genoma humano, o senhor comentou que estávamos começando a construir a medicina do século XXI. Vinte anos depois, em que pé está a medicina fundamentada no genoma?

Estamos engatinhando ainda com a medicina de precisão, que essencialmente consiste em tratar doentes, não doenças. Alguns grupos de pesquisadores, principalmente nos Estados Unidos, identificam as mutações do DNA das células tumorais para buscar o melhor tratamento. Como resultado, um paciente

com um tumor intestinal em princípio pode acabar sendo tratado da mesma maneira que um outro com câncer de pulmão se o evento mutacional que originou essas neoplasias for o mesmo. Hoje é relativamente fácil encontrar variantes gênicas associadas a doenças, o que não significa que eles de fato sempre as causem. Em genética, existe o conceito da penetrância, que formalmente é a proporção de indivíduos com a variante de um gene causador de doença que de fato desenvolve a enfermidade. A maior parte dos genes não é 100% penetrante. Por isso, uma pessoa pode ter uma mutação patogênica em um gene e não ter doença. Aparentemente, fatores ambientais e os outros 20 mil genes do genoma podem modular a ação daquele gene alterado e não acontecer nada. Os estudos de exoma [trechos do DNA que induzem a produção de proteínas] e genoma nos permitem fazer diagnósticos para doenças causadas por um único gene [*ver* Pesquisa FAPESP *nº 259*]. Mas a maior parte das enfermidades, como as doenças do coração, diabetes, hipertensão e distúrbios mentais, é poligênica e resulta da confluência de predisposições genéticas e ambientais.

Há 20 anos se falava muito que os geneticistas deveriam aprender história, sociologia e antropologia. Essa preocupação continua?

Quem quer entender a genética humana precisa de fato de sociologia, antropologia e história. As ciências humanas abrem os horizontes e mostram que, além da herança genética, temos uma herança cultural. Já no artigo da *Ciência Hoje* eu dizia que estava simplesmente demonstrando cientificamente o que Gilberto Freyre [sociólogo, 1900-1987], Paulo Prado [jurista, 1869-1943], Sérgio Buarque de Holanda [historiador, 1902-1982] e Darcy Ribeiro [antropólogo, 1922-1997] tinham percebido bem antes. Com a genética, a obra deles faz muito mais sentido. Quando fizemos o estudo do cromossomo Y dos brasileiros do Norte, Nordeste, Sul e Sudeste, encontramos uma frequência alta em moradores da Amazônia de um haplótipo [trecho] de cromossomo Y muito comum em indivíduos do Oriente Médio. A partir de informações históricas, descobri que havia um grupo de judeus marroquinos que tinham imigrado para a Amazônia, formando populações ribeirinhas. No Brasil, o cromossomo Y de origem europeia vem principalmente do sul da Europa, mas em Pernambuco há um aumento de haplótipos do Y do norte da Europa, que provavelmente representam uma herança da invasão holandesa. O casamento da genética com a história, a antropologia e a linguística é fascinante. Não sei se os estudantes e pesquisadores da genética estão dando atenção às ciências humanas, mas soube que o nosso artigo na *Ciência Hoje* é estudado em alguns cursos de sociologia e ciência política.

> “Com o genoma, foi humilhante descobrir que tínhamos o mesmo número de genes que alguns vermes ou moscas-das-frutas

O senhor criou e manteve duas empresas enquanto trabalhava na universidade. Houve resistência dos outros professores?

Sim, porque, na visão deles, ou se era pesquisador ou clínico. Decidi fazer as duas coisas. No Canadá, eu era professor universitário, com o meu laboratório de pesquisa e meu consultório dentro do mesmo hospital. Aqui esse modelo não existia. Logo depois de voltar ao Brasil, com 35 anos, me tornei professor titular de bioquímica. E criei uma clínica. O pessoal da universidade ficou enfurecido: “Como o indivíduo que faz clínica pode ser um professor titular de cadeira básica?”. Houve protestos, mas depois me tornei uma espécie de modelo de integração entre empresa e universidade, que hoje em dia está na moda. Mas para conseguir isso eu tinha de trabalhar o dobro, oito horas em um lugar e oito em outro. Consegui aliar as duas atividades porque na universidade eu usava técnicas de gerenciamento de empresas e na empresa usava os critérios científicos da universidade.

Como estão suas empresas?

Tanto o Laboratório Gene – Núcleo de Genética Médica, para testes e diagnósticos genéticos humanos, quanto a Gene-Genealógica, para testes de paternidade de bovinos e ovinos, são empresas muito bem-sucedidas que trabalham na fronteira do conhecimento. As duas não foram criadas para ser grandes, mas para ser inovadoras. Estamos fazendo várias coisas interessantes, como diagnóstico clínico molecular e genômica pré-natal. Introduzimos uma série de práticas, inclusive a rotina de fazer estudos genômicos em material de perda gestacional e em fetos com alterações ultrassonográficas. Estamos trabalhando com diagnóstico de doenças recessivas em equinos, com a ideia de identificar animais sadios heterozigotos com mutações indesejadas e assim evitar que eles se tornem reprodutores. Dessa forma, é possível melhorar geneticamente os rebanhos.

Como está vivendo durante a pandemia?

Minha vida mudou pouco. Eu já trabalhava muito em casa, no computador, cuidando dos três laboratórios, um na universidade e os das duas empresas. A única diferença é que parei de atender presencialmente os pacientes quando começou a pandemia, mas pretendo voltar assim que possível. Sinto muita falta do contato pessoal com os pacientes. É o que me motiva. O aconselhamento genético a distância é eficiente, mas se eu parar de ver o paciente várias facetas da medicina perdem o sentido. ■

INPE SOB PRESSÃO

O mais importante centro de pesquisas espaciais do país chega aos 60 anos com orçamento reduzido, a continuidade de alguns projetos importantes indefinida e grandes desafios pela frente

Yuri Vasconcelos

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) completou seis décadas de existência em 3 de agosto. Criado no início da corrida espacial, protagonizada pelos Estados Unidos e a antiga União Soviética, com a finalidade de desenvolver pesquisas, tecnologias e aplicações ligadas ao setor espacial, o órgão consolidou-se como uma das mais relevantes instituições científicas do país. Ao longo de sua história, destacou-se pela realização de investigações pioneiras em áreas como astrofísica, aeronomia (estudo das altas camadas da atmosfera), clima espacial, meteorologia e mudanças climáticas. Consagrou-se também por um bem-sucedido programa de desenvolvimento de satélites e outros artefatos espaciais, por ter introduzido no país a previsão do tempo moderna, baseada em modelos processados por supercomputadores, e pela implantação do monitoramento ambiental, com foco na floresta amazônica, realizado com o apoio de imagens de satélite. Notabilizou-se, ainda, por um ativo programa de pós-graduação, pelo qual já foram titulados mais de mil doutores e quase 2,5 mil mestres.

O momento de celebração, contudo, é marcado pela preocupação com a situação atual e os rumos futuros do instituto, que tem sede em São José dos Campos, no interior paulista, e presença em outros seis estados da federação. Sob forte restrição orçamentária, progressiva perda de quadros, críticas de alas do governo federal, que colocaram em dúvida dados divulgados pelo órgão, e tendo sofrido uma recente reestruturação organizacional criticada por parte dos servidores, o Inpe enfrenta um dos momentos mais delicados de sua história e tem pela frente enormes desafios para dar continuidade aos projetos em andamento e conseguir executar novos empreendimentos científicos e tecnológicos.

"O Inpe é uma das instituições de pesquisa mais nobres do país, mas, infelizmente, atravessa uma situação muito difícil do ponto de vista de sua sustentabilidade. Apesar de sua importância e do grande reconhecimento internacional, ele perdeu muito apoio, não apenas de ordem financeira, às suas atividades ao longo dos últimos anos", avalia o físico Ricardo Galvão, diretor do órgão entre 2016 e 2019. "Falando com vários colegas, sinto claramente um sentimento de preocupação e desânimo quanto ao futuro da instituição."

O aperto financeiro é um dos problemas mais graves que afetam a instituição, segundo boa parte dos cerca de 20 entrevistados – servidores, pesquisadores do Inpe, entre eles o diretor atual e três de seus antecessores, e especialistas do setor espacial – ouvidos pela reportagem. O orçamento do Inpe é composto em quase sua totalidade por repasses do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), órgão ao qual se vincula, e da Agência Espacial Brasileira (AEB). Instituições de fomento à ciência, como a FAPESP e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), financiam vários projetos de pesquisa do órgão, mas não infraestrutura e salários dos servidores e pesquisadores. O orçamento atual é um dos menores da história: R$ 75,8 milhões. Em valor real, esses recursos, previstos pela Lei Orçamentária Anual (LOA), representam menos da metade do que foi recebido em 2020 e cerca de 15% dos aportes de 2010. De lá para cá, a redução foi gradativa (*ver infográfico na página 35*).

Há vários reflexos da restrição orçamentária. Um deles é o atraso na definição da continuidade de projetos relevantes na área espacial, como os dos satélites de observação da Terra da Missão Amazonia, cujo primeiro aparelho foi colocado em órbita em fevereiro, e do programa Sino-brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS), uma exitosa parceria com a China de mais de 30 anos (*ver*

LÉO RAMOS CHAVES

Detalhe da estrutura externa do satélite de observação da Terra Amazonia-1, durante sua construção

reportagem na página 39). A debilidade financeira também coloca em xeque o pleno funcionamento do instituto. Dois importantes equipamentos, o supercomputador Tupã (trovão, em guarani) e o Laboratório de Integração e Testes (LIT), um dos 27 que compõem o órgão, correm o risco de passar a funcionar parcialmente.

O Tupã, nome de batismo do modelo Cray XE-6, é responsável por previsões de tempo e clima, tratamento e coleta de dados meteorológicos, monitoramento de queimadas e emissão de alertas climáticos. Seu uso também é essencial para pesquisa e desenvolvimento científicos. Os dados gerados são usados para tomada de decisões em importantes setores da economia, como agricultura, geração de energia, transportes, defesa civil e turismo.

Especialistas temem que a desativação do Tupã – motivada pelo elevado consumo de energia e pelo fato de estar chegando ao fim de sua vida útil – gere um apagão de dados meteorológicos. A situação é mais preocupante em razão da grave crise hídrica que o país atravessa. Em junho, carta aberta assinada por ambientalistas e encabeçada pelo Instituto Brasileiro de Proteção Ambiental (Proam) solicitou a adoção de medidas para "garantir a continuidade do monitoramento realizado pelo Inpe, em especial do adequado funcionamento do CPTEC [Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos], com monitoramento e eficaz processamento de dados produzidos pelo computador Tupã".

O LIT, por sua vez, é uma das mais complexas estruturas do Inpe. Maior laboratório do gênero na América Latina, é formado por um conjunto de instalações usadas para montar, integrar e testar satélites artificiais. Suas instalações são essenciais para o Brasil adquirir conhecimento para desenvolver esses artefatos. O LIT também é usado para testar produtos de mercado, como automóveis e aparelhos eletrônicos, gerando receita adicional para a instituição.

Pesquisador de carreira do Inpe desde 2004 e diretor do órgão desde 2020, Clezio Marcos De Nardin concorda que a instituição enfrenta problemas financeiros, mas argumenta que as dificuldades são gerais. "O Brasil não está na melhor situação econômica. É um ano muito ruim para todos os ministérios. O governo como um todo está com restrições, mas temos indicação de que nosso orçamento vai crescer no ano que vem."

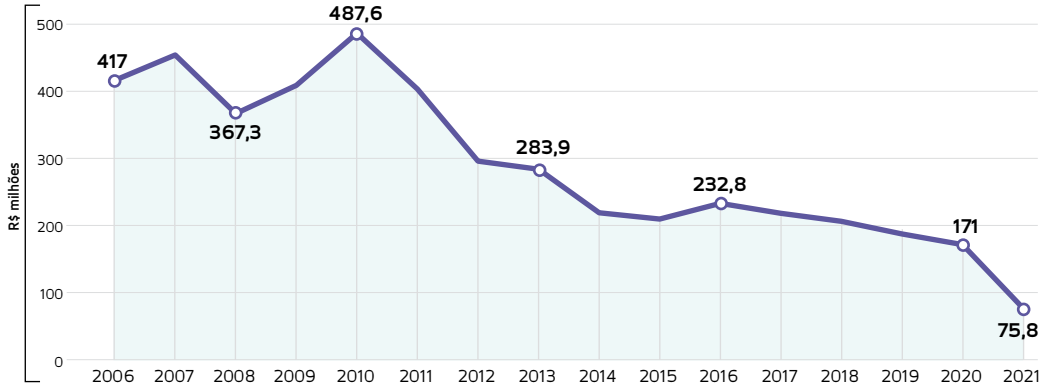
Com relação ao Tupã, De Nardin esclarece que "ele está envelhecido, com partes caducando, sem contrato de manutenção e com elevado consumo de energia". Por isso, diz, será desligado. "É uma medida administrativa para economizar energia. Mas o Inpe tem outro supercomputador, o XC50, adquirido em 2017. E para o lugar do Tupã já compramos um computador Dell, do tipo HPC [High Performance Computer], por US$ 720 mil, que vai chegar em algumas semanas." Além disso, esclarece De Nardin, o Inpe está finalizando o processo de compra de um novo supercomputador, mais eficiente e econômico do que o Tupã. "Nada será desligado antes que se tenha um computador equivalente."

Responsável pela Coordenação-geral de Ciências da Terra, que inclui o CPTEC, o meteorologista Gilvan Sampaio esclarece que o XC50 já é responsável por fazer a previsão de tempo e clima do país. "O Tupã vem sendo usado para pesquisa e projeções de clima de longo prazo, ou

Satélite CBERS-4A submetido a testes de compatibilidade eletromagnética na câmara anecoica do LIT (*abaixo*); imagem do rio Amazonas feita pelo satélite Amazonia-1

SEM FÔLEGO FINANCEIRO

Orçamento vem sofrendo gradativa redução, acentuada neste ano



*Os valores foram corrigidos pelo IGP-M/FGV para permitir uma melhor comparação

FONTES INPE E GILBERTO CÂMARA

seja, a simulação de cenários climáticos para os próximos anos e décadas, que são importantes para diversas atividades, como produção agrícola, geração de energia, transportes e abastecimento de água", diz. "Sua desativação vai prejudicar essas áreas."

Já o desligamento temporário do LIT é justificado pelo diretor do Inpe pela falta momentânea de satélites para serem testados. "Não temos hoje um grande satélite sendo construído. Então, não se justifica, do ponto de vista administrativo, manter o grande LIT ligado. Basta a pequena sala do LIT, porque esse laboratório tem duas áreas, a sala grande e a pequena. Com isso, economizamos dinheiro do cidadão", diz De Nardin.

Carlos Moura, presidente da AEB, confirma que está prevista a recomposição do orçamento do Inpe em 2022. "O instituto sofreu com o que acontece com uma fábrica quando ela encerra um grande projeto. Nesse momento, surge um vale, em que não há o aporte de investimentos no mesmo ritmo de quando grandes projetos estavam acontecendo. É o caso do Inpe. Ele vinha com o projeto dos satélites CBERS-4A e Amazonia-1, lançados recentemente. Os dois grandes sorvedouros de recursos se encerraram. Com isso, as atividades se tornam mais cotidianas até que apareçam novos grandes projetos", declara.

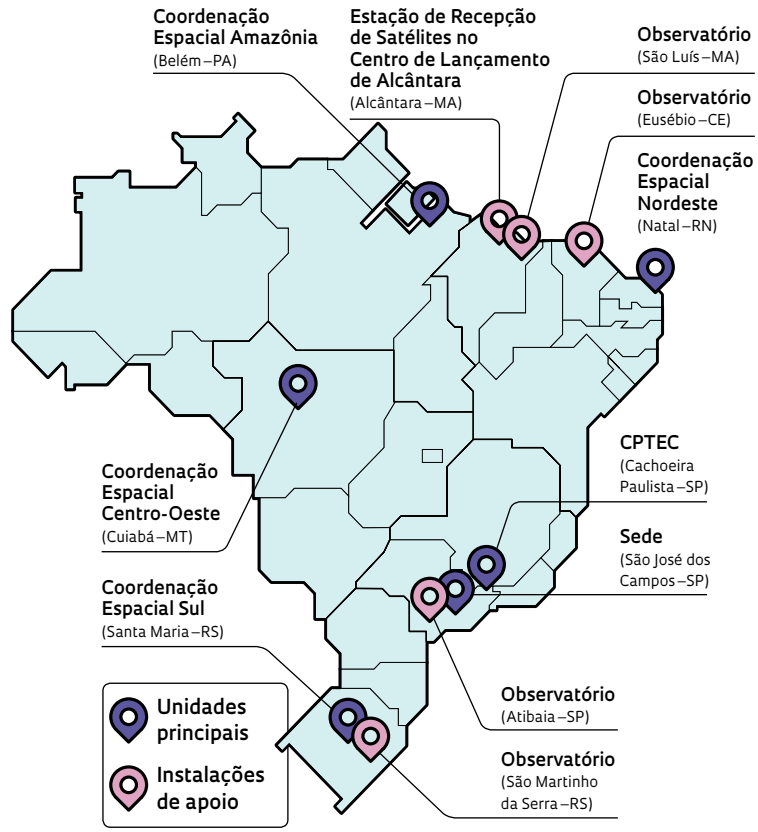
Pesquisador aposentado do Inpe e seu diretor entre 2005 e 2012, o cientista da computação Gilberto Câmara tem opinião diferente. "Discordo que o Inpe se encontre em um vale. Quando a nova direção assumiu, deveria ter iniciado o processo para dar continuidade aos projetos dos satélites de sensoriamento remoto Amazonia-2 e CBERS-5. Já seria o caso, por exemplo, de termos começado a contratar a câmera do Amazonia-2."

PERDA DE COLABORADORES

O encolhimento do quadro funcional também provoca temores a respeito de um colapso do instituto. Em 1990, o Inpe tinha por volta de 2 mil servidores; hoje são 744, dos quais 144 dedicam-se à pesquisa e 456 ao desenvolvimento tecno-

O INSTITUTO EM NÚMEROS

Com sede em São José dos Campos (SP), o Inpe está presente em outros seis estados da federação



749 servidores: **149** na gestão; **144** na pesquisa; **456** no desenvolvimento tecnológico

27 laboratórios científicos e para desenvolvimento e testes de tecnologias

7 cursos de pós-graduação: astrofísica, engenharia e tecnologias espaciais, geofísica espacial, computação aplicada, meteorologia, sensoriamento remoto e ciência do sistema terrestre

2.438 mestres e **1.050 doutores** titulados

12.245 artigos em revistas científicas nacionais e internacionais

30.404 trabalhos apresentados em congressos nacionais e internacionais

20 pedidos de patentes depositados, dos quais 11 concedidos

30 programas de computador registrados

FONTE INPE

FOTOS INPE **INFOGRÁFICOS** ALEXANDRE AFFONSO

lógico – os demais estão na área de gestão. Em fevereiro do ano passado, o MCTI alertava para a gravidade da situação. "A questão de recursos humanos do Inpe é preocupante no tocante à continuidade das atividades do instituto, tendo em vista que o quadro de servidores tem diminuído ano a ano em virtude de aposentadorias", destaca o relatório "Termo de compromisso de gestão de 2019", elaborado pelo ministério.

"Cerca de 200 servidores já atingiram o tempo de aposentadoria e continuam no Inpe para mantê-lo funcionando. Se essas pessoas decidissem se aposentar, o Inpe pararia e teríamos uma situação terrível", analisa Galvão. Câmara faz coro com o colega. "A perda contínua de servidores e pesquisadores enfraquece muito o instituto. O problema maior é a não reposição de quadros", diz ele. "É um problema antigo, que atinge de forma desigual o instituto. O quadro é mais grave na engenharia do que nas áreas científicas."

A atual gestão reconhece o problema. "Não é novidade para ninguém [a redução do número de servidores do Inpe]. Nenhum governo anterior repôs o quadro, por razões diversas", afirma De Nardin. "Acho que deveria colocar mais gente. O ministro Marcos Pontes, do MCTI, queria contratar, está pedindo concurso público. Mas a realidade se impõe – não a do Inpe, a do país. Muita gente acha que tem funcionário público demais. Na minha opinião, na pesquisa, tem de menos."

Além de enfrentar a falta de verbas e de pessoal, o Inpe esteve há dois anos no centro de uma polêmica, com repercussão nacional e internacional, quando os dados gerados pelo órgão sobre o desmatamento da Amazônia foram postos em dúvida por ministros de Estado e pelo próprio presidente Jair Bolsonaro, que acusou a instituição de mentir sobre os números. Naquele ano, segundo dados do instituto, a floresta perdeu 10,1 mil quilômetros quadrados (km^2) de mata nativa (quase o dobro da área do Distrito Federal), a maior taxa desde 2008.

Então diretor do Inpe, Galvão saiu em defesa da instituição, reafirmando a correção e a lisura das informações. O choque com o presidente culminou em sua demissão, em agosto de 2019, faltando ainda um ano para o cumprimento do mandato.

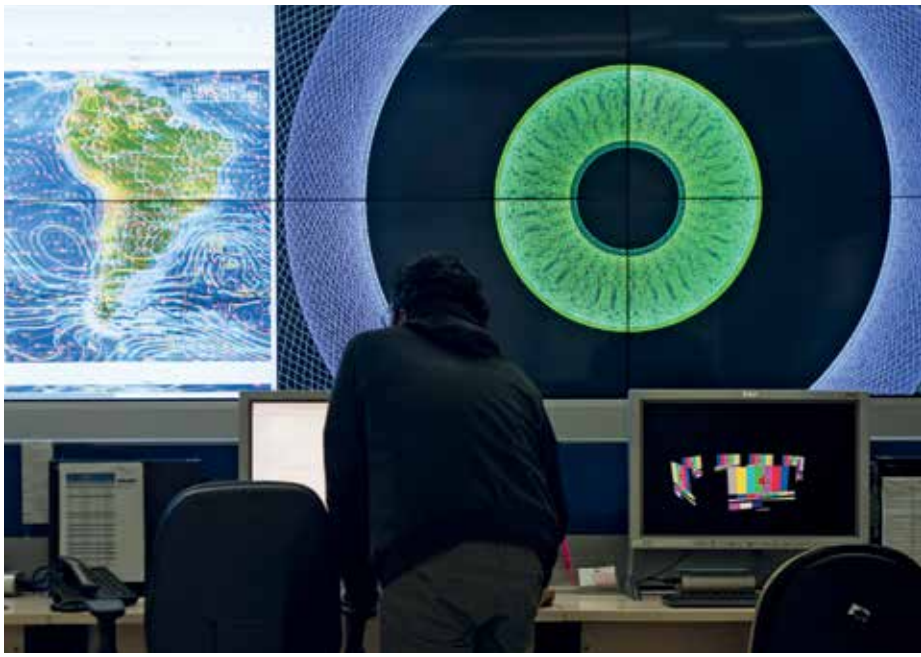
Três dias depois da saída de Galvão, foi anunciado como diretor interino o oficial da Força Aérea Darcton Policarpo Damião, que fez mestrado em sensoriamento remoto pela instituição. Uma de suas primeiras missões foi colocar em prática um plano de reestruturação organizacional, que fez com que as oito grandes áreas de pesquisa e desenvolvimento do Inpe (ciências espaciais e atmosféricas; previsão de tempo e estudos climáticos; engenharia e tecnologia espacial; observação da Terra; ciência do sistema terrestre; rastreio e controle de satélites; laboratório de integração e testes; laboratórios associados) fossem reagrupadas em três coordenações-gerais (ciências da Terra; engenharia, tecnologia e ciências espaciais; e infraestrutura e pesquisas aplicadas).

A mudança foi justificada, à época, como uma forma de buscar sinergias e otimizar recursos humanos e de infraestrutura a fim de tornar o órgão mais eficiente. A iniciativa, entretanto, não foi bem-aceita por uma parcela dos servidores, e vista como uma tentativa de desmonte da instituição. Carta aberta divulgada em julho do ano passado por um grupo de técnicos acusou que estaria sendo criada no instituto "uma estrutura paralela de gestão [...] que opera, governa e decide sobre o Inpe, mas que não existe na regulação administrativa".

"A reestruturação desrespeita o instituto e tem como objetivo amordaçá-lo de tal forma que nada ande", dispara Câmara. "As instituições têm alma. As áreas do Inpe têm organicidade; nascem de algo concreto, segundo certa lógica. É um erro sério combinar as áreas consolidadas em agrupamentos sem história comum. Misturar engenharia de satélites com geofísica espacial, por exemplo, é um absurdo."

Servidores ouvidos por *Pesquisa FAPESP*, mas que pediram para não ter seus nomes divulgados, afirmaram que a reestruturação "promoveu uma verticalização e hierarquização danosa ao Inpe". Segundo um deles, a opção em termos de otimização de pessoal talvez funcione, mas a escolha da nova estrutura não é interessante, pensando na história do Inpe. "E veio de cima para baixo."

Sala de operações meteorológicas do CPTEC, em Cachoeira Paulista (SP)



Concepção artística do radiotelescópio Bingo, que será instalado no interior da Paraíba

FOTO LÉO RAMOS CHAVES IMAGEM DIVULGAÇÃO

De Nardin rebate as críticas. "A reestruturação, que eu já defendia desde 2016, trouxe benefícios claros e factuais. Permitiu à coordenação e às chefias se concentrarem naquilo que é realmente importante. Ela era absolutamente necessária e foi discutida amplamente com os funcionários. O resultado pode não ter agradado a um grupo ou outro, mas isso é natural", afirma.

PROJETOS EM ANDAMENTO

Apesar do cenário que conjuga dificuldades e incertezas, o Inpe não está paralisado. A reestruturação organizacional estabeleceu uma Divisão de Pequenos Satélites, dedicada à criação de artefatos menores. "Iniciamos estudos focados em plataformas de satélites de 10 quilogramas (kg), 30 kg e 100 kg, todos com propulsão elétrica. Se houver recursos, o modelo de voo do nanossatélite [de 10 kg] estará pronto em dois anos", diz o engenheiro eletrônico Antonio Carlos Pereira, chefe da divisão. "Serão satélites destinados a aplicações diversas, como observação da Terra, coleta de dados, experimentação científica e validação tecnológica de novos componentes a serem usados em futuras missões."

Ainda na área de engenharia e ciência espacial, o instituto trabalha em um satélite científico, o Equars (Equatorial Atmosphere Research Satellite), destinado a obter dados sobre a atmosfera na região equatorial. Essas informações poderão auxiliar a compreender um fenômeno descoberto por pesquisadores do Inpe em 1976, as bolhas de plasma ionosféricas (*ver reportagem na página 41*). O Equars está projetado para ser um satélite da classe de 100 kg. "Conseguimos avançar com o desenvolvimento dos instrumentos científicos que o satélite levará a bordo [sensores ionosféricos, receptores de sinais GPS, fotômetros etc.]. Ele está previsto para ficar pronto em três a quatro anos", informa De Nardin.

No campo da astrofísica, o Inpe participa de um consórcio internacional dedicado à construção de um radiotelescópio que investigará o passado do Universo. Batizado de Bingo, acrônimo em inglês de oscilações acústicas bariônicas em observações integradas de gás neutro, o equipamento vai explorar a energia escura, que está associada à expansão do Universo. Instalado no município de Aguiar, no sertão da Paraíba, será composto por dois pratos gigantes, com cerca de 40 metros de diâmetro, que receberão a radiação do céu e projetarão seu espectro em detectores metálicos, chamados cornetas.

O projeto é liderado pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP) e tem a participação de cientistas da China, da África do Sul, do Reino Unido, da Coreia do Sul, de Portugal e da França. "Fomos convidados para participar do projeto por causa de nossa expertise em instrumentação em radioastronomia. Somos o principal parceiro da USP e coordenamos a construção do equipamento", informa o físico Carlos Alexandre Wuensche, chefe da Divisão de Astrofísica.

O radiotelescópio deve começar a operar parcialmente no início de 2023. Até o momento, o projeto já garantiu recursos da ordem de R$ 14 milhões, sendo que a maior parte (cerca de R$ 12 milhões) vem da FAPESP. O restante é financiado pelo MCTI, pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), pelo governo da Paraíba e pela Universidade Yangzhou, da China. "Existem no mundo radiotelescópios maiores, mais potentes e sofisticados que o Bingo, mas o projeto e a qualidade de sua construção fazem com que ele tenha condições de realizar medidas com a mesma qualidade dos principais instrumentos em operação", diz Wuensche. "É um dos principais projetos estratégicos do Inpe na atualidade." ■

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

INSTITUTO SE DESTACA PELO PIONEIRISMO

Ao longo da história, o Inpe sobressaiu-se por contribuições relevantes em diversas áreas do conhecimento científico

"A Terra é azul." Não haviam se passado quatro meses que o cosmonauta russo Yuri Gagarin se tornara o primeiro homem a ir ao espaço, em 12 de abril de 1961, e pronunciado a mítica frase acima, quando o então presidente brasileiro Jânio Quadros (1917-1992) assinou um decreto criando o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE), o embrião do que viria a ser o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

Os primeiros anos da instituição, estabelecida como um órgão civil para elaborar a política espacial brasileira e coordenar o programa espacial, foram dedicados às investigações em ciências espaciais e atmosféricas. Surgiram grupos de pesquisa em áreas científicas inéditas no país, como geofísica espacial (1962), meteorologia por satélite (1966) e sensoriamento remoto (1969).

Também é dessa época a implantação da pós-graduação do instituto, criada para capacitar profissionais no setor espacial. "Como não havia especialistas no Brasil, Fernando de Mendonça [primeiro diretor do instituto] trouxe pesquisadores estrangeiros, especialmente da Índia, para formar os jovens brasileiros. Recrutou talentos das melhores universidades brasileiras para fazer mestrado no Inpe, tendo aula com os estrangeiros, e depois os enviou para cursar doutoramento no exterior", destacou o ex-diretor do Inpe Gilberto Câmara, em artigo sobre os 50 anos do órgão.

Em 1971, a criação da Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (Cobae), vinculada ao Estado-maior das Forças Armadas, fez com que o Inpe perdesse seu *status* inicial e se tornasse um executor das atividades definidas pela comissão. "Gerou-se assim uma polarização militar-civil de efeitos duradouros", pontua Câmara. Com a aprovação da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), em 1979, o Inpe ficou encarregado da criação de satélites e a Aeronáutica do veículo lançador.

"Com origem enfaticamente acadêmica, o Inpe evoluiu para desenvolver tecnologias e produtos. Ao adotar uma política industrial desafiadora e inovadora no final dos anos 1980, criou uma base industrial na área de satélites", ressalta Jadir Gonçalves, vice-presidente da Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil (Aiab).

Nas décadas seguintes, o órgão destacou-se pelo pioneirismo em diversos campos do conhecimento, como previsão do tempo, astrofísica, monitoramento ambiental e clima espacial. Nas páginas seguintes, destacamos as principais realizações do instituto, que fizeram dele um dos mais relevantes centros de pesquisas do país. ■ **Yuri Vasconcelos**

UMA TRAJETÓRIA DE SUCESSO

Confira fatos marcantes da história da organização

1961
Criado o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE), embrião do Inpe

1963
O GOCNAE torna-se Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE)

1968
Implantados os primeiros cursos de pós-graduação da instituição

1971
A CNAE é extinta; em seu lugar surge o Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe)

FÁBRICA DE SATÉLITES

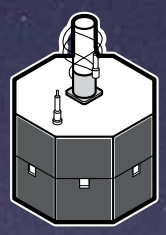
Em fevereiro deste ano, foi lançado no espaço o Amazonia-1, o primeiro satélite de observação da Terra totalmente projetado, integrado, testado e operado pelo Brasil. Foi o coroamento de uma trajetória iniciada ainda no século passado. Com a aprovação da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), o Inpe ficou responsável por desenvolver dois satélites de coleta de dados e outros dois de sensoriamento remoto. Os dois primeiros, SCD 1 e 2, mais simples de construir e tecnologicamente menos sofisticados, foram lançados nos anos 1990. Para fazer os satélites de sensoriamento remoto, voltados à observação do planeta, o país firmou um acordo com a China que resultou na construção de seis satélites (*ver tópico ao lado*). O Amazonia-1 foi o primeiro totalmente concluído em casa. "Foi uma das maiores entregas feitas pela área de engenharia na história do Inpe", avalia Adenilson Roberto da Silva, o líder do projeto. "Com ele, passamos a dominar o ciclo completo de desenvolvimento de satélites desse porte e complexidade."

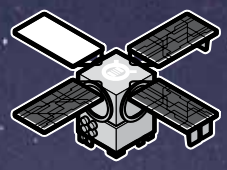
PARCERIA COM A CHINA

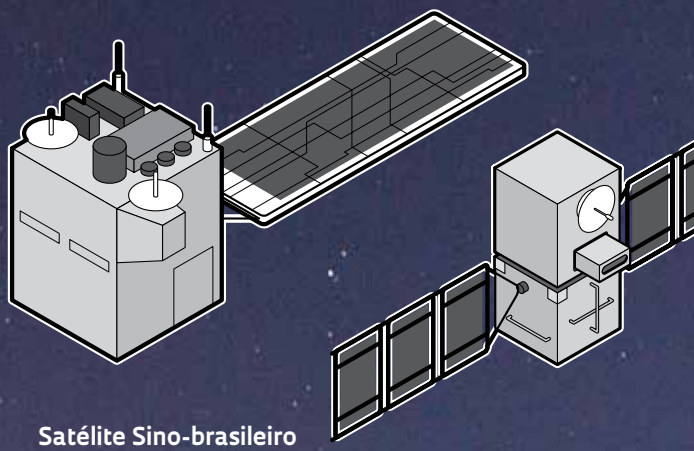
Os CBERS são fruto da mais bem-sucedida e longeva cooperação internacional do Brasil no âmbito do programa espacial. O acordo com os chineses foi assinado em 1988 e 11 anos depois o primeiro equipamento, CBERS-1, foi lançado. Na época, os chineses eram responsáveis por 70% do projeto e o Brasil por 30%. No CBERS-3, que voou em 2013, a divisão ficou igual: 50% para cada lado. "A parceria com a China, que já dominava essa tecnologia, foi um atalho que nos permitiu ganhar musculatura no conhecimento e uso dessa tecnologia", analisa Carlos Moura, presidente da Agência Espacial Brasileira (AEB). Para Antonio Carlos Pereira Jr., coordenador do Programa CBERS, além de dar ao Brasil acesso a imagens próprias de satélite, a cooperação teve outro importante efeito. "O programa foi fundamental para estabelecer no país uma indústria nacional de componentes e equipamentos espaciais", avalia.

