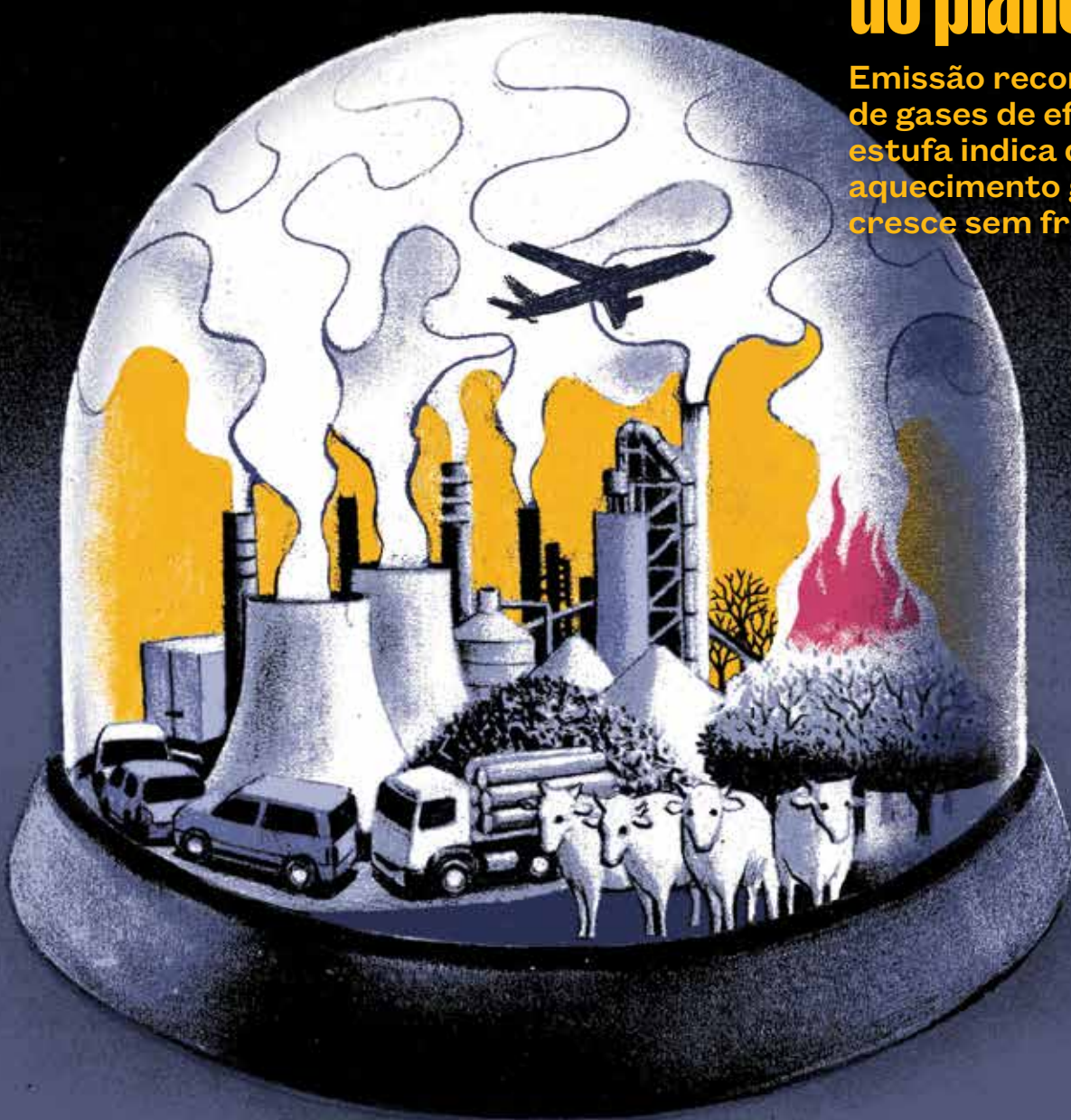


O sufoco do planeta

Emissão recorde de gases de efeito estufa indica que aquecimento global cresce sem freios



Principais formas de demência atingem de modo desigual brancos e negros

Rede de telescópios em implantação no país vai monitorar lixo espacial

Indígenas, ribeirinhos e pesquisadores medem impactos de Belo Monte

Estudo propõe explicação de como a endometriose se agrava e causa dor

Cuidados simples com o solo recuperam a vitalidade da Caatinga

promoção
dos
25 anos
da revista:
assine por
25 meses
pela metade
do preço
de banca
r\$ 250
e ganhe
uma ecobag
exclusiva



revista **pesquisa** fapesp

detalhes disponíveis em
revistapesquisa.fapesp.br/assine



revista **pesquisa** fapesp

5 CARTA DA EDITORA 6 NOTAS

CAPA
12 Emissões de gases de efeito estufa crescem no mundo e caem no Brasil

18 Estudo aponta estado crítico de 25 dos 35 sinais vitais da Terra

20 Soluções baseadas na natureza inspiram medidas de adaptação climática

ENTREVISTA
24 O agrônomo Ruy Caldas semeou equipes e programas de pesquisa pelo país

INOVAÇÃO
30 Instituições com estratégias ativas têm mais êxito em transferência de tecnologia

AVALIAÇÃO
33 Ferramentas de IA podem mensurar desempenho e contribuição de pesquisadores

LEGISLAÇÃO
36 Cientistas se articulam para proteger meteoritos encontrados no território nacional

BOAS PRÁTICAS
38 Reitor de instituição espanhola fraudou indicadores de impacto

DADOS
41 Ingressos em programas de engenharia e de computação

NEUROLOGIA
42 Alzheimer afeta mais brancos e demência vascular atinge mais negros

IMUNOLOGIA
46 Células de defesa estimulam crescimento de lesões da endometriose

ENTREVISTA
50 Radicado nos EUA, o físico José Nelson Onuchic estuda enovelamento de proteínas

ARQUEOLOGIA
54 Pesquisadores acadêmicos e de comunidades tradicionais se reúnem em Manaus

AMBIENTE
58 Baixa vazão na Volta Grande do Xingu inviabiliza modo de vida local

ECOLOGIA
62 Experimentos recuperam vegetação nativa e solo cultivável na Caatinga →

CAPA
ANDRÉ KITAGAWA

Mulungu, árvore nativa do Brasil, é usada em ações de reflorestamento (ECOLOGIA, P.62)

ESPAÇO

- 68** Brasil estrutura rede de telescópios para monitorar lixo em órbita

ENGENHARIA HÍDRICA

- 73** Aparelho automatizado mede a permeabilidade da água no solo

ENTREVISTA

- 76** Radioisótopos podem rastrear *commodities*, diz Elisabete Fernandes, do Cena-USP

ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

- 80** Tribunal de Contas do Estado de SP faz 100 anos e quer engajar a sociedade

HISTÓRIA

- 84** Arte é usada em tratamentos de saúde mental no Brasil desde o século XIX

DIFUSÃO

- 88** Livros escritos por cientistas estimulam a curiosidade científica das crianças

MEMÓRIA

- 90** Em seu centenário, a televisão luta para continuar relevante

ITINERÁRIOS DE PESQUISA

- 94** De origem ribeirinha, Gracialda Costa Ferreira forma pesquisadores da floresta

RESENHA

- 96** *O jardim das hespérides. Minas e as visões do mundo natural no século XVIII*, de Laura de Mello e Souza. Por José Newton Coelho Meneses

97 COMENTÁRIOS

98 FOTOLAB



Primeira transmissão televisiva da BBC, vista na estação de trem de Waterloo, em Londres (MEMÓRIA, P.90)

WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR



VÍDEOS

COMO AS BETS AFETAM

A SAÚDE MENTAL DOS BRASILEIROS

Entenda por que as apostas on-line podem provocar dependência, isolamento social, impactos emocionais e financeiros



EFEITOS DAS

MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS

PEIXES DA AMAZÔNIA

O biólogo Adalberto Val, do Inpa, explica as consequências das alterações no clima para os animais do rio Negro



PODCAST

DESCONFORTO

TÉRMICO NOS PRÉDIOS

O desafio de adaptar edifícios para torná-los mais resilientes ao aumento da temperatura. E mais: violência na floresta; organismos aquáticos; comportamento de risco

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

Aurora Cursino dos Santos pintou mais de 200 quadros no Hospital Psiquiátrico do Juquery (HISTÓRIA, P.84)



Contramão bem-vinda, embora insuficiente

ALEXANDRA OZORIO DE ALMEIDA — diretora de redação



Brasil ocupa um lugar singular nas discussões sobre mudanças climáticas. A quantidade de gases de efeito estufa que libera anualmente o coloca no indesejável grupo dos cinco maiores emissores mundiais (ou em sexto lugar, contando-se a União Europeia). O seu perfil, entretanto, é diferente das demais grandes economias, em que o setor energético é responsável por dois terços do total. Aqui, a energia não alcança 20%.

A maior fatia das emissões brasileiras resulta do (mau) uso que fazemos dos nossos 8,5 milhões de km² de solo. As mudanças no uso da terra, isto é, os desmatamentos e as queimadas em todos os biomas, com destaque para a Amazônia, acarretam quase metade (46%) das liberações de gases estufa na atmosfera. A produção agropecuária responde por outros 28%.

A boa (porém insuficiente) notícia é que, na contramão do mundo – que bateu novo recorde, tendo liberado em 2023 1,3% mais gases que no ano anterior –, o Brasil reduziu suas emissões em 12%. A melhora se deve principalmente à queda do desmatamento. Com a mobilização de atores políticos, econômicos e sociais, esse número pode cair ainda mais, e rapidamente: é muito mais fácil parar o desmatamento do que mudar a matriz energética.

Em momento de divulgação de estatísticas oficiais e de mobilização para a conferência da ONU sobre mudanças climáticas (COP29), a reportagem de capa desta edição traz um balanço sobre as emissões brasileiras e mundiais (página 12).

Embora o Brasil tenha a matriz energética menos dependente da queima de combustível fóssil, a classificação como “limpa” esconde graves problemas sociais e ambientais, além da emissão de metano e gás carbônico pela decomposição da floresta alagada pelos reservatórios de água. A política energética sistematicamente desconsidera

os efeitos negativos da geração hidrelétrica nas populações locais e nos ecossistemas.

A usina de Belo Monte, na bacia do rio Xingu, é um caso emblemático. Sua construção exigiu o reassentamento de milhares de pessoas, afetou pesca e lavoura, levou a um aumento descomunal da violência na região e trouxe problemas de saúde (ver Pesquisa FAPESP nº 284). Com as recentes secas que afligem a região, a situação se tornou ainda mais dramática para quem depende do rio para seu sustento.

Vivendo cotidianamente o conflito por água, comunidades indígenas locais começaram a monitorar o impacto da usina na vazão do rio. A iniciativa incorporou comunidades ribeirinhas e se formalizou com a parceria de pesquisadores de universidades e centros de pesquisa. Essa ação integrada enriquece a ciência produzida na academia e os dados subsidiam a população local na sua luta pela sobrevivência. Maria Guimarães, editora de Ciências Biológicas, conta a história dessa parceria (página 58), que ela apurou a partir de conversas nos intervalos da reunião do projeto Amazônia Revelada, em Manaus.

Com a premissa de desenvolver ciência colaborativa entre pesquisadores acadêmicos e comunidades locais, esse projeto aplica uma tecnologia de sensoriamento remoto para mapear o solo em áreas impactadas e identificar sítios arqueológicos. Esses indícios de ampla população no passado podem ajudar a preservar o modo de vida dos habitantes atuais da Amazônia (página 54).

Para fechar, imagens mostram uma Caatinga diferente da que costumamos ver. Com 89% da área original desmatada (ver Pesquisa FAPESP nº 335), o único bioma totalmente brasileiro é objeto de experimentos visando à restauração de sua vegetação e à recuperação das áreas degradadas para cultivos agrícolas (página 62).

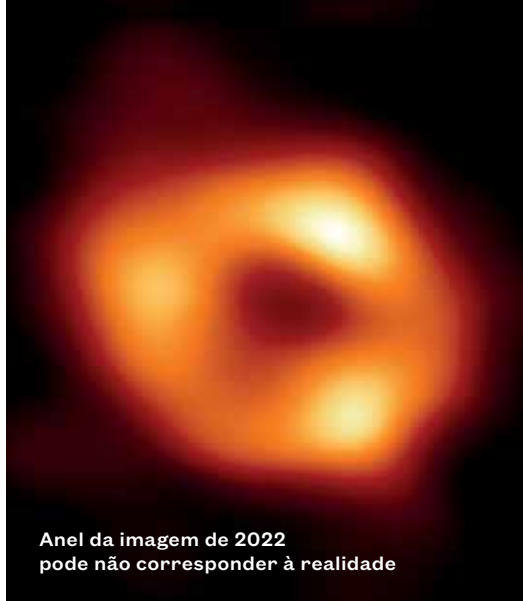


Piolho, a origem do beijo?

O costume humano do beijo, disseminado em algumas culturas em contextos sociais, além de amoroso, pode ter origem em um hábito higiênico. A sugestão é do primatólogo e psicólogo evolucionista português Adriano Lameira, da Universidade de Warwick, no Reino Unido, com base no que observa em grandes primatas (chimpanzés, bonobos, gorilas e orangotangos), nossos primos mais próximos. Segundo ele, os primatas que adquiriram o hábito terrestre também se tornaram mais sujeitos a infestações, tornando ainda mais importante o comportamento social de catar parasitas uns dos outros. O estágio final dessa catação, depois de afastar a pelagem para encontrar pulgas, piolhos ou carrapatos colados à pele, muitas vezes envolve usar os lábios e um movimento de sucção para capturar o hóspede indesejado. Quando o processo evolutivo criou primatas pelados – os seres humanos –, o comportamento de afiliação social teria se transformado e dado origem ao beijo: uma manifestação de confiança e proximidade. Você gosta de cafuné? A origem pode ser a mesma (*Evolutionary Anthropology*, 17 de outubro).

Uma imagem retocada

Há dúvidas sobre a festejada primeira imagem do buraco negro Sagittarius A* (Sgr A*) no centro da Via Láctea. Sua estrutura central, chamada disco de acreção, pode ser alongada no sentido leste-oeste, em vez do formato circular com que foi apresentada em 2022. Pesquisadores do Observatório Astronômico Nacional do Japão (Naoj) chegaram a essa conclusão após aplicarem outros métodos de análise aos dados de Sgr A* obtidos pela equipe do Event Horizon Telescope (EHT) usando oito radiotelescópios terrestres. Parte da imagem do anel pode ser um artefato da construção, que combinou informações de várias fontes. A forma agora alongada significa que o disco de acreção está girando a cerca de 60% da velocidade da luz ao redor do centro do buraco negro de 4 milhões de massas solares. O inegável brilho resulta da ação dos campos magnéticos e do atrito do material que forma o disco de acreção (*Universe Today*, 25 de outubro; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, novembro).



Anel da imagem de 2022 pode não corresponder à realidade

2

Das aulas de Kumon ao primeiro artigo

Um estudante de 13 anos facilitou a forma de multiplicar por 9 números com algarismos repetidos. O teorema desenvolvido por Enzo de Oliveira Pimenta diz que, ao multiplicar por 9 um número formado por um algarismo que se repete i vezes – por exemplo, 3.333.333, em que o algarismo 3 se repete sete vezes –, basta multiplicar o algarismo que se repete por 9, o que dará um número n com dois algarismos (27, no caso). O resultado da multiplicação será o primeiro algarismo de n seguido por $i-1$ algarismos 9 e pelo segundo algarismo de n : 29.999.997, no exemplo. “O teorema se vincula com o Princípio da Indução Finita e pode ajudar no ensino desse conceito matemático”, diz o matemático Marcos Pimenta, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), pai de Enzo. O princípio da indução finita parte da suposição de que uma afirmação correta para um número natural é verdadeira para o número seguinte. Enzo desenvolveu o teorema no curso de Kumon. O pai insistiu que ele provasse a fórmula e o ajudou na redação de um artigo, publicado na revista *Professor de Matemática Online (Imparcial)*, 17 de outubro.

FOTOS 1 GERARDO GOMEZ/AFP VIA GETTY IMAGES 2 EHT 3 EMERSON PANSARIN/USP

Baunilha *gourmet* só para cutias

Se você aprecia sorvete de baunilha com aqueles pontinhos pretos que indicam a presença do ingrediente real, pode se interessar em saber que essas minúsculas sementes, que ficam dentro de favas produzidas por orquídeas do gênero *Vanilla*, podem ser indigestas. Quando esse grupo de plantas surgiu, há 34 milhões de anos na América do Sul, seus frutos provavelmente atraíram animais da megafauna, que foram extintos. No caso da baunilha *V. chamissonis*, nativa da Mata Atlântica, hoje os únicos consumidores são as cutias (*Dasyprocta azarae*), de acordo com observações feitas por meio de armadilhas fotográficas. “A espécie produz frutos não palatáveis aos onívoros, o que inclui os humanos”, afirma o biólogo Emerson Pansarin, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP), que estudou a morfologia, a anatomia e a química de frutos produzidos por plantas cultivadas em laboratório. “As cutias, que são exclusivamente herbívoras, têm resistência a taninos e compostos fenólicos, o que permite que elas consumam frutos que não são ingeridos pelos onívoros”, complementa. O pesquisador pede cuidado no consumo e comércio desse aroma tão apreciado quando se trata de espécies nativas cujos compostos químicos podem ter efeitos desconhecidos em seres humanos (*Plant Biology*, 5 de outubro).