Pratas da casa

Com o passar do tempo, os satélites feitos no Inpe ficaram mais complexos







	Satélite de Coleta de Dados (SCD)	Satélite de Aplicações Científicas (Saci)	Satélite Sino-brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS)	Amazonia-1
Tipo	Meteorológico	Científico	Observação da Terra	Observação da Terra
Peso	115 kg	60 kg	1.800 kg	640 kg
Dimensões	1 m × 1,45 m	0,4 m × 0,4 m × 0,6 m	2 m × 1,8 m × 2,5 m	1 m × 1 m × 2,5 m
Lançamento	1993 e 1998	1999	1999 e 2019	2021
	Projetados para captar dados meteorológicos coletados em plataformas em solo e enviá-los a uma estação repetidora, foram os primeiros satélites construídos no país	Os dois microssatélites desenvolvidos eram dotados de experimentos científicos, mas não chegaram a operar por causa de defeitos ou problemas no lançamento	Os seis satélites do programa com a China inseriram o Brasil no grupo de nações dotadas de tecnologia de geração de dados de sensoriamento remoto	É o primeiro de três satélites previstos na Missão Amazonia, cujo principal objetivo é ajudar a monitorar o desmatamento da floresta amazônica

FONTE INPE

INFOGRÁFICOS ALEXANDRE AFFONSO

1976 Pesquisadores da instituição detectam bolhas de plasma ionosférico

1977 Estudo pioneiro associa uso de imagens de satélite e ocupação da Amazônia

1979 Aprovada a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB)

1986 Implementado o programa de monitoramento de queimadas

1987 Inaugurado o Laboratório de Integração e Testes (LIT)

1988 Criação do sistema Prodes para monitorar a Amazônia

1988 Assinado acordo com a China para execução do programa de satélites CBERS

Degradação da Amazônia Legal

Índice oficial de desmatamento é calculado com dados do sistema Prodes, do Inpe

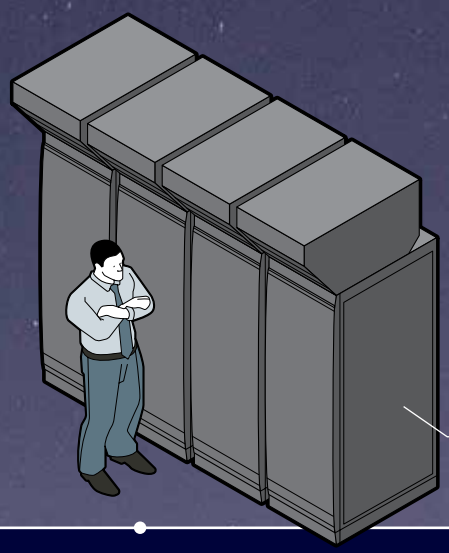
FONTES TERRABRASILIS / INPE

DE OLHO NA MATA

O Inpe é um ator fundamental na preservação da floresta amazônica. Há mais de 30 anos, os sistemas Prodes (Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite) e Deter (Detecção de Desmatamento da Amazônia em Tempo Real) monitoram o bioma a partir de imagens de satélite. Em funcionamento desde 1988, o Prodes detecta o corte raso da mata nativa em áreas a partir de 6,25 hectares (ha). É o responsável pelo cálculo oficial da área anual de desflorestamento (*ver gráfico ao lado*) . Já o Deter, lançado em 2004, dá alertas diários de desmatamento em áreas de até 3 ha. "As pesquisas sobre a Amazônia, contudo, foram iniciadas muito tempo antes. O primeiro trabalho, de 1977, abordava o uso de dados do satélite Landsat no estudo do impacto da implantação de projetos agropecuários na Amazônia", conta Gilvan Sampaio, coordenador-geral de Ciências da Terra do Inpe. Com a experiência acumulada, o Inpe treinou órgãos de diversos países que têm florestas tropicais no uso de imagens de satélite para monitorar o ambiente. Mais recentemente, o Prodes passou a gerar imagens do Cerrado. O Inpe planeja expandir o programa para os outros quatro biomas nacionais: Caatinga, Pampa, Mata Atlântica e Pantanal.

PREVISÃO MAIS PRECISA

A inauguração em 1994 das instalações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), em Cachoeira Paulista (SP), levou à implantação no país da previsão numérica de tempo, baseada em complexos modelos computacionais. "Não confundir com a previsão de tempo convencional, que já era feita no Brasil, com muita competência, pelo Inmet [Instituto Nacional de Meteorologia]. A previsão numérica representou um grande avanço, por englobar também a climatologia", explica o diretor do Inpe, Clezio De Nardin. Antes, as previsões eram muito subjetivas e sua qualidade dependia da experiência do meteorologista. A aquisição em 2010 do supercomputador Cray XE-6, por R$ 50 milhões – R$ 15 milhões da FAPESP e R$ 35 milhões do governo federal –, foi outro marco na história do Inpe e da meteorologia nacional. Batizado de Tupã, era 50 vezes mais potente que seu antecessor e capaz de realizar 244 trilhões de operações por segundo. Integrando informações atmosféricas, oceânicas e da superfície terrestre, o CPTEC passou a fazer previsões mais precisas, confiáveis e com mais antecedência não só para o Brasil, mas para toda América do Sul. É hoje uma referência internacional em meteorologia.



Supercomputador Tupã

1988
Inauguração do Centro de Controle e Rastreio de Satélites

1990
Inpe é rebatizado com o seu nome atual

1991
Divulgada pesquisa basilar sobre influência da Amazônia no clima regional

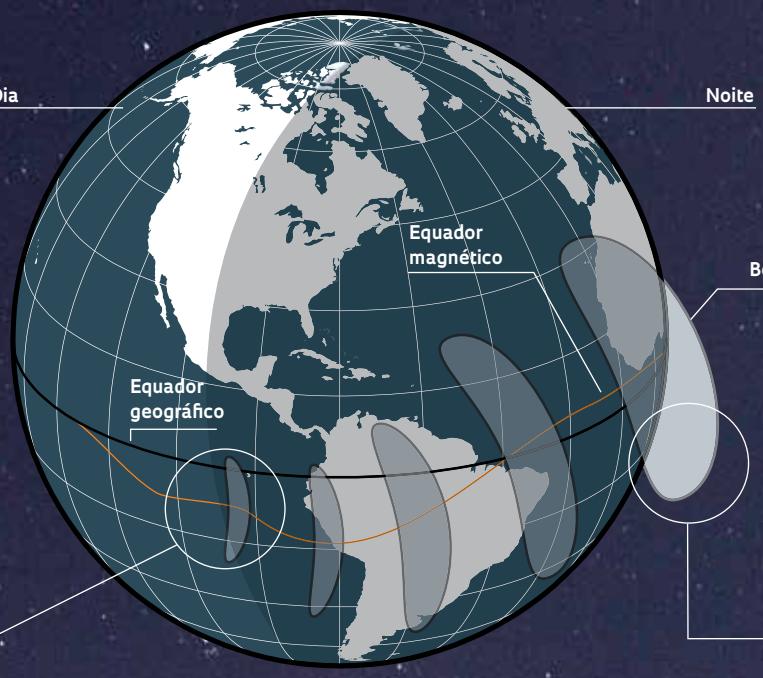
1993
Lançado o SCD-1, o primeiro satélite totalmente feito no Inpe

1994
Inaugurado o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)

1999
Satélite CBERS-1, fruto da parceria Brasil-China, é colocado em órbita

Gomos de tangerina

Bolhas ionosféricas só se formam no período noturno e na região intertropical



1. Com um formato que lembra gomos de tangerina, o fenômeno se origina na região do Equador magnético em alturas em torno de 350 km

2. Com o passar da noite, elas se deslocam para cima e leste, podendo atingir mais de 2 mil km de altura em seu ponto de máxima altitude

FONTE JOSÉ HUMBERTO SOBRAL

BOLHAS SOBRE O BRASIL

Nos anos 1970, um grupo liderado pelo cientista José Humberto Andrade Sobral fez uma descoberta por meio de observações ópticas que contribuiu para o aumento do conhecimento científico sobre o clima espacial. Os pesquisadores detectaram a existência de bolhas de plasma na ionosfera, camada da atmosfera situada entre 60 quilômetros (km) e mil km de altitude (*ver infográfico acima*). Caracterizadas pela rarefação do plasma ionosférico, essas formações interferem nos sinais de satélite, prejudicando as telecomunicações e as atividades que dependem de sistemas globais de navegação por satélite, como transportes aéreos e agricultura de precisão. "Essa descoberta nos deu grande satisfação", lembra Sobral. "Apresentamos o resultado de nossas pesquisas em simpósios no Brasil e no exterior e ninguém conhecia a origem do fenômeno." Para ajudar a estudar as bolhas, o Inpe criou nos anos 1990, com suporte da FAPESP, o Observatório Espacial de São Luís, no Maranhão, dotado de radares ionosféricos. O satélite científico, Equars, em desenvolvimento, auxiliará a compreender melhor o fenômeno, que continua afetando o funcionamento dos satélites.

DECIFRANDO O CLIMA GLOBAL

Do estudo pioneiro do climatologista Carlos Nobre, de 1991, que avaliou o impacto do desmatamento da Amazônia sobre o clima da América do Sul, à investigação coordenada pela química Luciana Gatti, publicada na *Nature* de julho, mostrando que a floresta desmatada está perdendo sua capacidade de absorver gás carbônico (*ver reportagem na página 54*), o Inpe deu contribuições decisivas para o entendimento do clima do planeta. Além de centenas de estudos sobre o tema, pesquisadores da instituição já lideraram o comitê científico do Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP), rede global de pesquisa sobre mudanças climáticas e o sistema terrestre, conduziram o Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), com a parceria de 12 países, e contribuíram com os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) – a matemática Thelma Krug, pesquisadora da casa por 37 anos, é hoje um de seus vice-presidentes. Desde 2009, o instituto tem uma área, o Centro de Ciência do Sistema Terrestre, dedicada a essa agenda.

INFOGRÁFICOS ALEXANDRE AFFONSO

2004
Inpe inicia, em decisão pioneira, distribuição gratuita de imagens de satélite

2008
Instituído o programa Embrace (Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial)

2009
Criado o Centro de Ciência do Sistema Terrestre, com foco nas mudanças climáticas globais

2010
Aquisição do supercomputador climático Tupã

2019
Lançado o CBERS-4A, o sexto aparelho da cooperação com a China

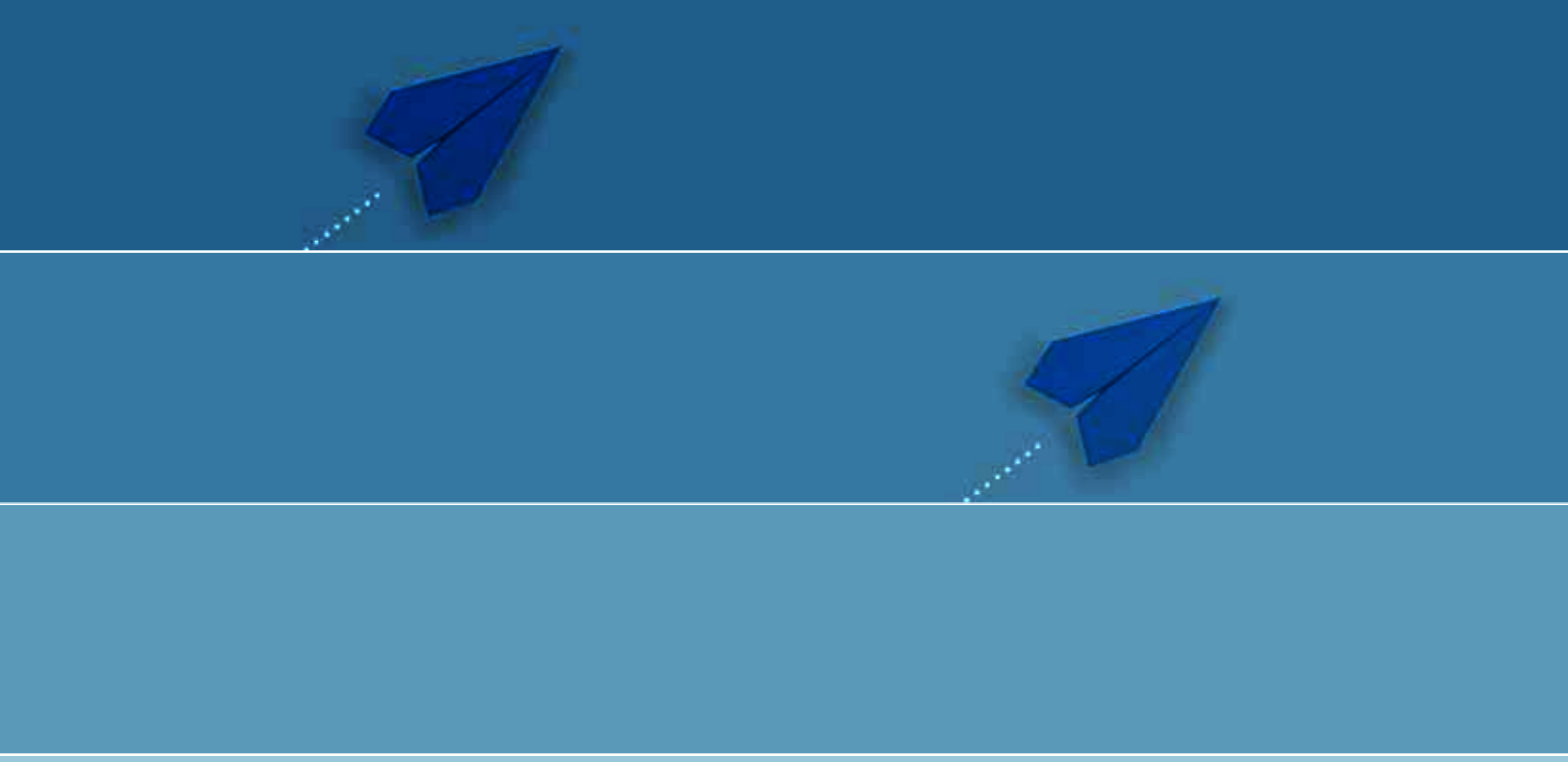
2021
Lançamento do satélite de sensoriamento remoto Amazonia-1

HORIZONTE LIMITADO

Cientistas que passam toda a carreira em uma mesma instituição tendem a ter agendas de pesquisa menos ambiciosas e produção de baixo impacto, diz estudo

Rodrigo de Oliveira Andrade

CONSTANTINE JOHNNY / GETTY IMAGES



Pesquisadores que constroem sua carreira na mesma instituição em que obtiveram o doutorado tendem a se dedicar a estudos de caráter incremental, de baixo impacto e focados na confirmação de ideias estabelecidas. Já os cientistas que diversificam sua experiência profissional e migram para instituições diferentes daquelas em que se doutoraram se engajam mais em trabalhos colaborativos, multidisciplinares e orientados à produção de conhecimento novo e disruptivo, mesmo em um cenário de escassez de financiamento. A distinção entre esses perfis marca as conclusões de um estudo publicado na revista *Higher Education Quarterly* que analisou a relação entre mobilidade acadêmica e agenda de pesquisa de cientistas em mais de 140 países.

O trabalho se baseou em dados de 7.158 pesquisadores de diferentes áreas do saber que publicaram pelo menos um artigo em periódicos internacionais entre 2010 e 2016. Eles preencheram um questionário sobre sua trajetória acadêmica, no qual informaram as instituições em que obtiveram o doutorado e trabalharam, suas linhas de pesquisa e principais publicações nos últimos anos. Os autores então cruzaram essas informações com dados sobre a produção científica dos participantes armazenados na base Scopus, da editora Elsevier. "Isso nos permitiu determinar o grau de mobilidade de cada um deles e categorizá-los de acordo com diferentes agendas científicas", informa o sociólogo português Hugo Horta, da Faculdade de Educação da Universidade de Hong Kong, um dos autores do trabalho.

Há na literatura especializada uma profusão de estudos apontando uma correlação entre baixa mobilidade acadêmica e qualidade limitada da produção científica. Pesquisadores que se mantêm na mesma instituição ao longo de toda a carreira tendem a produzir artigos em quantidade e impacto inferiores aos de cientistas que transitam por diferentes lugares. O levantamento feito por Horta e sua equipe vai além e mostra que os cientistas cujas carreiras se restringem às instituições em que obtiveram o doutorado tendem a ter agendas científicas mais conservadoras e ancoradas em pesquisas incrementais. "As agendas desses cientistas eram 19,6% menos focadas em novas descobertas em relação às de pesquisadores que se fixaram em outras instituições, possivelmente porque carecem da criatividade, da abertura e da exposição aos fluxos de conhecimento externos necessários para se engajar em projetos arrojados e inovadores", diz Horta. "Esses mesmos pesquisadores também são 14,6% menos ambiciosos quanto a chegar ao

topo de sua área de atuação e 15,4% menos propensos a se envolver em projetos colaborativos e multidisciplinares."

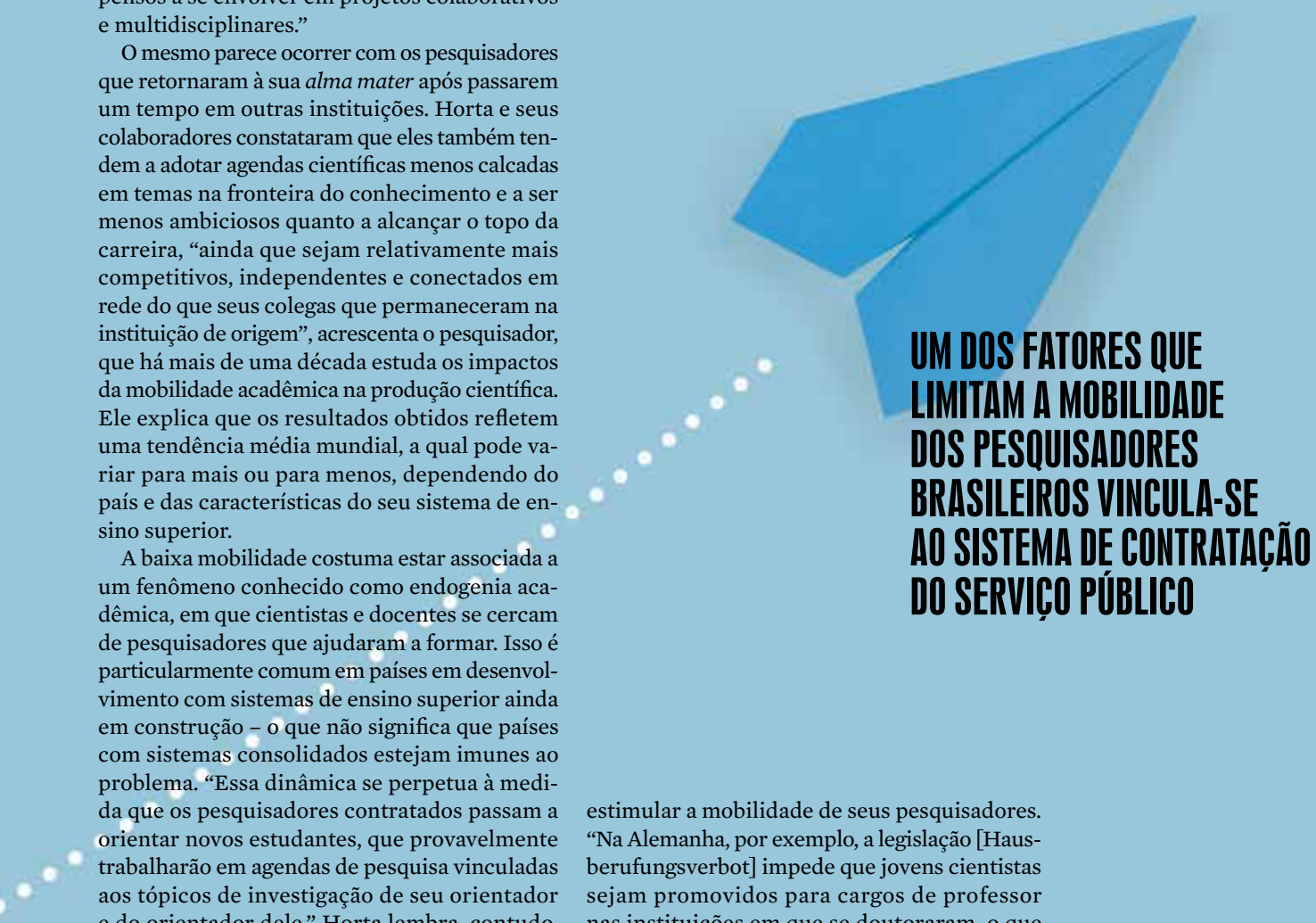
O mesmo parece ocorrer com os pesquisadores que retornaram à sua *alma mater* após passarem um tempo em outras instituições. Horta e seus colaboradores constataram que eles também tendem a adotar agendas científicas menos calcadas em temas na fronteira do conhecimento e a ser menos ambiciosos quanto a alcançar o topo da carreira, "ainda que sejam relativamente mais competitivos, independentes e conectados em rede do que seus colegas que permaneceram na instituição de origem", acrescenta o pesquisador, que há mais de uma década estuda os impactos da mobilidade acadêmica na produção científica. Ele explica que os resultados obtidos refletem uma tendência média mundial, a qual pode variar para mais ou para menos, dependendo do país e das características do seu sistema de ensino superior.

A baixa mobilidade costuma estar associada a um fenômeno conhecido como endogenia acadêmica, em que cientistas e docentes se cercam de pesquisadores que ajudaram a formar. Isso é particularmente comum em países em desenvolvimento com sistemas de ensino superior ainda em construção – o que não significa que países com sistemas consolidados estejam imunes ao problema. "Essa dinâmica se perpetua à medida que os pesquisadores contratados passam a orientar novos estudantes, que provavelmente trabalharão em agendas de pesquisa vinculadas aos tópicos de investigação de seu orientador e do orientador dele." Horta lembra, contudo, que essa prática pode ser benéfica nos estágios iniciais de formação dos sistemas de ensino superior, ajudando a consolidar os programas de pós-graduação. "Ela se torna problemática quando perpetuada indefinidamente."

Um dos efeitos perniciosos desse fenômeno é o engessamento e a falta de circulação de pessoas e novas ideias, o que pode comprometer a visibilidade dos trabalhos produzidos por esses grupos. Embora as consequências da endogenia acadêmica sejam conhecidas, muitos países ainda enfrentam dificuldades para mitigar essa prática. Isso porque ela tende a alimentar um sistema em que, individualmente, todos parecem se beneficiar. "Ao mesmo tempo que ajuda a consolidar estruturas de poder que favorecem os pesquisadores seniores, a endogenia acadêmica também beneficia os doutorandos, que sabem que serão contratados por sua *alma mater* ao concluírem o curso", destaca o sociólogo. "Isso pode ser bom para os indivíduos, mas problemático para o avanço da ciência."

Para tentar conter esse problema, algumas nações criaram mecanismos regulatórios a fim de estimular a mobilidade de seus pesquisadores. "Na Alemanha, por exemplo, a legislação [Hausberufungsverbot] impede que jovens cientistas sejam promovidos para cargos de professor nas instituições em que se doutoraram, o que os força a circular por outros lugares", pontua o sociólogo e cientista político Simon Schwartzman, estudioso da comunidade científica brasileira e pesquisador associado do Instituto de Estudos de Política Econômica, no Rio de Janeiro. Essa medida aumentou o trânsito dos pesquisadores alemães dentro e fora do país, o que resultou na quase total eliminação da endogenia nas suas universidades. "No caso alemão, as promoções se dão pela mudança, e não pela permanência no mesmo lugar." Nos Estados Unidos, diz Schwartzman, essa dinâmica há muito encontra-se incorporada na cultura acadêmica do país, "de modo que raramente as universidades norte-americanas contratam os pesquisadores que formaram".

A baixa mobilidade acadêmica é um problema antigo no Brasil, segundo o cientista da computação Clodoveu Augusto Davis Junior, do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Ele e sua equipe obtiveram uma amostra desse fenômeno por aqui ao analisar em 2016 a distribuição geográfica de quase 6 mil pesquisadores vin-



UM DOS FATORES QUE LIMITAM A MOBILIDADE DOS PESQUISADORES BRASILEIROS VINCULA-SE AO SISTEMA DE CONTRATAÇÃO DO SERVIÇO PÚBLICO

culados a 101 Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT). À época, verificaram que apenas 20% dos pesquisadores trabalhavam a mais de 500 quilômetros (km) de distância da instituição onde começaram a trajetória acadêmica. A maioria se fixou em empregos a menos de 100 km da universidade em que se graduou. O comportamento também foi percebido entre os pesquisadores que realizaram pós-doutorado no exterior: 81% retornaram ao Brasil e se estabeleceram nas regiões de origem (*ver* Pesquisa FAPESP *nº 239*). "Observamos também uma tendência entre os pesquisadores brasileiros de voltarem às instituições em que fizeram a graduação, no caso daqueles que fizeram mestrado e doutorado em outros lugares", diz Davis Junior.

Na avaliação de Schwartzman, um dos fatores que dificultam a mobilidade dos pesquisadores brasileiros vincula-se ao sistema de contratação do serviço público, o qual garante aos cientistas, contratados como funcionários públicos, alto grau de estabilidade nas instituições em que atuam. "Soma-se a isso as regras de progressão na carreira docente." Segundo a Lei nº 12.772/2012, o ingresso nas universidades federais se dá pelo primeiro nível da classe de professor auxiliar, por meio de concurso público, o que tende a contribuir para a fixação do pesquisador em uma instituição muito cedo. Para alcançar o cargo de professor titular, categoria mais elevada da carreira docente universitária no Brasil, o indivíduo deve passar por diversos níveis de docência, sendo que a progressão entre um nível e outro exige um intervalo mínimo de 24 meses. "Isso faz com que muitos profissionais nos níveis intermediários da carreira docente pensem duas vezes antes de mudar de instituição porque sabem que terão de reiniciar esse processo em um nível mais baixo", explica a socióloga Ana Maria Carneiro, pesquisadora do Núcleo de Estudos de Políticas Públicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Para contornar esse problema e impulsionar a contratação de professores mais experientes, a lei de 2012 criou a modalidade titular-livre, que permite às federais contratar profissionais com no mínimo 10 anos de doutorado por meio de novos concursos. Já nas estaduais paulistas o concurso para professor titular é mais flexível e aceita postulantes de outras instituições, desde que preencham os requisitos mínimos exigidos.

A cientista política Elizabeth Balbachevsky, professora da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH-USP), reconhece a existência de brechas que permitem aos pesquisadores mudarem de instituição dentro do país ao longo da carreira, mas afirma que elas acabam tendo um impacto pequeno sobre a mobilidade dos cientistas brasileiros. Segundo a pesquisadora, isso se deve a aspectos próprios da cultura acadêmica nacional. "O desenho institucional da maioria das nossas universidades tende a valorizar e a recompensar, por meio de benefícios monetários acumulados ou maior influência e prestígio institucional, aqueles que fazem a carreira no mesmo lugar, de tal modo que no Brasil ainda ocorrem situações como as de concursos para professor titular com apenas um candidato: o pesquisador mais antigo do departamento." Balbachevsky afirma que a participação de outros postulantes nesses concursos chega a ser vista como algo negativo, um desrespeito ao candidato que está há mais tempo na instituição. "A situação é diferente em nações como Alemanha e França", ela diz. "O processo seletivo para novas cátedras nas universidades desses países busca atrair indivíduos de outros lugares e não permite candidaturas internas. O prestígio nesses casos está associado à quantidade de candidatos que cada instituição consegue atrair de outras regiões."

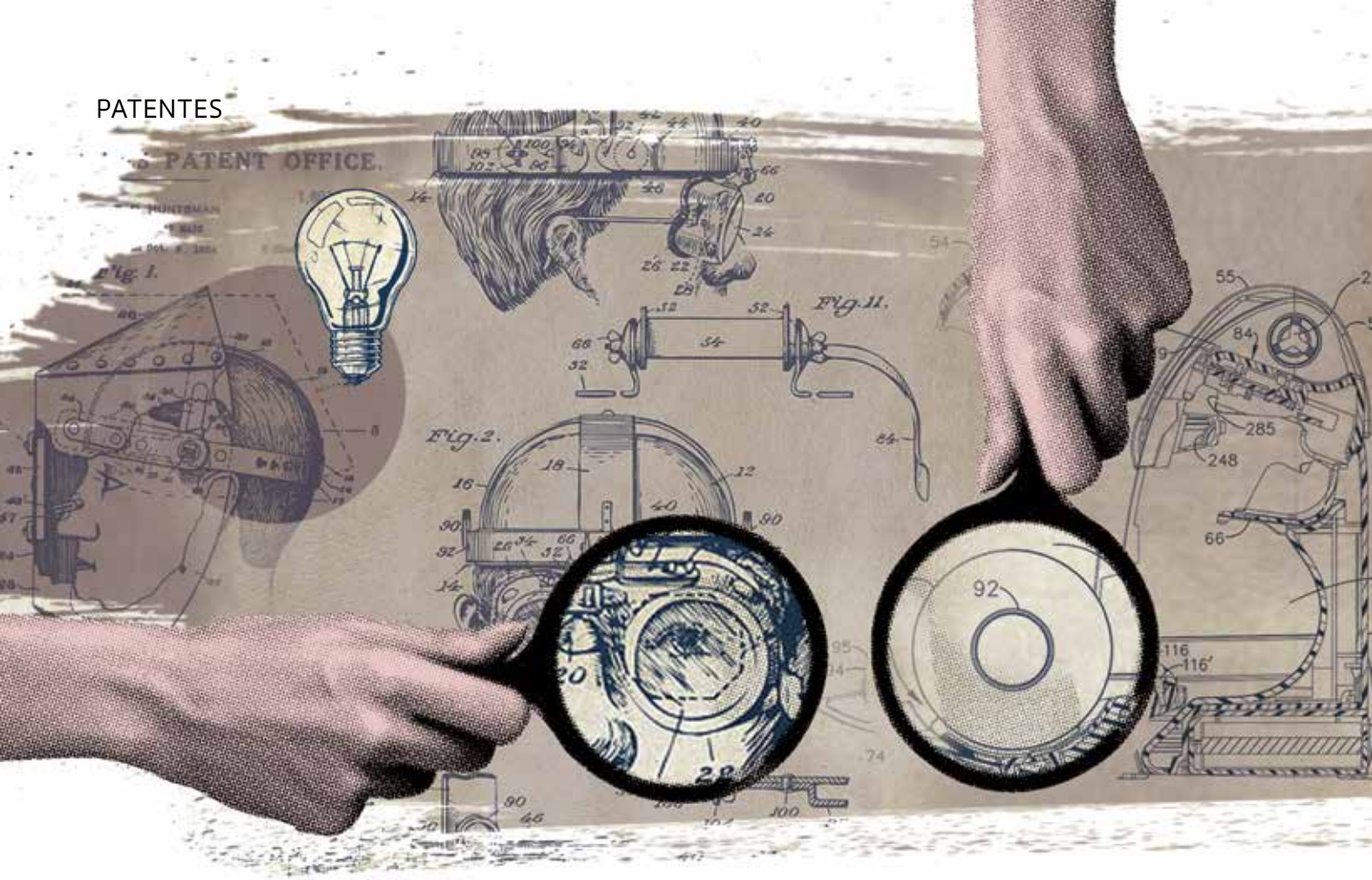
Essa e outras características da cultura científica brasileira, segundo a pesquisadora, moldaram-se à luz da valorização de conceitos que hoje são vistos como incompatíveis com a dinâmica acadêmica internacional. "Em muitas instituições brasileiras, sobretudo naquelas mais antigas e tradicionais, a endogenia é valorizada e associada à ideia de formar discípulos e escolas de pensamento", destaca. Esse fenômeno, ela afirma, perdeu força nas instituições mais jovens, criadas a partir dos anos 2000.

A preocupação crescente das instituições de ensino e pesquisa em internacionalizar a sua ciência e formar laços de cooperação com grupos do exterior permite atenuar os efeitos da baixa mobilidade acadêmica. "O trabalho em colaboração com grupos do exterior ajuda a diversificar as maneiras de pensar os problemas científicos. Ao mesmo tempo, a experiência de conhecer culturas acadêmicas distintas e construir redes de relacionamento com quem temos afinidade em questões alinhadas aos nossos interesses, em grande medida, resulta em pesquisas de maior impacto," comenta a socióloga Manolita Correia Lima, do Programa de Pós-graduação em Administração da Escola Superior de Propaganda e Marketing (ESPM), em São Paulo. ■

Artigos científicos

HORTA, H. *et al.* Academic inbreeding and choice of strategic research approaches. **Higher Education Quarterly**. abr. 2021.

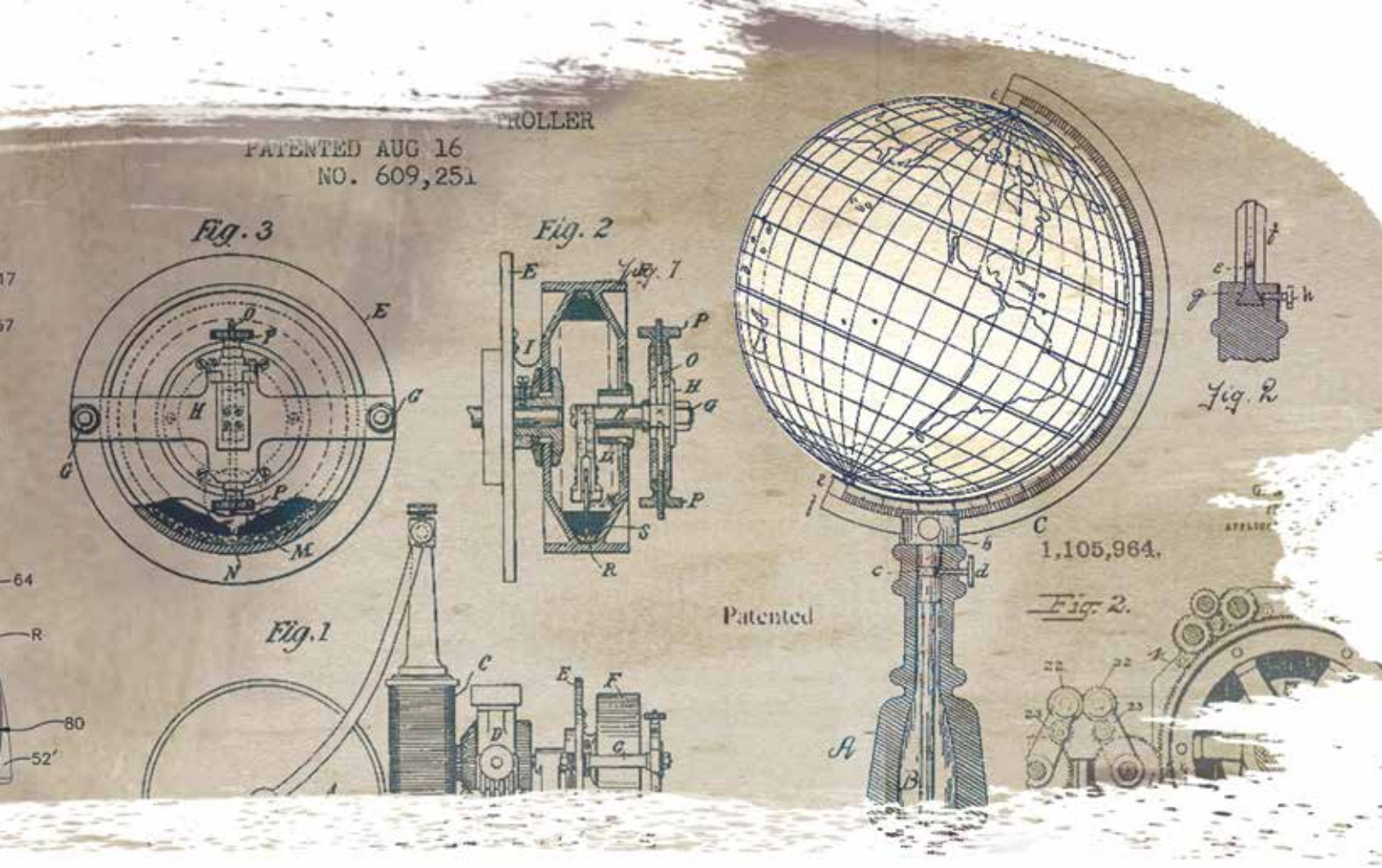
HAEFFNER, C. *et al.* Contrasting high scientific production with low international collaboration and scientific impact: The Brazilian case. **Scientometrics Recent Advances**. abr. 2019.