3



Flor da orquídea *Vanilla chamissonis*: frutos indigestos para onívoros

Os quatro requisitos de uma boa alimentação

Sua alimentação é adequada, equilibrada, moderada e diversificada? Esses são os princípios de uma dieta saudável recomendados em uma declaração conjunta da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS). Uma dieta é adequada se fornece nutrientes específicos para a idade, massa corporal, nível de atividade física e eventuais doenças, como diabetes ou hipertensão; equilibrada se contém as proporções recomendadas de proteínas, carboidratos (açúcares) e gorduras (as saturadas, encontradas em carnes, leite e laticínios, não devem ultrapassar 10% do total de calorias ingeridas por dia); moderada, se não há excessos; e diversificada, com uma variedade de itens dentro de cada um dos três grupos alimentares. A OMS recomenda o consumo de carboidratos com preferência para grãos, vegetais, frutas e leguminosas como o feijão. Adultos deveriam consumir pelo menos 400 gramas de vegetais e frutas por dia. A declaração ressalta que as dietas só podem ser consideradas saudáveis se os alimentos e bebidas não causarem efeitos adversos à saúde quando consumidos (FAO e OMS, outubro).



Quando for à feira, lembre-se de escolher vegetais bem diversificados



Torre de 55 metros de altura quantifica o carbono emitido ou absorvido na Reserva da Biosfera Yangambi

Primeiros socorros na palma da mão

Tomadas, objetos cortantes, remédios e venenos são todos perigos comuns e constantes para seres humanos, mas especialmente para crianças de 0 a 10 anos. Uma equipe multidisciplinar de profissionais da saúde e da educação das universidades Federal de São Paulo (Unifesp), Franciscana e outras instituições desenvolveu um aplicativo que busca popularizar as formas corretas de agir em momentos críticos. O SOS Kids foi desenvolvido para ser acessível e fácil de navegar, de forma que possa ser usado por educadores, cuidadores e mesmo responsáveis por crianças. Mapas conceituais dentro da plataforma mostram um passo a passo do que fazer em casos de afogamentos, convulsões, queimaduras, intoxicação, engasgos, quedas, paradas cardíacas, ferimentos, choques elétricos e acidentes com animais, além de quando buscar ajuda profissional imediatamente. O aplicativo está disponível na Google Play para celulares Android (*Acta Paulista de Enfermagem*, 4 de outubro).

Pesquisa para proteger a floresta congoleza

Faltam pesquisadores na área ambiental na República Democrática do Congo. Para especialistas, isso representa uma ameaça à permanência no longo prazo da floresta da bacia do rio Congo, a segunda maior do mundo, que abriga centenas de espécies de mamíferos e mais de 10 mil de plantas tropicais, um terço delas restrito à região. Sua capacidade de reter carbono pode ser mais alta que a da floresta amazônica. Poucos pesquisadores congolezes publicam artigos em periódicos científicos internacionais – entre eles Bila-Isia Inogwabini, afiliado à Universidade de Uppsala, na Suécia, que fundou um Departamento de Ambiente e Gerenciamento de Recursos Naturais na Universidade Católica do Congo. Em 2023 teve início um projeto – ainda em estágio inicial – inspirado no Programa de Grande Escala da Biosfera-atmosfera (LBA), liderado pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa). Maior do que o desafio de conseguir financiamento é o de inspirar e manter pesquisadores, com recursos de subsistência durante a formação e perspectiva de contratação para trabalhar no país (reportagem *Science*, 3 de outubro).

África do Sul proíbe milho transgênico

Após nove anos de litígio, um tribunal com cinco juizes da Suprema Corte de Apelação (SCA), com sede em Bloemfontein, África do Sul, aceitou os argumentos do Centro Africano para a Biodiversidade (ACB) e anulou a liberação comercial do milho geneticamente modificado tolerante à seca MON 87460, da Monsanto, agora Bayer, aprovado nos Estados Unidos em 2011 e na China em 2013. O ACB argumentara que o Conselho Executivo do Departamento de Agricultura, Reforma Agrária e Desenvolvimento Rural havia apenas carimbado o pedido de autorização da Monsanto, aceitando acriticamente a escassez de evidências de que o milho geneticamente modificado não representaria ameaça à saúde humana ou ao ambiente, ignorando as evidências periciais contrárias apresentadas por especialistas do centro. A Suprema Corte concluiu que não foi cumprida a determinação de a Monsanto apresentar uma avaliação de impacto ambiental. De acordo com um relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Usda), o MON 87460 funciona apenas parcialmente e não resiste a secas severas (*African Science News*, 22 de outubro de 2024; Usda, janeiro de 2019).



Representação artística da *Archaeopteryx*, *N. hestiae* e ave atual (à dir.): cérebro e ouvido interno comparados

Fóssil ajuda a entender como o cérebro das aves evoluiu

Um esqueleto de uma ave desdentada, com olhos grandes encaixados em um crânio alto e redondo, pode ajudar a desvendar como o cérebro das aves evoluiu. A ossada, encontrada no interior paulista, está muito bem preservada – algo raro para aves, que, por terem os ossos frágeis, raramente deixam registros fósseis. A nova espécie, nomeada *Navaornis hestiae*, viveu entre 83 milhões e 72 milhões de anos atrás. Os paleontólogos aproveitaram a boa preservação do fóssil para fazer uma tomografia digital, a partir da qual fizeram uma reconstrução 3D da cabeça do animal e um desenho interpretativo. Depois, compararam o grau de expansão de estruturas cerebrais de *N. hestiae* com o de espécies de dinossauros e do gênero de aves *Charadrius*, existente até hoje. Eles descobriram que a nova espécie tem características intermediárias entre as aves primitivas e seus descendentes. A falta de dentes, o tamanho e a altura dos olhos e do crânio, o formato do labirinto ósseo e o grau de flexão cerebral são bem parecidos com os das aves atuais. Por outro lado, a grande maxila, o palato, o pequeno cerebelo e um telencéfalo pouco expansivo são mais aparentados com os de aves ancestrais, como *Archaeopteryx*. “São informações procuradas há muito tempo. A descoberta permite entender como e quando ocorreram os processos evolutivos e até mesmo o da neuroanatomia que conduziu à origem das aves modernas”, diz o paleontólogo Ismar Carvalho, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (*Nature*, 13 de novembro).

3

Desafio: produzir plantas resistentes às secas que castigam lavouras



Ursos-polares mais expostos a patógenos

No Ártico, a elevação da temperatura tem colocado em contato espécies antes distantes e aumentado o risco de infecções para os animais silvestres. Pesquisadores do Serviço Geológico, da Universidade do Estado do Colorado e do Departamento de Agricultura, dos Estados Unidos, identificaram um aumento de até quatro vezes na prevalência de anticorpos contra patógenos microbianos e virais em ursos-polares (*Ursus maritimus*).

A conclusão se apoia na comparação entre amostras de 115 fêmeas adultas coletadas de 1987 a 1994 com as de 232 ursos adultos ou sub-adultos, coletadas de 2008 a 2018 no mar de Chukchi, entre a Rússia e o Alasca. A prevalência foi maior (67% das amostras) para o vírus da cinomose canina (CDV), causador de uma doença respiratória grave, e para o protozoário *Neospora caninum* (64%), que pode causar paralisia da mandíbula e flacidez muscular. Também há sinais de contato com o protozoário *Toxoplasma gondii*, causador de alterações neurológicas (PLOS ONE, 23 de outubro).



Derretimento do gelo ártico tem proporcionado contatos inesperados entre animais

Espaços de história e ar puro

Geralmente evitados, os cemitérios poderiam ser valorizados como patrimônio histórico, artístico e ambiental, não apenas como espaço de celebração dos mortos, propôs o arquiteto Saúl Alcántara Onofre, presidente do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (Icomos), em um debate em outubro no Museu Nacional de Antropologia, na Cidade do México. Segundo ele, as tumbas e monumentos dos cemitérios refletem a cosmovisão das sociedades que os construíram. Em algumas cidades, como Paris e Buenos Aires, são pontos turísticos. Outros, como o de San Fernando, em Sevilha, na Espanha, oferecem áreas verdes. O de Vila Formosa, o maior da América Latina, na zona leste da cidade de São Paulo, tem uma trilha de 1,5 quilômetro em meio a árvores, inaugurada em 2015 com o propósito de transformar os cemitérios da cidade em espaços para a prática de exercícios físicos e passeios com animais de estimação. “Valorizar esses espaços contribui para fortalecer a memória coletiva e a diversidade cultural de nossa nação, garantindo que as gerações futuras possam experimentar esse legado”, arrematou Onofre (INAH, 23 de outubro).

Cemitério Père Lachaise, em Paris: atração turística



Mapeando a floresta com rapidez

A equipe Brazilian Team, coordenada pelo biólogo Vinicius Souza, da Universidade de São Paulo (USP), receberá US\$ 500 mil pelo terceiro lugar na competição internacional Xprize Rainforest, realizada em julho nas proximidades de Manaus (AM). Também anunciadas em novembro no G20 Social, no Rio de Janeiro, duas equipes dos Estados Unidos, a Limelight Rainforest e a Map of Life, levaram o primeiro e o segundo lugares e receberão US\$ 5 milhões e US\$ 2 milhões, respectivamente. A equipe suíça ETH BiodivX recebeu um bônus de US\$ 250 mil do painel de jurados da competição. O desafio era fazer um levantamento da biodiversidade de 100 hectares (ha) de uma porção da floresta amazônica em 24 horas com equipamentos de coleta remota e analisar os dados em outras 48 horas. Juntas, as seis equipes finalistas, incluindo uma da Espanha e outra dos Estados Unidos, identificaram mais de 800 espécies de animais e plantas e 80 milhões de sequências de DNA ambiental (XPrize Foundation, 18 de novembro).

Vida em um oásis, na Idade do Bronze

Um vilarejo construído há mais de 4 mil anos no oásis Khaybar, na atual Arábia Saudita, traz novas informações sobre o povo que habitava a região, de acordo com arqueólogos franceses e sauditas. Eles encontraram resquícios de uma cidade fortificada de 2,6 hectares, que parece ter sido habitada por cerca de mil anos. O povoado, batizado “al-Natah”, teria abrigado cerca de 500 pessoas e seria organizado em uma área residencial, uma administrativa e um cemitério, conectados por pequenas ruas. Nos vestígios de pelo menos 50 habitações, feitas de barro, há fragmentos de cerâmica e pedras de amolar. Os pesquisadores interpretam o achado como indicativo de uma urbanização lenta, diferente do que acontecia na mesma época no Egito e na Mesopotâmia. Seria um modo de vida intermediário entre o pastoralismo, no qual nômades vão atrás de áreas de pastagem para seus animais, e formações urbanas mais complexas. Uma muralha de quase 15 quilômetros protegia a região (*PLOS ONE* e *Live Science*, 30 de outubro).

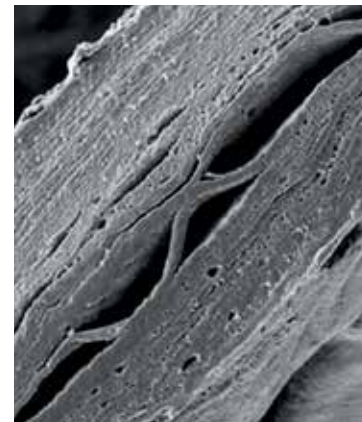
Reconstrução 3D de al-Natah, junto à muralha contra invasões nômades



3

Pele artificial agora completa

Mais um passo rumo à substituição de animais em testes de cosméticos e medicamentos. Pesquisadores do Laboratório Nacional de Biociências (LNBio) do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), de Campinas, produziram, em laboratório, um equivalente de pele humana completa. A bióloga Ana Carolina Figueira, com sua equipe, empregou uma combinação de três tipos de células humanas (queratinócitos, fibroblastos e células-tronco mesenquimais). O processo de impressão foi feito com biotinta de colágeno, que tem uma consistência líquida a 4 graus Celsius (°C) e, após incubação a 37 °C, adquire a consistência do tecido epitelial. Após a impressão, as camadas da pele se diferenciaram, formando a epiderme, com superfície impermeável, e a derme. As células-tronco se transformaram em adiposas, que formaram a hipoderme. Essa camada revelou atuar na ativação de genes específicos para a manutenção da fisiologia da pele, na proliferação e diferenciação das células e na hidratação da pele (*Communications Biology*, 11 de novembro).



Epiderme: bioimpressão em laboratório conseguiu gerar camadas funcionais

4

CAPA



Alta global, queda nacional



Emissões de gases de efeito estufa crescem no mundo, mas caem no Brasil graças à redução do desmatamento na Amazônia

MARCOS PIVETTA — ilustrações ANDRÉ KITAGAWA

As emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) bateram novo recorde em 2023. Chegaram a 57,1 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) e foram 1,3% maiores do que no ano anterior, segundo relatório divulgado no final de outubro pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma). A taxa de crescimento foi superior à da década passada (de 2010 a 2019), quando, antes da eclosão da Covid-19, as emissões anuais subiram, em média, 0,8%. Em 2020, no auge da pandemia, a redução das atividades no planeta provocou uma queda de quase 5% nas emissões totais, a maior registrada desde os anos 1970.

A alta nas emissões globais ocorreu em quatro dos cinco grandes setores que produzem GEE: energia, processos industriais, agropecuária e tratamento de resíduos. Apenas a categoria de uso da terra, mudanças no uso da terra e florestas (LULUCF) liberou menos gases de efeito estufa em 2023 do que no ano anterior. O principal processo que influencia o total desse setor é a remoção de vegetação, em especial de florestas, para dar lugar à agricultura e à pecuária.

“O problema do Brasil é que o inventário nacional subestima as emissões de dióxido de carbono decorrentes das queimadas e da degradação de vegetação”, comenta a química Luciana Gatti, coordenadora do Laboratório de Gases de Efeito Estufa (LaGEE) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Afora a agricultura, que pode estocar carbono no solo, mas cujas remoções não costumam ser contabilizadas nos inventários, o setor de LULUCF é o único que, além de emitir, também pode remover, de forma natural, dióxido de carbono do ar (as outras categorias sempre liberam GEE).

Áreas verdes bem preservadas podem retirar mais carbono da atmosfera, via fotossíntese, e

estocá-lo em sua biomassa, do que emitir CO₂ pela respiração. Por sua vegetação tropical densa, a Amazônia sempre foi considerada uma parte do planeta que absorvia mais carbono do que emitia. Estudos recentes, como os feitos pela equipe de Gatti, indicam que partes da Amazônia, devido ao desmatamento e ao avanço da degradação, estão perdendo a capacidade de prestar esse serviço ecossistêmico, que minora o aquecimento global (*ver Pesquisa FAPESP nº 321*).

Hoje, a maioria das análises indica que a temperatura global está ao menos 1,2 °C acima da do período adotado como referência da era pré-industrial, a segunda metade do século XIX. Com esse nível de aquecimento, vários estudos mostram uma deterioração de alguns sinais vitais do planeta, como o aumento do nível dos oceanos e a intensificação de eventos climáticos extremos (*ver reportagem na página 18*). Desde 2023, no entanto, um aquecimento global da ordem de 1,5 grau Celsius (°C) tem sido registrado de forma ainda considerada como temporária, por meses seguidos (*ver Pesquisa FAPESP nº 343*).

Segundo o relatório do Pnuma, houve elevação na quantidade liberada dos quatro tipos de gases que contribuem para o aumento da temperatura do planeta: dióxido de carbono (CO₂), que provoca sozinho três quartos do aquecimento global, especialmente em decorrência da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão); metano (CH₄), liberado essencialmente em atividades da agropecuária e em vazamentos na exploração de gás natural; óxido nitroso (N₂O), presente nos fertilizantes agrícolas e em resíduos animais; e gases fluorados (HFC), usados em sistemas de refrigeração.

Nas estatísticas, é comum transformar as emissões de metano, óxido nitroso e gases fluorados em seu equivalente em CO₂. Uma fórmula de conversão é empregada e se obtém que a produção de 1 tonelada de metano e de óxido nitroso aquece a

atmosfera, ao longo de um século, o mesmo que, respectivamente, 25 e 298 toneladas de CO₂. No caso dos HFC, que englobam uma família de gases produzidos artificialmente, o fator de conversão frequentemente passa de mil.

Se não for revertida a tendência atual de alta na produção de GEE, não há a menor possibilidade de limitar o aquecimento global a 1,5 °C, meta estabelecida em 2015 pelo Acordo de Paris, e a temperatura planetária deverá subir entre 2,5 °C e 3 °C até o fim do século. Esse nível de aquecimento é considerado catastrófico, com um altíssimo custo de vidas humanas e prejuízos econômicos. “Para entrar no caminho menos dispendioso para [limitar o aquecimento a] 1,5 °C, as emissões devem cair 42% até 2030, em comparação com os níveis de 2019”, disse a economista dinamarquesa Inger Andersen, diretora-executiva do Pnuma, no prefácio do documento. Outra possibilidade seria reduzir em 7,5% as emissões, ano após ano, daqui até 2035.

QUEDA DAS EMISSÕES DO BRASIL

Ao contrário de boa parte do planeta, o Brasil reduziu de forma significativa a produção de GEE no ano passado. Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Seeg), uma iniciativa da rede de organizações não governamentais Observatório do Clima (OC), o país liberou em 2023 para a atmosfera 2,6 bilhões de toneladas brutas (sem incluir as remoções) de CO₂eq, 12% a menos do que em 2022. Foi a maior queda dos últimos 15 anos.

A categoria que teve maior peso nas emissões foi a de mudanças no uso da terra (46%), historicamente a líder na produção de GEE no país. A seguir vieram os setores da agropecuária (28%), energia (18%), tratamento de resíduos (4%) e processos industriais (4%). Se forem consideradas somente as emissões líquidas, que contabilizam o total bruto

menos o carbono retirado da atmosfera pela fotossíntese da vegetação em crescimento, a quantidade de GEE solta na atmosfera pelo país em 2023 foi de cerca de 1,6 bilhão de toneladas de CO₂eq.

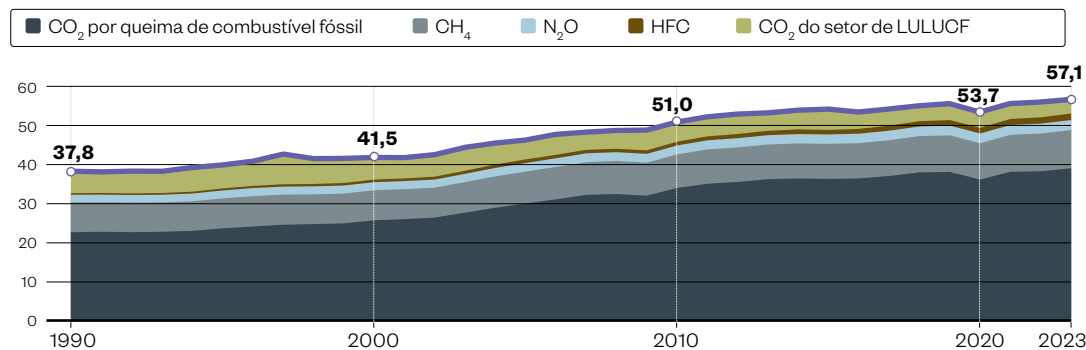
Os dados do Seeg não são oficiais, mas seguem basicamente a metodologia preconizada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) das Nações Unidas. “Devemos atualizar até o fim deste ano um novo inventário das emissões líquidas de gases de efeito estufa [descontadas as remoções pelo setor de LULUCF] até o período de 2022”, afirma Márcio Rojas, coordenador-geral de Ciência do Clima e Sustentabilidade do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). “Nossos números costumam ser bem parecidos com os das emissões líquidas calculadas pelo Seeg, para o qual o inventário nacional é a referência.”

As informações mais recentes do Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene) do ministério dizem respeito a 2020, ano de início da pandemia. Nesse ano, a emissão líquida de GEE no país chegou a quase 1,7 bilhão de toneladas de CO₂eq, das quais 38% foram atribuídas ao setor de LULUCF e 28,5% à agropecuária, segundo o Sirene. As categorias energia, processos industriais e tratamento de resíduos responderam, respectivamente, por 23,2%, 6,1% e 4,2% do total de GEE produzidos no país.

A redução nas emissões em 2023 no Brasil se deve a uma particularidade de seu modelo econômico. Foi graças exclusivamente a uma diminuição de 24% nas emissões da categoria mudanças no uso da terra que a produção total de GEE no país foi menor no ano passado. Nas outras quatro categorias que liberam alguma forma de carbono para a atmosfera (energia, agro-

Todos os gases do aquecimento

Evolução das emissões globais de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e gases fluorados (em bilhões de toneladas de CO₂eq)



FONTE: PNUMA, EMISSIONS GAP REPORT 2024





pecuária, processos industriais e tratamento de resíduos), as emissões nacionais cresceram em 2023, segundo o Seeg. “No Brasil, o setor de mudanças no uso da terra é o que dita historicamente a tendência dominante na produção de gases de efeito estufa”, explica o engenheiro químico David Tsai, do Instituto de Energia e Meio Ambiente (Iema), coordenador do Seeg. “Ele é uma espécie de modulador, regulador da intensidade das emissões totais.”

Nos grandes países e blocos que atualmente mais liberam GEE na atmosfera, como China (30% do total), Estados Unidos (11%), Índia (8%), União Europeia (6%) e Rússia (5%), o setor que mais emite gases de efeito estufa é, com grande folga, o de energia. Nesses lugares, apesar do avanço nos últimos anos no emprego de energia eólica e solar, a matriz energética ainda depende bastante do consumo de petróleo, gás e carvão. Por isso, nesses países e em termos globais, a queima de combustíveis fósseis é o grande motor do aquecimento global. No histórico acumulado desde meados do século XIX, os Estados Unidos permanecem como o país que mais emitiu GEE, cerca de 20% do total desde 1850.

O Brasil tem uma matriz energética mais limpa que outros países. Mais de 80% de sua energia elétrica vem de fontes renováveis, como hidrelétricas e usinas de energia solar e eólica, e uma parcela significativa de veículos roda com biocombustíveis. Ainda assim, dependendo do ano e da fonte consultada, o país aparece como quinto ou sexto maior emissor atual, respondendo por 2% ou 3% do total de GEE. Por ser uma potência mundial na área de cultivo de alimentos e de criação de bois, o país produz uma grande quantidade de GEE decorrente da agropecuária. Aqui, o peso desse setor no total das emissões costuma ser maior do que nas grandes economias do planeta.

Tsai destaca que a alteração significativa em um único parâmetro do setor de mudanças no uso da terra foi a responsável pela diminuição na produção total de GEE no território nacional em 2023: a queda expressiva no desmatamento do bioma Amazônia, a maior floresta tropical do planeta, da qual 60% da extensão total se encontra no Brasil. A área desmatada na parte nacional do bioma foi de aproximadamente 4.500 quilômetros quadrados (km²) em 2023, 62% menor do que no ano anterior, segundo relatório do MapBiomas, outra iniciativa do OC.

O dado oficial usado pelo governo brasileiro nas negociações internacionais também aponta uma diminuição recente e expressiva da supressão de vegetação na Amazônia legal, um conceito político-administrativo que abarca quase 60% do território brasileiro: todo o bioma Amazônia, 20%

O peso de cada setor

As atividades que mais emitiram gases de efeito estufa no planeta em 2023 (em % do total)

57,1 GtCO₂eq
em 2023

68%
Energia

9%
Processos industriais

11%
Agropecuária

7%
LULUCF (uso e mudança no uso da terra e florestas)

4%
Tratamento de resíduos e outros

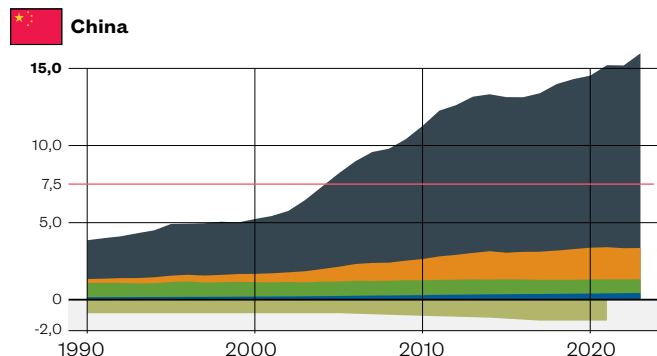
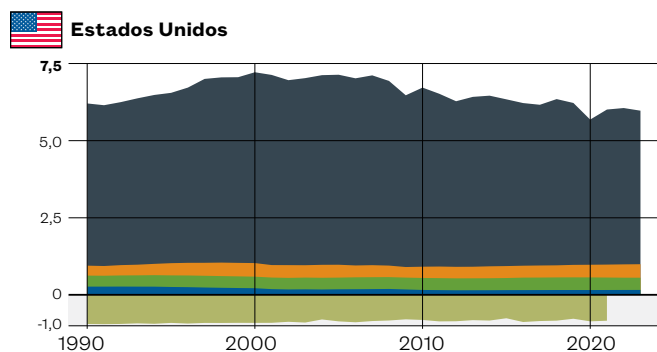
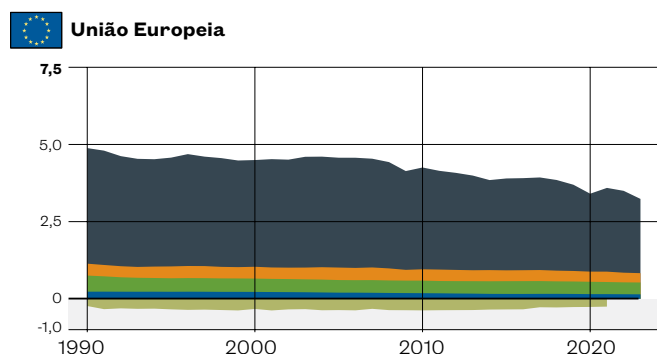
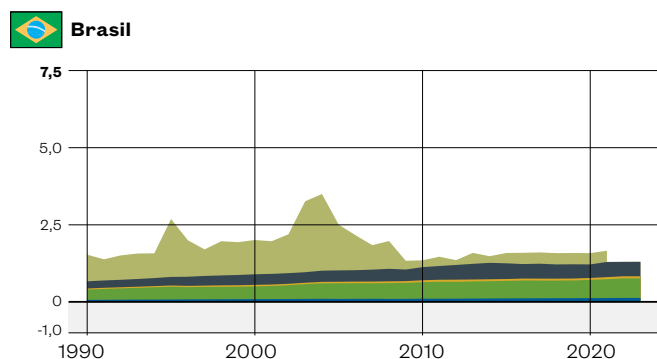
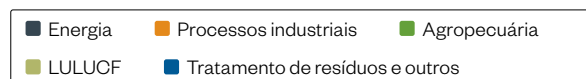
O total não chega a 100% porque nem todas as fontes dos gases são conhecidas

FONTE PNUMA, EMISSIONS GAP REPORT 2024

O perfil das emissões por país

O setor de energia é o principal produtor de gases de efeito estufa nas grandes economias; no Brasil, esse peso recai historicamente sobre a agropecuária e o setor de LULUCF

EM BILHÕES DE TONELADAS DE CO₂eq



FONTE: PNUMA, EMISSIONS GAP REPORT 2024

do Cerrado e uma pequena parte do Pantanal. Segundo informações divulgadas no início de novembro pelo Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Prodes), iniciativa a cargo do Inpe, o desmatamento em 2024 na Amazônia Legal foi de 6.288 km², 31% menor do que no ano anterior.

“A tendência do desmatamento, sobretudo na Amazônia, tem grande peso sobre o perfil e o total de emissões de gases de efeito estufa”, confirma Rojas, do MCTI. Os dados do MapBiomass e do Prodes costumam apontar a mesma grande tendência de desflorestamento na Amazônia, embora não possam ser diretamente comparados devido a diferenças metodológicas (ver Pesquisa FAPESP n^o 334).

A matriz energética mais limpa, o grande peso do desmatamento e da agropecuária no total de emissões – tudo isso faz do Brasil um país único no cenário internacional de produção de gases de efeito estufa. Cerca de três quartos das emissões nas maiores economias do planeta derivam de atividades e processos que dependem da queima de combustíveis fósseis. Na China, nos Estados Unidos e na União Europeia, o peso do setor de LULUCF (e até da agropecuária) na produção de carbono para a atmosfera tende a ser baixo.

Durante a 29^a Conferência das Partes (COP29) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC), realizada em Baku (Azerbaijão) entre 11 e 22 de novembro, o país anunciou seu novo compromisso de redução de emissões para o período de 2030 a 2035. Tecnicamente chamada de Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), a meta prevê que, em 2035, as emissões líquidas de gases de efeito estufa (ou seja, levando-se em conta também as remoções feitas pela manutenção de vegetação) representem entre 59% e 67% da produção de GEE em 2005. Em termos numéricos, esse corte levaria o Brasil a emitir anualmente entre 850 milhões e 1,05 bilhão de toneladas de CO₂eq.

A nova NDC, um dos compromissos exigidos pelo Acordo do Clima de Paris a todos os 196 países signatários para tentar limitar o aquecimento global a 1,5 °C, foi considerada pouco agressiva por muitos ambientalistas. Essa não é a opinião do engenheiro Roberto Schaeffer, do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade do Rio de Janeiro (Coppe-UFRJ). “A meta é muito ambiciosa”, diz o professor do Programa de Planejamento Energético da universidade fluminense, cuja equipe fez, a pedido do governo brasileiro, os estudos (ainda



não divulgados) que embasaram a meta da nova NDC. “Se zerarmos o desmatamento, as emissões do setor de LULUCF despencarão rapidamente e, por consequência, o total de GEE produzido pelo país. Quando isso ocorrer, o perfil de emissões do Brasil começará a ficar mais parecido com o dos demais países. A partir desse momento, teremos também de tentar reduzir ainda mais fortemente as emissões de outros setores que não apenas o de LULUCF e, ao mesmo tempo, estimular a remoção de GEE por meio da preservação e restauração das florestas.”

Estabelecido esse novo cenário hipotético, o Brasil passaria a ter uma pegada de carbono menor, mas teria mais dificuldade de continuar cortando suas emissões de forma drástica. Isso porque os outros quatro grandes setores que produzem GEE (energia, agropecuária, processos industriais e tratamento de resíduos) respondem muito mais lentamente a modificações que possam reduzir suas

emissões. “A produção de metano pelo gado, por exemplo, não vai diminuir radicalmente da noite para o dia, ainda que seja possível reduzir parte das emissões oriundas da fermentação entérica do rebanho”, comenta Schaeffer.

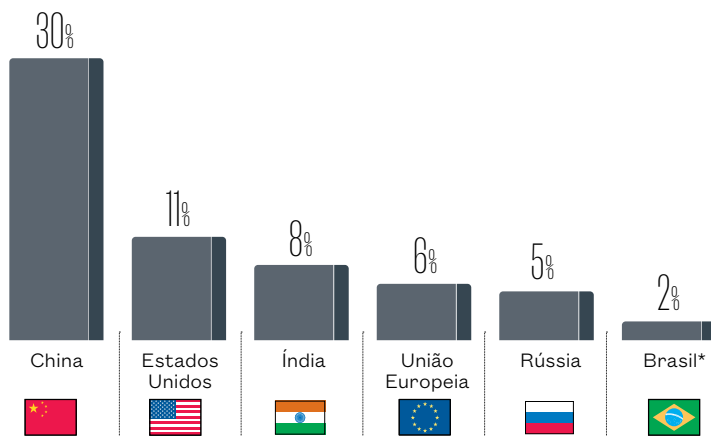
Ainda é cedo para fechar os dados globais da produção de GEE em 2024. Mas, como faz desde 2006, a iniciativa internacional Global Carbon Budget (GCB) divulgou em novembro um artigo, ainda não publicado em uma revista científica, com a estimativa para este ano das emissões apenas de CO₂, sem incluir os outros GEE. Adotados como referência para o setor, os números do projeto causam preocupação. As emissões totais de dióxido de carbono devem bater recorde e atingir até o fim de dezembro 41,6 gigatoneladas, 2,4% a mais do que em 2023.

A seca severa produzida pelo fenômeno climático El Niño entre 2023 e 2024, como a que ainda impacta a Amazônia, exacerbou as emissões decorrentes do desmatamento e de incêndios florestais que degradam a vegetação. “Os impactos das mudanças climáticas estão se tornando cada vez mais dramáticos. Ainda assim, não vemos nenhum sinal de que a queima de combustíveis fósseis tenha atingido seu pico”, comentou, em material de divulgação, Pierre Friedlingstein, da Universidade de Exeter, do Reino Unido.

Na Amazônia brasileira, o desmatamento continuou caindo neste ano. Porém o número de incêndios florestais em vários biomas foi bastante alto, sobretudo no primeiro semestre, época em que normalmente não ocorrem muitos focos de fogo. Esse cenário nacional e a tendência global de persistência do aumento das emissões em um momento em que os países já deveriam ter reduzido sua pegada de carbono, conforme disseram que iriam fazer em suas NDC passadas, desautorizam, por ora, o otimismo. Mas desistir não é uma opção. Só há um planeta habitável conhecido. ●

Os maiores emissores

O peso dos principais países e blocos na produção total de gases de efeito estufa em 2023



* Dado subestimado por não contabilizar as emissões por mudanças de uso da terra
 FONTE: PNUMA, EMISSIONS GAP REPORT 2024



Rua de Valência, na Espanha, em 30 de outubro: chuvas intensas seguidas de enchentes mataram mais de 200 pessoas

Desde 2017, o grupo do ecólogo norte-americano William Ripple, da Universidade Estadual do Oregon, publica anualmente um artigo no periódico *BioScience* sobre o estado atual da crise climática. O trabalho deste ano, divulgado em 8 de outubro, apresenta dados ainda mais alarmantes que as versões passadas: 25 dos chamados 35 sinais vitais do planeta estão em níveis recordes de deterioração, com tendência a piorar nos próximos anos. No estudo de 2023, eram 20 os indicadores em estado crítico. A iniciativa condensa dados e estudos sobre a temperatura atmosférica e a oceânica, medições do ritmo de degelo na Groenlândia e Antártida, desmatamento, perdas de biodiversidade, entre outros parâmetros. “Entramos numa nova fase da crise climática, crítica e imprevisível”, disse Ripple, em material de divulgação do estudo.