A CONCLUSÃO DE UM **CICLO**

Encerramento de programa de proteção à propriedade intelectual da FAPESP indica evolução na capacidade de transferir conhecimento científico para a sociedade

Fabrício Marques



Após 21 anos de atividade, terminou em junho o Programa de Apoio à Propriedade Intelectual (Papi) criado pela FAPESP em 2000 para incentivar a comunidade científica paulista a proteger resultados originais de pesquisa com potencial de exploração comercial. A Fundação decidiu encerrar o programa ao concluir que ele havia cumprido seu objetivo principal, de criar uma cultura de proteção da propriedade intelectual em universidades e instituições científicas de forma a permitir a transferência de conhecimento à sociedade e ao setor produtivo. "O Papi teve um importante papel indutor", explica a advogada Patricia Tedeschi, gerente de Pesquisa para Inovação da Diretoria Científica da FAPESP. "Em 2000, quando poucos pesquisadores estavam atentos a aplicações comerciais de seus trabalhos, a Fundação mostrou que isso era importante e passou a custear solicitações de patentes vinculadas a projetos que havia financiado."

O cenário se transformou nessas duas décadas. Com o advento da Lei de Inovação, em 2004, e de aperfeiçoamentos na legislação de ciência e tecnologia aprovados em 2016, universidades e centros de pesquisa assumiram o protagonismo da proteção à propriedade intelectual por meio dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NIT), instâncias encarregadas de promover o patenteamento de invenções e licenciá-las para exploração econômica. Em 2019, 270 instituições públicas e privadas do país gerenciavam suas políticas de inovação por meio desses núcleos, vários deles com formato de agência, de acordo com dados do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

Nos últimos 10 anos, o foco do Papi foi ajustado para ajudar as instituições a ganharem autonomia. Em vez de atender apenas solicitações individuais de pesquisadores interessados em proteger o conhecimento que geraram, em 2011 o programa passou a oferecer recursos para universidades, ressarcindo parte de seus custos com patentes relacionadas a projetos financiados pela FAPESP (Papi – Institucional) ou patrocinando treinamento e capacitação de seus gestores (Papi – Capacitação).

A mudança teve impacto na consolidação de núcleos e agências. "O programa foi extremamente importante para a formação de nossos técnicos. Escrever patentes e promover a transferência de tecnologia é um trabalho altamente qualificado", explica Vanderlan Bolzani, professora da Universidade Estadual Paulista (Unesp) que dirigiu a agência de inovação da instituição, a Auin, entre 2013 e 2016. "Sem o apoio financeiro da FAPESP, por meio do Papi – Institucional e do Papi – Ca-

ILUSTRAÇÕES PATRICIA BRANDSTATTER

pacitação, seria difícil para as universidades organizarem seus núcleos de inovação. A Auin foi criada depois das agências da USP e Unicamp." Em anos recentes, o interesse das instituições pelo programa ficou estagnado, em um sinal de que o ciclo do programa chegara ao fim. "Pesquisadores com projetos financiados pela Fundação poderão utilizar os recursos da reserva técnica para bancar as patentes", informa Tedeschi, referindo-se à parcela adicional de recursos de um projeto destinada a atender despesas não previstas inicialmente.

Nos primórdios do programa, a FAPESP compartilhava com pesquisadores e instituições a titularidade das patentes e a arrecadação de *royalties* era dividida em três partes iguais. "Era o modelo adotado pela Yissum, empresa de transferência de tecnologia da Universidade Hebraica de Jerusalém, em Israel", afirma o engenheiro de materiais Edgar Dutra Zanotto, pesquisador da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) que foi o responsável pela implantação do Papi em 2000 quando era membro da Coordenação Adjunta da Diretoria Científica da FAPESP. A cientista social Renée Ben-Israel, graduada na Universidade de São Paulo (USP) nos anos 1970 e então coordenadora da Yissum, foi contratada para ajudar a formular o Papi e a organizar o Núcleo de Patenteamento e Licenciamento de Tecnologia (Nuplitec), responsável por gerenciar o programa.

"A percepção que tínhamos na época era de que os nossos pesquisadores publicavam descobertas de cunho tecnológico em revistas científicas ou em teses de doutorado sem se preocupar com seu potencial de exploração comercial. Quando tardiamente se davam conta, já haviam queimado a oportunidade de solicitar patentes", diz Zanotto. Segundo ele, a questão da propriedade intelectual entrara no radar da Fundação em meados dos anos 1990, quando foram discutidos critérios sobre titularidade de patentes na montagem de dois programas voltados para a pesquisa de interesse de empresas, o de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (Pite) e o Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe).

Em 2003, um cheque de R$ 4.150,45 foi o primeiro resultado em *royalties* de uma patente financiada pela FAPESP, que recebeu um terço do valor. A entrega do cheque aos diretores científico e administrativo da Fundação à época, José Fernando Perez e Joaquim de Camargo Engler, foi realizada por Vladimir Airoldi, físico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e fundador da Clorovale Diamantes, de São José dos Campos, empresa que desenvolveu e patenteou brocas odontológicas com ponta de diamante artificial.

Na reorganização do Papi, em 2011, a FAPESP abriu mão da titularidade de patentes, a fim de valorizar o papel de inventores e suas instituições e evitar problemas burocráticos na gestão da propriedade intelectual. Mas manteve o direito de receber uma parte preestabelecida de *royalties* quando o conhecimento gerado por um projeto é objeto de licenciamento – no ano passado, arrecadou cerca de R$ 60 mil em *royalties*. Com a disseminação dos NIT, muitas universidades públicas acumularam um extenso número de pedidos de patente. Como é alto o custo para estender a proteção a outros países por meio do Tratado de Cooperação de Patentes, elas tiveram de priorizar o investimento de tecnologias que efetivamente tivessem potencial de exploração. "A proteção só faz sentido se a instituição dispõe de uma estrutura dedicada a viabilizar a transferência de tecnologia e sua entrada no mercado", explica a advogada Cristina Assimakopoulos, responsável pela coordenação do Nuplitec entre 2007 e 2010 e atualmente gerente-executiva de Tecnologia e Inovação da Vale.

O Papi auxiliou os gestores de universidades nesse aprendizado. A Agência de Inovação da UFSCar,

por exemplo, teve dois projetos contemplados pelo programa. Por meio de um deles, de 2016, técnicos e dirigentes puderam visitar e conhecer instituições dos Estados Unidos e de países europeus, o que ajudou a orientar suas estratégias. De acordo com a engenheira de produção Ana Lúcia Torkomian, coordenadora do projeto e à época diretora-executiva da agência da UFSCar, uma percepção importante adquirida nessas viagens foi a de que, ao contrário do que acontecia no Brasil, agências de universidades norte-americanas e europeias não se limitavam a cuidar de aspectos legais do patenteamento, uma atividade corriqueira que ocupava poucos funcionários de sua estrutura. Elas estavam, isso sim, engajadas em promover a transferência de tecnologia, procurando empresas interessadas em licenciar a propriedade intelectual. "Não eram escritórios de patentes, mas de comercialização", diz, referindo-se, por exemplo, aos departamentos de universidades como a de Bristol, na Inglaterra, e de Strathclyde, na Escócia. A experiência amealhada nessas visitas foi reunida em um artigo científico publicado em 2019 mostrando como as instituições de sete países se dedicavam a criar um ecossistema de inovação

Segundo Torkomian, o aprendizado ajudou a UFSCar a modular suas estratégias. Um dos problemas enfrentados dizia respeito aos custos. Um ano após a solicitação da patente em nível nacional, a instituição tinha que decidir se estendia a proteção em nível internacional, um processo dispendioso cuja manutenção só faz sentido se a tecnologia tem potencial concreto de comercialização. As universidades do Reino Unido e dos Estados Unidos costumavam manter a proteção internacional por três anos e depois abandonar o pagamento das que não se mostrassem promissoras. "Depois de trocar experiências com outras agências brasileiras, concluímos que três anos era pouco para a nossa realidade, mas cinco anos seriam um prazo razoável. Também criamos uma série de indicadores para mensurar o potencial de uma patente e subsidiar a decisão sobre sua manutenção", afirma.

Os estágios e as visitas a instituições do exterior também foram inspiradores para a Agência de Inovação Inova Unicamp, uma das mais antigas e consolidadas do país. De acordo com o engenheiro da computação Roberto Lotufo, que presidiu a agência entre 2003 e 2013, conhecer a experiência internacional foi fundamental para criar o ecossistema de inovação da Unicamp. "Criamos um evento anual de premiação de inventores da universidade que é inspirado no que vimos em universidades de Israel. Ficou claro lá que uma das formas de incentivar a proteção à propriedade intelectual é premiando os inventores", explica.

"Da Universidade de Oxford, que faz um jantar anual para ex-alunos que se tornaram empreendedores, veio a confirmação da ideia de prestigiar nossos ex-estudantes. Convidamos eles para serem conselheiros da Agência de Inovação, mentores de novos empreendedores e apoiamos cada vez mais a Unicamp Ventures, uma rede que reúne as 'empresas-filhas' da Unicamp, criadas por ex-alunos empreendedores de sucesso", diz Lotufo. Já a ideia da agência de promover palestras com ex-alunos e empreendedores foi inspirada na Universidade de Cambridge – até o dia e o horário das palestras, nas noites de quinta-feira, são os mesmos da instituição do Reino Unido. Segundo ele, o Papi permitiu que a Unicamp fosse ressarcida dos investimentos em patentes de seus pesquisadores apoiados pela FAPESP. "Manter a patente ativa em nível internacional custa caro. Quando isso estava a cargo dos pesquisadores, com frequência se mantinha o pagamento de patentes pelas quais não havia esforço de comercialização. Com o trabalho das agências de inovação, isso passou a ser feito com critério e o apoio financeiro foi importante enquanto esse custo não era incorporado pela universidade, como é hoje", afirma.

Embora o Papi tenha cumprido seus objetivos, seu encerramento traz alguma preocupação a gestores da inovação. "Fico insegura com a perda de uma ferramenta de financiamento em um momento em que as universidades enfrentam uma forte contenção de recursos. Temo que elas precisem priorizar outras áreas e não patrocinem mais a proteção da propriedade intelectual", afirma Bolzani, da Unesp. Assimakopoulos, da Vale, também enxerga possíveis riscos. "Os NIT precisam de quadros muito bem treinados e, em muitos núcleos que conheço, isso fica comprometido com a rotatividade de técnicos. Talvez isso não seja um problema em núcleos bem consolidados, mas o panorama ainda é heterogêneo."

Lotufo, da Unicamp, considera que o sistema de proteção de propriedade intelectual está amadurecido nas universidades, mas enxerga a necessidade de criar novos mecanismos para apoiar a transferência de conhecimento. Em sua análise, assim como os projetos dispõem de uma "taxa de bancada" que permite ao pesquisador comprar equipamentos e melhorar as condições de trabalho, seria útil criar uma espécie de taxa de inovação atrelada aos projetos e usada para fomentar o licenciamento de tecnologias. "A taxa nem precisaria ser alta, mas seria importante para estimular os pesquisadores a levarem suas descobertas ao mercado e para ampliar o trabalho das agências de inovação", afirma. ■

Artigo científico

DE OLIVEIRA, M. R. *et al.* How to stimulate an entrepreneurial ecosystem? Experiences of north american and european universities. **Innovar**. v. 29, n. 71, p. 11-24. 2019.

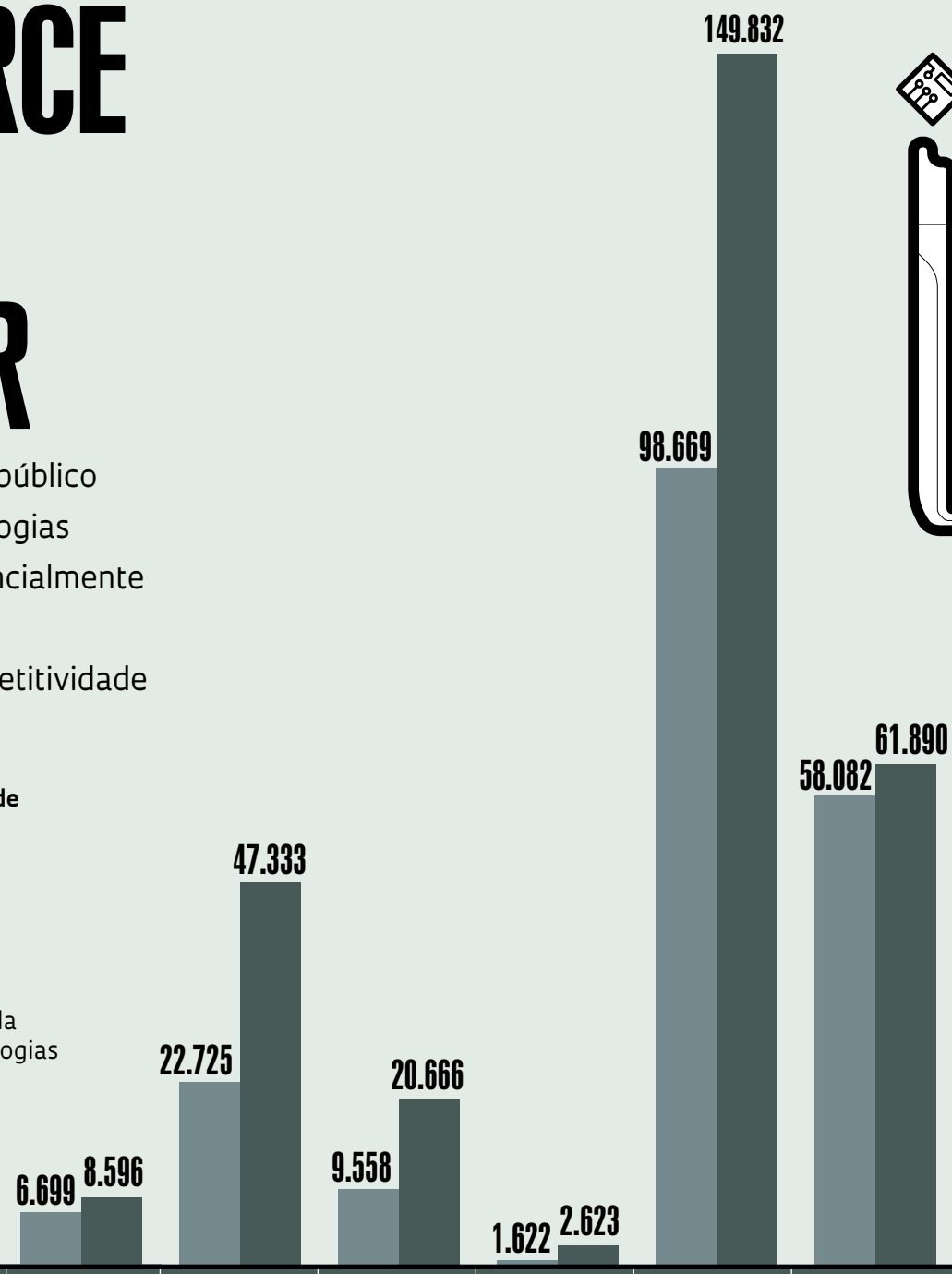
ALICERCE PARA INOVAR

Baixo investimento público e privado em tecnologias estratégicas e potencialmente disruptivas pode comprometer competitividade industrial brasileira

Rodrigo de Oliveira Andrade

ESFORÇO GLOBAL

Número total de artigos da base Scopus sobre tecnologias transversais* publicados em 2015 e 2019

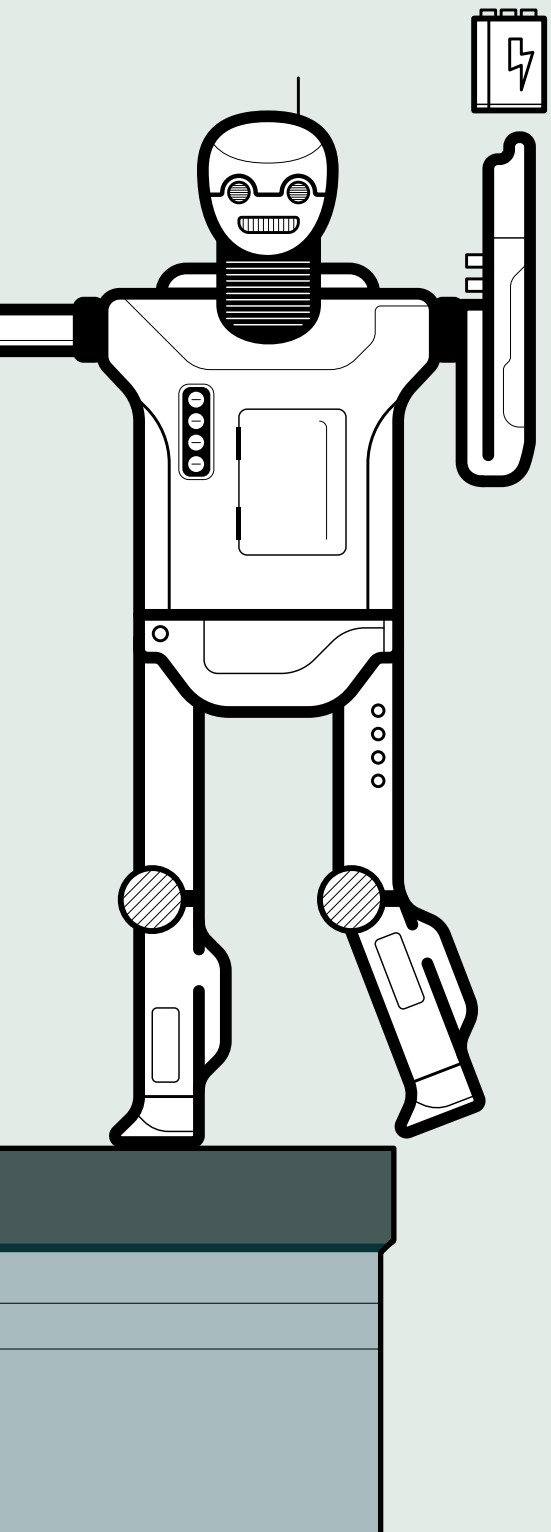


	BRASIL	ÍNDIA	RÚSSIA	ÁFRICA DO SUL	CHINA	ESTADOS UNIDOS
Participação Global em 2015 (%)	1,91%	6,47%	2,72%	0,46%	28,08%	16,53%
Participação Global em 2019 (%)	1,84%	10,12%	4,42%	0,56%	32,02%	13,23%

* Inteligência artificial e robótica, biotecnologia, energia, materiais, nanociência e nanotecnologia e optoeletrônica

FONTE UNESCO SCIENCE REPORT: THE RACE AGAINST TIME FOR SMARTER DEVELOPMENT

INFOGRÁFICOS ALEXANDRE AFFONSO



Em um ambiente econômico cada vez mais competitivo, vários países estão aumentando seus investimentos nas chamadas tecnologias transversais, que têm potencial de atravessar e transformar diferentes setores produtivos. Um relatório recém-publicado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) analisou o desempenho de países em seis tecnologias transversais consideradas estratégicas para o futuro da indústria – inteligência artificial e robótica, biotecnologia, energia, materiais, nanociência e nanotecnologia, e optoeletrônica – e mostrou que o Brasil não está conseguindo acompanhar esse esforço global. O estudo *Unesco science report: The race against time for smarter development* se baseou em dados da produção científica extraídos da base Scopus, da editora Elsevier. Seus resultados apontam para um cenário de estagnação – e, em alguns casos, retração – da produção de conhecimento nessas áreas no país. O Brasil saiu de um patamar de 6.699 artigos em 2015 para 8.596 em 2019 – um aumento de 28,3%, mas o pior desempenho entre as nações emergentes do Brics, do qual fazem parte também Rússia, Índia, China e África do Sul. Os números representam um recuo na já tímida contribuição brasileira para a produção internacional nessas áreas: o Brasil respondia por 1,9% das publicações sobre tecnologias transversais em 2015; esse percentual caiu para 1,8% em 2019.

As seis tecnologias selecionadas têm importância estratégica para a competitividade científica e econômica, superioridade tecnológica e segurança das nações – não por acaso, representaram 18% da produção científica internacional em 2019. O destaque mais negativo do Brasil se deu em optoeletrônica, fundamental para o aprimoramento da capacidade de transmissão de dados e para atender a próxima geração de sistemas de comunicação, como o 5G. O Brasil apresentou retração de 16% no número de publicações no período: de 405, em 2015, para 341, em 2019. A situação é igualmente delicada em nanociência e nanotecnologia. Foram 293 publicações nessa área em 2019, 37 a mais do que em 2015. "Essas áreas envolvem a concepção de dispositivos complexos e dependem de uma indústria eletrônica e de materiais que não se estabeleceu no Brasil", diz o físico Osvaldo Novais de Oliveira Junior, do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC-USP).

O desempenho brasileiro foi um pouco melhor em biotecnologia. O país registrou um aumento de 51% no número de trabalhos nessa área, saindo de 684 artigos em 2015 para 1.032 em 2019. Esses números representam um ligeiro aumento da participação do país no esforço internacional nesse segmento de pesquisa. Em 2015, o Brasil contribuiu com 4,1% dos estudos em biotecnologia no mundo; em 2019, esse percentual subiu para 5,5%. Para Carlos Alberto Moreira-Filho, professor da Faculdade de Medicina da USP, "a performance brasileira se deve mais a pesquisas em áreas de interesse da agroindústria – como controle biológico de pragas, melhoramento genético de cultivares – e, em menor medida, aos desdobramentos modernos desse campo na medicina, com estudos sobre DNA recombinante e anticorpos monoclonais, por exemplo". Para Oliveira, do IFSC-USP, os números refletem a consolidação da base tecnológica agroindustrial brasileira, com instituições produzindo estudos com inversões contínuas e de longo prazo, e intensa cooperação com empresas, o que não se aplica a outras áreas.

A evolução da produção de artigos científicos sobre tecnologias transversais no mundo nos últimos anos pode ser compreendida como um termômetro da preocupação das nações em fazer com que suas empresas operem no que se considera ser a fronteira tecnológica – a chamada manufatura avançada, ou indústria 4.0, com processos fabris integrados, conectados e inteligentes –, de modo que consigam aumentar sua competitividade e potencial exportador. "A universidade não gera demanda, mas responde às necessidades da sociedade, oferecendo conhecimento e mão de obra qualificada", diz Renato Pedrosa, professor do Departamento de Política Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Ele explica que países com baixa atividade industrial demandam menos nesse sentido. "O baixo desempenho do Brasil na produção científica sobre essas tecnologias não surpreende,

já que não há financiamento adequado à pesquisa no país e tampouco demanda interna de companhias produtoras de bens de alta tecnologia competitivas internacionalmente."

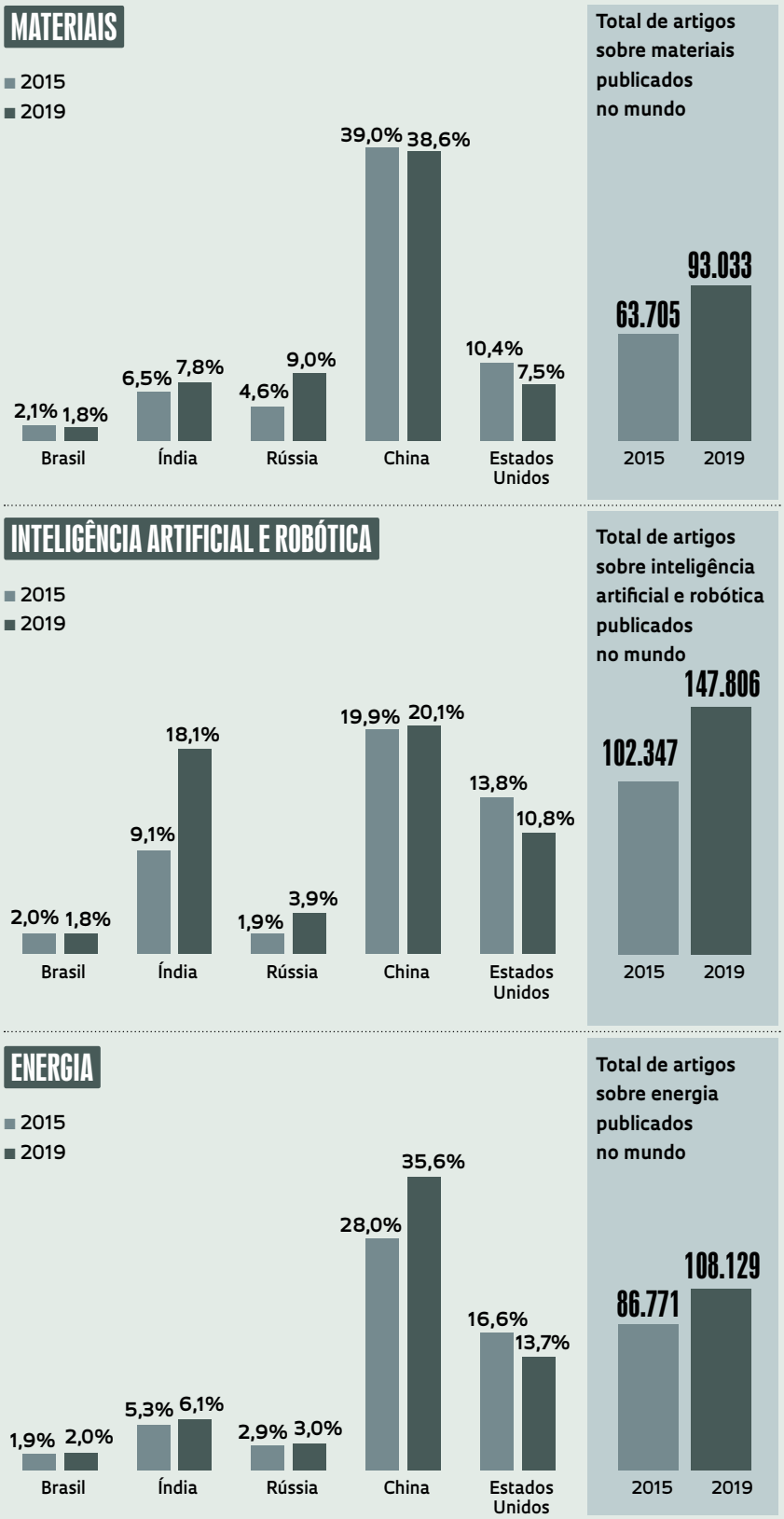
Em contraste com a situação brasileira, nos Estados Unidos parece haver consenso entre as diferentes alas do governo de que é preciso revitalizar suas empresas para fazer frente à ameaça da China e de outras nações à sua liderança econômica e tecnológica. O país tem priorizado uma série de plataformas tecnológicas em setores estratégicos, como o de inteligência artificial, computação quântica e tecnologia avançada de redes móveis. Uma das principais medidas adotadas pelo governo norte-americano foi o Manufacturing USA, rede de institutos criada em 2014 para promover a cooperação entre empresas e instituições acadêmicas em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de novas tecnologias e processos de manufatura avançados, além de treinamento de mão de obra. Os Estados Unidos criaram 16 institutos desde 2012, cada um focado em um processo ou tecnologia. Eles abarcam 1.291 organizações, das quais 844 são empresas de manufatura e 65% fabricantes de pequeno e médio porte. Estima-se que a estratégia contribua anualmente com US$ 2,3 trilhões para a economia norte-americana ao ajudar a criar mais de 12 milhões de empregos e impulsionar parte expressiva das pesquisas no setor privado em campos tecnológicos estratégicos para o futuro industrial daquele país.

Mais recentemente, o Congresso norte-americano começou a discutir o Endless Frontier Act. A iniciativa propõe a criação de um departamento de tecnologia e inovação na National Science Foundation (NSF), principal agência de fomento à ciência básica daquele país, com aportes de mais de US$ 100 bilhões nos próximos cinco anos em pesquisas em áreas como inteligência artificial e robótica, energia, computação quântica, tecnologias de comunicação avançada e gerenciamento de dados (*ver* Pesquisa FAPESP *nº 304*).

A China também percebeu a importância das tecnologias transversais e há

DESEMPENHO ACANHADO

Contribuição brasileira e de outros países para a produção científica internacional em três áreas do conhecimento



FONTE UNESCO SCIENCE REPORT: THE RACE AGAINST TIME FOR SMARTER DEVELOPMENT, COM DADOS DA BASE SCOPUS

INFOGRÁFICOS ALEXANDRE AFFONSO

décadas investe em mecanismos institucionais para promover seu desenvolvimento e adoção por empresas. A estratégia levou à formação de grandes conglomerados empresariais – como a Huawei, na área de tecnologia da informação e comunicação, e a Yingli Green Energy e Mingyang, na de energia –, que hoje disputam a liderança mundial em diversos setores estratégicos. Esse esforço foi intensificado em 2015 com o lançamento de uma política industrial para reduzir a dependência dessas e de outras empresas de fornecedores externos de alta tecnologia até 2025. A expectativa do governo chinês é que suas companhias expandam ainda mais sua participação no mercado global de carros elétricos, tecnologias agrícolas, engenharia marítima e aeroespacial, materiais sintéticos, biomedicina, infraestrutura ferroviária e robótica.

O país asiático almeja, ainda, tornar-se um centro mundial de inovação em inteligência artificial até 2030, assim como a Índia, que aumentou em 189% a produção científica nessa área entre 2015 e 2019. "O interesse das nações por essa tecnologia vai além de suas aplicações nos setores produtivos", informa a engenheira elétrica Roseli Francelin Romero, do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da USP. "Há também a possibilidade de combiná-la com tecnologias de redes de comunicação e análise de grandes quantidades de dados, dando lastro a soluções de cibersegurança." Para Oliveira, do IFSC-USP, "a ideia de segurança nacional não se resume mais apenas à capacidade bélica dos países, mas também ao desenvolvimento de tecnologias que garantam a segurança cibernética e diminuam sua dependência para a obtenção de recursos estratégicos".

O Brasil demorou para perceber a importância dessas tecnologias. "A indústria brasileira, predominantemente baseada na absorção de soluções geradas no exterior, encontra-se em uma fase exploratória de incorporação dessas tecnologias", diz o economista Mariano Laplane, do Instituto de Economia da Unicamp. Segundo ele, isso se deve ao baixo nível de investimento do setor na ampliação e modernização de suas plantas de produção, o que está ligado ao encolhimento do mercado interno e à dificuldade das empresas brasileiras de competir internacionalmente. Um levantamento realizado entre novembro de 2019 e junho de 2020 por pesquisadores da Unicamp e das federais do Rio de Janeiro (UFRJ) e Fluminense (UFF) ilustra esse quadro. Apenas 5% das 982 empresas avaliadas operam na fronteira tecnológica. "Quase metade delas trabalha com soluções digitais obsoletas e não tem planos para mudar isso nos próximos anos", destaca o economista João Carlos Ferraz, do Instituto de Economia da UFRJ, um dos autores do trabalho. "As que estão em melhor situação são de grande porte, realizam P&D, treinamento de pessoal e exportam."

O país dispõe de mecanismos para financiar a transição tecnológica de empresas nacionais, sobretudo as de pequeno e médio porte, para ambientes produtivos e de prestação de serviços baseados em tecnologias digitais. Dois deles são oferecidos pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep): o Finep Inovacred 4.0 e o Finep IoT, operados com recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e concedidos na forma de empréstimo com juros. No entanto, dado o quadro de retração da atividade industrial, as empresas tendem a não querer esses recursos porque precisarão devolvê-los depois, mesmo que as tecnologias nas quais investiram não resultem no retorno esperado. "Companhias maiores conseguem superar esse obstáculo com mais facilidade porque investem em P&D ou contratam agentes intermediários para desenvolver soluções modulares para problemas específicos", completa Laplane.

Essa situação traz riscos para o futuro da indústria brasileira. A falta de um plano estratégico que estimule a criação de firmas de base tecnológica e a modernização de companhias existentes pode agravar a vulnerabilidade tecnológica do país. "A criação e a implementação de políticas que estimulem o desenvolvimento de tecnologias transversais e facilitem seu uso pelas empresas tendem a levar à formação de competências e consolidação de uma base tecnológica própria, capaz de definir tendências globais", diz o sociólogo Glauco Arbix, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP, ex-presidente da Finep. "Ao deixar de investir na sua indústria, o Brasil abre mão de se tornar um elo importante nas cadeias globais de valor, restringindo-se a mero consumidor de produtos e exportador de *commodities*."

Mas ainda há tempo para mudar esse cenário. A influência dessas tecnologias é considerada disruptiva no curto prazo em poucos segmentos industriais. Na maioria deles, a transformação será gradual, segundo dados do relatório *Indústria 2027*, feito por economistas da Unicamp e UFRJ para a Confederação Nacional da Indústria – CNI (*ver* Pesquisa FAPESP *nº 264*).

O governo federal lançou em 2019 a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, que, sob coordenação dos ministérios da Economia e de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), promove o diálogo entre o setor público e representantes da indústria e da academia para implementar iniciativas voltadas à adoção de tecnologias transversais pela indústria brasileira. "O MCTI também se articula para dar impulso a pesquisas sobre essas tecnologias", diz Paulo Alvim, secretário de Empreendedorismo e Inovação do ministério. Em maio, o órgão anunciou, em parceria com a FAPESP e o Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br), a criação de seis centros de pesquisa em inteligência artificial no país com foco nas áreas de saúde, agricultura, indústria e cidades inteligentes.

Há, é certo, obstáculos no caminho, a começar pela crise de financiamento do sistema nacional de CT&I, que compromete não apenas o desenvolvimento de pesquisas nessas áreas, mas também a formação de recursos humanos qualificados para desenvolvê-las e incorporá-las aos processos fabris. "Esperamos aumentar os investimentos assim que o FNDCT for desbloqueado", diz Alvim, referindo-se ao imbróglio que impede a liberação de seus recursos (*ver reportagem "Futuro incerto" na edição on-line de* Pesquisa FAPESP). "O plano é investir até R$ 100 milhões este ano em tecnologias transversais nas universidades e empresas por meio de chamadas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do programa de subvenção econômica da Finep." ■

A AMAZÔNIA PERDE O GÁS

Estudos indicam que o leste da floresta, mais desmatado, virou fonte de dióxido de carbono na última década, enquanto o oeste tenta se manter como sumidouro

Marcos Pivetta

Queimada em área de floresta em Autazes, perto de Manaus, durante o El Niño de 2015/2016, quando houve maior mortalidade de árvores

ALINE PONTES LOPES

Divulgado em dezembro passado, o mais recente relatório do Global Carbon Project estima que, desde a década de 1960, as plantas terrestres retiraram da atmosfera cerca de um quarto do dióxido de carbono (CO_2), o principal gás de efeito estufa que contribui para o aumento do aquecimento planetário, emitido pela queima de combustíveis fósseis. Esse efeito benéfico ao clima ocorre porque a taxa com que os vegetais fazem fotossíntese – e, portanto, consomem o CO_2 disponível no ar para se manter vivos e crescer – é ligeiramente maior do que o ritmo de emissão de dióxido de carbono por meio da queima de biomassa, da decomposição de material orgânico e da respiração das plantas. A diferença a favor da coluna das absorções em relação à das emissões é pequena, de cerca de 2%, mas suficiente para tornar as florestas, sobretudo as densas e exuberantes matas tropicais, importantes sumidouros de carbono. Esse termo é usado para designar as áreas em que as absorções de carbono superam as emissões.

Por ser a maior floresta tropical, com cerca de 80% de sua área ainda preservada, a Amazônia é considerada um dos mais importantes sumidouros de carbono. Mas estudos feitos ao longo dos últimos 10 anos, com o emprego de diferentes metodologias analíticas, como dados de satélites, registros de crescimento e mortalidade de árvores e amostras sistemáticas do ar sobre a floresta, indicam que o leste da Amazônia virou uma fonte de carbono na década passada, ou seja, a quantidade de CO_2 que saiu desse setor do bioma superou a que entrou. A situação é particularmente preocupante no sudeste da Amazônia, entre Pará e Mato Grosso, região em que fica o chamado Arco do Desmatamento, que concentra o grosso das intervenções humanas, sobretudo o desflorestamento, sobre a área. O mais recente trabalho a traçar esse quadro é um estudo de longo prazo coordenado pela química Luciana Vanni Gatti, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), cujos principais resultados foram descritos em um artigo publicado na revista *Nature* em meados de julho.