Os dados apontam para níveis sem precedentes da concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), os principais gases do efeito estufa. A taxa média atual de CO₂, o mais comum deles, ultrapassou as 420 partes por milhão (ppm), 50% a mais do que no período pré-industrial (*ver gráfico ao lado*). A produção de metano também se acelerou nos últimos anos. Parte importante dessas emissões vem da fermentação entérica dos ruminantes (vacas, cabras e ovelhas), que libera metano. A cada 24 horas, o rebanho global de ruminantes cresce em 170 mil unidades, quase o mesmo nível de aumento da população do planeta, da ordem de 200 mil pessoas a mais por dia.

O estudo destaca que a temperatura média da superfície do planeta está no nível mais alto já medido, assim como a acidez dos oceanos. Camadas de gelo da Groenlândia e da Antártida se encontram no nível mais baixo e a espessura das geleiras vem decaindo em ritmo acentuado. Em vez de diminuir, como necessário, o consumo de combustíveis fósseis aumentou 1,5% em 2023 e continua 14 vezes maior do que o uso das energias solar e eólica. A produção dessas duas formas de energia limpa aumentou 15% em um ano. Mas, segundo o estudo, esse incremento apenas supre o aumento da demanda por eletricidade e não substi-

Saúde do planeta piora

Estudo aponta que 25 dos 35 sinais vitais da Terra estão em estado crítico

DANILO ALBERGARIA

tui o uso dos combustíveis fósseis como principal matriz energética nos países. Esses são alguns dos sinais vitais do planeta em pior estado destacados no artigo, assinado por 14 pesquisadores.

Para um dos autores do artigo, o ecólogo brasileiro Cássio Cardoso Pereira, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), não há como distinguir qual é o indicador mais preocupante. “Todos os sinais apontam para o mesmo problema: o mundo caminha para um catastrófico colapso climático”, comenta. Entre os prognósticos mais relevantes no campo da ecologia, Pereira destaca que o ritmo atual de aumento da temperatura e da acidificação dos oceanos deve causar uma perda massiva de recifes de corais, que abrigam uma enorme variedade de espécies. Isso deve gerar um efeito cascata de perda da biodiversidade marinha, acentuando o processo de extinção causado por atividades humanas.

O biólogo Mauro Galetti, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), também destaca a perda de biodiversidade como um dos sinais ecológicos mais alarmantes. “A fauna está associada a serviços ecossistêmicos muito importantes, difíceis de observar no cotidiano”, diz Galetti, que em 2017 assinou o primeiro artigo sobre os sinais vitais do planeta com a equipe liderada por Ripple. A extinção de espécies que cumprem papel relevante na manutenção de um ecossistema como a Amazônia, promovendo, por exemplo, a polinização de espécies vegetais, pode gerar a perda ou a diminuição desses serviços e afetar a economia local. Uma das grandes contribuições da Amazônia para o clima regional é gerar parte das chuvas que chega às regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

Um dos poucos pontos positivos citados pelo artigo é a diminuição do desmatamento da Amazônia brasileira em 2023, tendência oposta ao que ocorreu no mundo no ano passado. Segundo o trabalho, a redução da área desflorestada se deveu provavelmente a mudanças na política ambiental no âmbito federal. No entanto, outros problemas assolam a floresta tropical, como secas e incêndios, que contribuem para sua degradação.

O biólogo Philip Fearnside, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), explica que a estiagem sem precedentes foi causada pela junção dos fenômenos El Niño e Dipolo do Atlântico,

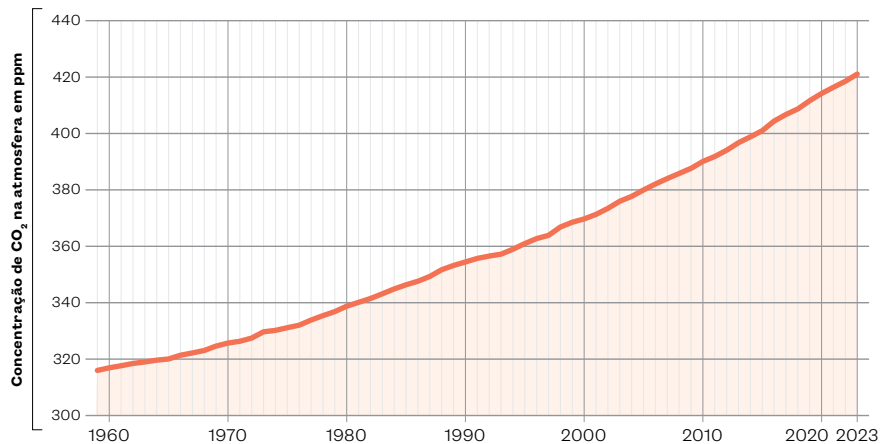
que alteram o regime de chuvas em várias partes do globo. O El Niño é caracterizado pelo aquecimento acima da média das águas superficiais das porções leste e central do Pacífico Tropical. O Dipolo faz com que as diferenças de temperatura das águas do sul e do norte do Atlântico gerem períodos de seca na parte sul da Amazônia. “O que mata as árvores é a combinação de temperatura alta com a seca”, diz Fearnside. Já os incêndios, ele atribui, em sua grande maioria, a ações humanas, algumas de caráter criminoso.

Adeterioração dos sinais vitais do planeta favorece a ocorrência de desastres fatais e custosos, como as chuvas fortes e concentradas e inundações que mataram ao menos 200 pessoas na região de Valência, na Espanha, no final de outubro. O artigo chama a atenção para casos de pluviosidade acentuada, enchentes, ondas de calor e grandes incêndios florestais que ocorreram de novembro de 2023 a agosto de 2024. Esses eventos extremos causaram milhares de mortes e bilhões de dólares de prejuízo.

A compreensão de algumas consequências da crise climática ainda depende da investigação de ciclos de retroalimentação que podem reforçar a piora no quadro geral do clima. Pereira alerta sobre o derretimento do permafrost, solo que ocupa um quarto da área do hemisfério

A escalada do CO₂ na atmosfera

Concentração do principal gás de efeito estufa no Observatório de Mauna Loa, no Havaí, local de referência para a medida



FONTE NOAA

Norte, na região do Ártico, em razão do aquecimento global. O gelo presente nesse solo retém bilhões de toneladas de metano e dióxido de carbono. Sua liquefação e evaporação aumentam a concentração desses gases na atmosfera, o que gera maiores temperaturas e retroalimenta o processo de derretimento do permafrost.

O estudo do grupo de Oregon faz também outras recomendações, como a inclusão das mudanças climáticas nos currículos escolares e a ideia, controversa, de controle do crescimento populacional. A bióloga Patrícia Morellato, da Unesp, reforça que as mudanças climáticas devem estar no currículo, desde o fundamental até a universidade, em todas as carreiras. Ela também avalia que a ideia de controle populacional faz sentido. “Não existe recurso infinito e o crescimento da população não pode ser infinito, ainda que possamos usar a tecnologia para produzir mais alimentos em menor área”, comenta Morellato, diretora do Centro de Pesquisa em Dinâmica da Biodiversidade e Mudanças do Clima (CBioClima), um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) apoiados pela FAPESP. Ela, no entanto, pondera que qualquer política pública nesse sentido tem de levar em conta o direito de as mulheres decidirem sua vida reprodutiva e que medidas desse tipo já foram tomadas em alguns países e devemos analisar essas experiências. ●

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



Intervir sem agredir

Soluções baseadas na natureza podem inspirar medidas de adaptação às mudanças do clima

RENATA FONTANETTO, de Baku (Azerbaijão)

Quem anda pela reserva Sawmillers, ao norte da baía de Sydney, na Austrália, pode notar um mosaico de diferentes módulos arredondados de concreto justapostos e instalados nas paredes construídas pelo homem para separar a terra firme do mar. A forma de cada painel lembra a de um biscoito gigante, com cerca de meio metro de altura e de comprimento e pouco mais de 10 centímetros de espessura. Os módulos apresentam cinco tipos de relevo em sua face voltada para a água. Podem ter buracos, reentrâncias e ranhuras de diferentes tamanhos. O mosaico de painéis, comumente chamado de paredão vivo, busca imitar a textura complexa dos costões rochosos naturais, em contraste com as linhas retas e lisas dos muros artificiais edificadas na beira-mar.

Estudos feitos nessa área de Sydney indicam que há um aumento de mais de um terço no número de espécies marinhas, como algas, crustáceos e outros invertebrados, nas localidades em que os paredões vivos foram instalados em relação aos pontos com muros artificiais convencionais.

Na baía de Sydney,
Austrália, paredão vivo com
painéis que imitam o relevo
de costões rochosos
estimula a proliferação de
espécies marinhas

Segundo artigo publicado em 2022 no periódico *Philosophical Transactions of the Royal Society*, após dois anos de monitoramento, havia uma maior proliferação de espécies perto dos painéis não lisos, com buracos e texturas que propiciam a formação de poças da maré, onde as temperaturas eram mais amenas.

Os paredões vivos são uma das intervenções propostas pela ecoengenharia, que compreende soluções baseadas na natureza (SbN) – ou seja, um conjunto de inovações, obras ou estratégias que podem aumentar a capacidade adaptativa e a resiliência de áreas urbanizadas diante dos riscos associados às mudanças climáticas, além de promover, na maior parte dos casos, ganhos sociais, ambientais ou econômicos. O biólogo Ronaldo Christofoletti, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), lançou um guia tecnocientífico com SbN que podem ser aplicadas no Brasil durante a 29ª Conferência das Partes das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 29), que ocorreu entre 11 e 22 de novembro em Baku, capital do Azerbaijão.

No documento, intitulado “Cidades Azuis”, a ecoengenharia marinha aparece como uma das medidas recomendadas para ambientes costeiros, ao lado de outras duas: a restauração e proteção de habitats naturais, como dunas, manguezais e recifes de corais, e o realinhamento da costa, técnica que redefine a linha costeira, geralmente com um recuo planejado, para controlar erosões e inundações. O guia também destaca outras oito SbB que podem ser empregadas tanto em cidades litorâneas como do interior. O trabalho foi produzido pela Aliança Brasileira pela Cultura Oceânica, coordenada pela Unifesp, pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e pela Unesco, em parceria com a Fundação Grupo Boticário.

Com financiamento da FAPESP, Christofoletti e o engenheiro de materiais Rafael Pileggi, da Universidade de São Paulo (USP), vão testar o impacto dos paredões vivos criados na Austrália no litoral paulista por meio de um projeto conjunto com pesquisadores da Universidade de Nova Gales do Sul (UNSW), de Sydney. Eles estão finalizando uma parceria com a Autoridade Portuária de Santos e a prefeitura da cidade para, no início de 2025, concretizar um plano de traba-

lho. “Vamos começar os testes práticos no maior porto da América Latina e, conseqüentemente, na região de Santos, cujo litoral é extremamente endurecido”, explica Christofoletti.

Endurecimento do litoral é o nome dado pelos pesquisadores ao processo de substituição da paisagem natural da costa por infraestrutura construída, como marinas, diques, portos, estacas e paredões. Essas intervenções da chamada engenharia cinza diminuem a complexidade e a riqueza do habitat marinho, substituindo ambientes complexos por superfícies mais lisas e homogêneas.

O biólogo é um dos autores de um artigo publicado em junho de 2024 na revista *Anthropocene Coasts* que avaliou a extensão das estruturas artificiais na costa paulista e a ocupação em terrenos de baixa elevação, de até 5 metros de altitude. Por meio de imagens aéreas, foi possível perceber que a porção mais central do estado, principalmente em Santos, Guarujá e São Vicente, é a mais afetada pelo processo de urbanização, seguida pelo litoral norte e, depois, o sul. “Quanto menos endurecida, mais resiliente é a cidade à mudança do clima”, diz Christofoletti.

Os buracos e reentrâncias nos paredões vivos funcionam como um abrigo, com clima mais ameno, às espécies marinhas que vivem perto da costa. “Nesses compartimentos com água acumulada, ocorre a formação de um micro-habitat com temperaturas até 10 graus Celsius mais baixas do que a registrada em paredões sem ecoengenharia”, explica a bióloga brasileira Mariana Mayer-Pinto, da UNSW, em Sydney, uma das líderes do projeto australiano. “No contexto das mudanças climáticas, isso significa que as espécies conseguem se proteger mais nos paredões vivos em situações de calor extremo.”

Outro ponto positivo é que a implementação desses painéis com relevo pode ser feita sob medida para um objetivo específico, como permitir a proliferação de plantas marinhas que capturam carbono e ajudam a regular o clima. Os paredões vivos, que têm vida útil prevista de 20 anos, começaram a ser instalados em Sydney em 2018 e hoje estão presentes em 11 pontos costeiros da Austrália, além de Singapura e no País de Gales.

No vocabulário das mudanças climáticas, resiliência é a capacidade que um sistema tem de

se recuperar e manter seu funcionamento após um desastre ou distúrbio. Um dos caminhos para aumentar a resiliência é implementar medidas de adaptação que busquem diminuir os impactos das mudanças do clima. Um artigo de revisão publicado em outubro de 2024 na revista *Science of the Total Environment* por pesquisadores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e organizações independentes sugere que as SbN podem dobrar a resiliência das cidades.

“Mas, antes de implementar uma SbN, é necessário considerar os cenários climáticos previstos para o futuro pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [IPCC]”, comenta a oceanógrafa Aline Martinez, uma das coordenadoras do guia tecnocientífico, que faz pós-doutorado na Unifesp. “A nova Lei nº 14.904, de junho de 2024, que estipula diretrizes para os planos de adaptação das cidades às mudanças climáticas, faz essa advertência.” Isso significa, por exemplo, levar em conta o aumento do nível do mar e o da temperatura média da atmosfera terrestre na hora de conceber um projeto de intervenção urbana.

Parque Orla Piratininga
Alfredo Sirkis, em
Niterói, tem áreas
alagadas para
filtrar as águas que
aportam em lagoa



Poucos projetos no Sul global

Europa concentra a maioria das intervenções urbanas inspiradas em soluções baseadas na natureza

No cenário global de soluções baseadas na natureza (SbN), existe um viés: o conhecimento gerado a partir da pesquisa e da prática está concentrado no Norte global. Artigo de pesquisadores espanhóis publicado em janeiro de 2023 na *Nature Sustainability* mapeou 216 intervenções desse tipo em 130 cidades de 55 países e constatou que 63% dos projetos são desenvolvidos na Europa. As Américas respondem por 13% das intervenções, que se concentram na América Latina e no Caribe. A África abriga esse mesmo percentual de projetos, seguida pela Ásia (7%) e Oceania (2%).

Mais detalhado, um relatório de 2013 do Banco Europeu de Investimento e da Comissão Europeia mapeou um número ainda maior de iniciativas de SbN no continente: 1,3 mil projetos. As soluções tentam mitigar problemas relacionados a

deslizamentos de terra, enchentes, excesso de chuvas, ondas de calor, secas e perigos costeiros.

No Brasil, um registro do Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis (Oics), ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), aponta um total de 40 soluções – a maioria nas regiões Sudeste e Sul. No entanto, pesquisadores afirmam que esse número pode estar subdimensionado.

Uma dessas intervenções é o Parque Orla Piratininga Alfredo Sirkis, em Niterói, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, inaugurado em setembro de 2024. Projeto da prefeitura local, o empreendimento abrange uma área de 680 mil metros quadrados e custou R\$ 100 milhões. Numa margem de 10,6 quilômetros de extensão, o parque usa um mix de SbN, como alagados construídos para

filtrar as águas que aportam na lagoa de Piratininga. Em novembro, o projeto foi considerado um dos três melhores na categoria Energia e Meio Ambiente pelo concurso anual espanhol World Smart City Awards.

Outras SbN mapeadas pelo Oics foram implantadas em Buenos Aires, na Argentina, e em Medellín e Bogotá, na Colômbia. O jardim vertical no edifício residencial Santalaia, localizado nesta última cidade, é um desses projetos. A intervenção promove o plantio de espécies vegetais, geralmente trepadeiras, em paredes, muros ou fachadas da edificação para aumentar o conforto térmico, a umidade e reter água da chuva. Em Buenos Aires, destaca-se a Reserva Ecológica Costanera Sur, no bairro de Puerto Madero. Com 350 hectares, o espaço reúne a maior biodiversidade da cidade, regula o clima e confina as águas pluviais.



2

Sensores em árvores no Parque do Ibirapuera para medir a absorção de dióxido de carbono pela vegetação

Para incluir as SbN nos planos municipais, primeiro esses instrumentos precisam existir. De acordo com dados de 2023 da Pesquisa de Informações Básicas Municipais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apenas 370 dos 5.570 municípios brasileiros têm legislação específica ou planos de mitigação ou adaptação às mudanças do clima. A plataforma AdaptaBrasil, do MCTI, aponta que cerca de 3,6 mil municípios têm capacidade adaptativa baixa ou muito baixa diante de desastres geo-hidrológicos, como enxurradas, inundações, alagamentos e deslizamentos de terra.

“A adaptação ocorre essencialmente no território local”, afirma o agrônomo Jean Ometto, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), integrante da equipe do AdaptaBrasil. Segundo o pesquisador, o mapeamento dos riscos e vulnerabilidades de uma cidade não é trivial e esse tipo de preocupação foi incorporado recentemente à gestão pública do país, após a criação da Política Nacional sobre Mudança do Clima em 2009.

“Um plano de adaptação deve priorizar dois grandes eixos. O primeiro é a redução das vulnerabilidades para grupos específicos da sociedade: mulheres, crianças, pessoas negras e idosos”, diz Ana Toni, secretária nacional de Mudança do Clima do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA). “O segundo diz respeito à preparação para um mundo cada vez mais quente. Nesse quesito, as SbN têm grande importância.” De acordo com o MMA, deverá ser lançado nos próximos meses o plano Adapta Cidades, que prevê a assistência a mais de 240 municípios na elaboração de seus planos de adaptação durante 2025.

“Faltam planos de ação em cidades menores e com menos recursos e, de forma complementar, as SbN precisam ser pensadas para cidades mais vulneráveis à emergência climática, como as costeiras”, pondera a arquiteta e urbanista Deize Sanches, que faz pós-doutorado na Faculdade de

Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP).

“A agenda de adaptação no Brasil está muito atrasada”, avalia a engenheira civil Denise Duarte, também da FAU-USP. “Tanto em termos de desenvolvimento científico quanto de implementação de ideias e soluções.”

Duarte investiga a questão do conforto térmico e ambiental, com foco na adaptação ao calor. “Nada substitui a árvore plantada no chão”, comenta a engenheira. “Toda iniciativa de restauração e manejo de áreas verdes já existentes, ou mesmo a criação de novas, é bem-vinda”. A pesquisadora participa do projeto europeu Conexus, que, desde 2020, aproxima cidades latino-americanas e europeias para promover a implementação e estudos sobre SbN. São Paulo é a representante brasileira na iniciativa.

Um desses trabalhos tem sido feito em duas grandes áreas verdes da capital paulista: o Parque do Ibirapuera e o Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, mais conhecido como Parque do Estado. “Instalamos sensores em árvores para medir o quanto esses parques absorvem de dióxido de carbono [principal gás do efeito estufa] e o quanto conseguem resfriar a atmosfera”, explica o biólogo Giuliano Locosselli, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena) da USP, um dos integrantes da iniciativa. O monitoramento ainda não terminou, mas a ideia é usar os dados coletados para criar políticas públicas com o objetivo de pensar florestas funcionais para a cidade. Elas seriam espaços otimizados que poderiam prover mais serviços ecossistêmicos de acordo com as necessidades locais, como a captura de carbono e o resfriamento da temperatura.

Em que pese todo o esforço para avançar na pesquisa e no desenvolvimento de soluções, um fato é certo: o tempo para as cidades adotarem SbN é cada vez mais curto. Segundo o mais recente relatório do IPCC, conforme o clima vai ficando mais quente, a efetividade de algumas soluções pode diminuir. Por isso, o IPCC recomenda que as medidas de adaptação agora implantadas também incluam um planejamento a longo prazo. Para aumentar a chance de sucesso das SbN, os especialistas fazem duas recomendações: contemplar, desde o início, as necessidades das comunidades locais e implementar um sistema de avaliação para mapear o quanto a solução baseada na natureza deu certo ou não. ●

Esta reportagem faz parte da Climate Change Media Partnership 2024, uma bolsa de jornalismo organizada pela Earth Journalism Network da Internews e pelo Stanley Center for Peace and Security.

Do *Grande sertão* à bioquímica vegetal

Aos 84 anos, agrônomo que semeou equipes e programas de pesquisa em diversas universidades do país revisita sua carreira

FABRÍCIO MARQUES_retrato LÉO RAMOS CHAVES

A infância pobre no meio rural em Paracatu, Minas Gerais, próxima à região imortalizada por Guimarães Rosa em *Grande sertão: Veredas*, não foi um obstáculo para que o agrônomo Ruy de Araújo Caldas, de 84 anos, chegasse aonde chegou: ele se tornou uma referência em estudos sobre bioquímica vegetal no país e um gestor de ciência, tecnologia e inovação com passagem pelo governo, por universidades públicas e privadas e uma empresa de pesquisa. A doença de Chagas, que acometeu toda a sua família – ele, o pai, a mãe e cinco irmãos –, tampouco atrapalhou sua trajetória científica. Ao receber o diagnóstico da enfermidade na década de 1970, resolveu estudar a respiração de *Trypanosoma cruzi*, ao qual se refere como um “parasita muito inteligente”.

Aos 84 anos de idade, Caldas está aposentado há quase três décadas na Universidade de Brasília (UnB). Passou lá grande parte da carreira ao lado da mulher, a bióloga norte-americana Linda Styer Caldas [1945-2007], com quem teve três filhos. Ele a conheceu durante o doutorado na Universidade Estadual de Ohio, nos Estados Unidos, e vieram casados para a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP). Logo trocaram Piracicaba por Brasília, ao receberem uma proposta de trabalho irrecusável. Caldas vive até hoje na capital federal e concilia a vida acadêmica com a gestão de propriedades rurais – é pecuarista e cafeicultor. Dá expediente na Universidade Católica de Brasília (UCB), onde organizou o programa de pós-graduação em ciências genômicas e biotecnologia e foi pró-reitor de pesquisa e pós-graduação. Nos últimos anos, também passou períodos em Goiânia, Campo Grande e Piracicaba, ajudando a planejar iniciativas científicas e a montar programas de mestrado e doutorado em instituições públicas e privadas. Ele recebeu *Pesquisa FAPESP* para a entrevista a seguir.

ESPECIALIDADE

Bioquímica vegetal

INSTITUIÇÃO

Universidade Católica de Brasília

FORMAÇÃO

Graduação em engenharia agrônoma pela Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, atual Universidade Federal de Viçosa (UFV, 1964), mestrado em nutrição mineral de plantas na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP, 1967) e doutorado em bioquímica vegetal pela Universidade Estadual de Ohio (EUA, 1970)



O senhor nasceu no meio rural, em meio a dificuldades econômicas e de acesso à educação. Como superou essas barreiras?

Eu morava em Paracatu, em Minas Gerais, uma cidade da época do ciclo do ouro, isolada do mundo. Minha mãe sempre disse que a coisa mais fundamental é a educação. Ela fez o primário com professoras normalistas e virou professora de escola rural, dava aulas em rancho de palha. Nos colocou para estudar com outra professora, muito ativa, que se chamava Janaína Silva Neiva. Gostei de estudar, mas gostava mesmo era da roça. Para fazer o quarto ano primário, fui para a cidade. Eu não queria fazer o ginásio [hoje, fundamental II] e menti para o meu tio Zecão, que me criava e morava na roça. Disse que já tinha acabado o exame de admissão. Ele foi a cavalo até a cidade, viu que não era verdade e contratou uma professora, Eva Mundim, para dar um intensivão em janeiro para fazer a admissão.

Deu certo?

Consegui passar e fui fazer o ginásio em Paracatu. Mas meus pais tinham se mudado para Barretos, em São Paulo, e eu fui para lá em 1952. Muitos professores que se formaram na Faculdade de Filosofia da USP tinham ido trabalhar no interior. Em Barretos tivemos a sorte, no ginásio Mario Vieira Marcondes, de ter professores bem qualificados. Um deles foi o Jorge Abreu, autor de um livro de história geral. Eu ficava impressionado quando ele contava a história dos gregos, do Sócrates, Demóstenes, Pitágoras e pensava: que bacana você ser um pensador, um estudioso. Esse foi um ponto de virada. Lá em Barretos, eu gostava de mexer com horta. Terminado o ginásio, voltamos para Paracatu e eu fui montar uma horta para o meu pai, mas queria aprender mais. Um agrônomo de Paracatu recém-formado em Viçosa, o Tarso Botelho, sugeriu: “Você quer fazer um curso técnico em Viçosa?”. Me inscrevi e fui fazer o curso. Conheci um professor de química, o Walter Brune [1912-2004], com PhD na Alemanha. Gostei muito e mudei da horticultura para a química. Foram esses dois personagens-chave, um historiador e um químico, que me mostraram a importância do conhecimento.

E como se tornou um pesquisador?

O professor Walter Brune nunca dava aulas só teóricas. Vinha com dois ou três carrinhos de reagente, discutindo a teoria e fazendo experimentos na própria sala de aula. No início do curso de agronomia, fizemos um projeto para dosar vitamina C de frutas do Cerrado. Foi quando entendi um pouquinho o método científico. No final do curso, em 1964, consegui fazer um estágio no Instituto Agrônomo de Campinas [IAC], no Departamento de Solo, para fazer dosagem no solo de pH, fósforo, potássio, e análise foliar. Aprendi muito nesse estágio. Foi quando o Álvaro Santos Costa [1912-1998], fitopatologista, me chamou para trabalhar na seção de virologia no IAC. Foi outro ponto de virada quando comecei a trabalhar com bioquímica de vírus no IAC em 1965. O Santos Costa convidou um pesquisador de virologia vegetal, o Gerd Benda [1927-2023], da Universidade Estadual de Louisiana, nos Estados Unidos, para passar um período como pesquisador do IAC e trabalhamos juntos com bioquímica de vírus da cana-de-açúcar.

Como foi o caminho até fazer o doutorado nos Estados Unidos?

“

Me casei com a Linda e a trouxe para o Brasil. Ela ajudou a dar um impulso na cultura de tecido vegetal

Em agosto de 1965, o Eurípedes Malavolta [1926-2008], que era o diretor da Esalq-USP [Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo], conheceu o meu currículo. Ele me ligou e falou: “Olha, você já está contratado aqui”. Foi um choque. O professor Malavolta era um grande pesquisador de nutrição mineral de plantas e promoveu muito um acordo de cooperação entre a USP e a Universidade Estadual de Ohio. Eu assumi na Esalq em setembro de 1965. O Malavolta me disse: “Quero que você faça o PhD nos Estados Unidos o quanto antes”. O pré-requisito para ir para Ohio era ter feito mestrado. Fiquei um ano e três meses dando aula de bioquímica, defendi o mestrado e me preparei para viajar. Em setembro de 1967 comecei o doutorado lá em Columbus.

Qual foi o tema do seu mestrado?

Foi sobre o impacto que tem o vírus do tomate, o chamado vírus vira-cabeça, na absorção de fósforo pelas plantas infectadas. Usamos fósforo radioativo – a USP tinha um reator – para medir a absorção. A doença chama vira-cabeça porque o tomate vai murchando e a ponta do tomateiro vira para baixo.

E como foi o período do doutorado nos Estados Unidos?

Na época do IAC, eu queria trabalhar com biologia molecular. Mas o Malavolta e a Esalq tinham interesse em estudar o metabolismo nitrogenado em plantas. Fui para Ohio determinado a fazer o doutorado em bioquímica vegetal, atendendo à expectativa institucional, embora não fosse meu interesse. Meu orientador foi o Donald Dougall [1930-2016], bioquímico australiano que trabalhava em metabolismo nitrogenado. Tinha uma questão que faltava esclarecer, que era qual mecanismo a planta utiliza para imobilizar o íon amônio, que é um íon tóxico, em uma molécula não tóxica, que é a glutamina. Tive que montar os primeiros biorreatores para fazer cultura de tecido vegetal, para extração de enzimas e purificação de proteína.

E já se fazia isso no Brasil?

Cultura de tecido vegetal era das biotecnologias consideradas mais de ponta na época. Em Ohio, trabalhávamos sob a orientação de Dougall, e veio pa-

ra o laboratório uma pesquisadora do U. S. Geological Survey, que era a Linda Hancock Styer [1945-2007]. Comecei a namorar com a Linda, me casei com ela e a trouxe para o Brasil. Ela ajudou a dar um impulso grande na cultura de tecido vegetal no Brasil.

Como foi seu retorno para a Esalq?

Fiz o doutorado em três anos e pouco e voltei para a Esalq em 1970. Fui dar aula, montar grupos. A Linda estava trabalhando informalmente, montando grupo de cultura de tecido vegetal, mas não tinha vaga de professor na área. A UnB [Universidade de Brasília] nos convidou para dar uma palestra aqui em Brasília. Depois da palestra, o reitor, que era o Amadeu Cury [1917-2008], e o vice, José Carlos Azevedo [1932-2010], falaram: “Vocês podem vir para cá. Estamos precisando de pessoal em ciências da vida”. Expliquei que tinha um compromisso com a USP por quatro anos, período em que estive ausente no doutorado. Mas aí propuseram contratar a Linda e conversar com o reitor da USP sobre a possibilidade de me cederem para a UnB. A USP me liberou por quatro anos, mas eu acabei pedindo demissão para não ficar segurando a vaga na Esalq.

Que ambiente encontrou na UnB?

Tinha o curso de biologia, mas pouca coisa na área vegetal. Por outro lado, tinha um grupo grande em doenças endêmicas, liderado pelo Wladimir Lobato Paraense [1914-2012], um grande nome na pesquisa de esquistossomose. Também tinha um outro grupo investigando a doença de Chagas, liderado pelo Aluizio Prata [1920-2011], e um grupo muito forte do Isaac Roitman também. Fui trabalhar com tecido vegetal, mas precisava ter um grupo mais forte para dar um resultado mais concreto. Foi quando o Isaac Roitman, o Lobato Paraense e o Aluizio Prata me convidaram para um programa criado pelo CNPq [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico], o PIDE, Programa Integrado de Doenças Endêmicas. Aceitei fazer a parte de bioquímica do *Trypanosoma cruzi*, da doença de Chagas, e depois também do caramujo transmissor da esquistossomose, o *Biomphalaria*. A ideia de compreender a doença de Chagas me motivava também por uma razão particular. Eu descobri que tinha a doença.

“Compreender a doença de Chagas me motivava por uma razão particular. Descobri que tinha a doença”

Como o senhor soube?

Em 1974, tinha um professor que trabalhava com o Isaac Roitman e era de Paracatu. Ele me falou: “Ruy, sei que você morava na roça, você já fez exame de Chagas?”. Eu falei: “Nunca fiz. Eu lembro que, quando criança, era picado pelo chupão – chamava o barbeiro de chupão –, mas nunca senti nada”. Ele fez o exame e me trouxe o resultado. Depois, o Aluizio Prata confirmou que realmente eu tinha o *T. cruzi* circulante. Tive muito apoio da equipe médica da UnB. Os exames cardiológicos detectaram uma arritmia. Tenho ela até hoje, mas está sob controle.

E como foi investigar uma doença sendo portador dela?

Só eu fazia a parte experimental, não deixava os alunos mexerem. Tinha medo de uma agulhinha escapar, furar e alguém se contaminar. Eu desenvolvi métodos de cultivo em larga escala de *T. cruzi*, inclusive para fazer anticorpo em coelho. Eu tinha o problema, não havia como voltar atrás, e meu objetivo era trabalhar e ver se podia contribuir para achar alguma solução. Na época, se achava que o bloqueio

de respiração do *T. cruzi* poderia ser um mecanismo de controle. Eu trabalhei na bancada tentando entender o sistema respiratório do *T. cruzi*, que era fascinante. Você bloqueia a respiração aeróbica e ele usa outro mecanismo. Bloqueia esse segundo sistema, ele desenvolve um terceiro. Evolutivamente, é um parasita muito inteligente. Quando eu estava estudando o sistema respiratório do *T. cruzi*, postulamos uma hipótese sobre um mecanismo de escape no sistema imunológico e até formulamos um projeto do CNPq, mas os assessores responderam que não tinha informação na literatura a respeito e não quiseram apoiar. Ideia nova raramente se consegue emplacar. Essa foi uma das minhas decepções com a ciência brasileira. Alguém tem que ter publicado lá fora para haver confiança de que se vai chegar a um resultado. É difícil fazer ciência de ruptura. Creio que por isso acabei fazendo um desvio na minha carreira para me dedicar a formar pesquisadores que pensassem de forma diferente.

Como fez isso?

Em 1983, o reitor da Universidade Federal de Viçosa, o Antônio Fagundes de Sousa, ficou encantado com o volume de publicações que o meu grupo tinha na época. Em Viçosa tinha um grupo grande, com PhD na Universidade Purdue, nos Estados Unidos, mas publicava pouco. Ele me pediu para passar um período lá com a Linda, ver se o pessoal se movimentava para abrir novas linhas de pesquisa. Fiquei lá seis meses. Com o apoio do pró-reitor de pesquisa da época, o Pedro Henrique Monnerat, e o Maurílio Alves Moreira [1949-2013], que era da química, chegamos à conclusão de que a universidade estava muito compartimentalizada. Cada departamento tinha seu feudo, ninguém conversava com ninguém nem podia usar os equipamentos do outro. Surgiu a ideia de arrumar um ambiente que não fosse departamental e criamos o Centro de Biotecnologia da Agropecuária, o Bioagro. Fomos à diretoria da Finep e eles aprovaram o primeiro investimento para alavancar a construção do Bioagro.

Na década de 1980, o senhor teve uma experiência com pesquisa no setor privado. Como foi?

A British American Tobacco, que era dona da Souza Cruz, tinha várias empresas

no país, como a Suvalan e a Maguary, no segmento de sucos. Também tinha 35% das ações da Aracruz Celulose. Eles montaram um núcleo de biotecnologia para apoiar esses negócios, a Bioplanta, e acharam que eu tinha perfil para coordenar a equipe de biotecnologia vegetal. Fiquei três anos.

Ter uma experiência em pesquisa no setor privado não era algo comum na época, não?

Havia muito preconceito. Eu me lembro de um fato curioso que aconteceu em 1989, logo depois da Constituinte. Me convidaram para uma mesa-redonda em um painel sobre biotecnologia no Brasil que estava acontecendo na Unicamp e era promovido por um pessoal do Ministério da Ciência e Tecnologia. Quando cheguei lá, resolveram me tirar da mesa quando souberam que eu estava em uma empresa privada, alegando que era uma ação promíscua. Ficou um pouco chato, não para nós da Bioplanta, mas para o ministério. Felizmente, as coisas evoluíram, mas aqui acontecem muito lentamente. Os países que são nossos competidores comerciais evoluíram em alta velocidade.