Feito a partir de medições de alta precisão da concentração de carbono em amostras do ar obtidas em quatro regiões da Amazônia entre 2010 e 2018, o novo estudo sinaliza que a emissão média de CO_2 foi cerca de 10 vezes maior no leste do que no oeste da floresta tropical durante esses nove anos. “Observamos que as áreas com des-

O peso do leste da Amazônia

Porção oriental (áreas de Alta Floresta e Santarém) apresenta maiores níveis de emissão, de desmatamento, de redução de chuvas e de aumento de temperatura

Região de influência	Quantidade de carbono diariamente emitida a mais do que absorvida (em gramas por metro quadrado)[1]	Área desmatada[1]	Diminuição de chuva na estação seca[2]	Aumento de temperatura na estação seca[2]
Alta Floresta	0,32	24%	24%	2,6 °C
Santarém	0,41	31%	34%	1,9 °C
Rio Branco	0,04	13%	20%	1,7 °C
Tabatinga/Tefé	0,03	7%	19%	1,6 °C

1 Média entre 2010 e 2018
2 Média mensal de agosto a outubro entre 1979 e 2018

FONTE GATTI, L. V. *ET AL.* **NATURE**. 15 JUL. 2021

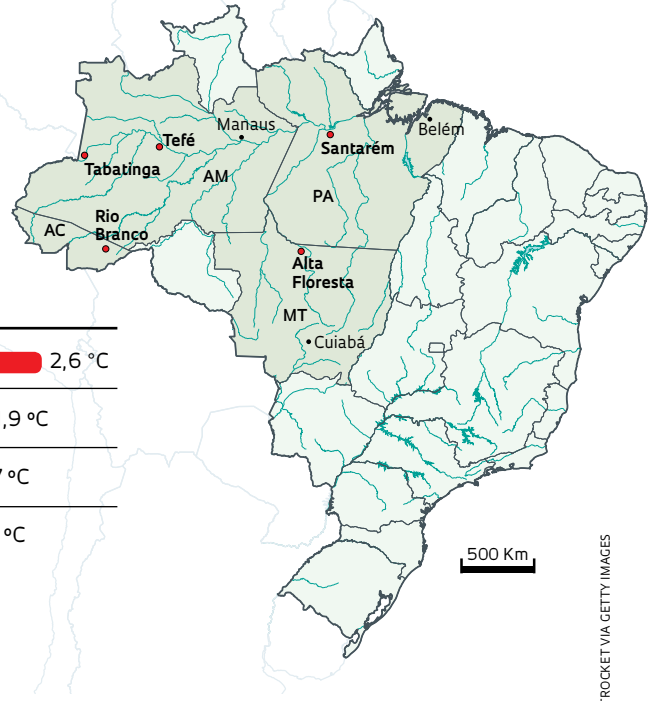


FOTO JOSÉ CALDAS/BRAZIL PHOTOS/LIGHTROCKET VIA GETTY IMAGES
INFOGRÁFICO ALEXANDRE AFFONSO

matamento superior a 30% do seu total emitiram muito mais carbono do que as com uma taxa de desflorestamento inferior a 20%", comenta Gatti, que estuda a química da atmosfera da Amazônia por meio de um projeto no âmbito do Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais – PFPMCG (*ver quadro acima*). "Dados meteorológicos indicam que, nos últimos 40 anos, o leste foi o setor da Amazônia que sofreu o maior aumento médio de temperatura e a maior redução de chuvas durante a estação de seca na região, entre agosto e outubro."

Mais úmida e preservada, a seção ocidental do bioma também apresentou um balanço de carbono (soma de todas as emissões e absorções) delicado. No entanto, no setor oeste, a transição da condição de sumidouro para a de fonte de carbono parece ainda estar no começo, embora já se insinue. "Se o oeste da Amazônia sofrer mais impactos de atividade humana, é possível que também ali ocorra o que estamos vendo na parte leste", diz, em entrevista a *Pesquisa FAPESP*, o químico John Miller, do National Oceanic and Atmospheric Administration (Noaa), dos Estados Unidos, que também assina o artigo.

Na porção oriental da floresta, a temperatura média no período de estiagem subiu mais de 2 graus Celsius (°C) e a incidência de chuvas diminuiu em pelo menos 25% nas últimas quatro décadas, segundo cálculos feitos pela equipe liderada por Gatti. A época de seca também tem se tornado cada vez mais longa, com mais dias sem chuva expressiva. No oeste da Amazônia, houve elevação da temperatura média e diminuição das chuvas entre 1979 e 2018, mas a um ritmo menor. O aumento térmico foi de, no máximo, 1,7 °C, e a redução média de pluviosidade de 20%, de acordo com o artigo. Na Amazônia, um mês é considerado seco quando chove, em média, menos de 100 milímetros (mm) no período.

Não são apenas o desmatamento e as queimadas que interferem diretamente no balanço de carbono. Áreas de floresta degradada, apesar de ainda se manterem em pé, tornam-se mais secas e passam a emitir mais CO_2 do que absorver. "Estamos diante de uma tempestade perfeita, um círculo vicioso em que um processo retroalimenta o outro", diz o ecólogo Luiz Aragão, do Inpe, especialista em sensoriamento remoto, coautor do artigo. "O avanço das queimadas, do desmatamento e das áreas degradadas aumenta as emissões de carbono na Amazônia e altera o clima local e global. A floresta se torna mais quente e mais seca, especialmente no período de estiagem, e a mortalidade de árvores cresce. Esse efeito afeta novamente o balanço de carbono e impulsiona mais alterações climáticas."

O físico Paulo Artaxo, da Universidade de São Paulo (USP), destaca a importância dos achados do estudo de seus colegas na *Nature*. "Alterações no ciclo de carbono na Amazônia produzem impactos não só no clima da região, mas de todo o Brasil e até do planeta", destaca Artaxo, um dos coordenadores do PFPMCG. Por meio dos chamados rios voadores, uma parte da grande umi-

dade da região Norte processada pela floresta é transportada pelo Centro-Oeste, Sudeste e outras partes do país. Sem ela, o regime de chuvas se altera nessas regiões e pode causar secas agudas. Coordenador da Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG) do Inpe, Aragão tem se dedicado a estudar os impactos de longo prazo do desmatamento e especialmente das queimadas, duas formas de agressão à floresta promovidas pelo homem, sobre parcelas da Amazônia com vegetação degradada. Ele também é um dos coautores de outro trabalho, igualmente publicado em julho, mas na revista *PNAS*, que mostra os efeitos do fenômeno climático El Niño (aquecimento anormal das águas superficiais do oceano Pacífico) na grande seca ocorrida entre o fim de 2015 e o início de 2016 na Amazônia.

De acordo com dados desse estudo, que tem como principal autora a bióloga brasileira Erika Berenguer, da Universidade de Lancaster, no Reino Unido, cerca de 3 bilhões de árvores morreram em uma área equivalente a 1,2% do território da Amazônia brasileira nos três anos seguintes devido à seca extrema e a incêndios florestais. Um dos efeitos desse perecimento anormal de árvores é que toneladas a mais de carbono voltaram para a atmosfera. "Estudos recentes indicam que fogos associados ao desmatamento são mais intensos que os demais tipos de fogos na Amazônia e contribuem para maiores emissões", explica a climatologista Renata Libonati, chefe do Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Igeo/UFRJ), que não participou do estudo.

Vista aérea de trecho preservado da floresta amazônica, que retira mais carbono do que os setores desmatados

O trabalho que saiu em julho na *Nature* é continuação de um projeto coordenado por Gatti, que, em 2014, rendeu um artigo publicado com destaque de capa nesse periódico científico. Aquele primeiro estudo usava a mesma metodologia de coleta de dados adotada no atual trabalho, mas abrangia um período de apenas dois anos, 2010 e 2011. O novo artigo agregou mais sete anos de informações de campo. "No trabalho de 2014, mostramos que um ano extremamente seco, como 2010, levava a Amazônia a emitir mais carbono do que um ano com clima dentro do esperado, como 2011", explica a bióloga Luana Basso, membro da equipe de Gatti, que atualmente faz estágio de pós-doutorado na Universidade de Leeds, no Reino Unido. "O foco, então, era na variável tempo. Agora nossa ênfase é mostrar como se comporta o balanço de carbono em áreas da Amazônia com diferentes níveis de desmatamento, de queimadas e de mudanças climáticas."

A produção das informações que serviram de base para o mais recente artigo envolveu um extenso trabalho de campo. Com o emprego de um avião de pequeno porte voando entre 300 metros e 4,4 quilômetros de altitude, os pesquisadores recolheram a cada dois meses amostras do perfil do ar sobre quatro pontos da Amazônia: Alta Floresta, em Mato Grosso, no sudeste da região; Santarém, no Pará, no nordeste; Rio Branco, no Acre, no sudoeste; e Tabatinga, no Amazonas, no noroeste. Em alguns anos, as amostras do noroeste vieram de Tefé, mas, para efeitos práticos, os dados de Tefé e Tabatinga são considerados representativos da mesma região. No total, foram obtidas 590 amostras atmosféricas.

O avanço das queimadas e do desmatamento na parte oriental da Amazônia são apontados pelos autores do artigo como as principais causas de essa região ter se tornado uma fonte de carbono. Com menos árvores em pé, a capacidade de retirar CO_2 da atmosfera, via fotossíntese, diminui (*ver quadro sobre ciclo do carbono na floresta na página 58*). Se, além de cortada, a vegetação é queimada, o carbono que estava armazenado na biomassa da planta retorna diretamente para o ar. Os autores dizem que, se não houvesse desmatamento e queimadas, a Amazônia como um todo seria um sumidouro de carbono. Porém, seus dados indicam que sua porção sudeste, mais impactada pelo homem, já se comporta como uma fonte de carbono mesmo quando o peso das emissões específicas das queimadas é desconsiderado.

"As espécies de árvores mais longevas da Amazônia podem viver em média 180 anos", comenta o botânico Marcos Buckeridge, do Instituto de

Biociências da USP, que estuda o crescimento de plantas e cultivos em ambientes ricos em dióxido de carbono e não participou do estudo coordenado por Gatti. "A maior parte do carbono absorvido pelas plantas fica armazenada nelas por todo esse tempo e só é liberada quando elas morrem. A decomposição das plantas libera lentamente o carbono enquanto as queimadas fazem isso de forma acelerada. Assim que recomeça o crescimento vegetal em uma área desmatada, o carbono começa novamente a ser absorvido."

Outros trabalhos chegaram a conclusões semelhantes à do estudo de Gatti, Aragão e seus colaboradores. Artigo publicado na *Nature Climate Change* em abril deste ano sinaliza que a Amazônia emitiu 18% mais carbono do que absorveu entre 2010 e 2018. Os cálculos do balanço de carbono foram feitos a partir de medições dos fluxos de CO_2 realizadas por satélites. O estudo estimou que os setores de vegetação degradada, em geral vizinhos a áreas desflorestadas e a propriedades destinadas à agropecuária, emitiram quantidades significativas de carbono em relação às partes propriamente desmatadas. "A Amazônia brasileira como um todo perdeu parte de sua biomassa e, portanto, liberou carbono. Sabemos da importância do desmatamento para as mudanças climáticas globais", disse, em comunicado de imprensa, Stephen Sitch, da Universidade de Exeter, no Reino Unido, um dos autores do trabalho. "Nosso estudo mostra como as emissões associadas a processos de degradação florestal podem ser ainda maiores. A degradação é uma ameaça generalizada à integridade futura da floresta e precisa ser pesquisada com urgência."

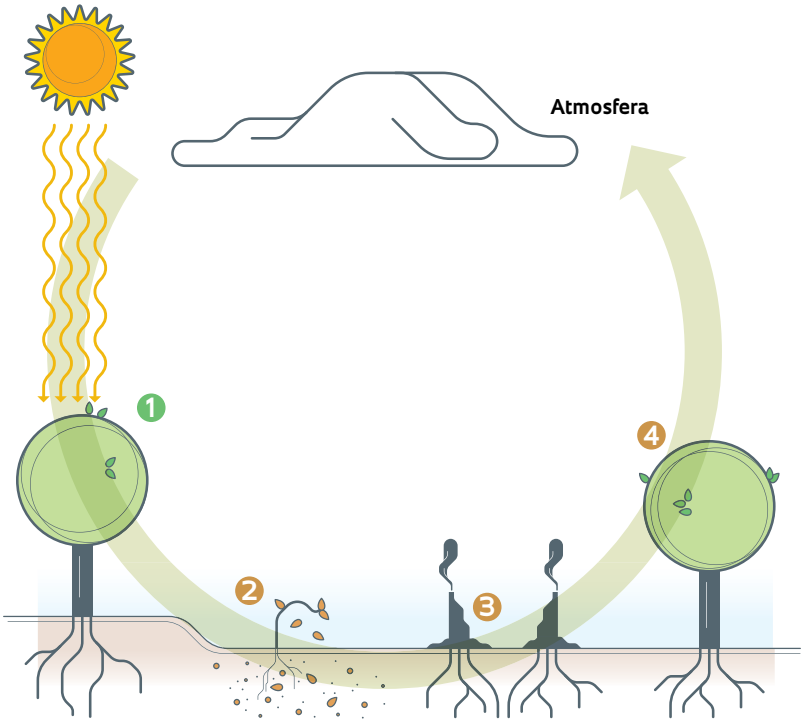
Um artigo de 2015, que também ganhou as páginas da *Nature*, é uma referência obrigatória sobre o tema balanço de carbono na grande floresta tropical. Coordenado por pesquisadores da Universidade de Leeds, com a participação de brasileiros e colegas de outros países, o estudo sugere que a Amazônia vem perdendo progressivamente a capacidade de retirar carbono da atmosfera devido a um aumento de mais de um terço na mortalidade de árvores desde meados dos anos 1990. Além do desmatamento e da degradação da floresta, mudanças climáticas, tanto em nível local como global, esta-

Como a floresta absorve e emite CO_2

A fotossíntese é o principal mecanismo que fixa o carbono, enquanto as queimadas, a decomposição de matéria orgânica e a respiração das plantas o liberam para a atmosfera

ABSORÇÃO

1 Fotossíntese
As plantas transformam a luz solar em energia para seu crescimento e sobrevivência em processo denominado fotossíntese. Ao combinar o CO_2 retirado da atmosfera com a água e os nutrientes captados por suas raízes, as plantas produzem carboidratos e oxigênio. Os carboidratos ficam retidos nos vegetais. O oxigênio é liberado de volta para a atmosfera. Ricos em carbono, os carboidratos formam a maior parte da biomassa das plantas. A diminuição na quantidade de árvores e de vegetação reduz a capacidade de uma região de atuar como sumidouro de carbono



EMISSÕES

2 Decomposição de biomassa
Quando as plantas ou os seres vivos em geral morrem, sua biomassa é decomposta lentamente pela ação de insetos, bactérias e fungos. Durante o processo, o carbono que fazia parte das plantas e outros seres vivos é devolvido à atmosfera na forma de CO_2

3 Queimadas
A combustão de matéria vegetal, como ocorre nas queimadas, libera rapidamente para a atmosfera o carbono estocado, às vezes durante anos ou décadas, nas plantas. O processo, frequentemente associado ao desmatamento, despeja no ar tanto o dióxido de carbono como o monóxido de carbono (CO)

4 Respiração de plantas
Diferentemente da fotossíntese, que ocorre apenas sob o efeito da luz solar, a respiração das plantas é um processo ininterrupto. Por esse mecanismo, os vegetais consomem oxigênio e liberam CO_2 e água para o meio ambiente

FOTO BRUNO KELLY/REUTERS/FOTOARENA INFOGRÁFICO ALEXANDRE AFFONSO

Cheia do rio Negro, no Amazonas, em meados deste ano foi a maior da história

riam impulsionando esse fenômeno. O estudo em campo acompanhou por três décadas a evolução da biomassa (crescimento e diminuição do tamanho das árvores) em 321 parcelas da floresta.

O climatologista José Marengo, coordenador de pesquisa e desenvolvimento do Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais (Cemaden), elogia a importante contribuição científica do estudo. "Vários estudos indicam que o leste da Amazônia está se tornando mesmo uma fonte de carbono e outros trabalhos, inclusive nossos, mostram que o período de estiagem nessa parte da região está ficando mais quente e seco nas últimas décadas", diz Marengo. "Isso não é bom para o balanço de carbono e aumenta o risco de secas e de incêndios." No entanto, a Amazônia é uma região muito extensa e fazer generalizações para a toda a área é arriscado. Em simulações climáticas, alguns modelos apontam, por exemplo, que em setores do noroeste da Amazônia pode vir a chover ainda mais nas próximas décadas em razão das mudanças climáticas globais. Atualmente, a porção ocidental, que é mais preservada, é também mais úmida do que o setor oriental. Ali chove até mais de 3 mil mm por ano.

O aquecimento global é a faceta mais visível das mudanças climáticas. Mas isso não quer dizer que vai ficar mais quente todo o tempo e em todos os lugares. Em certas regiões, é possível até que esfrie em alguns períodos do ano. Mas a temperatura média do planeta vai se elevar rapidamente nas próximas décadas devido ao aumento da emissão de gases de efeito estufa, principalmente em razão da queima de combustíveis fósseis. "As pessoas têm de ter em mente que o aumento do aquecimento global induz as mudanças climáticas e leva à maior ocorrência de eventos extremos, que podem ser episódios muito intensos tanto de seca ou chuva como de calor ou de frio", pondera Marengo. Nesse contexto, embora a Amazônia esteja se tornando mais quente e seca (e emitindo mais carbono) quando vista como um todo ou em sua porção mais a leste, não é paradoxal ter ocorrido a maior cheia em quase 120 anos do rio Negro em Manaus no fim de junho deste ano. Em razão de fortes chuvas, o leito do rio subiu 30 metros e afetou a vida de quase meio milhão de habitantes do estado. Mais ou menos no mesmo período, durante o verão no Canadá e no oeste dos Estados Unidos, em outra anomalia que parte dos cientistas atribui às mudanças climáticas, os termômetros marcaram temperaturas recordes acima de 50 ºC. Em julho, Alemanha, Bélgica e Países Baixos registraram a maior enchente dos últimos 100 anos, imputada também por alguns às mudanças climáticas.

Para o climatologista Scott Denning, da Universidade Estadual do Colorado, nos Estados Unidos, os resultados do estudo liderado pelos brasileiros na *Nature* coloca em dúvida a capacidade de longo prazo da floresta amazônica em sequestrar carbono da atmosfera e atuar como um importante contrapeso ao aquecimento global. "As observações contínuas feitas em quatro regiões da Amazônia por essa equipe representam um tipo de dado muito difícil de se obter e são um indício de que a condição de sumidouro de carbono da Amazônia está sendo ameaçada pela degradação da floresta e aquecimento do clima", disse, em entrevista a *Pesquisa FAPESP*, Denning, que assina, também na *Nature*, um comentário sobre o artigo do grupo do Inpe. "O futuro da acumulação de carbono nas florestas tropicais sempre foi incerto. Os perfis atmosféricos obtidos por Gatti e seus colegas mostram que esse futuro incerto está ocorrendo agora." ■

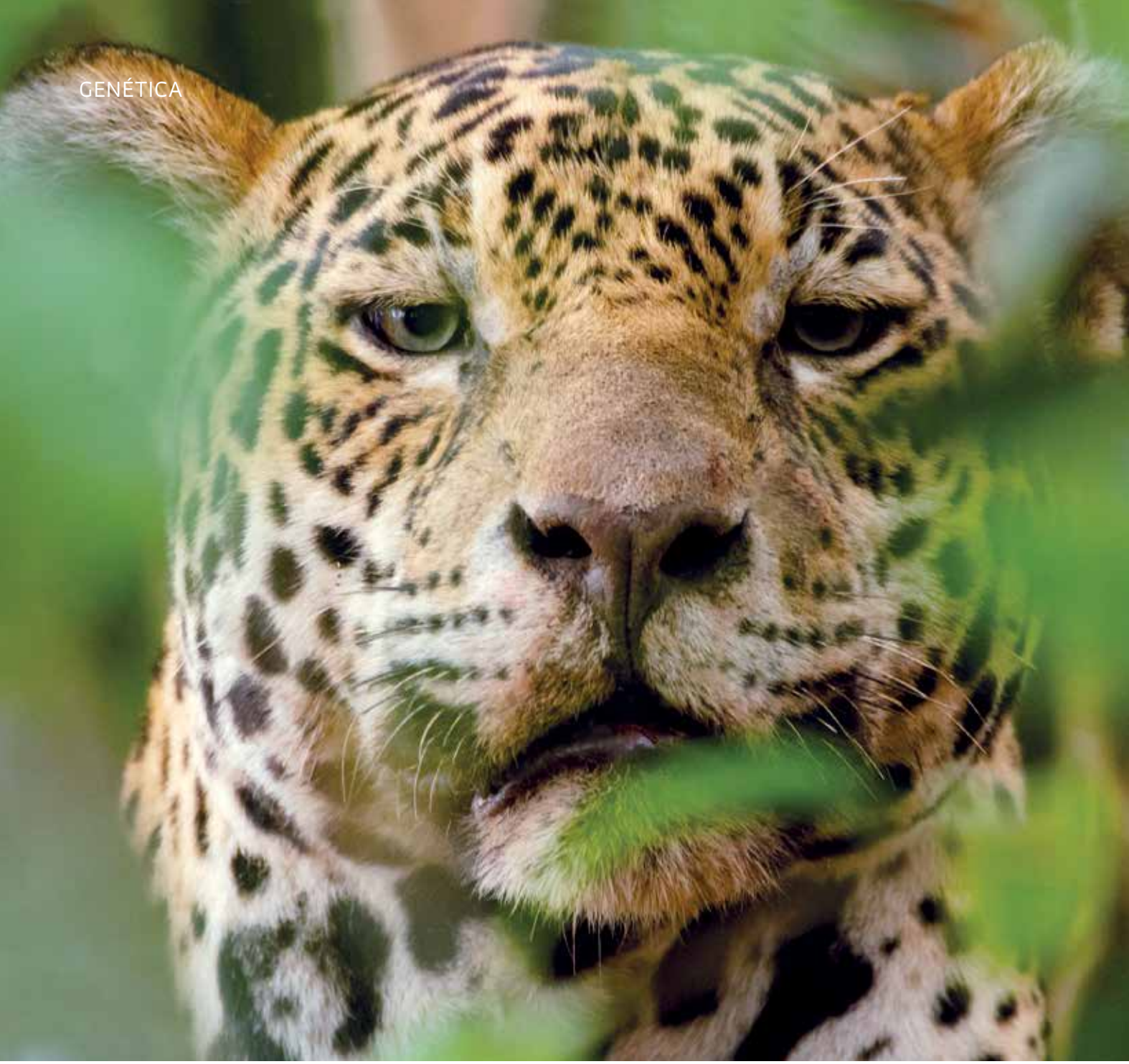
Projeto

Variação interanual do balanço de gases de efeito estufa na bacia amazônica e seus controles em um mundo sob aquecimento e mudanças climáticas – Carbam: Estudo de longo termo do balanço do carbono da Amazônia (nº 16/02018-2); **Modalidade** Projeto Temático; **Programa** Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais; **Pesquisadora responsável** Luciana Gatti (Inpe); **Investimento** R$ 4.436.420,43.

Artigos científicos

GATTI, L. V. *et al.* Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**. 15 jul. 2021.

BERENGUER, E. *et al.* Tracking the impacts of El Niño drought and fire in human-modified Amazonian forests. **PNAS**. 27 jul. 2021.



REFÚGIO AMEAÇADO

De 2016 a 2019, quase 1.400 onças podem ter morrido ou sido deslocadas na Amazônia por causa do desmatamento

DANIEL KANTEK/ICMBIO

Perda de vegetação nativa na Amazônia, onde vive quase metade das onças-pintadas do mundo, coloca em risco o maior reservatório genético da espécie

Ricardo Zorzetto

De 2016 a 2019, a Amazônia perdeu 32 mil quilômetros quadrados (km²) de vegetação nativa – o equivalente a 0,6% da área ocupada pelo bioma no território brasileiro – por causa de queimadas e desmatamento, indicam dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Em consequência do recrudescimento recente na degradação da floresta, observada principalmente no Arco do Desmatamento, nas porções sul e leste da Amazônia, cerca de 1.400 onças-pintadas podem ter morrido ou sido desalojadas das áreas em que viviam. "Esse número é um sinal de alerta e merece atenção", afirma o veterinário Ronaldo Morato, coordenador do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Carnívoros (Cenap) do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e líder do trabalho, apoiado pela FAPESP, que chegou a esse cálculo. "Ele representa 1,8% da população de onças que se calcula existir na Amazônia brasileira."

Publicada em 25 de junho na revista *Conservation Science and Practice*, essa estimativa é ainda imperfeita. Conhecer o número exato de onças mortas, feridas ou deslocadas pela ação de motosserras ou do fogo exigiria a captura e marcação prévia de cada indivíduo para que, depois, sua localização fosse acompanhada por meio de colares rastreáveis por GPS e armadilhas fotográficas. Ante a impossibilidade de realizar esse tipo de rastreamento em uma área tão vasta e de deslocamento complexo como a Amazônia, o biólogo Jorge Saraiva de Menezes, da equipe de Morato, calculou o número aproximado de felinos mortos ou expulsos naquele período cruzando dados de áreas que perderam mais de 50% da cobertura nativa com informações a respeito da concentração de onças na região.

A Amazônia é hoje o principal refúgio de onças no mundo. Há alguns anos, o biólogo polonês Włodzimierz Jędrzejewski, do Centro de Ecologia do Instituto Venezuelano de Pesquisas Científicas, e colaboradores usaram informações de dezenas de armadilhas fotográficas instaladas em 80 locais para calcular o total de onças-pintadas nas Américas. De acordo com a estimativa, apresentada em 2018 na revista *PLOS ONE*, existiriam hoje por volta de 173 mil onças.

Exclusivas das Américas, continente no qual entraram após se separarem há 3 milhões de anos de uma linhagem ancestral de grandes felinos na Ásia, as onças-pintadas (*Panthera onca*) estão entre os maiores carnívoros do mundo. Podem alcançar quase 2 metros de comprimento (do focinho ao início da cauda) e pesar 150 quilos. Em tamanho e força, perdem apenas para dois outros felinos evolutivamente próximos: o leão (*Panthera leo*), hoje encontrado na África subsaariana e em parte da Índia; e o tigre (*Panthera tigris*), que sobrevive em pequenas porções da Ásia. As onças são corredoras velozes, atingem até 80 quilômetros por hora, além de exímias nadadoras e hábeis escaladoras de árvores. Na natureza, vivem de 10 a 15 anos e podem ser encontradas em campos e savanas, mas preferem áreas de mata fechada, próximas de cursos d'água e distantes da presença humana.

Por influência de fatores ambientais, como cobertura florestal, temperatura, disponibilidade de alimentos e alterações na paisagem, as onças existentes hoje estão distribuídas de modo irregular por uma área de 8,9 milhões de km², metade do território que ocupavam no início do século XX, quando eram encontradas dos Estados Unidos à Argentina (*ver mapa*). Segundo os cálculos de Jędrzejewski, nove países da América do Sul, todos contendo trechos da floresta amazônica, concentrariam 93% das onças (cerca de 161 mil animais). No Brasil, onde recebe ainda o nome de jaguar, jaguaretê e canguçu, estaria o maior contingente: 86,8 mil exemplares – nove em cada 10 deles na Amazônia.

A situação da espécie é menos grave que a do leão e do tigre, dos quais restam,

respectivamente, 20 mil e 4 mil exemplares na natureza. Mas não permite descuidos. Biólogos, geneticistas e especialistas em conservação consideram que apenas uma pequena proporção dos indivíduos – no caso dos felinos, algo em torno de 10% da população – seja, de fato, capaz de procriar e contribuir para a manutenção da espécie. É a chamada população efetiva, um conceito genético que equivale aproximadamente ao conjunto de animais que colaboram reprodutivamente ao longo das gerações. Em algumas áreas de vegetação fragmentada, esse número pode ser muito baixo (por exemplo, menos de 10 indivíduos), o que gera problemas para a manutenção da diversidade genética no local.

Em 2017, a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) classificou a onça-pintada na categoria "quase ameaçada de extinção" por causa de uma redução de 20% a 25% em sua população global em 21 anos. Em uma avaliação de 2013, Morato e colaboradores haviam estimado que em 27 anos o número de onças no Brasil teria encolhido 30% e redução semelhante é projetada para as próximas três décadas. A principal ameaça à espécie, indicam vários estudos, é a perda e a fragmentação de áreas de vegetação nativa, em geral decorrente de atividades humanas como expansão agrícola, mineração, construção de hidrelétricas e abertura de estradas.

Onças são predadores solitários que precisam de grandes espaços para caçar e sobreviver. Em um grande estudo sobre o deslocamento desses felinos, o ecólogo Jeffrey Thompson, pesquisador da Associação Guyra e do Instituto Saite, ambos no Paraguai, e 60 colaboradores, vários deles do Brasil, acompanharam por anos o trajeto percorrido por 111 onças em sete países das Américas e 13 ambientes. Os resultados desse trabalho, um dos últimos assinados pelo zoólogo paulista Peter Crawshaw Junior, um dos maiores especialistas em onça do país, morto em 26 de abril deste ano em consequência da Covid-19, foram publicados em 7 de julho na revista *Current Biology*. Eles indicam que a área média de que as onças precisam para viver – a chamada área de vida – varia muito de um bioma para outro. É menor, da ordem de 60 km² a 200 km², em ambientes com vegetação mais densa e abundância de alimentos, como o Pantanal ou os Lhanos, como são chamadas as planícies de savanas da Colômbia e da Venezuela, e um pouco maior, por volta de 250 km² na Amazônia. Pode, no entanto, chegar aos 400 km² no Cerrado e na Caatinga, onde a disponibilidade de alimento é menor e a presença humana maior.

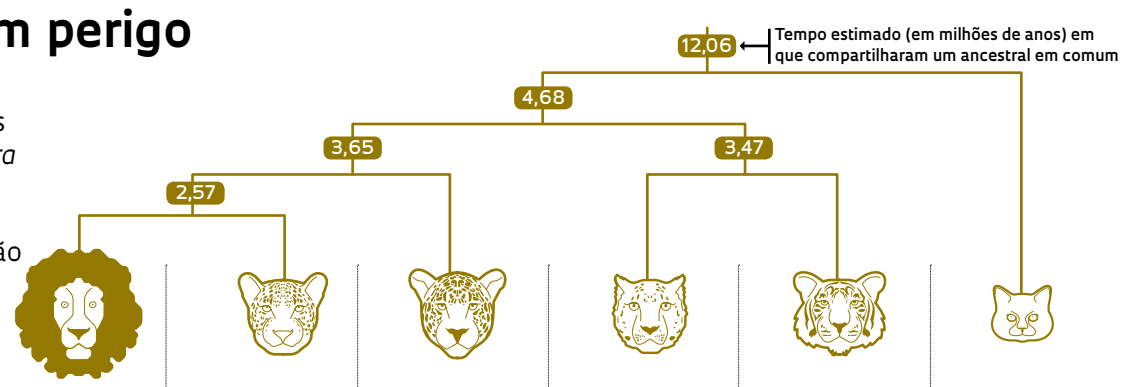
Antes da chegada do colonizador europeu, havia onças em todo o território do que viria a ser o Brasil, afirmam os estudiosos do felino. Com a derrubada de matas, porém, elas foram varridas de uma vasta faixa que vai do Nordeste ao Sul do país. Desapareceram dos Pampas e hoje sua distribuição é restrita a um terço do Cerrado, 20% da Caatinga e menos de 10% da Mata Atlântica – calcula-se que, nos dois últimos biomas, só existam algumas centenas de indivíduos. Apenas a Amazônia brasileira comporta onças em cerca de 80% de sua área.

"A Mata Atlântica representa um caso extremo de prejuízos da ação humana para a diversidade genética das onças", assegura o biólogo Eduardo Eizirik, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), um dos pioneiros no país no estudo da genética do felino. A primeira análise das populações do animal em diferentes países das Américas, conduzida por Eizirik em 2001, ajudou a confirmar que as onças atuais pertencem a uma única espécie e sem subdivisões regionais profundas. Mais recentemente, a bióloga Taiana Haag, trabalhando sob a orientação de Eizirik, comparou as características genéticas de quatro populações de onça distribuídas por remanescentes de Mata Atlântica entre os estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul e constatou que elas haviam perdido diversidade. A população de cada fragmento se tornou mais homogênea rapidamente. Em menos de 10 gerações, os indivíduos de uma mesma população ficaram geneticamente mais semelhantes entre si, enquanto os animais de um fragmento acumularam diferenças aleatórias que os tornaram mais distintos daqueles das outras áreas.

"A perda de diversidade deixa esses grupos mais suscetíveis a doenças e reduz a probabilidade de que seus integrantes se adaptem a transformações ambien-

Família em perigo

Quatro das cinco espécies de felinos do gênero *Panthera* encontram-se sob algum nível de ameaça de extinção



	Leão (*Panthera leo*)	Leopardo (*Panthera pardus*)	Onça-pintada (*Panthera onca*)	Leopardo-das-neves (*Panthera uncia*)	Tigre (*Panthera tigris*)	Gato doméstico (*Felis catus*)
Área de ocorrência	África subsaariana	África subsaariana e Ásia	Américas	Ásia Central	Ásia	universal
População em vida livre	20 mil indivíduos	centenas de milhares	173 mil indivíduos	de 4 mil a 7,5 mil indivíduos	menos de 4 mil indivíduos	de 200 a 600 milhões
Risco de extinção	vulnerável	vulnerável	quase ameaçada	vulnerável	ameaçado	não se aplica

FONTES FIGUEIRÓ, H. V. *ET AL*. **SCIENCE ADVANCES**. 2017; IUCN RED LIST; STATISTA

INFOGRÁFICOS ALEXANDRE AFFONSO

Território em retração

Fragmentação da vegetação nativa reduziu área de ocorrência das onças

Até o início do século XX, as onças-pintadas se distribuíam nas Américas por quase 17,6 milhões de km², do sul dos Estados Unidos até o centro da Argentina. Hoje ocupam aproximadamente metade dessa área, cerca de 8,9 milhões de km²

FONTES JEDRZEJEWSKI, W. *ET AL.* **PLOS ONE**. 2018

tais", explica a bióloga Caroline Sartor, da equipe da PUC-RS. Ela trabalha na caracterização genética de onças em cativeiro vindas da natureza. A ideia é reunir um grupo de animais que represente a diversidade genética encontrada nos ambientes mais ameaçados, como a Mata Atlântica, para, caso seja necessário, realizar uma possível reintrodução mais adequada para restaurar essa diversidade. "Uma dificuldade", ela antecipa, "será obter um número suficiente de indivíduos para o plantel reprodutor que represente a diversidade encontrada na natureza".

Outros trabalhos conduzidos pelo grupo da PUC-RS estão ajudando a corroborar que o efeito observado sobre a população de onças da Mata Atlântica seria decorrente da ação humana, que tornou a vegetação nativa fragmentada a ponto de impedir que onças se desloquem por grandes distâncias e cruzem com indivíduos de populações diferentes.

No Pantanal, onde a alimentação é farta e as onças atingem o maior porte registrado atualmente, o biólogo Daniel Kantek analisou o perfil genético de 110 animais que ocupam duas regiões geograficamente distintas. Parte deles vive na porção norte do bioma, no estado de Mato Grosso, gravemente atingida por incêndios no segundo semestre de 2020, e o restante em áreas de vegetação nativa em fazendas particulares em Mato Grosso do Sul. Apesar de algumas centenas de quilômetros (km) separarem os dois grupos, do ponto de vista genético, eles integram uma única população, com bom nível de variabilidade gênica, segundo as conclusões do trabalho, publicado em julho na *Biological Conservation*. "As matas de galeria dos rios Paraguai e Cuiabá parecem funcionar como um corredor ecológico, permitindo o trânsito de animais de um grupo para outro e a miscigenação", relata Kantek, que é analista ambiental do ICMBio.