O senhor se aposentou na UnB em 1994. Se tivesse que apontar sua contribuição principal, o que diria?

Minha grande contribuição foi na área de formação, sobretudo de alunos da graduação. Tive um papel de induzir o pessoal a ir para o laboratório trabalhar e pensar, ser mais crítico, analítico. Dava disciplinas pesadas, biofísica, bioquímica, enzimologia. Formamos muita gente com boa qualificação. Na época, muita gente ainda fazia doutorado fora do país e precisava ter uma base científica muito boa. Minha grande contribuição foi ajudar a construir uma geração com excelente base científica.

Depois da aposentadoria, o que foi fazer?

Duas semanas depois da aposentadoria, me chamaram no Ministério da Saúde, eu e a professora Kumiko Mizuta [1940-2023], para ajudar a estruturar a Secretaria de Ciência e Tecnologia do ministério. Fomos lá. Nessa época, também recebi um convite do reitor da Universidade Federal de Goiás, o Ary do Espírito Santo, e topei trabalhar como professor visitante.

Permitiram que eu contratasse algumas pessoas para mudar o ambiente. Liguei para o João Lúcio de Azevedo, da Esalq, o Almiro Blumenschein [1932-2019], que tinha saído de Embrapa [Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária]. Foi de imediato incorporado à equipe o saudoso Sérgio Olavo Pinto da Costa [1930-2023]. Nós tentamos motivar o pessoal da federal de Goiás, mas os professores eram desanimados. Quando chegamos, fizemos um seminário e apareceu muito pouca gente. Fazíamos experimentos com os alunos e a meninada foi se entusiasmando. Aí pudemos contratar professores novos. Quando terminamos o nosso tempo lá, em dois anos, fizemos outro seminário no auditório e estava cheio de gente.

O senhor foi diretor do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, o CNPq. O que conseguiu fazer nesse período?

O ministro da Ciência e Tecnologia José Israel Vargas me ligou dizendo que o José Galizia Tundisi, presidente do CNPq, precisava de um diretor de programas especiais. Topei o desafio e foi possível

quebrar alguns paradigmas. Criamos, por exemplo, um programa de agronegócio. Propusemos ao ministro Vargas e a primeira reação dele foi dizer: “Ciência não é negócio, não”. Eu brinquei: “Ministro, o senhor tem um negócio com o Estado, o Estado paga e o senhor presta um serviço em troca”. Ele aceitou criarmos o programa do agronegócio, que serviu de interface entre o CNPq, a Embrapa e o setor empresarial.

O senhor participou do grupo que discutiu o projeto da Lei de Inovação, aprovado em 2004. Como foi essa participação?

Na época do CNPq, eu participei de um grupo de cooperação Sul-Sul. Fui à Coreia do Sul e conheci a legislação de inovação coreana. Ela havia reconectado os institutos de apoio ao desenvolvimento industrial, que estavam ficando muito acadêmicos, com a estratégia de desenvolvimento do país. Mais tarde, eu estava ajudando o presidente da Embrapa, o Alberto Portugal, e o Ministro da Ciência e Tecnologia, o embaixador Ronaldo Sardenberg, foi lá participar de uma conferência. O Portugal me disse: “Provoca o ministro sobre o que você me contou sobre a Coreia”. Quando ele me deu a palavra, eu disse: “Ministro, o sistema de controle do Estado cria uma série de *feedbacks* negativos e está bloqueando a Embrapa em suas estratégias. É preciso mudar isso”. E contei o que a Coreia tinha feito. Nessa época, o então senador Roberto Freire já tinha feito a proposta de uma lei de inovação baseada no modelo francês, que é muito burocrático. Mandei e-mails para o Carlos Américo Pacheco, que era o secretário-executivo do ministério. “Pacheco, olha, o Brasil está perdendo tempo”. O Pacheco articulou um encontro em Brasília. O ministro reuniu um grupo de deputados e senadores, entre eles o Roberto Freire. E teve um debate fechado. Freire falou o que estava pensando. Eu contei um pouco da dificuldade de fazer pesquisa no Brasil, da burocracia, da minha experiência na Bioplanta. Fui convidado para participar do grupo que concebeu o CGEE e ajudar a elaborar a proposta da lei de inovação. Terminou o mandato do Fernando Henrique e a lei de inovação foi encaminhada pelo governo Lula.

“
**Ideia nova
raramente se
consegue
emplacar.
Essa foi uma
das minhas
decepções
com a ciência
brasileira**”

Nos últimos anos, o senhor repetiu em outros lugares aquele trabalho que fez na federal de Goiás. Como tem sido a experiência de estruturar o ensino e a pesquisa em instituições?

O reitor da Universidade Católica de Brasília, Guy Capdeville, me convidou para estruturar um programa de pós-graduação em ciências biológicas. Reunimos uma equipe jovem de doutores, muitos com experiência internacional, no Programa de Pós-graduação em Ciências Genômicas e Biotecnologia, que hoje tem o conceito 7, nota máxima da escala da Capes [Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior]. Os pró-reitores de universidades do Centro-Oeste decidiram criar uma rede de biotecnologia também na nossa região. Eu estava na Católica como pró-reitor e me pediram que coordenasse a rede. Fiquei como secretário-executivo por 12 anos. Em 2013, estava um pouco cansado e decidi mudar de rota. O então ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação, Marco Antonio Raupp [1938-2021], me pediu ajuda para construir uma proposta do Programa Nacional de Biotecnologia. Montamos uma equipe de mais de 100 pessoas para estruturar uma proposta que ia ser encaminhada para o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CCT), na época da presidenta Dilma Rousseff. No último minuto mudaram de ideia e a proposta não foi ao CCT.

Aí o senhor foi trabalhar em Campo Grande, em Mato Grosso do Sul...

O padre José Marinone, reitor da Universidade Católica Dom Bosco, em Campo Grande, me propôs: “Você não quer fazer o mesmo que fez na Católica de Brasília aqui na Universidade Católica Dom Bosco?”. Tinha um programa de biotecnologia para reestruturar. Não só o mestrado subiu de nível, mas também conseguiu aprovar o doutorado e já está com nota 5 na avaliação da Capes. Fiquei lá dois anos. Estava retornando a Brasília quando o Marcelo Turine, reitor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul [UFMS], pediu para ajudar em um doutorado que estava meio fraco. Dei aula por dois anos em bioquímica médica, em inglês, para fortalecer a avaliação do programa junto à Capes. Aí veio a pandemia e eu voltei para Brasília para cuidar da minha fazenda de pecuária leiteira.



Muita gente do agro tem consciência, mas a maior parte só quer aproveitar o máximo possível o espaço rural

Recentemente, o senhor passou um período na Esalq. Como foi esse retorno?

O diretor da Esalq, o Durval Dourado Neto, me ligou. Estava no segundo ano de mandato, queria que eu ajudasse no planejamento estratégico. Vendi a fazenda aqui e fui trabalhar com o Durval. A FAPESP lançou o edital do Cepid [Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão]. Eu falei: “Durval, está na hora de aproveitar esse edital”. Nos reunimos com o Ricardo Ribeiro Rodrigues, o Pedro Brancalion, o Eduardo Aranha, o Luiz Estraviz, para conversar sobre qual tema de Cepid faria sentido para a Esalq. O Luiz deu a ideia do carbono na agricultura tropical e o Eduardo Cerri assumiu a liderança. Felizmente, foi aprovado e caminha para ser uma grande referência internacional. Terminado o período lá, reassumi na Católica de Brasília.

O senhor manteve um pé na vida rural. Ainda tem alguma fazenda?

Saí da roça com 18 anos, mas a roça nunca saiu de mim. Minha família trabalhava em Barretos, em uma fazenda de pecuária

chamada Nova Índia, o patrão era muito rico, rigoroso, como esses coronéis. Certa vez falei com meu pai: “Um dia, vamos comprar uma fazenda”. Quando eu vim aqui para Brasília, em 1972, consegui comprar uma área e coloquei o mesmo nome, Fazenda Nova Índia. Mantive durante uns 25 anos. Aí passei para os filhos.

O que produzia?

Tive até mil cabeças de gado, tirava 1.200 litros de leite por dia. Também plantava soja, milho, café. Tinha 2.050 hectares. Só abri mil hectares, deixei 1.050 em reserva. Estudantes de ecologia fizeram trabalhos de doutorado lá nos corredores ecológicos. A Linda ajudou a montar o primeiro programa de ecologia no Brasil, aqui na UnB, na década de 1970. Com a morte da Linda, a fazenda ficou para os filhos. Depois eu montei uma outra pequenininha, bem menor, de gado e leite também. Vendi quando fui para Piracicaba. Agora estou montando outra, de café. Meu *hobby* é fazer café especial. Fica em Cristalina, em Goiás.

Como está a situação do Cerrado? A notícia recente é que a mudança no uso da terra no Cerrado vem se acelerando muito...

Houve um equívoco na exploração agrícola do Cerrado. O governo federal, pelas mãos do Delfim Neto como ministro da Agricultura, trouxe para dirigir o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal [IBDF] o Mauro Silva Reis, professor de Engenharia Florestal de Viçosa. Tinha uma visão fantástica e um PhD em patologia florestal pela Universidade Estadual da Carolina do Norte, em Raleigh. O Mauro Reis mostrou que era importante o Cerrado conservar pelo menos 20% de cada área, mesmo nos projetos de reflorestamento, e isso foi incorporado na lei. Só que em um certo momento a bancada ruralista no Congresso mudou a legislação e disse que podia ter reserva em qualquer lugar, podia comprar reserva fora da sua propriedade. Foi praticamente desmatado tudo. Essa fazenda que eu passei para os filhos foi vendida. O comprador não deixou uma árvore em pé. Tem muita gente do agro que tem consciência, mas a maior parte só pensa em aproveitar o máximo possível o espaço rural. É importante manter os polinizadores e uma parte do ecossistema. ●



Transmissão do conhecimento

Mesmo após 20 anos da aprovação da Lei de Inovação, criada para aproximar as instituições de ciência e tecnologia do setor produtivo, transferir conhecimento para o mercado ainda é um desafio no Brasil. Em 2023, apenas 23,8% de 130 Núcleos de Inovação Tecnológica (NIT), que representavam 146 instituições científicas do país, conseguiram firmar novos contratos de licenciamento. Os NIT são escritórios encarregados de promover a proteção de invenções criadas no ambiente acadêmico e licenciá-las para exploração econômica.

Os dados são de uma pesquisa do Fórum Nacional de Gestores de Inovação e Transferência de Tecnologia (Fortec), lançada em novembro, e evidenciam uma dificuldade persistente em transformar a propriedade intelectual oriunda de instituições de ciência e tecnologia em produtos ou negócios concretos no país. A oitava edição do relatório afirma que tal resultado pode estar relacionado a questões como “infraestrutura insuficiente, falta de profissionais especializados em negociação e transferência de tecnologia, além de dificuldades na criação de parcerias estratégicas com o setor privado”. Foi registrada ainda uma queda significativa nas receitas geradas por licenciamentos ativos, de R\$ 48 milhões em 2021

para R\$ 32 milhões em 2023 – a pesquisa anterior, no entanto, coletou dados de 186 instituições.

É certo que os núcleos promoveram a proteção da propriedade intelectual de inovações de suas instituições. De 3.086 comunicados de invenção feitos por pesquisadores a esses núcleos em 2023, 85,1% deles se transformaram em depósitos de pedidos de patentes, registros de softwares, cultivares, entre outros.

Para a engenheira de produção Ana Torkomian, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), vice-presidente do Fortec e coordenadora da pesquisa, quanto menor o grau de maturidade do NIT, mais ele concentra seus esforços na proteção da propriedade intelectual. Ela lembra que, antes da Lei de Inovação, não havia uma cultura de proteção das invenções na academia, e coube aos NIT desenvolvê-la.

“Quando a gente compara os núcleos com licenciamentos vigentes em 2023 e os sem licenciamentos, vê que o primeiro grupo tem uma média de idade maior, de 16,7 anos, diante do segundo, com 12 anos. A tendência é que, nos mais maduros, o foco passe a ser a transferência”, observa Torkomian. Os núcleos com contratos com empresas tinham, em média, três vezes mais colaboradores em tempo integral (15,6 diante de 5,7) e mais que o dobro de invenções protegidas ainda ativas. “Se quisermos NIT mais robustos, é preciso tempo de aprendizado e capacitação da equipe, além de pesquisas que



Instituições de ciência e tecnologia com estratégias ativas têm mais sucesso no licenciamento de tecnologias

SARAH SCHMIDT — ilustrações MAYARA FERRÃO

gerem um portfólio de propriedade intelectual atraente”, complementa.

Conforme esses núcleos se estruturam, há ações que podem ajudar a promover a transferência de conhecimento para o mercado, como mapear e contatar empresas potencialmente interessadas nas tecnologias ou em competências de pesquisa para desenvolvimentos conjuntos. Foi o que concluiu uma pesquisa qualitativa que visitou e entrevistou gestores de NIT das regiões Sul e Sudeste do país para entender quais táticas eles adotavam a fim de oferecer suas tecnologias. O estudo foi conduzido por um grupo de pesquisadoras da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e publicado em fevereiro de 2024 na revista científica *Innovation & Management Review*.

“Ter um portfólio de tecnologias disponível em um site é apenas uma das ferramentas. É preciso também prospectar e se aproximar de empresas que podem se interessar por determinada invenção ou competência de pesquisa, ter um bom plano de marketing e ouvir as demandas do mercado”, avalia a farmacêutica Karin Goebel, primeira autora do artigo.

As reflexões foram colhidas entre 2019 e 2021 para a tese de doutorado de Goebel, recém-defendida em 2024 na Fiocruz-Paraná, onde ela trabalha como analista de gestão da inovação. Os dados apontaram que o desempenho das instituições de

pesquisa com estratégias ativas para licenciar tecnologias foi melhor do que o das que não adotavam essas práticas, em termos de número de contratos e faturamento. No grupo mais bem-sucedido estavam as universidades de São Paulo (USP), as estaduais de Campinas (Unicamp) e Paulista (Unesp) e a Federal de Minas Gerais (UFMG). Já as instituições com esquemas menos vigorosos foram as universidades Federal do Paraná (UFPR), Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e a Fiocruz.

Entre as principais estratégias relatadas estão a abordagem de potenciais parceiros por e-mail e por telefone; a participação de representantes das instituições em eventos para fazer contatos; o levantamento de cenários e tendências sobre lançamentos de produtos; planos de comunicação e marketing para divulgar as invenções e competências de pesquisa; e a criação de plataformas de conexão entre universidades e empresas.

Entre as táticas adotadas pela USP está a busca por acordos colaborativos, em que empresas codesenvolvem tecnologias com a universidade e têm preferência no licenciamento com exclusividade para explorar as inovações. “Esses acordos permitem a transferência de tecnologia de forma direta e asseguram o acesso ao mercado em menos tempo”, explica a agente de inovação Flávia Oliveira do Prado Vicentin, da Agência USP de Inovação, que coordena as estratégias da

transferência de tecnologia para os *campi* de Ribeirão Preto e de Bauru, no interior paulista.

Ela cita como um dos destaques desse modelo um produto farmacêutico à base de canabidiol, desenvolvido em parceria entre a Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e a farmacêutica Prati-Donaduzzi. O produto chegou às farmácias do país em maio de 2020 e pode ser comprado por meio de prescrição médica para tratamentos como epilepsia e distúrbios psiquiátricos.

Na UFMG, uma das estratégias é ver a patente como uma porta de entrada para apresentar a expertise dos pesquisadores ao mercado. “Oferecemos a tecnologia à empresa e, mesmo que ela não se interesse por aquela invenção, aproveitamos o contato para detectar as demandas da companhia”, conta o engenheiro de produção Frank Gomes, coordenador do setor de gestão de alianças estratégicas da Coordenadoria de Transferência e Inovação Tecnológica (CTIT), núcleo de inovação da universidade mineira. Quando a inovação é algo que pode ter interesse do público, a área de assessoria de imprensa da UFMG é acionada para tentar divulgá-la na mídia. Ele destaca o caso de um dispositivo de baixo custo para reduzir a carga de microrganismos no ar, como vírus, bactérias e fungos, que foi tema de uma reportagem do portal de notícias da Rede Globo, o G1. “Como estávamos na pandemia, em 2021, houve uma grande repercussão. Uma empresa viu a reportagem, nos procurou e a invenção foi licenciada”, conta Gomes.

A aproximação com empresas por meio de encontros e participação em feiras é uma das práticas da Unesp. A universidade também busca o desenvolvimento de projetos em conjunto com o setor produtivo e contratou um jornalista para realizar a divulgação

do portfólio da universidade. “Essas ações facilitam o contato direto com potenciais parceiros e permitem o ajuste das tecnologias às necessidades do mercado”, diz o assessor da Agência Unesp de Inovação, Marcelo Ornaghi Orlandi.