Gustavo Lorenzana, ecólogo mexicano que realizou o doutorado sob orientação de Eizirik, havia observado algo semelhante na Amazônia. Assim como no Pantanal, lá as onças mantêm um índice de diversidade genética elevado e funcionam como uma população única, mantendo a troca de genes entre os indivíduos, mesmo a distâncias superiores a 3 mil km. Para os pesquisadores, a alta diversidade e o intercâmbio gênico deveriam ser comuns também em outros biomas antes da chegada dos europeus às Américas. "Só alterações na paisagem intensas como as causadas pela ação humana seriam capazes de explicar a perda de diversidade das onças da Mata Atlântica", afirma Eizirik.

Uma análise inicial dos genes ativos (exoma) de 113 onças de cinco biomas brasileiros, realizada pelo biólogo Henrique Figueiró, durante seu doutorado na PUC-RS, sugere que os animais da Amazônia sejam geneticamente mais próximos aos da Mata Atlântica, da Caatinga e do Cerrado do que os do Pantanal, onde a diversidade genética também é elevada. "Em teoria, seria mais adequado repovoar as áreas de Mata Atlântica com indivíduos trazidos da Amazônia do que com animais vindos do Pantanal. Por causa da semelhança genética maior, os animais da Amazônia poderiam se adaptar melhor à Mata Atlântica", sugere Figueiró, que em 2017 liderou o sequenciamento completo do genoma da onça-pintada – a partir do material genético do Vagalume, um macho capturado ainda filhote no Pantanal após a morte da mãe – e constatou que algumas características do animal, como a musculatura do crânio (proporcionalmente maior do que a de outros grandes felinos) e a robustez dos membros anteriores, foram provavelmente selecionadas pelo ambiente e se fixaram na espécie.

Em paralelo aos esforços para viabilizar a reprodução em cativeiro e a translocação de indivíduos de um bioma para outro para a conservação da espécie, uma estratégia básica e fundamental é preservar o máximo possível a vegetação nativa e as populações atuais de onça, que funcionariam como uma reserva genética. "O futuro das onças está em nossas mãos", afirma Morato, do ICMBio. "O papel do país na conservação desses felinos é muito importante." ■

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

A SAGA DO PARATETHYS

Maior lago do mundo se formou 12 milhões de anos atrás e, quando desapareceu, deu origem aos mares Cáspio e Negro

Eduardo Geraque

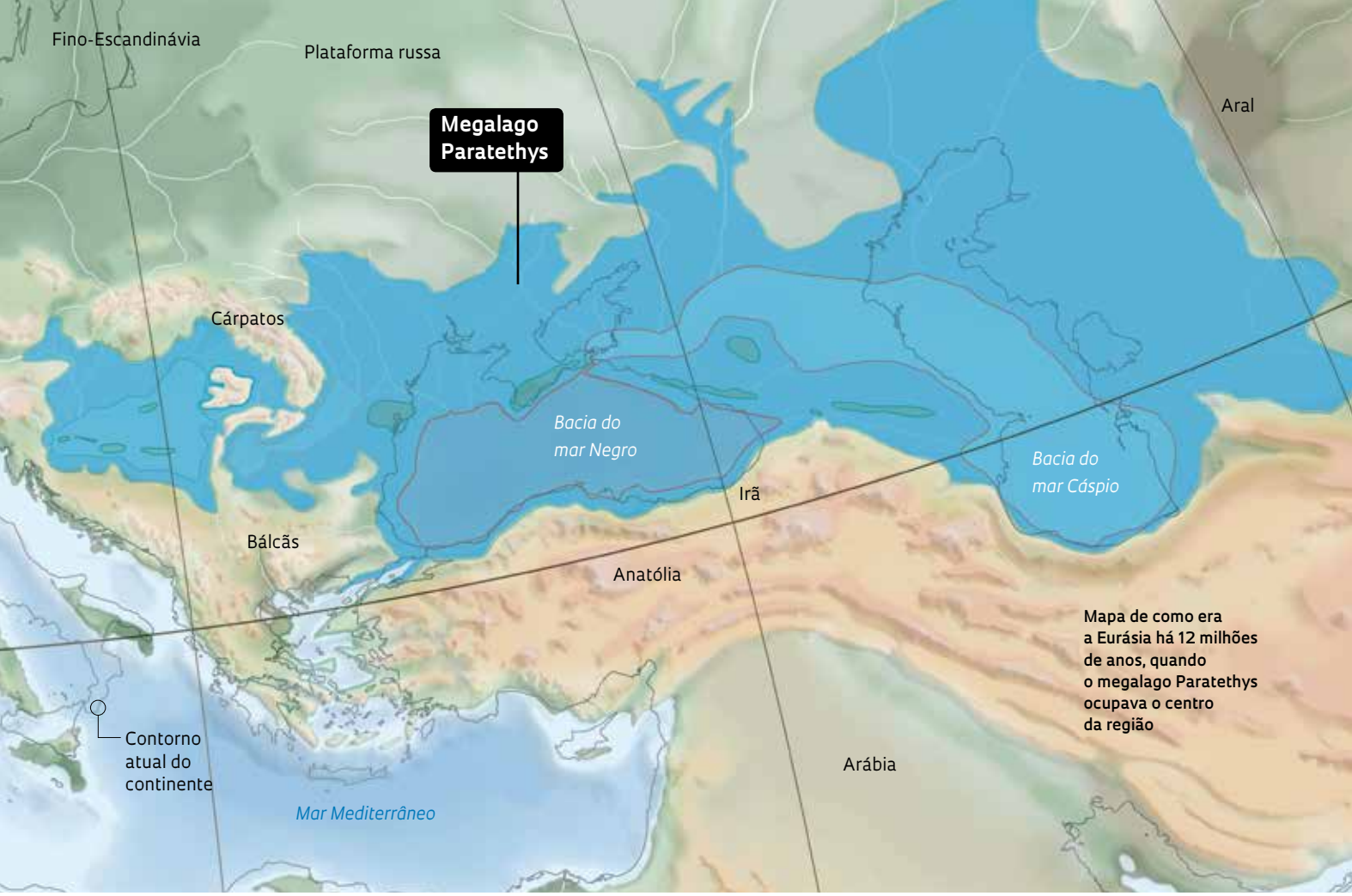
MAPA PALCU, D. V. *ET AL.* SCIENTIFIC REPORTS, 2021

Há aproximadamente 12 milhões de anos, a Europa apresentava um desenho bem diferente do atual. A oeste havia um arquipélago que a separava da África. Ao sul, as massas de terra dos Bálcãs e da Ásia Menor (a atual Turquia) também estavam desconectadas, abrindo espaço para a formação de lagos que dariam origem ao mar Egeu. Sua formação natural mais espetacular era um gigantesco lago, o Paratethys, um corpo de água salobra que ocupava uma área cerca de 10% maior do que o Mediterrâneo atual e se encontrava encaixado entre o leste dos Alpes, no centro da Europa, e o moderno Cazaquistão, na Ásia. Não se sabe quando exatamente o Paratethys se isolou da porção norte de um antigo oceano global, mas um estudo publicado em junho no periódico *Scientific Reports* indica mais precisamente quais eram os limites do maior lago conhecido formado sobre a Terra e como foi sua conturbada história geológica do início ao fim, marcada por expansões e encolhimentos. Os mares Cáspio, Negro e de Aral são resquícios modernos do megalago, que deixou de existir ao se reconectar ao oceano por volta de 6,9 milhões de anos atrás.

As dimensões desse grande corpo de água aprisionado, hoje desaparecido, surpreenderam os pesquisadores. "Após analisar mapas e dados, quando finalmente calculamos a superfície e o volume de água do lago, ficamos espantados. Ele era muito maior do que imaginávamos. Refizemos as medições várias vezes para nos certificar de que estávamos certos", afirma o geólogo romeno Dan Palcu, principal autor do artigo, que faz estágio de pós-doutorado no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP) com bolsa da FAPESP e iniciou os estudos na região durante seu doutorado na Universidade de Utrecht, nos Países Baixos. No auge do Paratethys, suas águas salobras chegaram a se espalhar por uma área de 2,8 milhões de quilômetros quadrados. O lago, em sua época de maior esplendor, armazenou 1,77 milhão de quilômetros cúbicos (km^3) de água, mais de 10 vezes o conteúdo líquido de todos os lagos modernos.

O interesse de Palcu pelo antigo megalago surgiu durante a infância, nas montanhas da Transilvânia. Mesmo morando a várias centenas de quilômetros do oceano, ele formou uma coleção de fósseis marinhos, todos encontrados no quintal de casa. "Para ir ao mar mais próximo, que era o Negro, precisava cruzar duas montanhas e viajar quase 1.000 km", recorda o geólogo. A profusão de vestígios desse tipo era um sinal de que, como diziam os livros, houvera ali em um passado remoto um grande lago com água salobra ou uma espécie de mar interno.

Para recontar a história do Paratethys, Palcu e colegas da Romênia, da Rússia, da Holanda e da Alemanha, coautores do estudo, usaram dados estratigráficos, de diferentes camadas de rochas da região, e reconstruções paleogeográficas feitas em modelos 3D. Os trabalhos de sedimentologia e paleomagnetismo ocorreram a partir de amostras de camadas coletadas nas regiões do Cárpatos do leste e do sul da Romênia, da costa oeste



Mapa de como era a Eurásia há 12 milhões de anos, quando o megalago Paratethys ocupava o centro da região

e sul do mar Negro (Bulgária e Turquia) e dos vales ao sul das montanhas do Cáucaso (Geórgia e Azerbaijão). Apesar de os pesquisadores terem conseguido estabelecer uma linha do tempo das idas e vindas do megalago, muitas questões ainda permanecem em aberto.

CHEIAS, SECAS E BALEIAS-ANÃS

Durante o período de maior estabilidade do Paratethys, entre 11,6 milhões e 9,75 milhões de anos atrás, uma fauna peculiar se desenvolveu naquele mundo aquático à parte, sem nenhum tipo de conexão com outros oceanos. Foi nesse intervalo de tempo que versões menores de baleias e golfinhos que viviam originalmente nos mares se adaptaram ao interior do megalago. Espécies como *Cetotherium riabinini*, um tipo extinto de baleia-anã, com apenas 3 metros de comprimento, são originárias das águas fechadas de Paratethys.

Há 9,6 milhões de anos, o megalago passou a sentir mais fortemente algumas mudanças climáticas. Uma fase mais seca fez com que o nível das águas regredisse 150 metros. Com isso, surgiram bacias mais periféricas de água doce e uma área central bem mais salgada, onde está o atual mar Negro. Com a divisão, por causa da mudança bioquímica na água, muitas espécies não sobreviveram. Entre 9,5 milhões e 7,65 milhões de anos atrás, o megalago passou por três períodos de enchimento e três etapas de dessecação (perda de água) parcial.

Nos momentos de cheia, a fauna que sobreviveu aos pequenos cataclismas conseguiu repovoar as águas do Paratethys. Mas a mais recente seca, entre 7,9 milhões de anos e 7,65 milhões de anos, atingiu proporções inéditas. As águas baixaram 250 metros. Com a nova divisão das bacias periféricas e centrais a toxicidade da água atingiu níveis elevados. Mais uma grande extinção ocorreu. Logo depois, a região voltou a passar por um grande período úmido e as chuvas e a água que chegavam pelos rios fizeram o lago voltar aos níveis dos tempos de estabilidade. Por fim, há 6,7 milhões de anos a região se conectou novamente com o oceano, por meio do mar Egeu.

Durante os episódios de dessecação parcial, até um terço da água de Paratethys foi perdida por evaporação e sua superfície reduziu-se em 70%. "Esse deve ter sido um mundo pré-histórico pós-apocalíptico, uma versão aquática das terras devastadas dos filmes *Mad Max*", compara o geólogo holandês Wout Krijgsman, da Universidade de Utrecht, coautor do artigo. A fauna do megalago apresenta muitos mistérios que permanecem sem solução. A maioria das espécies morreu. As poucas que sobreviveram desenvolveram descendentes muito resistentes que causam problemas em outros lagos. "Alguns moluscos conseguiram refúgio e evoluíram por milhões de anos na região do mar Cáspio", conta Palcu. "Na década de 1950, quando os rios Volga e Dom na Rússia passaram a se conectar ao mar por meio de uma rede de canais que passam pelos mares Cáspio e Negro, alguns moluscos pegaram carona em navios e chegaram até os grandes lagos norte-americanos, onde dizimaram espécies nativas."

Camadas avermelhadas de rochas na costa do mar Negro, na Bulgária, são originárias dos períodos de seca enfrentados pelo Paratethys

As mudanças climáticas atuais podem fazer com que a conturbada história geológica do Paratethys volte a se repetir entre os corpos de água da moderna Eurásia. O mar Cáspio, o maior lago salgado do planeta, está ameaçado de dessecação, e o Negro, na parte que banha a Turquia, sofre em razão de um desastre ecológico recente. Uma gosma verde que se forma a partir das algas apareceu em grande quantidade em suas águas, um fenômeno atribuído à poluição e alterações no clima. Com os dados obtidos agora sobre a evolução do antigo megalago, os pesquisadores esperam contribuir para o desenvolvimento de modelos que possam prever com mais segurança o que pode ocorrer no interior dos continentes em épocas de estresse ambiental. "Quando comparamos a cronologia das crises enfrentadas pelo Paratethys com a história da Eurásia, observamos que os períodos críticos coincidem com mudanças na paisagem em toda essa região, com episódios de aridez na Arábia ou a perda de florestas tropicais, por exemplo, na Espanha", comenta Palcu. "Não temos uma hipótese pronta sobre isso, mas parece que essas crises não são locais. Elas geram um efeito dominó que pode impactar regiões a milhares de quilômetros de distância."

A evolução do antigo megalago da Eurásia também pode ser útil para entender melhor um fenômeno submerso encontrado perto da costa da região Sudeste do Brasil, o chamado pré-sal, depósitos ricos em petróleo e gás localizados abaixo de uma camada de sal situada entre 3.500 e 5.500 metros de profundidade do fundo do mar. "Ambientes como o do Paratethys, principalmente durante os períodos de dessecação parcial, devem ter sido similares às bacias que formaram o pré-sal do Atlântico", compara o geólogo marinho italiano Luigi Jovane, do IO-USP, supervisor do pós-doutorado de Palcu. Segundo ele, o estudo sobre o Paratethys pode se tornar uma referência na compreensão dos lagos do pré-sal que surgiram antes da abertura do oceano Atlântico.

Suas histórias geológicas apresentam os mesmos ingredientes, mas com ordens invertidas. Na Eurásia, um oceano se transformou em um mar interno em razão de episódios de deposição de sal. Do lado de cá, a sequência do processo se deu ao contrário. "Primeiro, existiram lagos e, em seguida, formou-se o Atlântico Sul. Por essa analogia, a fase do megalago na Eurásia corresponde à do surgimento do pré-sal. Lá a história geológica está mais acessível, depositada em montanhas e morros, e é possível construir uma imagem precisa do passado. Aqui, essa história está no fundo do mar", explica Jovane. ■

Projeto

Análise paleomagnética nos arquivos sedimentares de oceanos e mares epicontinentais para estudar estratificação dos oceanos e anoxia (nº 18/20733-6); **Modalidade** Bolsa de Pós-doutorado; **Pesquisador responsável** Luigi Jovane (USP); **Bolsista** Dan Palcu; **Investimento** R$ 305.246,34.

Artigo científico

PALCU, D. V. *et al.* Late Miocene megalake regressions in Eurasia. **Scientific Reports**. 1º jun. 2021.

DAN PALCU

OS GERMES DAS METRÓPOLES

Levantamento genômico aponta 31 bactérias como os microrganismos predominantes em locais públicos de 60 cidades do mundo

Tiago Jokura

LÉO RAMOS CHAVES

Bancos do parque Trianon, em São Paulo, foram um dos pontos de coleta de amostras do microbioma

Pesquisadores de todos os continentes divulgaram em junho o que pode ser considerado o primeiro catálogo mundial do ecossistema microbiano de áreas urbanas. Por meio de 4.728 amostras coletadas nas ruas, em solas de sapato, no transporte público e em hospitais por três anos, o grupo mapeou geneticamente a microbiota – o conjunto de bactérias, vírus, fungos e outros microrganismos – de 60 cidades de 32 países, três delas no Brasil. Uma das principais descobertas do estudo é que 31 espécies de bactérias aparecem em 97% das amostras. Elas formam um núcleo central de microrganismos predominantes em centros urbanos de todo o mundo.

Nesse grupo, três bactérias se destacam por sua grande abundância: *Cutibacterium acnes*, encontrada na pele humana e que favorece o aparecimento de espinhas; *Bradyrhizobium* sp. *BTAi1*, microrganismo presente usualmente no solo, que fixa o nitrogênio nas plantas; e *Micrococcus luteus*, bactéria que vive no solo e na pele humana e já foi relacionada a eventos esporádicos de infecções adquiridas em hospitais. No total, o trabalho identificou 4.246 espécies de microrganismos. Entre as novas espécies não catalogadas pela ciência, foram anotados 10.928 vírus, 1.302 bactérias e duas arqueias (seres unicelulares semelhantes às bactérias). O Sars-CoV-2, causador da Covid-19, é um vírus de RNA e não aparece no estudo, que foi voltado a microorganismos com genomas de DNA. Além disso, as amostras de microbioma urbano foram obtidas antes do aparecimento da pandemia.

Com esse tipo de monitoramento, é possível observar a dispersão de microrganismos localmente, dentro das cidades, e acompanhar sua disseminação em escala global, algo de grande utilidade em um contexto de pandemia, além de detectar genes de resistência a antibióticos no caso das bactérias. O estudo é fruto da colaboração entre cientistas especializados em genômica, análise de dados, engenharia, epidemiologia e saúde pública que formam o consórcio MetaSUB, abreviação de Metagenômica e Metadesign de Metrôs e Biomas Urbanos.

A origem desse projeto remonta a 2013, quando o geneticista Christopher Mason, da Universidade Cornell, nos Estados Unidos, começou a coletar amostras microbiológicas no metrô de Nova York. "Toda vez que sentamos no metrô provavelmente estamos nos deslocando ao lado de uma espécie totalmente nova de microrganismo", diz Mason, em material de divulgação do trabalho. Logo após o geneticista norte-americano publicar seu primeiro artigo sobre o tema, pesquisadores do mundo inteiro o procuraram com o intuito de fazer análises semelhantes em suas cidades. Dentre eles, estava o biólogo molecular brasileiro Emmanuel Dias-Neto.

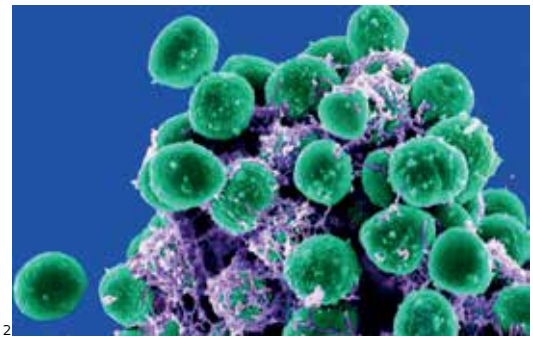
"No início dos anos 2010, comecei a investigar a associação de bactérias com a ocorrência de câncer de boca. Muitas vezes voltava para casa de metrô e ficava imaginando que microrganismos estavam viajando ali comigo e como achar um jeito de estudá-los. Um colega tinha lido sobre um projeto parecido em Nova York. Entrei em contato com os autores do trabalho e me chamaram para participar da primeira reunião, em 2016", lembra o diretor do consórcio MetaSUB para a América do Sul e chefe do Laboratório de Genômica Médica do Centro Internacional de Pesquisas (Cipe) do A.C.Camargo Cancer Center. Dias-Neto coordenou a coleta das 199 amostras brasileiras que fizeram parte do estudo nas cidades de Ribeirão Preto, interior paulista, Rio de Janeiro e São Paulo.

O protocolo de coleta das amostras envolve o uso de um *swab*, espécie de cotonete com material sintético na ponta. O *swab* é mergulhado numa solução que preserva o DNA e a ponta úmida é passada por três minutos na superfície selecionada para fornecer a amostra. Dados como as coordenadas de latitude e longitude, a temperatura, a umidade do ar e a quantidade de pessoas circulando no local também são anotados. O material é então colocado em um tubo que não precisa de refrigeração. Todas as coletas ao redor do mundo são enviadas para Nova York, onde são analisadas em um mesmo equipamento, seguindo a mesma metodologia. "Cerca de 30 amostras vieram de São Paulo, especialmente de bancos de praça e de parques, como no Trianon, na avenida Paulista, e das dependências do A.C.Camargo", conta Dias-Neto. Além de locais públicos, bicicletas de uso comum e solas de sapato, as coletas, no Rio de Janeiro, incluíram o metrô e a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e, em Riberão Preto, o *campus* da Universidade de São Paulo (USP) e pontos de ônibus. Os pesquisadores Houtan Noushmehr, da USP, e Milton Ozório Moraes, da Fiocruz, também participaram do estudo.

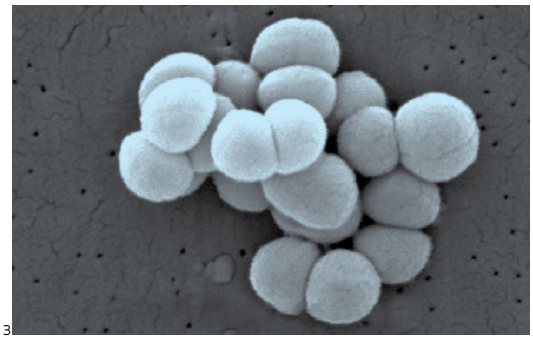
Na capital paulista, o Monumento às Bandeiras forneceu uma amostra interessante. Em alguns pontos da superfície da escultura, foram identificadas duas comunidades de diferentes microrganismos em conflito. Por cima de um biofilme branco, composto por bactérias, havia uma película escura, formada por fungos. "Para invadir o espaço da bactéria, o fungo produz substâncias antibacterianas. A bactéria, por sua vez, defende-se produzindo substâncias antifúngicas", explica Dias-Neto. "Sequenciamos essa borda de contato entre os biofilmes na esperança de encontrar algo que possa dar origem a um fármaco."

As informações reunidas pelo MetaSUB podem vir a ser úteis em investigações criminais. Embora exista um grupo de microrganismos comuns aos microbiomas das zonas urbanas

1



2



3

Imagens de três dos microrganismos encontrados com mais frequência no microbioma das cidades (*do alto para baixo*): as bactérias *Cutibacterium acnes*, *Staphylococcus epidermidis* e *Micrococcus luteus*

em escala global, cada cidade mapeada apresenta um conjunto particular de microrganismos que funciona como assinatura típica de seu microbioma. Em São Paulo, por exemplo, uma espécie de vírus (*Meleagrid alphaherpesvirus 1*) e duas de bactérias (*Pandoraea vervacti* e *Paraburkholderia terrae*) são consideradas marcadoras do conjunto de microrganismos da cidade. No Rio de Janeiro, esse papel é atribuído a uma cianobactéria (*Prochlorococcus* sp. *MIT 0604*), microrganismo que faz fotossíntese e era denominado antigamente de alga azul, e a dois vírus que infectam cianobactérias (*Synechococcus phage S-SSM4* e *Synechococcus phage S-SM1*). "Para uso forense, é possível, por exemplo, observar o material biológico depositado na sola do sapato de uma pessoa e saber por qual cidade ela andou", destaca Dias-Neto.

O MetaSUB disponibiliza uma ferramenta de visualização on-line (https://pangeabio.io/staticd/metasub-map-all-public-html/index.html), por meio da qual é possível navegar pelo mapa-múndi por detalhes sobre as amostras coletadas em cada localidade. É possível, por exemplo, pesquisar por tipo de microrganismo e verificar em que cidades ele ocorre. Em breve, o projeto deve publicar um artigo com dados coletados durante a Olimpíada de 2016, no Rio de Janeiro. O estudo analisa se a presença de turistas de todo o mundo – que trouxeram o microbioma típico de suas cidades e entraram em contato no metrô carioca com bactérias e vírus presentes na capital fluminense – alterou o perfil dos microrganismos encontrados no Rio de Janeiro.

Outro estudo global, coordenado por Manuel Delgado-Baquerizo, da Universidade Pablo de Olavide (UPO), na Espanha, investigou a comunidade microbiana escondida em solos de parques e jardins de 56 cidades do mundo de 17 países, como Beijing, na China, Santiago, no Chile, e Belo Horizonte, no Brasil. O interesse pelo tema se deve ao fato de a população humana entrar frequentemente em contato com os microrganismos das áreas verdes urbanas durante a prática de atividades de lazer e de esportes, um tipo de intercâmbio que fortalece o sistema imunológico. Publicado em julho no periódico *Science Advances*, o trabalho indica que parques e jardins urbanos têm uma diversidade diferente de microrganismos dos ecossistemas naturais próximos. Esse é um padrão que ocorre em todo o mundo. Em comparação com áreas naturais vizinhas às cidades, os solos de parques e jardins favorecem uma proporção maior de fungos patogênicos para plantas e uma dominância menor de organismos simbióticos que favorecem o crescimento da vegetação. Esses solos de áreas verdes em cidades também têm uma proporção maior de genes associados a patógenos humanos, à resistência a antibióticos e à proteção contra estresse ambiental.

"Observamos que as comunidades microbianas nos parques de distintas cidades diferem menos umas das outras e são mais homogêneas do que as de áreas naturais, como florestas", explica Gabriel Peñaloza-Bojacá, doutorando em biologia vegetal pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), que coletou amostras do solo na Região Metropolitana de Belo Horizonte em áreas verdes urbanas e no campo. "Nossas análises mostram uma semelhança maior na composição da comunidade de arqueias, bactérias, fungos e protistas (organismos unicelulares eucarióticos, isto é, com células nucleadas) nos 56 espaços verdes urbanos investigados do que nos ecossistemas naturais correspondentes." ■

Artigos

DANKO, D. *et al.* A global metagenomic map of urban microbiomes and antimicrobial resistance. **Cell**. 26 mai. 2021.

DELGADO-BAQUERIZO, M. *et al.* Global homogenization of the structure and function in the soil microbiome of urban greenspaces. **Science Advances**. 9 jul. 2021.

FOTOS 1 CDC/BOBBY STRONG 2 NIAID 3 CDC/BETSY CRANE

A URNA ELETRÔNICA NA MATURIDADE

A digitalização trouxe agilidade e estabilidade para um processo que, no passado, era marcado por fraudes e desconfiança

Tiago Jokura

Passados 25 anos da mudança do sistema de votos no país, de papel para eletrônico, o modelo de urna utilizada está em sua 12ª versão. Nesse período, não houve evidência de fraude no sistema de votação usado na escolha dos representantes nos poderes Executivo e Legislativo. O sucesso da iniciativa ocorre pelo aprimoramento constante do sistema, por meio de testes públicos de segurança, sugestões de empresas de tecnologia e pela interação com pesquisadores de universidades e institutos de pesquisa. As dúvidas sobre a lisura do método, no entanto, nunca deixaram de existir e se intensificam quando as eleições se aproximam.

O mais recente "ataque" à urna eletrônica veio do Legislativo federal. Desde 2019, tramita na Câmara dos Deputados a Proposta de Emenda à Constituição (PEC) nº 135/19, de autoria da parlamentar Bia Kicis (PSL/DF). A ideia é acrescentar ao processo eleitoral a impressão em papel do que o eleitor digitou na urna eletrônica, criando um registro físico que pode ser conferido no momento da votação e, posteriormente, servir como instrumento de auditoria e eventual recontagem de votos.

Os membros do Tribunal Superior Eleitoral (TSE) discordam da PEC e não enxergam razões para duvidar do sistema, usado pela primeira vez em 1996. A urna eletrônica foi projetada para evitar a interferência humana em dois momentos cruciais: no ato de votar e na contagem dos votos. Para o presidente do TSE e ministro do Supremo Tribunal Federal (STF), Luís Roberto Barroso, a volta do voto impresso no Brasil, país de dimensões continentais e herança política clientelista, pode significar o retorno das fraudes que por tanto tempo fizeram parte do processo eleitoral.

Em entrevista coletiva concedida em junho, após a apresentação do sistema eletrônico de votação aos membros da comissão da Câmara dos Deputados que discutia a PEC, Barroso alertou que o voto impresso vai potencializar o discurso da fraude. "Vão pedir, como já se pediu aqui, a contagem pública de 150 milhões de votos. E contagem pública só pode ser manual. Então, nós vamos entrar num túnel do tempo e voltar à épo-

Urnas em preparação para as eleições de 2018 na sede do Tribunal Regional Eleitoral (TRE), em Belo Horizonte

DOUGLAS MAGNO / AFP / GETTY IMAGES

ca das fraudes, em que as pessoas comiam votos, as urnas desapareciam, apareciam votos novos. Vamos produzir um resultado muito ruim", disse.

A primeira versão da urna eletrônica foi utilizada em 57 municípios com mais de 200 mil eleitores. Na eleição nacional de 2002, todo o país já votava de modo eletrônico substituindo as cédulas de papel. Hoje, há 550 mil urnas disponíveis para as 460 mil seções eleitorais do país. O custo do modelo atual é de R$ 4 mil, com vida útil mínima de 10 anos. As especificações do equipamento são estipuladas pelo TSE, que abre uma licitação para empresas se candidatarem a fabricar o dispositivo. Os programas que rodam na urna para registrar e contabilizar os votos são concebidos e desenvolvidos internamente por uma equipe do TSE. Esse cuidado, de centralizar o desenvolvimento do hardware e dos softwares eleitorais, é o que o TSE avalia como um dos pontos fortes da segurança do processo. "Outros países usam o que chamamos de 'urna de prateleira', com soluções de mercado desenvolvidas por empresas. Não é o nosso caso. Além da urna, que licitamos de acordo com uma arquitetura de segurança especificada por nós, o sistema operacional, baseado em Linux, e os aplicativos relacionados à eleição são feitos por equipes da casa", informa o analista de sistemas Celio Castro Wermelinger, assessor da Secretaria de Modernização, Gestão Estratégica e Socioambiental do TSE.

DISCORDÂNCIAS

A confiança de Wermelinger na urna não é compartilhada por todos os pesquisadores que estudam essa área. Alguns argumentam que a tecnologia de votação empregada no Brasil hoje não representa o estado da arte dos sistemas eleitorais. "A digitalização trouxe agilidade e estabilidade para um processo que, no passado, era marcado por fraudes e desconfiança", avalia Jeroen van de Graaf, do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). "O problema, agora, é que o eleitor precisa confiar cegamente em como o TSE estrutura o sistema eleitoral, baseado no conceito de segurança por obscuridade, algo que combina com uma lógica

militar e de serviços de inteligência, e não com uma sociedade civil democrática e transparente."

Atualmente, grande parte da comunidade científica de tecnologia da informação é favorável ao conceito de independência de software que vai na direção oposta ao sistema do TSE. "A ideia é que o sistema de votação seja transparente e qualquer pessoa possa verificar se o software funciona corretamente", explica Diego Aranha, professor associado de segurança de sistemas na Universidade de Aarhus, na Dinamarca. Por duas vezes, Aranha expôs vulnerabilidades da urna. Na primeira, em 2012, quando estava na Universidade de Brasília, demonstrou ser possível saber em quem cada eleitor votou ao desembaralhar o Registro Digital de Voto (RDV), um arquivo em formato de planilha que armazena os votos digitados em linhas e colunas aleatórias. Na segunda, em 2017, conseguiu adulterar o software de votação antes de ser instalado de forma a tornar seu comportamento malicioso.

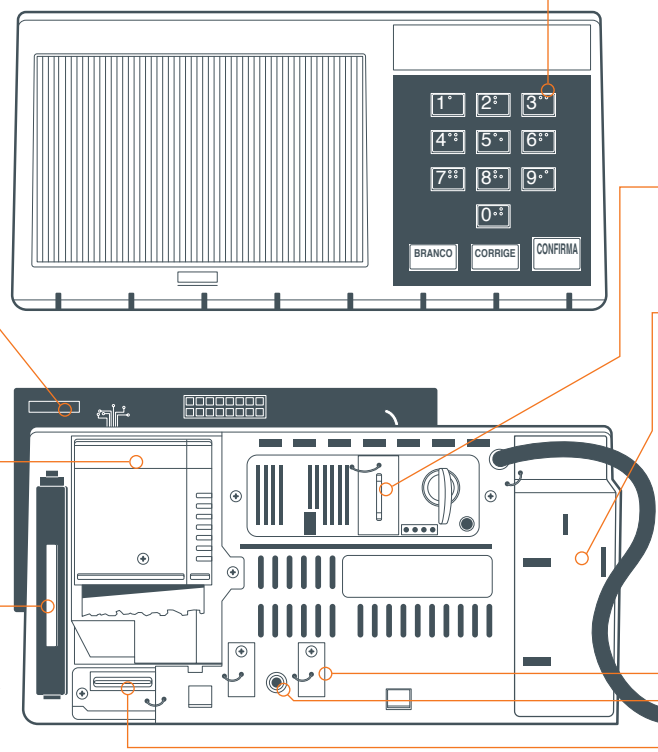
Esses ataques aconteceram durante testes de segurança organizados pelo TSE com o objetivo de identificar eventuais falhas de segurança da urna. "Os especialistas atacam o sistema e as vulnerabilidades identificadas são corrigidas", explica Wermelinger. Segundo ele, em 2009, um atacante convidado detectou a frequência de radiotransmissão emitida pelas teclas pressionadas, quebrando o sigilo do voto. Seria difícil fazer um ataque assim em uma situação real, considerando o movimento na seção eleitoral e a presença de votantes e mesários. "Ainda assim, modificamos o teclado das urnas e, por meio de uma blindagem, o sinal não se propaga mais", descreve Wermelinger.

O analista do TSE também cita outras medidas adotadas pelo tribunal para atestar a confiabilidade do sistema. Há a impressão da zerésima – relatório impresso que demonstra não haver nenhum voto registrado na urna no início da votação – e os testes paralelos, feitos com urnas sorteadas para uma simulação de eleição, toda filmada, em que o eleitor vota na urna e em um papel e os votos são conferidos ao final. E é recorrente a atualização dos procedimentos criptográficos a fim de tornar inviável a decodificação das chaves de segurança necessárias para acessar softwares e hardware da urna, que não é conectada à internet.