A Agência de Inovação da Unicamp também investe na divulgação de suas invenções como uma de suas estratégias. Há uma integração entre a área de transferência de tecnologia e a de comunicação. “Realizamos o mapeamento contínuo de competências das nossas tecnologias e das habilidades de nossos pesquisadores, o que facilita o encontro entre a universidade e demandas específicas do mercado”, observa o diretor-executivo da Inova Unicamp, Renato Lopes. Entre outras ações, a agência criou eventos, competições e disciplinas de empreendedorismo dentro da grade acadêmica, incentivando os alunos e pesquisadores a criarem suas próprias empresas, uma outra maneira de escoar as tecnologias da instituição.

Ele destaca o caso da BF3 Medical, uma spin-off acadêmica, como são chamadas as empresas criadas a partir de uma propriedade intelectual desenvolvida na universidade. Fundada por três professores da Unicamp com base em suas pesquisas, a startup faz implantes de titânio para deformidades cranianas, customizados por meio de tomografia computadorizada e depois produzidos com impressora 3D, o que permite mais precisão em cirurgias. “Incentivar o empreendedorismo é importante, principalmente para tecnologias na fronteira do conhecimento, que são mais difíceis de licenciar porque apresentam um alto risco, requerem mais recursos e mais tempo de desenvolvimento”, observa Goebel.

O economista Marcelo Pinho, do Departamento de Engenharia de Produção da UFSCar, que não participou do estudo, observa que a proatividade dos NIT tem importância, mas a transferência de tecnologia é apenas um dos modos pelos quais as instituições de pesquisa podem se relacionar com o setor produtivo. Ele lembra que o Marco Legal da Inovação, de 2016, revisou a Lei de Inovação e o escopo de atuação dos NIT, incluindo entre suas competências “promover e acompanhar o relacionamento da ICT [instituição de ciência e tecnologia] com empresas”. Pinho também destaca que a inovação, que em outros países é desenvolvida com mais frequência pelo setor empresarial do que pelas universidades, não acontece de maneira linear e seus processos são mais complexos. “É preciso superar essa perspectiva predominantemente ofertista. Não dá para esperar que a inovação seja desenvolvida na universidade e depois apenas burilada e lapidada nas empresas. É preciso fortalecer parcerias e relacionamentos de longo prazo entre universidades e o mercado, em uma interação contínua”, propõe. ●





A régua dos algoritmos

Especialistas analisam vantagens e riscos de adotar ferramentas de inteligência artificial para mensurar o desempenho e a contribuição de pesquisadores

FABRÍCIO MARQUES — ilustração ALEXANDRE AFFONSO

Ferramentas de inteligência artificial (IA) poderiam executar tarefas em processos de avaliação científica que hoje são confiadas apenas a revisores humanos, propõe um estudo publicado em novembro no *Journal of Informetrics*. O objetivo do artigo, assinado por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), era identificar critérios e atributos capazes de definir se um pesquisador será premiado com uma Bolsa de Produtividade em Pesquisa (PQ) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Essas bolsas, distribuídas atualmente a cerca de 15 mil pesquisadores, oferecem uma complementação à remuneração que eles recebem em suas instituições como reconhecimento a sua produção destacada e ao trabalho de orientar estudantes.

Foram analisados os currículos Lattes de 133 mil pesquisadores, 14.138 dos quais foram agraciados com as bolsas PQ entre 2005 e 2022. Os autores do estudo utilizaram um conjunto de técnicas de aprendizado de máquina aplicado aos currículos de candidatos a bolsas que conseguiu apontar, com razoável grau de acerto, quais pesquisadores seriam contemplados. A precisão chegou a 80% em uma das categorias de bolsistas, a PQ-2, voltada a pesquisadores mais jovens e que

considera principalmente o número de artigos publicados e de orientações de alunos. “Para os demais níveis, a ferramenta se portou bem, mas com menos acurácia, pois a definição depende de uma análise mais qualitativa”, disse um dos autores do estudo, Denis Borenstein, da Escola de Administração da UFRGS.

Segundo o pesquisador, só foi possível criar o modelo porque há um grande volume de dados sobre a produção dos pesquisadores na Plataforma Lattes, utilizado para treinar os algoritmos de aprendizado de máquina. Na sua avaliação, a ferramenta seria útil ao menos para fazer uma triagem dos candidatos e poupar trabalho dos avaliadores. “Os revisores poderiam analisar um volume menor de propostas de forma mais tranquila e cuidadosa”, afirma Borenstein, um especialista em pesquisa operacional aplicada, abordagem interdisciplinar que utiliza algoritmos e métodos matemáticos e estatísticos para auxiliar em tomada de decisões.

O diretor científico do CNPq, o físico Olival Freire, concorda que a inteligência artificial vai tornar-se útil nos procedimentos de avaliação da agência, mas afirma que sua adoção deve ser criteriosa e paulatina. “Sistemas de IA mal trei-

nados ou mal utilizados podem exibir barbaridades nos resultados. É preciso fazer uma curadoria cuidadosa dos algoritmos para ver se a análise é consistente”, afirma. Freire conta que o CNPq utiliza inteligência artificial em tarefas como a seleção de pareceristas que julgam solicitações de bolsas e projetos de pesquisa. “O sistema roda a lista dos 15 mil bolsistas de produtividade e aponta um pequeno leque de especialistas no tema do projeto. Eles em seguida são contatados pelos técnicos do CNPq”, diz.

Essa estratégia, segundo Freire, previne vieses na escolha dos revisores, como o excesso de convites àqueles que rapidamente aceitam a tarefa ou entregam seus pareceres. O uso de programas de inteligência artificial generativa também passou a ser permitido na formulação de propostas de candidatos a bolsas PQ, desde que eles declarem que utilizarão tais recursos. O diretor do CNPq afirma, contudo, que um uso disseminado da inteligência artificial poderia chocar-se com a abordagem mais qualitativa que o CNPq está buscando dar a seu processo de avaliação. “Alguns comitês de áreas

Análise multidimensional

Engenharia química adota critérios qualitativos de avaliação

A distribuição de Bolsas de Produtividade em Pesquisa (PQ) do CNPq na área de engenharia química está seguindo critérios diferentes dos usualmente adotados por outras disciplinas. Em vez de se limitar aos tradicionais indicadores quantitativos, como número de artigos, citações e alunos orientados, o foco é mensurar a contribuição dos candidatos a bolsistas de forma ampla, avaliando desde o impacto acadêmico de sua produção científica até o seu papel na formação de recursos humanos, o esforço em estabelecer colaborações e a liderança do pesquisador em projetos científicos e de inovação. As regras válidas para o próximo triênio vêm sendo discutidas pelo comitê assessor de engenharia química do CNPq nos últimos quatro anos e começaram a ser implementadas em outubro, depois de serem discutidas

com a comunidade. “A ideia é considerar o caráter qualitativo da pesquisa, de modo a desestimular práticas predatórias de publicação que inflam artificialmente a produção científica”, diz Claudio Dariva, pesquisador da Universidade Tiradentes, em Aracaju, Sergipe, atual coordenador do comitê.

A busca por novos critérios se explica, em parte, pela disputa excessivamente acirrada pelas bolsas de produtividade de engenharia química. Considerando a média das três últimas avaliações para as bolsas PQ (2021, 2022 e 2023), a cada 100 pesquisadores da área que se candidatam, somente 35 têm sucesso, o menor nível de atendimento entre todas as engenharias no CNPq. Para se ter uma ideia da assimetria, a média de atendimento da demanda solicitada para todas as engenharias no período

gira em torno de 45%, com algumas áreas chegando a 60%. “Se usarmos critérios meramente quantitativos para distribuir as bolsas, vários pesquisadores com contribuições importantes à sociedade nem sequer conseguem concorrer. A nossa pergunta norteadora sempre foi: o que é ser um pesquisador produtivo?”, diz Maria Alice Zarur Coelho, pesquisadora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), que liderou o comitê assessor durante parte do período da formulação dos novos critérios. “O objetivo é contribuir com uma análise multidimensional do pesquisador, que sirva como uma ferramenta orientadora e privilegie o impacto da pesquisa de forma ampla”, afirma Marisa Beppu, pesquisadora da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que também liderou o comitê assessor de engenharia química do CNPq.

disciplinares do CNPq estão julgando os pedidos de bolsas de produtividade em duas etapas. A primeira, de caráter mais quantitativo, analisa dados sobre produção científica, citações e número de orientações dos candidatos e pode ter o suporte de algoritmos. Na segunda, os proponentes são convidados a apontar não números, mas suas principais realizações, que podem ser um artigo influente, uma patente ou uma produção artística, e o julgamento é feito por pares. Isso não poderia ser feito de forma apropriada pela inteligência artificial”, explica.

Ferramentas de IA já são usadas para organizar e analisar grandes volumes de dados de pesquisa e até para identificar ou modelar estruturas de proteínas que podem gerar novos medicamentos. O físico Osvaldo Novais de Oliveira Júnior, pesquisador e atual diretor do Instituto de Física de São Carlos da USP, mostrou que a inteligência artificial é capaz de prever, com grande chance de sucesso, se um artigo científico receberá muitas citações. Ele e colegas da USP e da Universidade de Indiana, nos Estados Unidos, publicaram um estudo sobre o assunto no repositório arXiv, que ainda não foi revisado por pares. O trabalho analisou resumos de 40 mil artigos publicados entre 2012 e 2022 na revista *ACS Applied Materials & Interfaces*, publicada pela American Chemical Society, utilizando métodos de inteligência artificial e conseguiu apontar com 80% de precisão quais estavam entre os 20% mais citados – isso, com base apenas nas palavras utilizadas e nos tópicos abordados, sem levar em conta quem eram os autores e as instituições a que pertenciam. Um estudioso de linguística computacional, Novais afirma que o domínio da linguagem humana pelos computadores fará com que eles consigam executar atividades intelectuais de todo tipo e que a gigantesca capacidade de processar dados das máquinas as levará a superar, em breve, a inteligência humana. “É provável que, em um futuro não muito distante, por volta de 2027, atinjamos a singularidade tecnológica, momento em que a inteligência artificial ultrapassará a capacidade humana”, completa.

O diretor científico da FAPESP, o geneticista Marcio de Castro Silva Filho, considera irreversível a tendência do uso de IA no processo de avaliação. “Editoras científicas já utilizam a tecnologia na triagem e na análise de artigos científicos submetidos. As agências de fomento tendem a caminhar nessa direção, desenvolvendo ferramentas que deem suporte para seus assessores”, diz. “Estamos discutindo na FAPESP como desenvolver algoritmos que permitam extrair informações das propostas e auxiliem os avaliadores no momento da revisá-las.” Segundo ele, o

essencial é dar transparência à utilização da inteligência artificial conforme ferramentas desse tipo forem incorporadas, além de deixar claro quais são os critérios que as norteiam.

Mas a viabilidade de utilizar algoritmos em tarefas complexas do processo de avaliação pode demorar, de acordo com a médica Rita Barradas Barata, que entre 2016 e 2018 foi diretora de avaliação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). “Uma coisa é usar algoritmos para processar grandes volumes de dados, outra é interpretá-los de modo a captar todas as nuances necessárias para a análise de projetos.” A pesquisadora, que foi responsável pela conclusão da avaliação quadrienal dos programas de pós-graduação divulgada pela Capes em 2017 (*ver Pesquisa FAPESP n.º 260*), diz que dimensões múltiplas do desempenho de cursos de mestrado e doutorado, como o contexto em que operam ou suas vocações regionais, devem ter peso no processo de avaliação e precisarão ser consideradas por algoritmos que vierem a ser desenvolvidos.

Jacques Marcovitch, que foi reitor da USP entre 1997 e 2001, afirma que o uso preditivo de inteligência artificial envolve riscos. Um deles é inibir a adoção dos princípios da chamada “avaliação responsável”, que busca introduzir parâmetros qualitativos, baseados em revisão por pares, na análise de resultados científicos. “Algoritmos têm capacidade de ler uma grande quantidade de conteúdos, mas olham sempre para o passado, para dados acumulados ao longo do tempo. Num era de rupturas, essas ferramentas limitam a identificação e a valorização da ciência que vai moldar o nosso futuro”, afirma. Marcovitch lidera o Projeto Métricas, um esforço que reúne pesquisadores de várias instituições para desenvolver formas abrangentes de mensurar o impacto das universidades na sociedade.

Isso não significa, segundo o pesquisador, que modelos de inteligência artificial não possam ser úteis: o fundamental, ele diz, é que seus resultados sejam usados por pessoas qualificadas, que compreendam suas limitações e saibam interpretá-los. Justin Axel-Berg, também pesquisador do Projeto Métricas, alerta para a falta de transparência dos parâmetros adotados por algoritmos de inteligência artificial generativa. “Seria arriscado usar esses programas para determinar a concessão de recursos públicos para projetos e bolsas. O que responder para um candidato inconformado com o resultado da avaliação? Que foi o algoritmo que disse não?”, indaga. ●

A sorte dos meteoritos

Cientistas se articulam e modificam projeto de lei para exigir que parte das rochas espaciais que cai no Brasil seja enviada para instituições de pesquisa do país

SARAH SCHMIDT

Em agosto de 2020, a astrônoma Maria Elizabeth Zucolotto, do Museu Nacional, no Rio de Janeiro, recebeu uma ligação do colecionador de meteoritos brasileiro André Moutinho – ele informava que havia caído uma chuva dessas rochas espaciais no município de Santa Filomena (PE). Apesar das restrições da pandemia de Covid-19, a pesquisadora, que é curadora da coleção de meteoritos do museu, conseguiu viajar até a cidade. Testemunhou uma verdadeira caça a essas rochas espaciais, com a ativa participação dos moradores, que procuravam por fragmentos para vendê-los a comerciantes de meteoritos brasileiros e estrangeiros que apareciam no local.

O dono de um bar da cidade lhe contou que guardou um meteorito que havia quebrado o telhado de sua casa. Zucolotto quis comprá-lo, mas o comerciante não vendeu – e depois soube que o caçador de meteoritos norte-americano Michael Farmer havia arrematado a rocha de quase 2,5 quilogramas (kg). A astrônoma procurou Farmer. “Ele acabou concordando em revendê-lo pelo preço que havia comprado. Tivemos que conseguir R\$18 mil em dinheiro vivo”, recorda-se.

A peça foi incorporada ao Museu Nacional como a primeira aquisição da coleção de meteoritos após o incêndio de 2018 e deve ser exposta quando a instituição reabrir suas portas. Segundo análise publicada em abril de 2023 por Zucolotto e colegas na revista *Meteoritics and Planetary Science*, trata-se de um condrito, um tipo de meteorito rochoso com idade es-

timada em 4,56 bilhões de anos, oriundo provavelmente do cinturão de asteroides entre as órbitas de Marte e Júpiter.

O caso de Santa Filomena mostra as dificuldades para garantir que pesquisadores tenham acesso a amostras de meteoritos que caem no país. Como não há regulamentação, qualquer pessoa pode comprá-los ou vendê-los, sem que os cientistas tenham a chance de examiná-los. Para tratar da questão, tramita na Câmara dos Deputados o Projeto de Lei (PL) nº 4.471/2020, que propõe regulamentar a propriedade das rochas espaciais com o objetivo de garantir que amostras também sejam encaminhadas para instituições científicas brasileiras.

ARTICULAÇÕES EM BRASÍLIA

O projeto recebeu sugestões de cientistas da área que se articularam para modificar o texto inicial. Outro projeto de lei, também de setembro de 2020, acabou sendo rejeitado. “Quando surgiram, os projetos propunham caminhos opostos – um caminhava na direção de definir os meteoritos como propriedade privada e outro como propriedade do Estado”, explica Rodrigo Vesule, integrante do grupo de pesquisa de direito e política espacial da Universidade Católica de Santos.

“Ambos tinham textos simplificados que não atendiam à complexidade do tema e que não garantiam que amostras de meteoritos fossem analisadas no país”, complementa. Vesule foi convidado a integrar um grupo de trabalho, liderado pela Sociedade Brasileira de Geologia (SBG) – do qual Zucolotto também faz parte –, que reuniu pesquisadores para discutir quais pontos deveriam estar em um projeto de lei dessa natureza.



Meteorito cruzando o céu de Patos de Minas (MG) em janeiro de 2022. Embora o evento possa ter gerado meteoritos, até hoje não foi localizado nenhum fragmento

“Criamos o grupo de trabalho para garantir que os interesses científicos fossem contemplados”, diz a geóloga Elisa Rocha Barbosa, da Universidade Federal de Goiás (UFG), presidente da SBG. A equipe foi composta por integrantes de universidades públicas, institutos de pesquisa e por astrônomos amadores. Barbosa foi três vezes a Brasília, com Zucolotto, para conversar com parlamentares sobre o projeto.

As sugestões dos cientistas foram apresentadas em uma audiência pública realizada pela Comissão de Minas e Energia da Câmara em 2022. “Um dos cuidados foi definir o que são meteoritos e apontar por que eles não podem ser considerados uma rocha comum. Se isso acontecesse, seriam obrigatoriamente propriedade da União de acordo com o Código de Mineração brasileiro”, explica Vesule. A proposta cria um certificado nacional de registro de meteoritos. Com isso, se a lei for aprovada, todo meteorito

encontrado em território nacional deverá ser registrado no país. “Isso garante a propriedade ao dono do objeto, que poderá vendê-lo, e assegura uma amostra para a instituição científica que analisá-la”, destaca o especialista.

Para isso, o projeto prevê a figura das instituições registradoras, que devem ser organizações de pesquisa brasileiras, e propõe que quem encontrar um meteorito terá 180 dias para solicitar seu registro gratuito.