Paulo Matias, do Departamento de Computação da Universidade Federal de São Carlos, faz uma ressalva aos argumentos de Wermelinger: "Um invasor não precisa passar por cada um desses protocolos de segurança. Se encontrar uma brecha, está dentro do sistema". Aranha complementa: "O eleitor não tem garantia de que os softwares não

Raio X da máquina

Conheça os principais componentes da urna eletrônica



PLACA-MÃE
Seus principais componentes são duas memórias (uma fixa e outra removível, para o caso de a urna precisar ser trocada por uma de contingência) e o hardware de segurança, que gerencia a criptografia e as assinaturas digitais a fim de garantir que somente softwares do TSE rodem na urna

IMPRESSORA TÉRMICA
Essa unidade de impressão, semelhante à de máquinas de cobrança em cartão, emite o boletim de urna, com a contagem total ao término da votação, bem como a zerésima, atestando que a urna não contém votos no início do pleito

MEMÓRIA DE RESULTADO
Os votos registrados pela urna são depositados nesse pen drive. Após ser inserido, a urna é lacrada com uma etiqueta que acusa qualquer tentativa de violação

TECLADO
A disposição das teclas, parecidas com as do telefone, visa facilitar o voto para quem não sabe ler ou tem baixa visão. Todas as teclas têm código braile. A comunicação entre ele e a placa mãe é criptografada

BATERIA EXTERNA
Se faltar luz e a bateria interna acabar, há essa terceira via de alimentação

BATERIA INTERNA
Com duração de até 13 horas, é acionada quando falta energia elétrica na seção eleitoral

USB
Outra opção de gravação redundante é utilizar pen drives comuns em uma das duas saídas USB

ÁUDIO PARA DEFICIENTES
Saída de áudio auxilia eleitores cegos ou com baixa visão

MEMÓRIA FLASH
A urna também grava dados em um cartão de memória flash, que garante redundância dos dados caso a memória principal seja danificada

FONTE TSE

INFOGRÁFICO ALEXANDRE AFFONSO

Panorama global

Outros países usam tecnologias similares à brasileira

Dezessete países de um total de 176 analisados pelo International Institute for Democracy and Electoral Assistance adotam terminais de registro semelhantes à urna brasileira. "A maioria dos processos eleitorais eletrônicos tem um voto físico vinculado à informação digital. Em vários estados americanos, o eleitor preenche um formulário assinalando suas opções com uma caneta. Esses votos podem ser acumulados e escaneados de uma só vez, automaticamente, ou escaneados quando são depositados", descreve Paulo Matias, da Universidade Federal de São Carlos. "Na Argentina, vota-se numa máquina, mas as informações não ficam nela. Vai tudo para a cédula, impressa com um chip de identificação."

Na Índia, o voto eletrônico começou nos anos 1990 e, assim como no Brasil, diminuiu as fraudes e agilizou a contagem. Também elevou a representatividade dos mais pobres: para os analfabetos, preencher votos no papel era mais difícil do que apertar teclas. O índice de votos nulos nessa camada da população caiu significativamente. Desde 2013, a Índia imprime os votos digitados nas urnas.

Na Estônia, os eleitores têm a opção de voto pela internet. Em 2019, 44% dos estonianos (mais de 247 mil eleitores) votaram on-line, por meio de um aplicativo de computador.

foram adulterados antes de serem instalados nas urnas, poucas semanas antes da eleição".

Embora os pesquisadores apontem vulnerabilidades da urna e questionem a maneira como o TSE a desenvolve, todos os ouvidos por *Pesquisa FAPESP* concordam que não há evidências de fraudes. "Não tenho motivos para dizer que já houve fraudes com a urna eletrônica, embora siga afirmando que ela é projetada para não ser transparente nem auditável", ressalta Van de Graaf. Segundo Aranha, materializar o voto é fundamental para auditar a urna eletrônica. "Um sistema de votação transparente deve produzir registros físicos para que um auditor sem especialização seja capaz de verificar se o resultado está correto sem depender do software", afirma o pesquisador. O objetivo é que qualquer problema indetectável no software não gere um impacto indetectável nos resultados.

Barroso, do TSE, não vê como a auditoria via impressão em papel melhore o sistema. "Qual o sentido de criar um mecanismo de auditoria, o voto impresso, menos seguro que o objeto da auditoria, o voto eletrônico?", questionou o ministro durante simpósio sobre o sistema político brasileiro, em 5 de julho. Segundo ele, o sistema já tem 10 etapas de auditoria e todas preveem a participação dos partidos políticos.

Durante a palestra, Barroso contou que o TSE vai começar a ampliar o número de urnas auditadas de forma independente a cada eleição para verificar se os votos computados são iguais aos que chegam ao tribunal. "Na véspera das eleições, com as urnas já em seus locais, 100 delas são sorteadas no Brasil inteiro. São tiradas de onde estão e levadas ao TRE", diz. "Ali, são submetidas a uma auditagem com uma empresa de auditoria independente e, em um ambiente controlado, com filmagem, o voto é passado de uma cédula para a urna eletrônica e depois impresso, e a empresa de auditoria verifica se o que saiu é idêntico ao que entrou."

O ministro se preocupa também com a logística para a implantação do voto impresso e com a possível judicialização que pode advir caso ele seja aprovado pelo Parlamento. "Qual a razão pela qual o TSE tem se empenhado contrariamente ao voto impresso? É que nós vamos ter que transportar 150 milhões de votos no país do roubo de carga, da milícia, do Comando Vermelho, do PCC, do Amigos do Norte. Já há aí um primeiro problema", declarou em entrevista concedida ao jornal *O Estado de S. Paulo*.

Com relação à judicialização do resultado das eleições, o presidente do TSE declarou que a contagem manual vai dar uma diferença em relação à eletrônica. "Até em caixa de banco temos de fazer uma reconciliação. E aí vão pedir anulação da urna para dizer que deu defasagem, desencontro. Nesse país em que se judicializa tudo, vai se judicializar também a eleição", argumentou. "Ninguém ache que se está criando um novo mecanismo de auditoria. Está se criando um argumento para potencializar o risco de fraude."

A confiança na urna eletrônica não imobilizou o TSE. Desde maio de 2020, a instituição montou um grupo de trabalho para estudar melhorias para o sistema brasileiro. Uma das etapas de estudo envolveu uma fase pública de diálogo com empresas interessadas em mostrar outras formas de votação, como a on-line. "Conversamos com desenvolvedores de vários países, como República Checa, Rússia e Estônia", lembra Wermelinger. Vinte e cinco empresas apresentaram seus sistemas. O objetivo era conhecer o que já existe disponível hoje no mundo para entender os desafios de segurança de um cenário que pode vir a ocorrer no futuro.

"Ter partes do processo on-line, com o equipamento do eleitor, pode ser interessante. O ministro Barroso disse para o time de desenvolvimento que precisamos priorizar o tripé segurança – especialmente em relação ao sigilo do voto –, eficiência e experiência do eleitor. Estamos preparando um projeto de melhorias nesse sentido, mirando 2024 em diante", explica Wermelinger. Ele antecipa que o projeto deve contemplar uma reivindicação antiga da academia: "Estamos em negociação com uma universidade pública brasileira para desenvolver esse projeto conjuntamente", declara. ■

FORA DO CAMPO DE VISÃO

Fabricante paulista de drones conquista primeira autorização no país para voos acima de 120 metros do solo e até 30 quilômetros do ponto de decolagem

Suzel Tunes

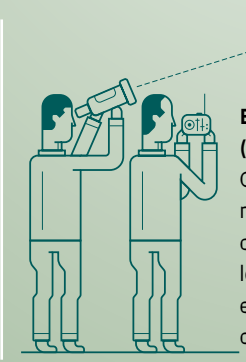
ECHAR 20 D

- **Envergadura:** 2,13 m
- **Peso:** 7,5 kg
- **Autonomia de voo:** 2h30
- **Alcance:** 30 km

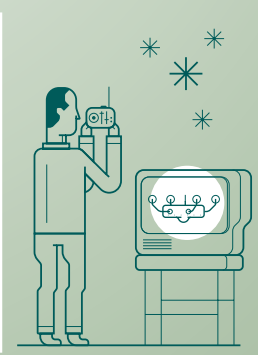
Diferentes alcances

Conheça as três categorias de operação regulamentadas pela Agência Nacional de Aviação Civil (Anac)

VLOS (Visual Line of Sight)
São voos mais curtos em que o piloto continuamente mantém contato visual com o drone



EVLOS (Extended Visual Line of Sight)
O operador só consegue manter contato visual direto com o drone com apoio de lentes ou outros equipamentos e necessita de ajuda de observadores ao longo da rota



BVLOS (Beyond Visual Line of Sight)
O drone voa além do campo visual de quem o pilota. Com isso, pode percorrer maiores distâncias

FONTE ANAC

Alçar voos mais altos é uma expressão comum no mundo corporativo e meta de toda empresa que já se consolidou no mercado. Para a desenvolvedora de drones XMobots, de São Carlos (SP), voos mais altos e distantes não são apenas metáforas, mas conquistas tecnológicas e estratégicas. A empresa obteve recentemente licença da Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) para que uma de suas aeronaves remotamente pilotadas realize voos conhecidos pela sigla BVLOS (Beyond Visual Line of Sight), ou seja, além do campo visual do operador, de até 30 quilômetros (km) de distância e 120 metros (m), ou 400 pés, acima do nível do solo. A primeira autorização para voos BVLOS no país foi obtida pela empresa AL Drones em 2019 para as aeronaves SenseFly eBee. A licença, um marco no setor, foi para voos de até 5 km.

Apoiada pela FAPESP, a XMobots já havia sido pioneira ao conseguir aval da Anac para operar voos acima de 120 m com alcance de 2 km. Foi em 2018, com um modelo da série Arator, um drone usado, sobretudo, para o mapeamento de áreas agrícolas. Em março deste ano chegou a autorização para voos de até 30 km, emitida para o Echar 20D. Agora, aguarda a aprovação da Anac para o modelo Nauru 500C, que tem capacidade para realizar voos BVLOS com alcance de até 60 km. "Esperamos receber essa certificação até o fim do ano", calcula o engenheiro mecatrônico Giovani Amianti, sócio-fundador e CEO da empresa.

Não é simples obter a certificação de voos BVLOS. O processo na Anac leva pelo menos dois anos por causa das muitas exigências a serem atendidas. Drones certificados para atuar além do campo de visão do operador são cada vez mais valorizados porque, ao cobrir maiores distâncias, proporcionam ganhos em termos de produtividade em aplicações tão distintas quanto mapeamentos topográficos e agrícolas, vigilância e entregas de mercadorias. "No mapeamento de extensas áreas, o alcance de 30 km permite ao cliente avistar locais de difícil acesso. Há uma otimização de tempo e investimento", afirma Amianti.

A fabricação de aeronaves com certificação BVLOS é o diferencial da XMobots. Dentre os fabricantes nacionais, a Speedbird Aero, de Franca (SP), recebeu, em agosto de 2020, um Certificado de Autorização de Voo Experimental da Anac para testar, durante um ano, o drone DLV-1 para operações BVLOS. A empresa de entrega de alimentos iFood já realizou os primeiros ensaios com a tecnologia. Do tipo multirrotor, o DLV-1 é dotado de seis pares de hélices e pode levar cargas de até 2 quilos por 2,5 km. Já os modelos Echar 20D e Nauru 500C da XMobots são equipamentos de asa fixa, com design semelhante ao de um avião. Todos eles têm motores elétricos.

O voo desses drones é controlado por um software, configurado previamente pelo piloto com base em informações sobre a trajetória do deslocamento, a área a ser mapeada e o local de pouso. O Echar 20D tem também uma câmera frontal transmitindo as imagens para uma interface de voo instalada em um notebook.

Criada em 2007 por nove alunos de pós-graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), a XMobots nasceu com o propósito de atuar no campo da robótica aérea. A empresa é composta hoje por mais de 150 colaboradores, dentre os quais 60 dedicados à pesquisa e desenvolvimento (P&D). Dois anos depois, desenvolveu seu primeiro projeto, o drone Apoena, com suporte do programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe), da FAPESP.

Nos anos seguintes, receberia outros três auxílios do Pipe para projetar novos drones e sistemas correlatos. Amianti conta que a empresa só conseguiu manter ativa sua área de P&D no início do negócio graças ao apoio de órgãos de fomento, como FAPESP, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Em 2011, a XMobots mudou-se para São Carlos, onde construiu uma fábrica com mais de 6 mil metros quadrados (m^2). Uma segunda planta, com quase o dobro do tamanho, está sendo erguida em Itajubá (MG). "Essa unidade, prevista para ficar pronta ainda este ano, terá foco na produção seriada de alguns modelos de drones. Em São Carlos, permanecerá a área de P&D e a fabricação de aeronaves de maior porte", diz Amianti. Com a produção em série, a empresa quer ampliar o número de clientes – são 350, atualmente – e as exportações. A XMobots já tem drones voando em Angola, no Chile, na Argentina e no Peru, e pretende iniciar vendas para a América do Norte no ano que vem.

MERCADO EM EVOLUÇÃO

O setor de drones vive um crescimento acelerado. O mercado global dessas aeronaves, segundo a consultoria alemã Drone Industry Insights, deverá crescer de US$ 22,5 bilhões em 2020 para US$ 42,8 bilhões em 2025. O Brasil acompanha a tendência. "O segmento de aeronaves não tripuladas cresce a cada ano no país. Temos mais de 83 mil drones cadastrados, dos quais quase 34 mil são de uso profissional", informa o engenheiro aeronáutico André Arruda, cofundador da consultoria Al Drones.

Para o engenheiro eletricista Lúcio André de Castro Jorge, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Instrumentação, a agricultura de precisão requer o emprego crescente de novas tecnologias, como drones, sensores de solo e de clima e eletrônica embarcada, recursos que ele defende que sejam supridos pela indústria nacional (*ver* Pesquisa FAPESP *nº 283*). "Existe um mercado potencial grande para o uso de drones no campo, mas é importante que haja fomento da indústria nacional para que os pequenos produtores tenham acesso à tecnologia", defende Jorge.

Além do mercado agrícola, outros setores, como o florestal e o da mineração, também se abrem à robótica aérea. Drones são ferramentas úteis na realização de inventários florestais, complementando levantamentos feitos por imagens de satélite e equipes de campo (*ver* Pesquisa FAPESP *nº 300*), e para a inspeção de barragens de rejeitos do setor mineral. "A robótica aérea é uma realidade que se desenvolve ano a ano e a tendência é que assuma protagonismo em diversos setores da economia em um futuro muito próximo", destaca o CEO da XMobots. "Por isso a importância de investir em drones que voem mais longe e mais alto." ■

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

FOTO XMOBOTS INFOGRÁFICO ALEXANDRE AFFONSO

RIQUEZA QUE VEM DA VIDA

Biodiversidade pode sustentar novo ciclo de industrialização no Brasil

Diego Viana

A fonte mais promissora de geração de riqueza e valor no Brasil das próximas décadas pode estar bem debaixo dos nossos pés e diante dos nossos olhos. A biodiversidade dos seis biomas do país – ou sete, se considerarmos o mar –, a disponibilidade de terra, água e incidência de sol e as técnicas avançadas de cultivo em várias culturas são a base de um tipo de atividade econômica regenerativa, circular e sustentável que ganha destaque no mundo há mais de uma década: a bioeconomia.

A transição econômica sustentável abre uma oportunidade única para o Brasil, país com a maior biodiversidade do planeta. Além da floresta amazônica, célebre pela profusão de espécies vegetais e animais, o Cerrado é a savana tropical mais biodiversa do mundo e a Caatinga a estepe savânica mais biodiversa, segundo o climatólogo Carlos Nobre, pesquisador sênior do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e copresidente do Painel Científico para a Amazônia, iniciativa da Organização das Nações Unidas (ONU) para reunir conhecimento sobre a região. O mar, nos 8.500 quilômetros de costa, também oferece imenso potencial a ser explorado. Mas a ocasião exige um esforço para adaptar processos econômicos e a mudança precisa ser rápida: com a crise climática e o avanço do desmatamento, o risco de que esses recursos se percam é real.

Há várias definições para a bioeconomia. Em 2009, a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) publicou o documento *Bioeconomia até 2030: Projetando uma agenda de políticas*, que define o termo como "um mundo onde a biotecnologia representa uma parcela significativa da produção econômica, guiada por princípios de desenvolvimento sustentável". No Brasil, o então Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC, hoje MCTI) publicou em 2019 um *Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Bioeconomia* (Pacti Bioeconomia), em que o conceito foi definido como o "conjunto de atividades econômicas baseadas na utilização sustentável e inovadora de recursos biológicos renováveis (biomassa), em substituição às matérias-primas fósseis, para a produção de alimentos, rações, materiais, produtos químicos, combustíveis e energia produzidos por meio de processos biológicos, químicos, termoquímicos ou físicos".

De acordo com o economista Edson Talamini, coordenador do Núcleo de Estudos em Bioeconomia Aplicada ao Agronegócio (NEB-Agro) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a bioeconomia envolve a análise dos processos de produção segundo um conceito de sustentabilidade mais forte do que somente as emissões de gás carbônico. Também entram na conta a sustentabilidade social e econômica, mas, sobretudo, a própria eficiência termodinâmica. "Alguns processos podem parecer sustentáveis do ponto de vista do preço ou da geração de emprego, mas, quando olhamos de perto, o gasto para gerar um efeito é maior, com consequências irreversíveis", afirma. "A bioeconomia trata de processos no nível molecular e permite comparar atividades produtivas em termos de sustentabilidade."

REINDUSTRIALIZAÇÃO

Pesquisadores brasileiros envolvidos com a bioeconomia identificam no conceito não apenas uma oportunidade de crescimento econômico, mas também o ponto de partida de um novo ciclo de industrialização. O epicentro desse dinamismo viria, provavelmente, da floresta amazônica. O bioma oferece condições para impulsionar indústrias fundadas na inovação e na sustentabilidade, segundo o documento *Amazônia e bioeconomia*, publicado

Carregamento de açaí em Belém, no Pará: fruto é o produto que mais se destaca como exemplo bem-sucedido de extrativismo e manejo florestal

RICARDO BELIEL / BRAZIL PHOTOS / LIGHTROCKET VIA GETTY IMAGES

recentemente pelo Instituto de Engenharia com a colaboração de cientistas da Embrapa, do Inpe e das universidades de São Paulo (USP), Estadual de Campinas (Unicamp), entre outras.

A Amazônia atrai as atenções também porque nela está o arco do desmatamento, além de sofrer com a degradação ambiental causada pela construção de hidrelétricas e dos garimpos que avançam descontroladamente, inclusive sobre terras indígenas. Conhecido pela tese de que, a partir de um certo grau de destruição da floresta, a região amazônica poderá passar por um processo de "savanização", com a ampliação do período de seca, Nobre considera que a corrida contra o relógio para manter o bioma a salvo já está apertada. Dados colhidos pelo Inpe sugerem que em partes degradadas da Amazônia, no norte de Mato Grosso e sul do Pará, a capacidade de absorção de carbono já foi perdida e a floresta tem se convertido em emissora do principal gás causador do efeito-estufa.

Nobre é idealizador do projeto Amazônia 4.0, que põe o amplo bioma sul-americano no coração de uma potencial revolução bioindustrial. O cientista se refere ao projeto como "bioeconomia da floresta em pé", que se desdobraria em produtos com diferentes graus de complexidade e aplicação de tecnologia. Conjugando a pesquisa biotecnológica com técnicas extrativas, de manejo florestal e agricultura regenerativa, a iniciativa se propõe a abrir uma "terceira via amazônica" para a ocupação da floresta. Essa via se contrapõe à ideia de simplesmente reservar grandes áreas para preservação, deixando o restante para atividades econômicas pouco sustentáveis (primeira via) e ao princípio de intensificação da agropecuária, mineração e geração de energia nas áreas já ocupadas (segunda via).

Para José Vitor Bomtempo, coordenador do Grupo de Estudos em Bioeconomia da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GEBio-EQ/UFRJ), a possibilidade de reindustrializar o país em novas bases é uma oportunidade única. Diferentemente do esforço de modernização do século passado, não se trata mais de "correr atrás" de tecnologias e setores já existentes. Dessa vez, tanto a possibilidade quanto o desafio estão em colocar o país na fronteira tecnológica desde o princípio.

Em 2018, o estudo *A bioeconomia brasileira em números*, publicado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), calculou que o valor de negócios atribuíveis à bioeconomia brasileira somava US$ 285,9 bilhões no país, incluindo exportações. O estudo é assinado por Bomtempo, o engenheiro Martim Francisco de Oliveira e Silva e o engenheiro químico Felipe dos Santos Pereira, ambos do BNDES. À época, o valor correspondia a 13,8% do PIB do país. É uma porcentagem um pouco abaixo daquela calculada em 2013 para a bioeconomia praticada na União Europeia, que ficou em 14,3%.

Isso não significa que o Brasil aproveite bem o seu potencial. "Esse número incorpora a produção e a exportação de *commodities* agrícolas, que agregam pouco valor. A chamada bioeconomia avançada é pequena no país", afirma Bomtempo. O estudo mostra que o atual conteúdo da bioeconomia na indústria e nos serviços alcança meros

Vista aérea da floresta amazônica, em Itaituba, no Pará

1

2

3

Cana-de-açúcar cortada em pequenos pedaços antes do processo de produção de etanol (*acima*). Palha de cana é analisada em laboratório de biologia molecular na Granbio (*à dir.*)

US$ 101,4 bilhões, correspondendo a 2,6% do valor da produção nesses setores no Brasil. "O que esses dados mostram é um ponto de partida. É o piso da bioeconomia brasileira", completa.

Os mais conhecidos exemplos da bioeconomia no Brasil são os de grandes empresas que exploram a biodiversidade para produzir bens de consumo, combustíveis e materiais biodegradáveis. É o caso da Natura, no setor de cosméticos (*ver reportagem na página 83*). O setor de energia apresenta alguns dos principais casos de sucesso. A Raízen produz etanol de segunda geração em uma usina de Piracicaba (SP), assim como a Granbio, em São Miguel dos Campos (AL). O etanol de segunda geração é produzido a partir do bagaço da cana e outros resíduos agrícolas.

Segundo Bomtempo, um obstáculo para o pleno desenvolvimento da bioeconomia é o caráter ainda esparso dessas iniciativas. Ele toma o exemplo das refinarias de petróleo e dos polos petroquímicos para explicar o processo de agregação de processos industriais que deverá se reproduzir com as chamadas biorrefinarias. Assim como o setor petrolífero extrai das matérias-primas uma enorme diversidade de produtos, desde combustíveis até princípios ativos de medicamentos, as biorrefinarias poderiam aproveitar todas as partes de insumos agrícolas e extrativos (casca, polpa, bagaço, palha, caroço) para gerar alimentos, biocombustíveis e outros biomateriais.

Bomtempo aposta também em biorrefinarias de segunda geração, polos onde diversas empresas atuam de modo coordenado, com os resíduos de umas servindo de matéria-prima para outras e as cadeias integradas, em "simbiose industrial". Um projeto nessa direção está instalado nas proximidades de Reims, na França, e se chama ARD (Agroindústria Pesquisas e Desenvolvimentos). "Ali ocorrem atividades diferentes, que se complementam. O resíduo de uma indústria é insumo de outra. Usam trigo, beterraba, alfafa, produtos muito diversos, para produzir diferentes tipos de bens. É um núcleo industrial harmonioso, que se complementa, incluindo uma unidade de pesquisa", resume.

O economista com graduação em engenharia agronômica José Maria Ferreira Jardim da Silveira, do Instituto de Economia da Unicamp, refere-se a essa tendência, que considera essencial para a viabilidade da bioeconomia, como ganho de "economia de escopo", ou seja, da eficiência da produção que decorre da variedade dos produtos, e não do volume. Assim, se hoje algumas fazendas de cana-de-açúcar geram energia pela queima da palha e do bagaço, Silveira sugere que poderia se desenvolver uma fábrica de biogás de grande porte, que aproveite também o lixo das cidades. Em seguida, outros processos se somariam. "A vinhaça que resulta da produção de etanol de segunda geração pode produzir biogás. Já a celulose tem compostos que também fornecem biocombustíveis. E assim começa a se desenvolver uma biorrefinaria eficiente", completa.

Por enquanto, esses modelos ainda estão engatinhando, com alguns protótipos de biorrefinarias funcionando em laboratórios de universidades e startups. Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no laboratório do Grupo de Intensificação, Modelagem, Simulação, Controle e Otimização de Processos (Gimscop), dirigido pelo engenheiro químico Jorge Otávio Trierweiler, pesquisadores desenvolvem Unidades Modulares Automatizadas (UMA) com usinas descentralizadas e monitoradas remotamente por uma central. Nessas unidades, Trierweiler destaca três pesquisas: a geração de etanol, açúcar e aguardente a partir da batata-doce; a pirólise rápida (um processo necessário para obtenção de óleo a partir de biomassa); e o desenvolvimento de mi-

FOTOS 1 WESTEND61 / GETTY IMAGES 2 EDUARDO CESAR 3 LÉO RAMOS CHAVES

1

2

À esquerda, o Cerrado, a savana tropical mais biodiversa do mundo. À direita, a riqueza da Caatinga, considerada a estepe savânica mais biodiversa do planeta

croalgas para uso em biorremediação (limpeza) de solos e água, além da produção de bio-óleo e outros derivados. Segundo Trierweiler, os dois primeiros processos se encontram nas fases de maturação TRL (Technological Readiness Level) 3 e 4, de uma escala com nove níveis.

PESQUISA AVANÇADA

A bioeconomia exige algo além da biodiversidade e da disponibilidade de recursos. Ela é intensiva em conhecimento. Precisa tanto da ciência mais avançada, na pesquisa de novos produtos e no aperfeiçoamento dos existentes, quanto dos saberes tradicionais, mantidos pelas comunidades coletoras que manejam a floresta e outros biomas há gerações.

No plano da pesquisa avançada, três programas da FAPESP têm vínculo com a bioeconomia, embora sejam anteriores ao uso do termo no Brasil, observa o físico Carlos Henrique de Brito Cruz, vice-presidente sênior de Redes de Pesquisa da editora acadêmica Elsevier e diretor científico da Fundação entre 2005 e 2020. O Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade (Biota), lançado em 1999, visa catalogar e caracterizar a biodiversidade brasileira. O Programa de Pesquisa em Bioenergia (Bioen) desde 2009 investiga fontes de energia como bioetanol, biodiesel e biogás, enquanto o Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG), desse mesmo ano, visa propor medidas e tecnologias de mitigação de consequências das mudanças climáticas.

"Antes mesmo de o mundo falar de bioeconomia, os cientistas trouxeram esse assunto para a FAPESP, chamando a atenção para a importância da bioenergia, da biodiversidade, da mudança climática", afirma Brito Cruz, um dos participantes do estudo *Amazônia e bioeconomia*. "São exemplos de como a ciência mostra um caminho para um país, porque é papel do cientista ver mais longe, estudando o que vem pela frente e conectando com os problemas atuais."

"O Bioen começou com foco em explorar os potenciais da cana-de-açúcar, mas já com uma preocupação forte em expandir as fontes de biomassa, que são riquíssimas no Brasil", relembra a bioquímica Glaucia Souza, professora do Instituto de Química da USP e integrante da coordenação do programa. "Sabíamos que seria um tema crucial para o futuro aqui e no mundo, com a possibilidade de explorar outros biomateriais, substituindo até mesmo o cimento, a partir da lignina."

Para o físico Paulo Artaxo, professor do Instituto de Física da USP e integrante da coordenação do Programa de Mudanças Climáticas, uma das motivações para sua criação foi a constatação de que "nenhum setor econômico vai ser poupado dos impactos das mudanças climáticas. Vamos precisar mudar nosso sistema socioeconômico, porque o atual não é sustentável nem mesmo a curto prazo em um planeta com recursos naturais finitos".

"A questão é: como vai ser a transição para um sistema econômico mais sustentável, que use os recursos naturais do planeta de modo mais inteligente e eficiente e que diminua as desigualdades sociais? São questões-chave, que precisam ser respondidas pela ciência. Se a resposta não tiver base científica sólida, nossa sociedade vai estar sempre à mercê de interesses econômicos", afirma.

De acordo com Brito Cruz, a adoção de tecnologias e conhecimentos desenvolvidos em universidades e laboratórios brasileiros fornece a ocasião para pensar as relações entre o setor privado e o Estado. Em sua avaliação, este último deve atuar onde as empresas não investem, seja por excesso de risco, seja por escassez de retorno. O investi-

FOTOS 1 PEDRO MORAES / GETTY IMAGES 2 HECKEPICS / GETTY IMAGES

mento estatal deve complementar e induzir, mas não substituir, o investimento privado em P&D.

Paulo Camuri, economista sênior do World Resources Institute do Brasil (WRI Brasil), considera que a sinalização do setor público é indispensável, ainda que o país atravesse um momento de restrição fiscal. "O governo dá as diretrizes de política, com planos a serem implementados. Instituições como o BNDES podem investir parte do que é necessário. Em seguida, o capital privado entra com a maior parcela do recurso. As empresas estão procurando projetos para viabilizar uma economia sustentável, mas nem sempre sabem onde. O governo pode reduzir a incerteza", argumenta.

No estudo "Uma nova economia para uma nova era", lançado no ano passado, pesquisadores do WRI Brasil mapearam os benefícios e potencialidades da descarbonização da economia brasileira. A bioeconomia é um componente importante da proposta do WRI. "O capital natural, se bem manejado, vai ser o grande diferencial do novo modelo de crescimento do país, com maior inclusão social. Não é preciso escolher entre crescer mais, com mais inclusão social, e ser ambientalmente mais sustentável. A descarbonização leva a um crescimento maior e a mais inclusão social do que se continuarmos a fazer como hoje", afirma Camuri.

Na área rural, um exemplo de como o setor público pode dar diretrizes para a atuação do setor privado é o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), indica Camuri. Lançado em 2010 pelo Ministério da Agricultura, o plano ganhou uma nova versão em abril deste ano, o ABC+. "O plano facilita o acesso a diversas tecnologias que reduzem emissões, como a integração lavoura, pecuária, floresta", diz. Os maiores obstáculos à sua implantação, explica o economista, têm sido a assistência técnica insuficiente e a falta de recursos. A política federal de financiamento à produção agrícola (plano Safra) movimentou R$ 236 bilhões em 2020, um terço do necessário para a produção agropecuária no Brasil. O plano ABC responde por pouco mais de 1% desse valor: R$ 2,5 bilhões em 2020. Para Camuri, a transição para a bioeconomia requer o fortalecimento do Plano ABC+, "na direção de fazer com que ele seja praticamente todo o plano Safra. Essa seria uma sinalização importante para o setor privado".

O produto que mais se destaca como exemplo bem-sucedido de extrativismo e manejo florestal é o açaí. Na Amazônia, esse fruto da palmeira movimenta R$ 3 bilhões ao ano, com impacto econômico local de R$ 144 milhões na extração e R$ 146 milhões no cultivo, de acordo com o último balanço social publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em 2019. Consumido originalmente com farinha e peixe, o produto ganhou novas formulações em outras regiões do Brasil e na última década passou a ser exportado. Somando o açaí e produtos como babaçu, castanha, cumaru, a região Norte se destaca na produção florestal não madeireira com 45% da produção nacional, totalizando mais de R$ 700 milhões ao ano. Em segundo lugar, aparece a região Sul, com 29% da produção extrativista, ou R$ 445 milhões anuais.

No total, o extrativismo não madeireiro movimenta anualmente R$ 1,6 bilhão no país, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A engenheira-agrônoma Sandra Regina Afonso, pesquisadora do Serviço Florestal Brasileiro e docente da Universidade de Brasília (UnB), ressalva que o dado não é preciso e certamente subestima o valor gerado por essas atividades. Para produtos como o pequi, colhido no norte de Minas Gerais e no Centro-Oeste e Nordeste, até 2014 era contabilizado somente o pequi utilizado para a produção de óleo, mas não o fruto para alimento. Para o babaçu, do Nordeste e do Norte, entra no cálculo somente a amêndoa, mas não os produtos oriundos do coco.

Afonso organizou o livro *Bioeconomia da floresta: A conjuntura da produção florestal não madeireira no brasil*, publicado pelo Serviço Florestal Brasileiro. A publicação apresenta informações sobre os principais produtos não madeireiros e aborda políticas e programas que tratam do tema, como o Plano Nacional de Promoção das Cadeias dos Produtos da Sociobiodiversidade, de 2009, e o Programa Bioeconomia Brasil Sociobiodiversidade, de 2019. "Atualmente, o extrativismo de produtos florestais não madeireiros se relaciona com o manejo da floresta. O uso dos produtos está vinculado à cultura das pessoas", comenta. "A palavra sociobiodiversidade expressa esse novo entendimento. Quando entra a palavra bioeconomia, soma-se o tema da tecnologia e inovação. Os produtos da floresta começam a ganhar valor agregado e qualidade, para serem comercializados em escala maior."

DESAFIOS

Os pesquisadores alertam que não será simples fomentar o desenvolvimento e a reindustrialização pela bioeconomia no Brasil. A iniciativa exigirá a convergência de atuação do Estado, do setor privado e das instituições científicas. "A bioeconomia é uma bandeira, um princípio de ação que gera políticas públicas e incentivos aos agentes privados", resume Silveira, da Unicamp. Como exemplo, o economista aponta para a importância de afinar a regulação legal com o avanço da tecnologia. Por

meio da regulação, atinge-se o nível de padronização necessário ao desenvolvimento de mercados. O exemplo de Silveira é o biogás, cuja forma mais simples é obtida a partir de resíduos vegetais e animais, servindo apenas para queima. "Com a evolução da tecnologia, surgiu o biometano que pode ser lançado nas redes de gás natural que abastecem, por exemplo, as cidades. Para isso, foi preciso regulação e padronização, que permitiu maior escala", diz.

Segundo Souza, da USP, um dos principais entraves ao avanço da bioeconomia é a falta de "um esquema claro, transparente, estável, previsível, de políticas públicas em escala global", que harmonize padrões e legislação, proporcionando a segurança necessária para empresas investirem. "Se uma grande empresa de navegação decidir adotar um biocombustível, por exemplo, como garantir que haverá um mercado capaz de fornecê-lo em escala suficiente?" Souza também considera que é necessário evoluir em mecanismos de certificação e rastreamento dos produtos, evitando que a bandeira da sustentabilidade seja usada de maneira leviana para comercializar produtos poluentes.

A legislação foi um grande entrave para o desenvolvimento do setor no Brasil ao longo das últimas décadas, de acordo com o biólogo Carlos Alfredo Joly, professor do Instituto de Biologia da Unicamp e integrante da coordenação do programa Biota FAPESP. "Desde o começo, o Biota contempla uma dimensão importante de bioprospecção [busca e identificação de moléculas e processos metabólicos de plantas, animais e microrganismos com potencial de aproveitamento econômico] com aplicação econômica direta. Mas as medidas provisórias que regularam a matéria [2.052/2000 e 2186-16/2001] trouxeram incerteza jurídica e afastaram o setor produtivo. Tínhamos contatos com a indústria farmacêutica e a de cosméticos, mas essa regulação foi um golpe quase fatal", lamenta. "Isso só mudou depois da Lei da Biodiversidade [13.123/2015] e do Decreto que a regulamentou [8772/2016]." Embora tenham diminuído, as dificuldades persistem, relata o biólogo, citando a lentidão para implementar o Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen).

Para Nobre, o desenvolvimento da bioeconomia amazônica passa pela instalação de "laboratórios criativos" na região, em conjunção com o ecossistema de universidades e centros de pesquisa hoje subaproveitados. O projeto Amazônia 4.0 conta com instalações experimentais em São José dos Campos, em São Paulo, e busca financiamento para operar na própria Amazônia. Esses laboratórios já produzem derivados de cacau e cupuaçu (chocolate e cupulate), além de azeites gourmet a partir de castanha, tucumã, bacuri e patauá.

Apesar da existência do Pacti Bioeconomia, Talamini, da UFRGS, lamenta que os planos para as políticas públicas sejam modestos. "Pelo potencial que tem, o Brasil está acordando tarde para a bioeconomia. Existem iniciativas interessantes, na Embrapa, nas universidades, nas empresas, mas sem uma coordenação central", adverte. "Como é um país de base agrícola forte, fala-se em aproveitar resíduos, fala-se em gerar energia, mas não se vai muito além. A produção de conhecimento é pouco explorada", enumera Talamini, e propõe uma comparação: na Europa, as pesquisas se concentram em modos de aproveitar a biomassa. Nos Estados Unidos, a ênfase está na biotecnologia. "O Brasil poderia atacar as duas frentes, porque tem água, luz e terra para produzir biomassa. Tem uma biodiversidade incrível. E tem pesquisadores para desenvolver tecnologia que transforme a biodiversidade em valor", observa.

Bomtempo, por sua vez, chama a atenção para iniciativas recentes do projeto Oportunidades e Desafios da Bioeconomia (ODBio), derivadas do Pacti e conduzidas pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), do ministério. Segundo o professor da UFRJ, o ODBio é um esforço para acelerar os avanços no setor.

Para Talamini, a pandemia abriu os olhos do mundo para a necessidade de uma recuperação econômica ecológica, o que configura uma oportunidade enorme para o Brasil. No entanto, o potencial da bioeconomia vai depender das escolhas do país. "No passado, escolhemos ser exportadores de *commodities*. Temo que o mesmo aconteça com a bioeconomia. Vamos exportar biodiversidade e importar materiais de alto valor agregado, se pusermos o foco só no insumo. É preciso lembrar dos processos. Isso envolve integrar, incentivar e promover conhecimentos", diz. ■

Desenvolvimento da bioeconomia amazônica passa pela instalação de "laboratórios criativos" para produzir, por exemplo, derivados de cacau

EDUARDO CESAR

NA PELE E NO CABELO

Tucumã: frutos comestíveis e sementes que podem ser usadas em produtos hidratantes e antissinais

P.S. SENA / WIKIMEDIA COMMONS

Pioneira em cosméticos naturais, empresa brasileira investe em bioingredientes

O caso mais citado de iniciativa empresarial bem-sucedida que utiliza insumos oriundos da sociobiodiversidade em produtos vendidos mundo afora é o da Natura, empresa brasileira do setor de cosméticos fundada em 1969. "É um caso interessante, porque, de fato, os cosméticos são um setor em que o Brasil tem muito potencial para avançar em produtos de base biológica", afirma o economista e engenheiro químico José Vitor Bomtempo, coordenador do Grupo de Estudos em Bioeconomia da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (GEBio-EQ/UFRJ). De acordo com a consultoria Euromonitor, o setor de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos faturou R$ 122,4 bilhões no Brasil no ano passado, com crescimento de 4,7% em relação a 2019, enquanto o PIB do país caiu 4,1%.

A principal marca ligada à sociobiodiversidade da empresa é a linha Ekos, lançada em 2000, com produtos de cuidados para o corpo e cabelo que empregam ingredientes naturais. Esse material vem substituindo os sintéticos, no processo que passou a ser chamado de "vegetalização dos ingredientes". Segundo estudo da consultoria Grand View Research, o mercado global de cosméticos naturais deve atingir US$ 48 bilhões em 2025.

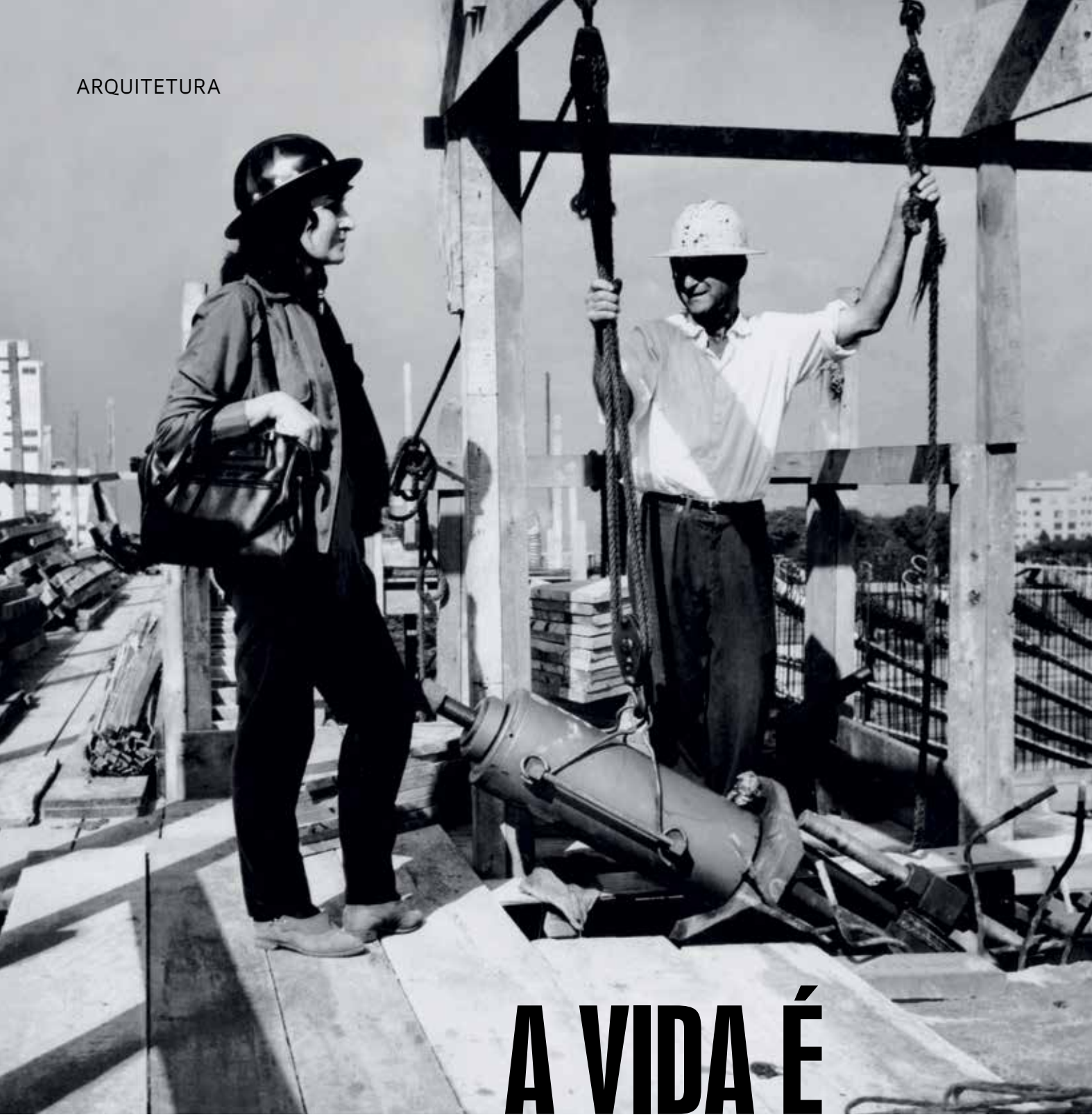
Data desse período o foco da Natura na região amazônica, que culminou em 2011 com a criação do Programa Amazônia, graças ao qual a empresa afirma ter conseguido preservar um território de 2 milhões de hectares no bioma, contabilizando as áreas de fornecimento das comunidades com as quais mantém parcerias e a área de três unidades de conservação, as reservas de Desenvolvimento Sustentável Uacari (Amazonas) e Rio Iratapuru (Amapá) e a reserva extrativista do Médio Juruá (Amazonas).

O programa põe em ação diversos pontos associados por pesquisadores à bioeconomia, com destaque para o investimento em pesquisa de ponta e a parceria com produtores locais e cooperativas agroextrativistas. O principal símbolo do investimento em pesquisa científica é o complexo industrial Ecoparque, instalado no município paraense de Benevides, em uma área de 172 hectares. Além da fabricação de sabonete em barra, o centro pesquisa o desenvolvimento de novas cadeias produtivas a partir de espécies vegetais ainda não aproveitadas. Outras empresas também se instalaram no local para fazer pesquisa, como a alemã Symrise.

O complexo está vinculado ao Núcleo de Inovação Natura na Amazônia (Nina), que mantém parcerias com entidades como a Universidade Federal do Amazonas (Ufam), o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam) e a Empresa Brasileira de Agropecuária (Embrapa).

Em 2020, a Natura anunciou um volume de negócios vinculados à sociobiodiversidade da ordem de R$ 2,14 bilhões. Segundo a empresa, seus produtos empregam 38 bioingredientes, com 17,8% dos insumos oriundos da Amazônia, em parceria com comunidades fornecedoras que somam 7.039 famílias. O primeiro contrato foi com a Cooperativa Mista dos Produtores e Extrativistas do Rio Iratapuru (Comaru), do município de Laranjal do Jari, no Amapá. A cooperativa maneja a castanha e o breu branco, usados na linha Ekos. Em todo o país, a empresa contabiliza parcerias em 40 comunidades nas cadeias produtivas da sociobiodiversidade, envolvendo 8.300 famílias.

No ano passado, a Natura anunciou a iniciativa "Nós da Floresta" com a Rede Jirau Agroecologia e as organizações não governamentais Saúde e Alegria e Conexões Sustentáveis (Conexsus), visando fortalecer o ecossistema de inovação e empreendedorismo na região. A iniciativa identifica três desafios que devem ser superados para promover o avanço da bioeconomia: fomentar a criação de negócios locais, solucionar impasses em cadeias produtivas e aumentar o faturamento de organizações comunitárias. ■



A VIDA É CONSTRUÇÃO

Biografias mapeiam a trajetória da multifacetada Lina Bo Bardi, cuja notoriedade cresce no Brasil e no exterior

Ana Paula Orlandi

Ela é autora de projetos icônicos como o do Museu de Arte de São Paulo, o Masp. Além da arquitetura, transitou por outras searas, como o design e a cenografia, mas nem sempre foi reconhecida por seus feitos. Em vários momentos da vida, sofreu com o ostracismo. Aspectos como esses, da trajetória pessoal e profissional da arquiteta ítalo-brasileira Lina Bo Bardi (1914-1992), estão reunidos em duas recém-lançadas biografias: *Lina Bo Bardi – O que eu queria era ter história*, de Zeuler R. Lima (Companhia das Letras), e *Lina: Uma biografia*, de Francesco Perrotta-Bosch (Editora Todavia).

Conhecida pelo temperamento audacioso e irascível, Achillina Bo nasceu em Roma e era muito próxima do pai, Enrico, construtor e artista visual nas horas vagas. "Foi com ele que Lina aprendeu a desenhar", conta Perrotta-Bosch, doutorando da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP) e da Università Iuav di Venezia, na Itália. Em 1939, a jovem formou-se em arquitetura na Regia Scuola Superiore di Architettura, em sua cidade natal. "A mãe, Giovanna, dizia que a filha era 'do contra' por não se encaixar no padrão patriarcal da mulher submissa e fadada a serviços domésticos", diz Lima, professor da Universidade de Washington, em Saint Louis, Missouri, nos Estados Unidos.

Após a formatura, Lina Bo mudou-se para Milão e passou a colaborar com periódicos. Fazia de tudo um pouco: ilustrava reportagens, cuidava da composição gráfica e da diagramação e chegou a responder pela edição de alguns números da revista de arquitetura *Domus*, que segue sendo publicada até hoje. Em 1943, durante a apuração de uma reportagem, em Roma, conheceu o jornalista, marchand e crítico de arte Pietro Maria Bardi (1900-1999). Os dois se casaram cerca de três anos depois. Segundo as biografias, Bardi não tinha perspectiva profissional na Itália do pós-guerra: para a esquerda, ele carregava a pecha de fascista, por sua aproximação, nos anos 1930, com o ditador Benito Mussolini (1883-1945). A direita, por sua vez, o enxergava com reservas pelas opiniões que, pouco tempo depois, seriam censuradas pelo próprio regime do Duce.

O casal chegou ao Brasil em 1946 e, em uma das primeiras exposições que realizou, com expografia de Lina e promovida por Pietro, no Rio de Janeiro, conheceu Assis Chateaubriand (1892-1968), proprietário do conglomerado de mídia Diários Associados. A convite do mecenas, mudaram-se para a capital paulista com o objetivo de criar uma instituição cultural e artística. Entre outras funções, coube a Lina adaptar o espaço do prédio dos Diários Associados, localizado na rua Sete de Abril, no centro paulistano, para acolher a primeira sede do Masp, inicialmente confinada a um único pavimento do edifício.

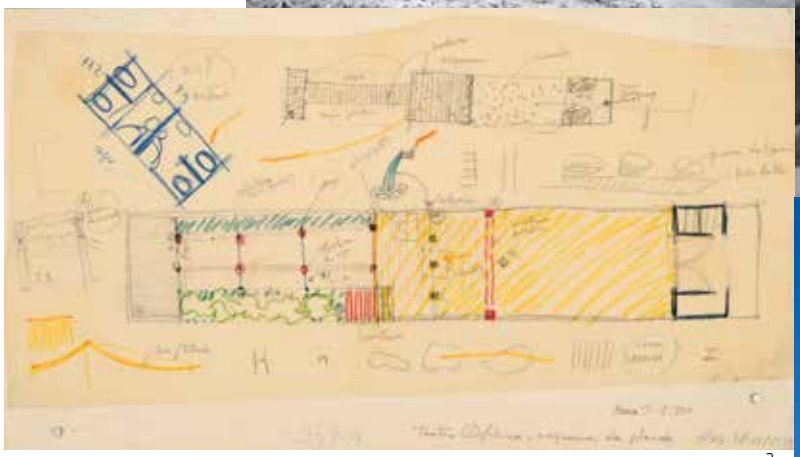
Inaugurado em 1947, o museu ambicionava uma atuação plural, o que combinava com o perfil multifacetado de Lina. Uma das iniciativas encabeçadas pela nova instituição era a *Habitat: Revista das Artes no Brasil*, que a arquiteta dirigiu por três anos, a partir de 1950. Ela também foi professora no Instituto de Arte Contemporânea (IAC), que funcionou entre 1951 e 1953 com a meta de ser uma escola de desenho industrial – iniciativa inédita no Brasil da época, visto que os primeiros cursos de design só iriam surgir no país na década de 1960.

Durante a pesquisa para a biografia, Perrotta-Bosch diz ter se deparado com mais de uma centena de teses e dissertações sobre a obra de Lina, publicadas não apenas no Brasil, mas também em países como Estados Unidos e Alemanha. "Todas são póstumas, produzidas a partir da década de 1990", conta o biógrafo. Na avaliação do arquiteto Marcelo Suzuki, um dos mais próximos assistentes da arquiteta, ela não recebeu o devido reconhecimento em vida. "Ela foi muito renegada, era vista

ACERVO INSTITUTO BARDI

Ao lado, Lina Bo Bardi na década de 1960, durante visita ao canteiro de obras da atual sede do Masp, na avenida Paulista

À direita, Lina em uma de suas invenções: a *Cadeira de beira de estrada* (1967). Abaixo, planta do projeto de reforma do Teatro Oficina. A obra se arrastou por 14 anos até ser finalizada, em 1994



2

1

3

4

No alto, a *Casa de vidro* (1951), no bairro do Morumbi, em São Paulo. A residência do casal Bardi foi o primeiro projeto arquitetônico de Lina. Acima, o Sesc Pompeia, concluído em 1986: espaço de convivência

por muitos apenas como uma estrangeira excêntrica", lamenta Suzuki, professor do Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU) da USP de São Carlos.

Segundo os biógrafos, essa percepção começou a mudar em 1993, a partir do livro *Lina Bo Bardi* (Instituto Lina Bo e P. M. Bardi) concebido por Suzuki, André Vainer e Marcelo Ferraz, também assistentes da arquiteta. À obra, seguiu-se um documentário homônimo, de 1993, dirigido por Aurélio Michiles com roteiro de Isa Grinspum Ferraz, além de uma exposição itinerante que, durante oito anos, percorreu os continentes americano, europeu e asiático. Tudo foi organizado pelo hoje chamado Instituto Bardi, que reúne e conserva a memória do casal. "Atualmente Lina desfruta de crescente projeção internacional", observa Lima, que já organizou mostras sobre a arquiteta em países como Noruega e Japão.

A tese é confirmada pelo anúncio, feito em maio passado, de que Lina Bo Bardi foi a vencedora do prêmio Leão de Ouro, na 17ª Mostra Internacional de Arquitetura da Bienal de Veneza, prevista para 2020, mas que ocorreu neste ano em razão da pandemia. Na opinião de Suzuki, a arquiteta ficaria feliz com a homenagem, "embora odiasse autopromoção". "Mas, para além de prêmios, o que importa é constatar que hoje a obra de Lina é ensinada nas escolas de arquitetura, o que não costumava acontecer no passado. Acho que isso tem a ver também com o crescente empoderamento feminino dos últimos anos", diz.

A trajetória acadêmica da arquiteta foi breve, indicam suas biografias. Em 1955 ela tornou-se professora da FAU-USP, mas o contrato temporário vencido no final do ano seguinte não foi renovado. "Pouco depois, em 1957, Lina prestou concurso para o cargo de professora catedrática, mas foi rejeitada com a justificativa de não ter diploma, que ela dizia ter perdido em um bombardeio em Milão, durante a guerra", informa Lima. No segundo semestre de 1958, a arquiteta foi professora da Universidade Federal da Bahia (UFBA). "As argumentações de Lina nem sempre eram aceitas pelos docentes mais antigos da UFBA", conta Perrotta-Bosch. "Depois disso, nunca mais voltou a lecionar."

Por outro lado, a arquiteta deixou um profícuo conjunto de textos, lembra Silvana Rubino, professora da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e uma das organizadoras do livro *Lina por escrito – Textos escolhidos de Lina Bo Bardi* (Cosac Naify, 2009). "Ela escreveu bastante, de parecer enviado a órgãos públicos passando pelos artigos que publicou em revistas e até mesmo manuscritos inéditos. É possível dizer que esses textos são seu legado acadêmico, nos quais ela refletiu, entre outras coisas, sobre a arquitetura brasileira e o próprio país."

O vínculo de Lina Bo Bardi com Salvador não se restringiu à passagem pela UFBA. A partir de

5

O Masp em registro de 1969. Para a arquiteta, o vão livre do museu é um "'nada', uma procura da liberdade, a eliminação de obstáculos, a capacidade de ser livre perante as coisas"

1960 ela dirigiu o Museu de Arte Moderna da Bahia (Mamb), então localizado no foyer do Teatro Castro Alves, e assinou o restauro do Solar do Unhão, construção principal de um conjunto histórico cujos primeiros registros de ocupação datam do século XVII. Ali, instalou o Museu de Arte Popular e planejava erigir o Centro de Estudos e Trabalho Artesanal (Ceta), mas o projeto não vingou. Desavenças com a elite soteropolitana, sobretudo com Odorico Tavares (1912-1980), braço direito de Chateaubriand na Bahia, afastaram-na da cidade logo após o golpe de Estado, em 1964.

Lina então passou a se dedicar à construção da atual sede do Masp, inaugurada em 1968 na avenida Paulista. O período marca também o início de seus trabalhos com o grupo do Teatro Oficina, a princípio como cenógrafa e figurinista. Mais tarde, em parceria com o arquiteto Edson Elito, ela assinaria um errático projeto de reforma para a sede da trupe, inaugurado em 1994, 14 anos após ter sido iniciado. "Lina costumava dizer que não fazia cenografia, mas arquitetura cênica, pois contemplava o palco como um todo", aponta Evelyn Furquim Werneck Lima, da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio) e coautora do livro *Entre arquiteturas e cenografias: A arquiteta Lina Bo Bardi e o teatro* (Contracapa, 2012). "Quando o Oficina encenou o espetáculo *Na selva das cidades*, de Brecht, em 1969, ela trouxe para o palco o entulho gerado pela construção do elevado conhecido como Minhocão, obra associada ao governo militar, que destruiu dezenas de quarteirões do Bexiga, bairro onde fica o teatro."

Em meio ao recrudescimento da repressão política no país, a arquiteta foi denunciada pelo regime militar em 1968, por ter cedido a própria residência para uma reunião que teve, entre seus participantes, o guerrilheiro comunista Carlos Marighella (1911-1969). "Ela apenas emprestou a casa a pedido de uma amiga, mas não participou do encontro", diz Perrotta-Bosch. "Lina passou oito meses na Itália. A ordem de prisão preventiva expedida contra ela foi revogada quando, de volta ao Brasil, em agosto de 1971, apresentou-se à justiça militar."

A orientação ideológica de Lina é motivo de divergência entre os biógrafos. Perrotta-Bosch escreve que ela era comunista: esteve em reuniões de comunistas na Resistência Italiana, durante a Segunda Guerra Mundial, e "se declarava, veementemente, até o fim da vida, stalinista". Na visão de Lima, entretanto, a arquiteta adorava causar polêmica com suas falas. "Ela se dizia stalinista e antifeminista como provocação e criava muitas histórias em torno de si mesma", afirma. "Lina tinha um apurado senso de justiça social, mas nunca foi comunista."

Mergulhada no ostracismo, a arquiteta recebeu, em 1977, uma encomenda para projetar a sede do Sesc Pompeia, em São Paulo. "Ela não tinha escritório comercial e até então havia ficado na sombra do Bardi e do Chateaubriand", diz Renato Anelli, do IAU-USP, em São Carlos. A obra, que se estendeu até 1986, recuperou os galpões de uma antiga fábrica de tonéis e ergueu duas torres para abrigar o centro esportivo da unidade. "O projeto é uma síntese do pensamento de Lina, que produziu uma arquitetura moderna sem romper com a cultura popular", prossegue Anelli, conselheiro do Instituto Bardi.

Graças à repercussão do projeto, a arquiteta retornou a Salvador em 1986, a convite da prefeitura, para realizar uma série de intervenções no centro histórico da cidade. "Lina estabeleceu paradigmas de restauro que até hoje são muito válidos", constata o arquiteto Nivaldo Vieira de Andrade Junior, professor da UFBA. "Ela conseguia intervir no patrimônio com uma linguagem contemporânea, mas, ao mesmo tempo, muito respeitosa com a história do lugar." ■

FOTOS 1 E 2 ACERVO INSTITUTO BARDI 3 E 4 LEONARDO FINOTTI / ACERVO INSTITUTO BARDI 5 HANS GUNTER FLIEG / ACERVO INSTITUTO BARDI

OBITUÁRIO

Alves, em 2011

EDUARDO CESAR

CONHECIMENTO SÓLIDO

Oswaldo Luiz Alves contribuiu para o avanço da química inorgânica e da nanotecnologia no país

Um dos principais pesquisadores de química inorgânica no Brasil e um dos primeiros a desenvolver atividades na área de nanotecnologia, Oswaldo Luiz Alves morreu em 10 de julho, aos 73 anos, vítima de infarto. Era professor titular do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), onde fundou o Laboratório de Química do Estado Sólido (LQES), em 1985. Mesmo aposentado, continuou trabalhando como professor colaborador e formou mais de 50 mestres e doutores durante 40 anos de docência.

Alves coordenou o Laboratório de Síntese de Nanoestruturas e Interação com Biossistemas (NanoBioss/SisNano) da Unicamp e publicou mais de 250 artigos em periódicos científicos. Depositou 31 pedidos de patente de processos e aplicações, quatro deles internacionais, incluindo uma tecnologia voltada à remediação de efluentes de indústrias papeleiras e têxteis, que foi licenciada para o setor produtivo.

O químico integrava a equipe de um projeto temático financiado pela FAPESP sobre materiais complexos funcionais, no âmbito dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT). Foi pesquisador responsável pelo projeto, também apoiado pela Fundação, que financiou a construção da primeira linha de Exafs (XAS), no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas. Membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC), que presidiu entre 1998 e 2000, integrou o primeiro Conselho Científico do Instituto Serrapilheira, de 2016 a 2019.

"O professor Oswaldo Alves foi um cientista exemplar que deixou sua marca na ciência brasileira e mundial. Acima de tudo alguém digno e ético que sempre valorizou a importância da ciência e da cultura na formação do ser humano", disse à *Agência FAPESP* o químico Ronaldo Pilli, vice-presidente da FAPESP. "Nos últimos meses, teve participação ativa na organização da série Conferências FAPESP 60 anos. Deixará saudades e fará falta."

"Ele foi brilhante, com contribuições importantes não apenas como pesquisador, mas também como disseminador de ciência", afirmou Luiz

Eugênio Mello, diretor científico da FAPESP, também para a *Agência FAPESP*. Alves editou o boletim semanal de notícias *LQES News* – voltado ao desenvolvimento da ciência, tecnologia, inovação e nanotecnologias – e do *Nano em Foco* – editado em parceria com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial –, com uma linha editorial ligada a produtos comerciais, riscos e regulação da nanotecnologia.

Por suas contribuições à comunidade química brasileira foi agraciado, entre outras honrarias, com a medalha Simão Mathias (2004) e o Prêmio de Inovação Tecnológica (2008), ambos conferidos pela Sociedade Brasileira de Química, e recebeu a Comenda da Ordem Nacional do Mérito Científico (2002). Foi professor visitante em várias universidades pelo Brasil, Professor *honoris causa* da Universidade Federal do Ceará e, em 2020, no lançamento do Instituto de Estudos Avançados do Senai Cimatec, em Salvador, o químico recebeu o título de Professor Catedrático da primeira cátedra da instituição, que tem como tema nanociência e nanotecnologia.

Em nota, a ABC lembrou de uma característica menos conhecida de Alves: "Ele aliava à sua intensa atividade científica o amor pela música, que compartilhava com os amigos, enviando todos os finais de semana seleções musicais de programas de jazz. Uma mensagem fraterna, um chamado afável ao repouso semanal, que complementava sua participação nas reuniões de diretoria, sempre sensata e serena, qualidades necessárias nesses tempos turbulentos que atravessamos". O pesquisador deixa a mulher, a editora Maria Isolete Pacheco Meneses Alves.

O interesse pela pesquisa começou a ser despertado quando Alves era aluno de escola pública e participava de clubes de ciências no bairro paulistano de Perdizes. "Tínhamos um pequeno laboratório com materiais doados por um dos bisnetos do cientista Vital Brazil, onde fizemos muitas experiências de química e biologia", disse ele à SBPMat (Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais).

Alves nasceu em São Paulo e formou-se no curso técnico de química industrial em 1967, aos 20 anos, com uma bolsa de estudo da Secretaria Estadual de Educação. Nesse período, estagiou no Instituto Biológico, onde conheceu as técnicas de espectroscopia de infravermelho e polarografia aplicadas à indústria. Passou um período trabalhando na Bayer do Brasil e em 1969 ingressou no bacharelado de química na Unicamp, onde obteve uma bolsa de iniciação científica da FAPESP para pesquisa com compostos de terras-raras.

Depois da graduação foi contratado como docente na Unicamp e, ao mesmo tempo, iniciou o doutorado direto com uma tese sobre aplicação da espectroscopia vibracional em complexos moleculares, defendida em 1977. Entre 1979 e 1981 fez um estágio de pós-doutorado no Laboratório de Espectroquímica de Infravermelho e Raman do Centro Nacional de Pesquisa Científica (Lasir-CNRS), na França. Foi lá que se deixou "contaminar", como ele dizia, pela química do estado sólido. "Ao retornar ao Brasil vi a oportunidade de fundar o LQES", contou em entrevista ao site da SBPMat, em 2015.

Ao longo da carreira, Alves desenvolveu pesquisas com vidros dopados (adição de impurezas no material original de modo a alterar suas propriedades) com *quantum dots* para telecomunicações, vidros para óptica não linear e técnicas de síntese de vários materiais bidimensionais e sua química de intercalação. Além disso, estudou sistemas químicos, purificação de nanotubos de carbono, interação de novos carbonos com biossistemas e nanopartículas de sílica com funcionalização antagônica para *drug delivery*, entre outras pesquisas.

"A carreira científica é fascinante, sobretudo nos tempos em que vivemos, em que as quebras de paradigmas ocorrem amiúde", afirmou Alves na entrevista à SBPMat. "Outro aspecto, não menos fascinante, é conviver com a inter, multi e transdisciplinaridade que, ao mesmo tempo que ampliam nossos conhecimentos, apontam para nossas limitações. Nessas relações fica claro que o conhecimento sólido e aprofundado de conceitos, técnicas e ferramentas é fundamental." ■

* Colaborou a *Agência Fapesp*

PARA FAZER UMA BOA BRANQUINHA

Químico autodidata propôs aprimoramentos nas técnicas de produção de aguardente no final do século XVIII

Carlos Fioravanti

RHJ/ GETTY IMAGES

Bebida destilada mais consumida no Brasil, a cachaça contém cerca de 300 compostos químicos

Como o coronel Aureliano Buendía, personagem do livro *Cem anos de solidão*, de Gabriel García Márquez (1927-2014), que promoveu 32 revoluções armadas e perdeu todas, o professor de gramática latina e químico autodidata João Manso Pereira (175?-1820) criou sucessivas inovações nas técnicas de produção de aguardente, todas barradas pelo ambiente conservador do Brasil Colônia. Nascido em Minas Gerais ou no Rio de Janeiro e descrito pelos historiadores como "um mulato alto e magro", ele propôs um novo tipo de alambique para aprimorar a destilação da bebida produzida a partir da cana-de-açúcar. Enquanto viveu, não viu suas ideias serem implantadas, mas muitas delas se mostraram acertadas séculos depois. Ele também sugeria outras matérias-primas, como as frutas, hoje aproveitadas para produção de aguardentes especiais.

Na atual Ilha do Governador, Pereira descobriu uma argila branca, rica em caulim, com a qual fez louças, porcelanas e pequenas esculturas chamadas camafeus. Para a rainha Maria I de Portugal (1734-1816), mandou um busto em argila branca dela e outro do marido, dom Pedro III (1717-1786). Em 1793, a rainha mandou uma carta de retribuição para ele e outra para o vice-rei do Brasil, José Luís de Castro (1744-1819), ordenando que desse todo o apoio necessário para o químico levar adiante seus empreendimentos, contradizendo seu próprio decreto que proibia qualquer fábrica ou manufatura no Brasil.

Em *Memória sobre a reforma dos alambiques ou de um próprio para a destilação das aguardentes*, publicado em 1797 em Lisboa, Pereira discordava dos métodos de mestres da fermentação, como o químico francês Jean-Antoine Chaptal (1756-1832), e argumentava que a destilação não precisava ser tão lenta quanto se acreditava. Um dos nomes da bebida, pinga, vem do fato de o líquido diáfano pingar lentamente sobre um recipiente, encerrando a purificação.

No livro, ele descreveu um alambique com medidas diferentes das usadas nas usinas de sua época. Criado por químicas de Alexandria, no Egito, entre 200 e 300 d.C. e inicialmente feito de barro, o equipamento tem quatro partes principais: a caldeira, onde o caldo de cana fermentado é colocado para ferver; a saída da caldeira, chamada capitel; uma conexão, o bico do capitel, por onde o álcool evaporado sobe; e a serpentina, onde o vapor condensa e se torna líquido.

Pereira propôs uma saída da caldeira mais estreita, usando água fria para resfriar o vapor, que voltaria para a caldeira e depois atravessaria a passagem. A seu ver, essas mudanças poderiam melhorar a separação de componentes indesejáveis, que passariam mais facilmente pela abertura mais larga. "As imensas experiências, que fiz em um pequeno alambique, que mandei fazer para este fim, me deram a conhecer que a água fria no bico do capitel retarda a destilação por ser preciso que ele esteja quente", ele argumenta no livro.

Para ele, a serpentina deveria ter um diâmetro menor, sem tantas voltas, e estar

mergulhada em água fria. “Os alambiques atuais usam condensadores tubulares, não mais serpentinas, continuamente banhados por água fria”, diz o agrônomo André Ricardo Alcarde, coordenador do Laboratório de Tecnologia e Qualidade de Bebidas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP). “João Manso tinha uma visão moderna, reunindo conhecimentos teóricos e práticos.”

Mais uma ideia que demorou a ganhar adeptos: a caldeira dos alambiques deveria ser feita de ferro fundido e as outras partes de estanho puro, para evitar a contaminação da bebida pelos óxidos de cobre. “Hoje há alambiques feitos de aço inox exatamente para evitar contaminantes”, conta Alcarde. “Mas o equipamento não deve ser totalmente de aço inox. Uma parte em cobre é importante para retirar os compostos com enxofre.”

Em outro livro, publicado em 1798 também em Lisboa, *Memória sobre o método econômico de transportar para Portugal a aguardente do Brasil com grande proveito dos fabricantes e comerciantes*, Pereira argumenta que os comerciantes poderiam gastar menos com o frete se enviassem uma bebida mais concentrada e a diluíssem em Lisboa. Ele se preocupava em buscar outros tipos de madeira para os tonéis em que a aguardente era transportada porque os usados naquela época vazavam. “Hoje se pensa em madeiras principalmente na etapa de envelhecimento da cachaça”, diz Alcarde. “Os tons amarelos, marrons e verdes da bebida vêm das reações com a madeira, como ocorre também com o uísque e o conhaque. Sem essa etapa, qualquer destilado é incolor.”

As inovações enfrentaram resistências. “Não há notícias de que as propostas de João Manso tenham sido implantadas”, comenta o químico e historiador da ciência Carlos Alberto Lombardi Filgueiras, da Universidade Federal de Minas Gerais e autor do livro *As origens da química no Brasil* (Editora da Unicamp, 2015). “Os aguardenteiros eram muito conservadores e não queriam novidades.”

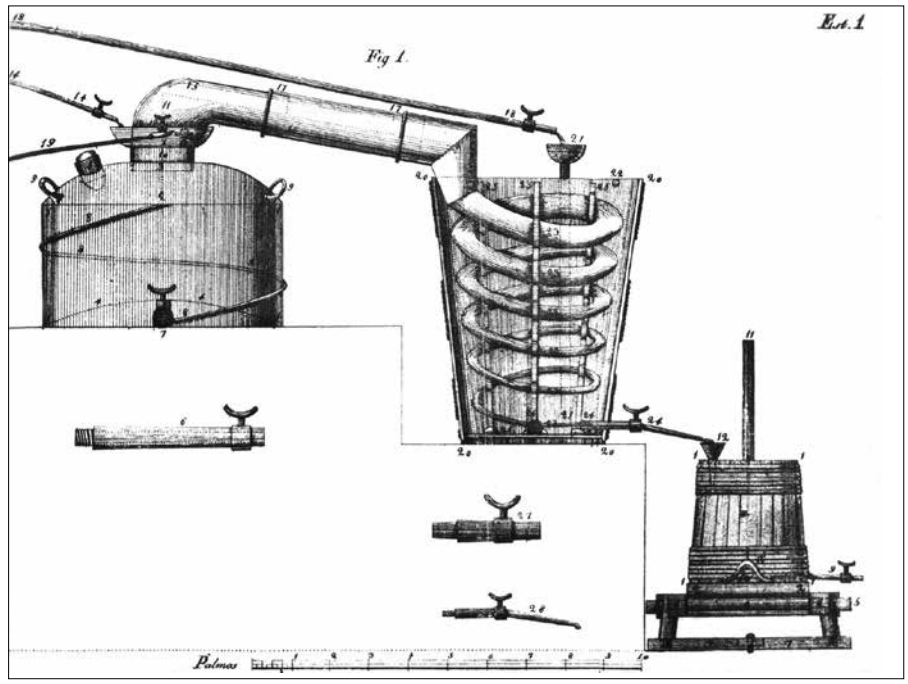
Pereira também entrava em outras áreas da química. Em Angra dos Reis, no litoral do Rio de Janeiro, propôs ao vigário da cidade o uso da terra das sepulturas para extrair nitrato, composto formado por nitrogênio e oxigênio com a decomposição dos corpos e utilizado na fabricação de pólvora. Segundo ele, os experimentos preliminares tinham funcionado. A população, porém, alegou que os mortos deveriam ser deixados em paz e a proposta não avançou.

Em outra missão, ele foi chamado para avaliar a possibilidade de produzir ferro com o minério de Araçoiaba da Serra, município próximo a Sorocaba, no interior paulista. “Em 1802, ele fez algumas experiências e confirmou que o minério era interessante, mas exagerou nas pretensões”, diz o engenheiro metalurgista Fernando Gomes Landgraf, da Escola Politécnica da USP. A produção experimental não funcionou. “É um erro comum dos químicos achar que conseguirão fazer em grande quantidade o que conseguiram em pequena escala”, conta Filgueiras. “Não se trata de multiplicar os reagentes por 10 ou 100, porque as proporções e as condições das reações mudam.”

Ele também traduziu e editou o livro *Memória sobre uma nova construção do alambique para se fazer toda a sorte de destilações com maior economia e proveito no resíduo*, publicado em 1805 em Lisboa. Nas notas de rodapé, ele discordava do autor, o químico francês Jean-Baptiste François Rozier (1734-1793), e relatou debates sobre destilação travados na Sociedade Literária do Rio de Janeiro, a que ele pertencia. Em um pé de página, ele também apresentou o trabalho do médico fluminense José de Pinto Azeredo (176?-1810), que fez a primeira medição de que se tem notícia da variação do teor de oxigênio no ar de pontos mais urbanizados ou mais arborizados da cidade do Rio de Janei-

Folha de rosto e descrição de um alambique experimental do livro de João Manso Pereira publicado em 1797

MEMORIA
SOBRE A REFORMA
DOS
ALAMBIQUES
OU DE HUM
PROPRIO PARA A DISTILLAÇAÕ
DAS AGUAS ARDENTES,
OFFERECIDA
A SUA ALTEZA REAL
O PRINCIPE DO BRASIL
NOSSO SENHOR
POR
JOAÕ MANSO PEREIRA
Professor Regio emerito no Rio de Janeiro, actualmente encarregado por Sua Magestade em exames de Historia Natural, &c.
LISBOA,
Na Off. Patr. de Joaõ Procopio Correa da Silva.
ANNO M. DCC. XCVII.
Com licença de Sua Alteza.



1 2

3

4

5

Alambique colonial em pedra-sabão, do Museu da Inconfidência, Ouro Preto (*à esq., alto*); em cobre, do Museu de Artes e Ofícios, Belo Horizonte (*à esq., embaixo*); e equipamentos da destilaria-piloto da Esalq-USP (*foto maior*)

ro, publicada no *Jornal Encyclopedico de Lisboa* em março de 1790. Pereira escreveu tantas notas que o número de páginas da versão traduzida dobrou.

Os historiadores ainda debatem sobre onde e quando a primeira aguardente foi produzida no Brasil. Há pelo menos três regiões e períodos: nas feitorias Igarassu e da ilha de Itamaracá, em Pernambuco, entre 1516 e 1526; em Porto Seguro, na Bahia, em 1520; ou em São Vicente, no litoral paulista, entre 1532 e 1534. Em 1649, a Coroa proibiu a venda de aguardente, então chamada de vinho de mel, que ganhava a concorrência com o vinho e a aguardente de uva trazidos de Portugal, além de ter se tornado uma moeda de troca. Em sua tese de doutorado, concluída em 2005 na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), o historiador Alex Varela, da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, relatou que a cachaça brasileira era o principal produto usado na troca por escravizados nas feiras e portos da África desde o século XVII. "Em Angola", observou, "a aguardente ganhou predileção substituindo o apreço às cervejas africanas e ao malafo, bebida fermentada, muito utilizada em cerimônias, extraída de diversos tipos de palmeiras e chamada pelos portugueses de 'vinho de palmaa'".

Com o nome de cagaça, do qual saiu cachaça, era uma bebida associada aos africanos escravizados. "Com medo de desordens, a Coroa combatia a embriaguez dos cativos, acusados de serem beberrões, mas pouco se falava dos excessos dos fazendeiros que se embriagavam", conta o historiador Lucas Endrigo Brunozi Avelar, da Universidade Estadual de Roraima. Segundo ele, o governo português gradativamente se aproveitou da cachaça, por meio de impostos, para compensar a queda de receita da mineração. "No século XIX, os manuais de gerenciamento das fazendas de café sugeriam a distribuição de pinga após o dia de trabalho e antes da contagem dos escravizados, para manter a paz nas senzalas", diz ele.

Havia muitos outros usos da bebida constituída por cerca de 300 substâncias, das quais 98% é água e etanol; o gosto provém de compostos como o ácido acético e o álcool isoamílico, enquanto o aroma frutado e floral resulta do acetato de etila. Chamada também de água que passarinho não bebe, café-branco, caninha, marvada ou mé, entre os 400 nomes listados no site Mapa da Cachaça (https://bit.ly/3wgkQOJ), tinha fama de remédio poderoso. Era usada para combater febre, evitar os tremores da malária, limpar machucados, eliminar o efeito de picadas de cobra, esquentar nos dias frios e esfriar nos quentes, homenagear santos e animar festas.

Em pouco mais de cinco séculos, os métodos de destilação de cachaça mudaram pouco, mas o suficiente para reduzir sua duração de três dias para quatro horas. Em 2019, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) registrava 951 produtores de cachaça, principalmente em Minas Gerais (44% do total), e 3.648 marcas da bebida destilada mais consumida no país (a fermentada mais consumida é a cerveja). Embora usadas como sinônimos, cachaça e aguardente são bebidas distintas, definidas por lei em 2006, a primeira com teor alcoólico de 38% a 48% em volume, a 20 graus Celsius, e a outra de 38% a 54%.

"Os produtores de cachaça ainda gostam da tradição, mas estão mais abertos a inovações do processo produtivo", afirma Alcarde. Segundo ele, foi bem-aceita, por exemplo, a proposta de bidestilação para eliminar contaminantes químicos e reduzir os teores de um composto indesejado, o carbamato de etila. "Há 10 anos, o limite do carbamato estava acima do aceito por lei na maioria das aguardentes", diz. Desde 2012, ele coordena na Esalq cursos sobre técnicas de produção, frequentado por fabricantes.

Segundo Alcarde, ainda há ajustes a serem feitos nas técnicas de produção. Em uma de suas pesquisas nessa área, ele trabalha para selecionar novas linhagens personalizadas de leveduras para a fermentação do caldo de cana, durante a qual se formam o álcool e os compostos responsáveis pelo aroma, gosto e textura da aguardente. "Se conseguirmos", diz, "será um grande avanço na consistência da fermentação para evitar a oscilação da qualidade da bebida". ■

FOTOS 1 E 2 BIBLIOTECA DIGITAL LUSO-BRASILEIRA/REPRODUÇÃO 3 E 4 CARLOS A. L. FILGUEIRAS/UFMG 5 GERHARD WALLER/ESALQ-USP

Temos de falar sobre o Conselho de Segurança

Lucas Carlos Lima

A segurança coletiva da humanidade: Uma análise jurídico-institucional do sistema de segurança coletiva da ONU
Ielbo Marcus Lobo de Souza
Editora Unicamp
344 páginas
R$ 37,50

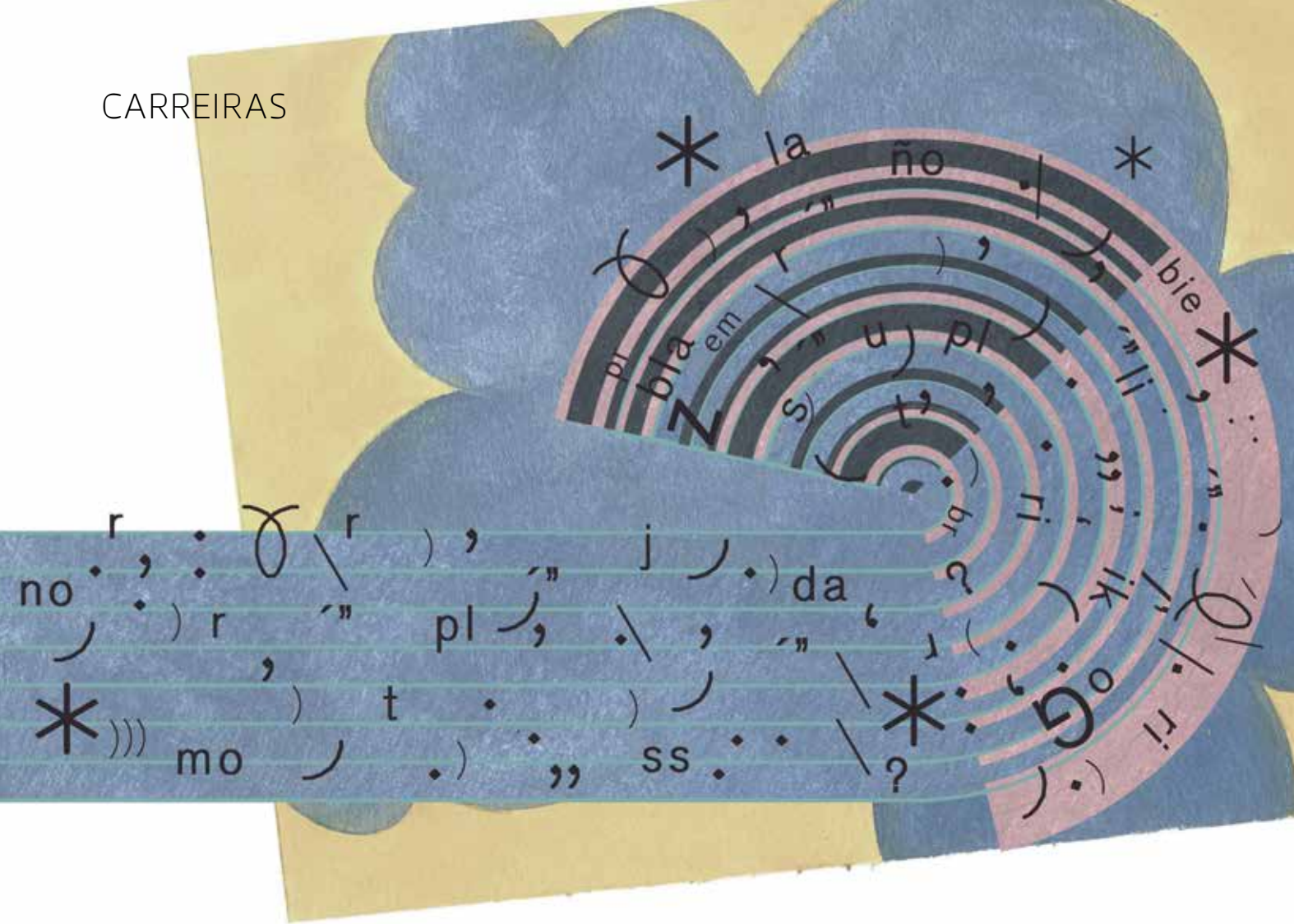
Aquilo que hoje chamamos de direito internacional nasce, antes de mais nada, como o direito de fazer a guerra legitimamente. Desprovido das justas razões que lhe assistissem em suas intenções, o Estado que se engajasse *ad bellum* seria considerado por seus pares como contrário à ideia de civilização. Foi com base nessa premissa que se erigiu o direito internacional e é por essa razão que em diversas universidades o direito da guerra e o sistema de segurança coletiva da ONU constituem o primeiro tópico ensinado aos neófitos na disciplina de direito internacional: a regulação do uso da força é a base fundamental que garante e sobre a qual se constrói todo o sistema. Porque em 1945 uma ordem jurídica baseada em um sistema de segurança coletiva que limita o uso da força ao controle de um conselho de segurança foi criada, que podemos descender toda uma série de construções e arquiteturas normativas que hoje compõem o direito internacional. Dito cruamente: o direito internacional depende e descende de uma ordem de segurança coletiva.

No Brasil são raras, para não dizer escassas, as obras que analisam o tema. Esse é um fenômeno curioso. Estudos recentes confirmam que certas temáticas são mais caras por certas "tradições acadêmicas nacionais" em detrimento de outras. O assunto do uso da força e segurança coletiva nem sempre ganhou a atenção dos jus internacionalistas brasileiros. Ao compulsarmos as vozes de autores e autoras que participaram da discussão internacional, com dificuldade encontraremos vozes brasileiras. *A segurança coletiva da humanidade: Uma análise jurídico-institucional do sistema de segurança coletiva da ONU*, de Ielbo Marcus Lobo de Souza, vem acrescer a esse debate e preencher essa lacuna. O propósito da obra é claro e consistente: a análise jurídica do atual sistema de segurança coletivo. Contudo, o professor Lobo de Souza não perde de vista em nenhum momento o pano de fundo histórico e teórico em que esse sistema se constrói. O leitor e a leitora, ao término da leitura, veem-se diante de todos os aspectos do funcionamento e da atuação do atual sistema coletivo – bem como suas eventuais debacles, como a paralisação durante a Guerra Fria – e o renascimento do sistema com ideias como a responsabilidade de proteger.

A obra pode ser dividida em duas partes. Na primeira, em três capítulos o autor consolida o arcabouço sobre o qual está construído o sistema jurídico de segurança do século XIX. No primeiro capítulo, estão as origens e as falhas do sistema da Liga das Nações (1919-1946). No segundo, o cardeal princípio da resolução pacífica é pormenorizadamente analisado. Destaque deve ser dado ao terceiro capítulo, em que a regra da proibição do uso da força é compulsada minuciosamente. A segunda parte da obra lança luzes sobre essa quimérica, mas necessária instituição que é o Conselho de Segurança. Por diversas razões, os dois últimos capítulos da obra são os mais instigantes. Pode-se citar o fato de que eles demonstram as potenciais controvérsias existentes entre a letra da Carta, a interpretação feita pelos Estados, e as pronúncias judiciais feitas pela Corte Internacional de Justiça – outra comum ausência nas obras nacionais.

O livro termina endereçando a *vexata quaestio* do contemporâneo esquema de segurança e, por consequência, de equilíbrio de poder da vida das nações: a reforma do Conselho de Segurança. A percuciente análise conduzida pelo professor Lobo de Souza não oferece respostas definitivas, mas levanta as questões em jogo. Um argumento interessante, embora certamente não novo, é a ausência de uma representatividade ou participação maior da América Latina e do Caribe no órgão. Esse é um assunto muito caro à política jurídica externa nacional e certamente levanta a reflexão sobre o papel do Brasil. Ao mesmo tempo, ele demonstra um certo paradoxo. Como pretende o Brasil integrar um dos órgãos juridicamente mais importantes do sistema normativo internacional, com todas as capacidades e poderes apontados e analisados no livro, se em território nacional são poucas e raras as obras que se dedicam a estudá-lo? Nesse sentido, a obra cumpre seu papel não só no debate, mas também na reflexão da necessidade de enriquecermos e repensarmos juridicamente nossa política externa não apenas do ponto de vista político, mas também jurídico.

Lucas Carlos Lima é professor na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e coautor de *A jurisprudência da Corte Internacional de Justiça: História e influência no direito internacional* (Del Rey, 2020).



Papo reto

Linguística aplicada investiga relações que ocorrem no campo das práticas discursivas

A linguística aplicada é um campo interdisciplinar de pesquisa e de prática profissional que tem por objetivo identificar e estudar problemas que envolvem a linguagem e a comunicação. Tais problemas abrangem desde a formação e o desenvolvimento da competência comunicativa dos indivíduos até a abordagem de conflitos sociais em que a linguagem aparece como elemento central, como os que ocorrem em processos de exclusão relacionados à variação linguística resultante dos diferentes dialetos utilizados por grupos sociais, étnicos ou regionais.

"Além de abarcar o conceito trazido pela Associação Internacional de Linguística Aplicada [Aila], essa definição também leva em conta o cenário brasileiro em que a linguística aplicada se caracteriza fortemente por intercâmbios e colaborações interdisciplinares, diferentemente de países como Estados Unidos, por exemplo, em que muitas vezes é entendida de forma mais estrita, como campo de aplicação de teorias linguísticas", explica Marcelo El Khouri Buzato, do Departamento de Linguística Aplicada do Instituto de Estudos da Linguagem da Universidade Estadual de Campinas (IEL-Unicamp).

A produção de saberes que ocorre nessa área busca contribuir para o enfrentamento e intervenção nas diversas demandas relacionadas à vida contemporânea bem como para o debate sobre políticas públicas de educação. "A linguística aplicada exerce papel central na inteligibilidade de problemas, conflitos e formas de injustiça social, buscando propor soluções práticas e teóricas de maneira interdisciplinar, visando sempre à melhoria da qualidade de vida da população", completa Buzato.

Foi por meio da linguística aplicada, também conhecida pela sigla LA, que a professora Vanusa Benício Lopes procurou, em pesquisa de doutorado concluída em 2020 na Universidade Estadual do Ceará (Uece), analisar práticas de mediação de leitura

ILUSTRAÇÃO MARIA PALMEIRO

promovidas em regiões periféricas da cidade de Fortaleza. Em seu estudo, Lopes, que atua na rede pública de ensino, cartografou as atividades de cinco bibliotecas comunitárias situadas em diferentes áreas da cidade, buscando verificar como as intervenções culturais que ocorrem a partir da leitura tornaram-se fundamentais na vida de crianças e adolescentes. "Notamos que as bibliotecas comunitárias eram responsáveis também pela produção de saraus, oficinas de leitura e escrita, contação de histórias, produção de fanzine e exposições fotográficas", informa. Participando de eventos e entrevistando 10 idealizadores dessas bibliotecas, Lopes pôde mapear as transformações ocorridas nas comunidades a partir da criação desses espaços. "O letramento com projetos dessa natureza traz a seus participantes uma nova percepção sobre a realidade em que vivem, o que lhes dá mais força para lutar por direitos. É uma transformação a partir da linguagem", completa.

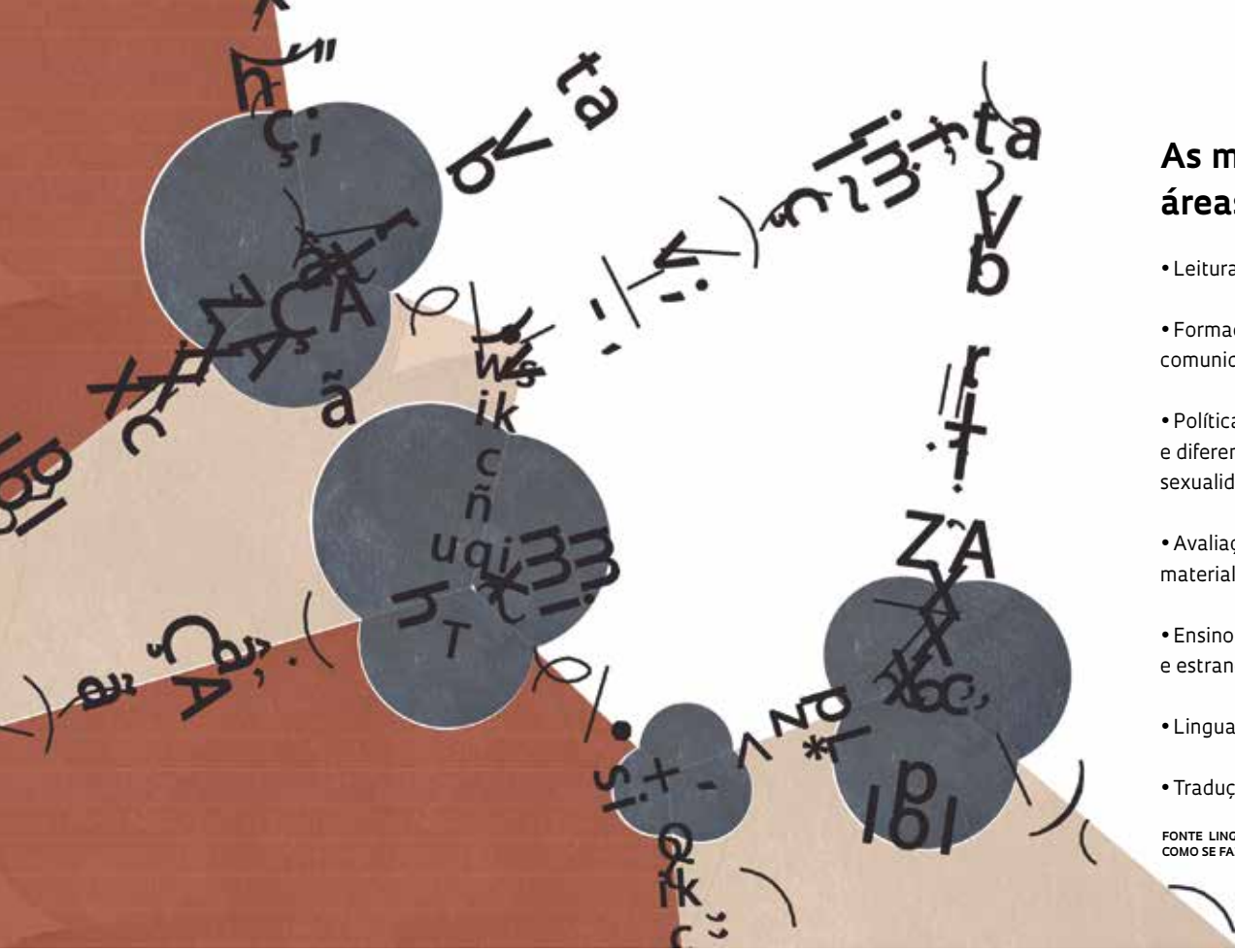
A linguística aplicada surgiu atrelada ao ensino de línguas, principalmente as estrangeiras. "Com o tempo, a partir do entendimento de que a linguagem é parte operante dos diferentes setores da vida em sociedade, a LA foi conquistando outros espaços", explica Claudiana Nogueira Alencar, presidente da Associação de Linguística Aplicada do Brasil (Alab) e professora do Programa de Pós-graduação em Linguística Aplicada da Universidade Estadual do Ceará (PosLA-Uece). Como campo de pesquisa, a linguística aplicada tem sido cada vez mais apontada por cientistas como ciência autônoma, afastando-se da condição de subárea da linguística, ciência que também estuda a língua, a fala e a linguagem, porém sem o compromisso de relacioná-las a problemas sociais do ponto de vista aplicado. "Hoje há o entendimento de que a LA não se caracteriza pela mera aplicação dos conhecimentos produzidos no campo da linguística, uma vez que dispõe de teorias e objetos próprios, abrindo possibilidades de intervenção social", avalia Alencar, ao destacar as modalidades de pesquisa-ação, pesquisa participante e produção de etnografias e cartografias como alguns de seus métodos mais utilizados. "São metodologias que vão sendo construídas a partir das demandas trazidas pelas comunidades ou grupos investigados", diz.

A Alab também integra o debate em torno de políticas públicas relacionadas aos campos da produção científica e da educação. "Tivemos encontros que se debruçaram, por exemplo, sobre as reformulações que vêm sendo feitas nos editais do Programa Nacional do Livro Didático [PNLD]. Constatamos que as últimas edições têm deixado de lado o compromisso de combater a construção de estereótipos sobre o papel da mulher e a presença do negro na sociedade e se omitido das discussões sobre gênero e sexualidade", aponta Alencar, lembrando da capacidade que a linguística aplicada tem de intervir em debates dessa natureza. "A violência e a discriminação são reverberadas por intermédio da linguagem quando utilizadas na construção de estereótipos."

O nascimento da linguística aplicada está relacionado ao contexto da Segunda Guerra Mundial (1939-1945) e à necessidade, observada inicialmente nos Estados Unidos, de elaboração de metodologias para que os soldados pudessem aprender línguas estrangeiras de forma mais rápida e sistematizada. "À medida que as pesquisas nessa área foram sendo desenvolvidas percebeu-se uma ampliação das teorias da LA a partir do diálogo estabelecido com outras áreas do conhecimento, como a antropologia, a sociologia e a psicologia", informa Rodrigo Borba, coordenador do Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Linguística Aplicada da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Como conceito que se tornou uma das principais características da área, a interdisciplinaridade abriu caminhos de pesquisa para além dos métodos de aprendizagem de línguas, oferecendo oportunidades em contextos mais amplos e diversificados. "A LA permite, por exemplo, investigar como se dá a comunicação no campo da saúde, analisando como médicos dialogam com seus pacientes e quais elementos são utilizados nesse discurso", exemplifica Borba.

No Brasil, a autonomia desse campo de pesquisa começou a se delinear efetivamente durante a década de 1990, 20 anos depois da criação do Programa de Pós-graduação em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (Lael/PUC-SP), considerado o primeiro *stricto sensu* do Brasil. A formação de linguistas aplicados se dá, em geral, por meio de programas de pós-graduação, embora a maioria dos cursos de graduação em letras inclua a disciplina em seus currículos, apresentando ao aluno sua história e seus principais teóricos. No país, existem atualmente sete programas de pós-graduação dedicados exclusivamente aos estudos da linguística aplicada. Somam-se a eles as produções científicas que ocorrem como linhas de pesquisa em linguística aplicada em programas de linguística e literatura. "É um espaço considerável, mas ainda buscamos o reconhecimento da LA como área independente da linguística, o que nos abriria mais oportunidades nos órgãos de fomento à pesquisa", considera Lucineudo Machado Irineu, professor e pesquisador do PosLA-Uece.

Irineu lembra que reconhecer a autonomia da linguística aplicada não significa transformá-la em concorrente da linguística, uma vez que são múltiplas as possibilidades de parceria entre as áreas. "A transdisciplinaridade que se tornou marca da LA não resulta na criação de hierarquia com outras disciplinas. Queremos apenas chamar a atenção para as especificidades de seus objetos de pesquisa e sobre seu compromisso de intervenção na vida social", completa Irineu. No programa da Uece, a pesquisa em linguística aplicada compreende três linhas de investigação. A primeira, intitulada linguagem, tecnologia e ensino, abarca projetos sobre multiletramentos, que são as práticas social e historicamente situadas de leitura e escrita, e o ensino de línguas. A segunda, intitulada multilinguagem, cognição e interação, investiga as relações entre linguagem e cognição sob a perspectiva do desenvolvimento da linguagem – seja em língua materna ou estrangeira –, e de tradução, no que se refere à interpretação em situações concretas



As múltiplas áreas de LA

- Leitura e produção literária
- Formação crítica de comunidades escolares
- Políticas das identidades e diferenças: gênero, raça e sexualidade
- Avaliação e produção de material didático
- Ensino de língua materna e estrangeira
- Linguagens e tecnologias
- Tradução

FONTE LINGUÍSTICA APLICADA: O QUE É? COMO SE FAZ? 2020

de uso. Já a terceira linha, denominada estudos críticos da linguagem, abre espaço para o estudo das relações de poder que ocorrem nas esferas ideológicas de produção do discurso.

Interessada em compreender a construção da identidade de pesquisadores que atuam no campo da linguística aplicada, Ametista de Pinho Nogueira Silva analisou as práticas discursivas e a configuração da cultura disciplinar da linguística aplicada no Brasil. Realizada no PosLA-Uece, a pesquisa resultou no livro *Linguística Aplicada: O que é? Como se faz?* (Pontes Editores, 2020), que tem por objetivo apresentar os conceitos básicos desse campo, especialmente àqueles que estão iniciando seus estudos na área e aos docentes da rede pública de ensino. "Pelo fato de a sala de aula consistir em um ambiente bastante frutífero no que diz respeito aos estudos da linguística aplicada, achei que seria interessante divulgar essa área também aos professores", afirma Silva, que leciona na rede estadual de ensino do Ceará e em seu doutorado estuda as representações sociais construídas por mulheres negras sobre a escrita.

A partir do plurilinguismo, produções científicas têm permitido o aprofundamento das relações estabelecidas entre língua e cultura. A reivindicação da comunidade surda pela implementação de escolas bilíngues em que o português é tratado como segunda língua, por exemplo, evidencia questões sobre inclusão e quebra de estereótipos culturais. "Linguistas aplicados estudam as possibilidades de ensino da Língua Brasileira de Sinais [Libras] em contextos específicos, buscando garantir o acesso dos surdos a recursos linguísticos", avalia Borba, da UFRJ.

De modo geral, a educação de surdos no Brasil se dá majoritariamente pelo modelo de escola inclusiva, mas há uma demanda da comunidade surda para a implementação da obrigatoriedade de escolas bilíngues para crianças surdas. Nessas escolas, a Libras é a língua de instrução e o português é ensinado como segunda língua. "Mais de 90% das pessoas surdas nasce em famílias de ouvintes e isso pode dificultar o contato com a Libras durante a infância", afirma Angelica Rodrigues, chefe do Departamento de Linguística, Literatura e Letras Clássicas e pesquisadora da Área de Línguas de Sinais da Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Araraquara. "O contato com a língua de sinais já na primeira infância, principalmente a interação com professoras e professores surdos em um modelo de escola que considere os surdos como minoria linguística, é fundamental para garantir o acesso e a permanência dos surdos no ambiente escolar", completa.

A linguística aplicada também tem contribuído para a produção científica acerca das línguas de povos originários e da educação indígena, ao oferecer elementos para a compreensão das relações de poder que resultam em hierarquias de práticas discursivas. "Por meio de estudos de LA, a elaboração de materiais didáticos para o ensino de línguas tradicionais poderá ir além da preservação da língua e da cultura, propondo em seus conteúdos a discussão necessária para identificar as disputas de poder que acontecem no campo linguístico", finaliza Alencar, da Alab. ■

Sidnei Santos de Oliveira

Cientista em formação

Graduanda em enfermagem da UFMG é premiada por pesquisa de iniciação científica sobre tratamento da leishmaniose tegumentar

Entusiasmada desde a infância por temas relacionados ao funcionamento do corpo humano, a estudante de enfermagem Raquel Soares Bandeira buscou a formação nessa área já com planos de se dedicar aos estudos científicos. "Sempre gostei do ambiente de laboratório e, ao escolher minha carreira, levei em conta as oportunidades que teria de ingressar em projetos de iniciação científica", conta a jovem de 24 anos, que atualmente está no décimo período da graduação em enfermagem na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Com pesquisa iniciada em 2019 no Laboratório de Infectologia e Medicina Tropical da Faculdade de Medicina da instituição, Bandeira foi uma das vencedoras da edição 2021 do Prêmio Carolina Bori Ciência & Mulher, oferecido pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). O trabalho foi inscrito na categoria Meninas na Ciência, que reconhece a produção de jovens cientistas, tendo na aplicação do método científico e no potencial de contribuição futura da pesquisa realizada seus principais requisitos de avaliação.

A pesquisa desenvolvida por Bandeira junto à equipe do laboratório e sob orientação do farmacêutico Eduardo Antonio Ferraz Coelho nasceu com o propósito de buscar alternativas para o tratamento da leishmaniose tegumentar, doença infecciosa causada por um protozoário do gênero *Leishmania*, que provoca feridas na pele e nas mucosas. A transmissão se dá pela picada do mosquito do gênero *Lutzomyia*. "Além de apresentarem grande toxicidade a órgãos como rins e fígado, os tratamentos mais comuns da doença são traumáticos por utilizar medicamentos administrados por via venosa ou intramuscular, em injeções extremamente doloridas", informa. Classificada como molécula hidrofóbica, que não se dissolve em água, a pesquisadora explica que a naftoquinona é uma substância com eficácia comprovada no combate a vírus, bactérias e fungos, além de apresentar ação antitumoral. "Com base nisso, resolvemos testá-la também no tratamento da leishmaniose", conta.

Realizados com grupos de camundongos, os estudos partiram da inserção da naftoquinona em micelas, um agregado de moléculas de estrutura similar à das membranas celulares de humanos. "Usamos as micelas para potencializar a eficácia do medicamento, pois elas aumentam a disponibilidade do fármaco no organismo e apresentam grande estabilidade na corrente sanguínea", diz.

Para verificar os resultados, Bandeira avaliou a resposta imunológica e a carga parasitária dos camundongos, além da produção de citocinas importantes para o combate do protozoário. "Além de gerarem resposta imunológica satisfatória com redução da carga parasitária e involução das lesões da pele, os animais tiveram poucas alterações em seus fígados e rins", explica. O grupo de controle, constituído por camundongos tratados com medicamentos já em uso no mercado, apresentou comprometimento considerável desses órgãos.

Quando soube que receberia o prêmio da SBPC, Bandeira realizava atividades de estágio. "Foi bastante significativo porque eu estava atuando no atendimento de pacientes de Covid-19. A notícia chegou como um alento em meio a tanto sofrimento", recorda a estudante, que agora faz planos para ingressar no programa de mestrado em infectologia e medicina tropical da UFMG. ■ S.S.O.

Raquel Bandeira: prêmio da SBPC chegou como alento

ACERVO PESSOAL

ACOMPANHE O SITE PESQUISA FAPESP

REPORTAGENS EXCLUSIVAS

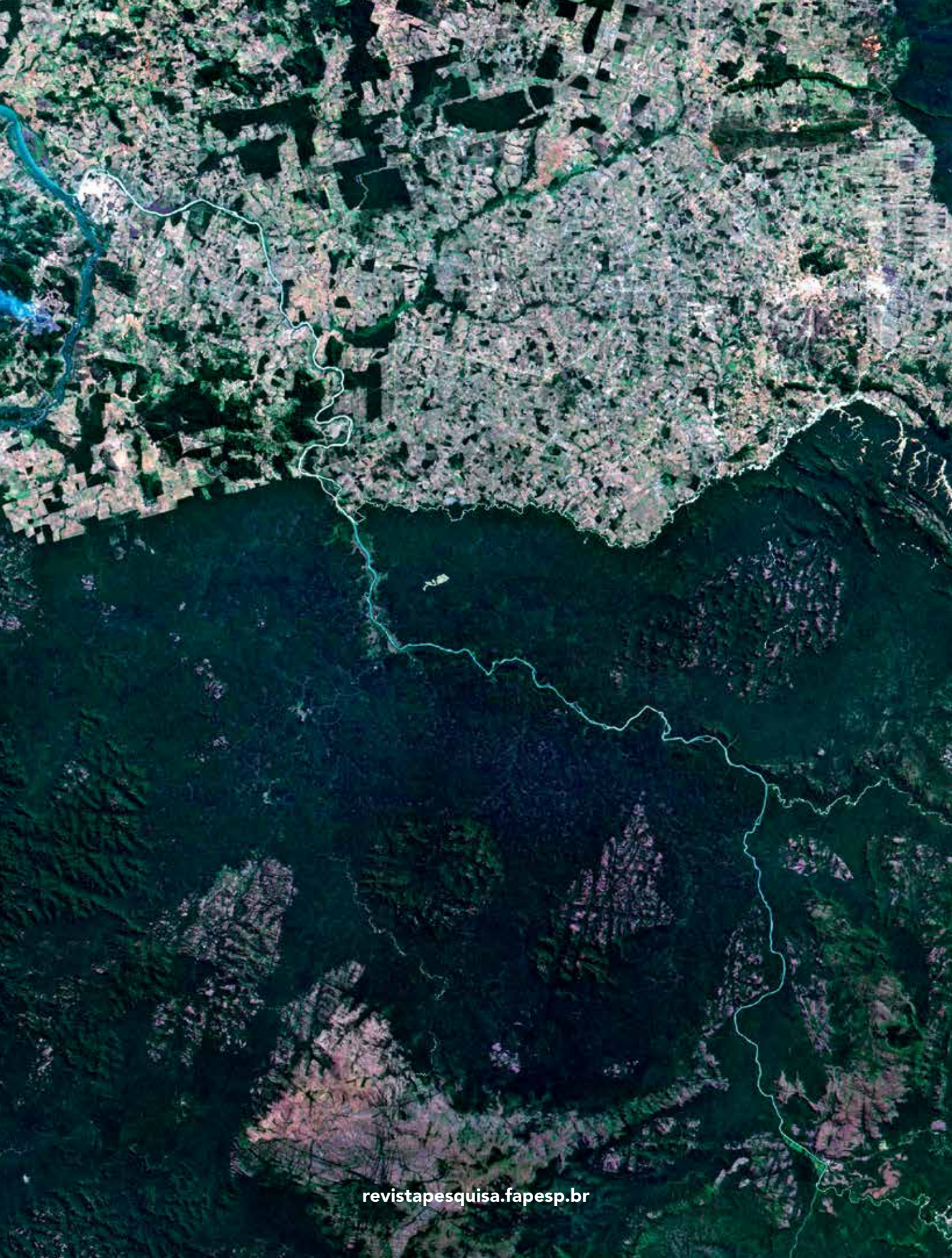
VÍDEOS, PODCASTS E GALERIAS DE IMAGENS

ATUALIZAÇÕES FREQUENTES

NAVEGAÇÃO SIMPLES

COMPATÍVEL COM DISPOSITIVOS MÓVEIS

Cadastre-se e receba nossa newsletter gratuita

Pesquisa FAPESP

revistapesquisa.fapesp.br