Em contrapartida, cerca de 20% de sua composição deverá ser cedida à instituição. O texto também define que as rochas espaciais só poderão ser retiradas do país após serem registradas.

“O que há hoje é uma terra de ninguém. Se alguém encontrar um meteorito, colocar no bolso e sair do país, não temos nenhum tipo de controle ou um retorno para a ciência”, observa o geólogo Alvaro Crósta, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), também integrante do grupo de trabalho.

Esse parece ter sido o caso de um meteorito oriundo de Marte, de quase 4,5 kg, coletado na cidade de Socorro, em Pernambuco, que só foi descoberto por pesquisadores brasileiros quando apareceu no banco de dados da organização internacional The Meteoritical Society, referência mundial para registros de meteoritos, em outubro de 2021. A rocha teria sido levada para Miami, nos Estados Unidos, e negociada com um colecionador, que preferiu ficar anônimo.

“Estima-se, pelo seu tamanho, raridade e pelo valor desse tipo de meteo-

rito no mercado, que ele possa ter sido vendido por até centenas de milhares de dólares”, explica Crósta, membro da diretoria da The Meteoritical Society. Zucolotto conseguiu a cessão de uma amostra de quase 3 gramas (g) da rocha para o acervo do museu. Pelo tamanho reduzido, não é possível fazer pesquisas aprofundadas sobre o material – o ideal é que fragmentos para estudo tenham pelo menos 30 g. O país tem hoje 88 meteoritos oficialmente catalogados. “É um número muito pequeno diante da extensão do país. No mundo, há mais de 76 mil registros”, complementa Crósta.

No início de novembro, o projeto estava na Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC), que deve analisar se ele é constitucional. Caso seja aprovado, seguirá para o plenário da Câmara. Para Barbosa, a regulamentação pode evitar que comerciantes comprem meteoritos valiosos das pessoas por preços de rochas comuns.

“Quem encontra meteoritos é a população, não são os cientistas”, observa Zucolotto, que recebe, em média, cinco mensagens por dia de pessoas de todo o país pedindo para avaliar rochas que acreditam ser meteoritos. Ela tem rodado o país com o projeto de extensão “Meteoritos pé na estrada”. Além de divulgar ciência, a iniciativa procura despertar nas pessoas o interesse pelos meteoritos, mostrando que pode estar ao alcance delas encontrá-los. “Ao investigar a composição e as características dos meteoritos, podemos compreender a formação e evolução do Sistema Solar”, conclui. ●

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



Meteorito Santa Filomena, com 2,5 kg, que agora pertence ao acervo do Museu Nacional



Uma máquina para multiplicar citações

Trabalhos de reitor de universidade espanhola são invalidados por evidências de fraude em indicadores de impacto científico

A Universidade de Salamanca (Usal), a mais antiga instituição de ensino superior da Espanha e a quarta fundada no continente europeu, vive um capítulo constrangedor em seus 806 anos de história. O atual reitor da universidade, o cientista da computação Juan Manuel Corchado, 53 anos, protagoniza um escândalo de má conduta que tem ingredientes como fabricação de citações de artigos, manipulação no processo de avaliação de estudos científicos e uso de estratégias para inflar irregularmente o desempenho acadêmico.

Em outubro, a editora Springer Nature anunciou a retratação de 75 trabalhos vinculados ao grupo de pesquisa liderado por Corchado por conterem “citações com comportamento inusual” e sinais de que o processo de revisão por pares foi comprometido. Catorze estudos cancelados são assinados pelo próprio reitor. Todas as retratações envolvem *conference*

papers, resumos de apresentações feitas em conferências científicas que citaram 1.772 vezes artigos do dirigente da Usal e 559 vezes trabalhos de uma revista da qual ele é um dos editores-chefes, *Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal (ADCAIJ)*. Em um dos resumos retratados, Corchado citava outros 200 artigos de sua autoria.

Chris Graf, diretor de integridade de pesquisa da Springer Nature, informou à revista *Science* que “conexões pessoais ou profissionais” interferiram na avaliação editorial dos trabalhos cancelados. Segundo ele, há indícios de manipulação no processo de revisão por pares, uma vez que o grupo de Corchado, o Bisite (sigla para bioinformática, sistemas inteligentes e tecnologia educacional), participava ativamente da organização das conferências em que os trabalhos eram selecionados e apresentados. Procurado pela *Science*, o reitor não se pronunciou sobre as retratações, mas um porta-voz de seu grupo afirmou que os estudos cancelados representam uma quantidade pequena da produção do acadêmico e que as acusações são “maliciosas e visam exclusivamente desacreditar a equipe”.

Catedrático da Usal e especialista em inteligência artificial e cibersegurança, Juan Manuel Corchado é um dos pesquisadores mais prolíficos da Espanha. É autor de mais de mil trabalhos científicos e, em 2018, figurou em uma lista, compilada pelo pesquisador norte-americano John Ioannidis, da Universidade Stanford, nos Estados Unidos, dos cientistas mais produtivos do mundo – publicou, naquele ano, um trabalho a cada seis dias. Foram 62 estudos, sendo 33 artigos de periódicos e 29 *conference papers*.

As primeiras denúncias de que havia algo errado com sua produção surgiram em 2022, quando o site Retraction Watch divulgou uma reportagem mostrando que, das notáveis 39 mil citações que seus trabalhos científicos haviam recebido de acordo com a plataforma Google Scholar, 8,4 mil eram autorreferentes: Corchado tinha o costume de povoar as referências bibliográficas de seus trabalhos com menções a estudos anteriores de sua lavra. A prática, denominada autocitação, é permitida quando trabalhos prévios de um autor são essenciais para explicar resultados novos que ele alcançou. Já o abuso desse expediente é considerado má conduta, por inflar indicadores de desempenho acadêmico que podem vir a ser usados como critério para concessão de financiamento ou promoção na carreira.

A reportagem, que se baseava na análise do especialista em bibliometria Alberto Martín-Martín, da Universidade de Granada, mostrava outros padrões anômalos. Um grande número de citações havia sido feito em textos científicos armazenados na plataforma ResearchGate, em perfis de pesquisadores cuja identidade não podia ser verificada. Outros estudos estavam disponíveis apenas no repositório da Universidade de Salamanca. Trabalhos desse tipo não

são considerados em indicadores produzidos por bases de dados como a Web of Science, da Clarivate Analytics, e a Scopus, da editora Elsevier, que só ponderam artigos de revistas científicas certificadas e revisadas por pares. Mas tais estudos são computados nas métricas do Google Scholar, que faz um rastreamento exaustivo da literatura acadêmica na internet, onde quer que ela se encontre (*ver Pesquisa FAPESP nº 343*).

Corchado, à época, defendeu-se dizendo que os textos depositados no repositório da Usal eram apenas trabalhos para discussão, acusou desafetos de criarem perfis falsos no ResearchGate para prejudicá-lo e argumentou que os indicadores do Google Scholar não são considerados para avaliação de pesquisadores na Espanha, logo não se beneficiaria de suas métricas.

O caso voltou a ganhar repercussão no início do ano, quando o pesquisador, mesmo enfrentando questionamentos sobre a integridade de sua produção, decidiu concorrer ao cargo de reitor da Usal, em um processo em que não houve outros concorrentes. Ele tomou posse em maio. No mês seguinte, o Comitê Espanhol de Ética na Pesquisa solicitou uma investigação independente sobre as alegações contra o cientista da computação, cujos resultados saíram em setembro. O relatório, encomendado a dois pesquisadores da Universidade de Granada, Emilio Delgado López-Cózar e novamente por Alberto Martín-Martín, diz que Corchado e seus colaboradores utilizaram “práticas de publicação questionáveis” para referenciar “massiva e irregularmente” trabalhos do grupo. Em 36 *conference papers*, foi encontrada uma evidente sobreposição nas listas de referências – eles partilhavam mais de 30 referências idênticas. Uma reportagem do jornal *El País* relatou que os colegas de Corchado eram orientados por e-mail a escolher 20 artigos do reitor e 10 artigos da *ADCAIJ* para citarem em seus trabalhos.

“Nunca vi um caso como esse”, disse à *Science* Ismael Ràfols, especialista em bibliometria da Universidade de Leiden, nos Países Baixos. Ele considera que Corchado não estava tentando manipular indicadores para obter vantagens, mas sim se promover. “Parece mais ser o comportamento de quem quer ser estrela em uma área e ter grande visibilidade”, afirma. As retratações de outubro repercutiram na comunidade científica da Espanha. O Conselho de Administração da Conferência de Reitores das Universidades Espanholas publicou um comunicado, sem mencionar o dirigente da Usal, lamentando que os relatos recentes de má conduta e de retratações “prejudiquem a reputação internacional da ciência no nosso país e possam lançar dúvidas na sociedade sobre a confiança no trabalho da ciência”. ●

FABRÍCIO MARQUES

Pandemia e integridade científica influenciam nova versão da Declaração de Helsinque

A Declaração de Helsinque, conjunto de princípios éticos que regem a experimentação com seres humanos na área médica, passou por uma revisão promovida pela Associação Médica Mundial e agora inclui uma referência explícita ao combate à má conduta científica. O documento, que estabelece princípios como a obrigatoriedade de obter consentimento de pessoas que participam de experimentos científicos, incorporou a seguinte frase: “A integridade científica é essencial na condução de investigação médica envolvendo participantes humanos. Os indivíduos, equipes e organiza-

ções envolvidos nunca devem incorrer em má conduta de pesquisa”.

O epidemiologista Matthias Wjst, da Universidade Técnica de Munique, disse ao site Retraction Watch que o novo texto reforça a importância da integridade científica em experimentos com seres humanos e sinaliza que a responsabilidade não é só dos indivíduos, mas também das equipes de pesquisadores e de suas instituições. “Incluir a integridade da pesquisa nos cânones da Declaração de Helsinque é um avanço significativo”, afirmou. As diretrizes, que já foram atualizadas em oito ocasiões, não sofriam alterações desde 2013. A nova versão foi publicada no *Journal of American Medical Association*.

O texto também traz alterações motivadas pela pandemia e prevê que, “embora novos conhecimentos e intervenções possam ganhar urgência durante emergências de saúde pública, continua a ser essencial defender os princípios éticos dessa declaração durante tais eventos”. A declaração se debruça especificamente

sobre a promoção de tratamentos sem comprovação científica, como foi o caso da hidroxicloroquina e da ivermectina no combate emergencial à Covid-19. Durante a pandemia, defensores dessas terapias diziam estar respaldados pela declaração ao propor aos pacientes soluções heterodoxas na esperança de salvar vidas. O novo texto prevê que, quando se for adotar uma intervenção não comprovada na tentativa de aliviar o sofrimento de um paciente, porque as opções aprovadas são inadequadas ou ineficazes, ela deve ser objeto de estudos posteriores para avaliar a segurança e a eficácia. “Os médicos que participam dessas intervenções devem primeiro procurar aconselhamento especializado, ponderar os possíveis riscos, encargos e benefícios e obter o consentimento informado. Devem também registrar e partilhar dados quando apropriado e evitar comprometer os ensaios clínicos. Tais intervenções nunca devem ser realizadas para contornar as proteções dos participantes da pesquisa estabelecidas nessa declaração.”

Má conduta associada ao uso de inteligência artificial avança em instituições do Reino Unido

Universidades do Reino Unido registraram um crescimento dos casos de estudantes que cometeram má conduta acadêmica por uso fraudulento de programas de inteligência artificial (IA) generativa, como o ChatGPT. Dados obtidos pela revista eletrônica *Times Higher Education* mostram que a Universidade de Sheffield investigou 92 suspeitas de violações relacionadas ao uso de IA no ano letivo 2023-2024 e puniu 79 estudantes – no ano letivo de 2022-2023, apenas seis casos tinham sido registrados e todos resultaram em punições. Na Universida-

de de Glasgow, houve 130 registros em 2023-2024 com 78 punições, mais do que o triplo do período anterior. Na Queen Mary University of London, o placar chegou a 89 casos investigados e punidos em 2023-2024, em comparação com 10 inquéritos e nove sanções nos 12 meses anteriores. Já instituições como a Universidade de Southampton afirmaram não ter registrado nenhum caso de má conduta envolvendo IA, enquanto outras não dispunham de dados consolidados, sob a alegação de que o problema é enfrentado de forma descentralizada em seus departamentos.

O cientista da computação Thomas Lancaster, especialista em integridade acadêmica do Imperial College London, disse à *Times Higher Education* que considera preocupante a situação das instituições sem casos registrados. “Dada a facilidade de acesso aos programas de inteligência artificial generativa, é decepcionante que universidades não estejam acompanhando o problema”, afirmou.

CONTEÚDO EXTRA

Conhece a nossa newsletter de integridade científica?



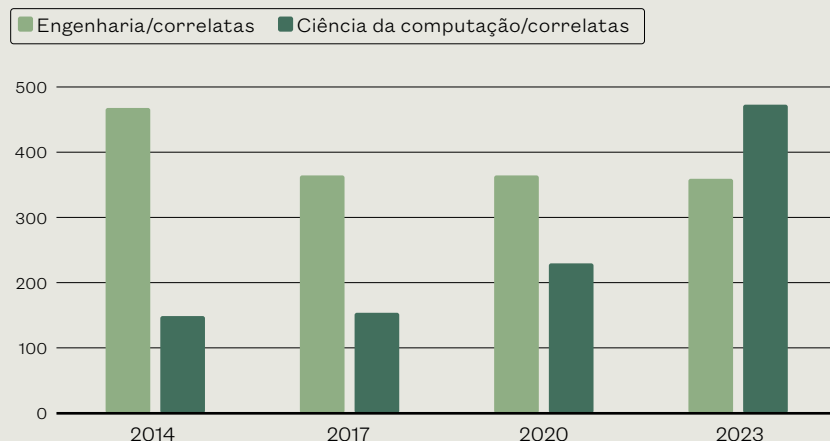
Entre no QR Code para assinar nossas newsletters



dados Ingressos em programas de engenharia e de computação

Estudantes que entraram na graduação

EM MIL



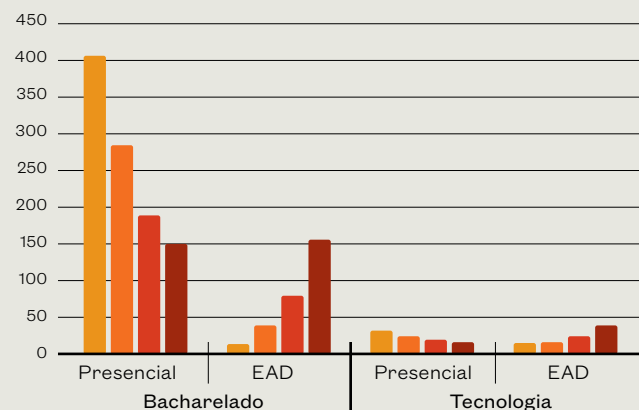
- Entre 2014 e 2023, o número total de ingressantes em cursos de graduação no país cresceu de 3,11 milhões para 4,99 milhões de estudantes
- No período, na grande área de engenharia e correlatas, o número de ingressantes diminuiu de 469 mil para 358 mil, enquanto na de computação e correlatas, cresceu de 146 mil para 473 mil, superando as engenharias
- No total, o ingresso nessas duas áreas, voltadas para a formação em tecnologia, aumentou no período (de 615 mil para 831 mil), mas perdeu participação no total (19,8% para 16,6%)

Ingressantes na graduação por grau e modalidade de ensino

EM MIL

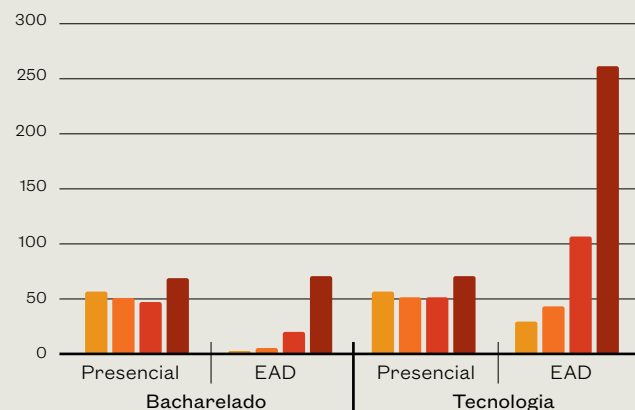
2014 2017 2020 2023

Engenharia e áreas correlatas



- Assim como na maioria das áreas de formação, tanto em engenharia como em computação (e correlatas), houve forte crescimento de ingressantes no ensino a distância (EAD)
- Nas engenharias, cuja oferta de programas de bacharelado é majoritária, o número de novos alunos em cursos presenciais diminuiu de 410 mil para 149 mil, entre 2014 e 2023. Nos cursos de EAD, no entanto, saltou de 13 mil para 155 mil, superando os ingressos no bacharelado presencial pela primeira vez

Ciência da computação e áreas correlatas



- Na computação e correlatas, o ingresso em programas presenciais de bacharelado variou de 57 mil para 68 mil alunos; nos cursos de EAD, foi de 3 mil para 71 mil, nesse período. Para os cursos que formam tecnólogos da área, o aumento no ensino presencial foi semelhante ao dos programas de bacharelado, mas, nos cursos de EAD, aumentou quase 10 vezes: de 29 mil para 263 mil ingressos
- Em 2023, o setor privado dominava a oferta de EAD nas duas áreas (95% nas engenharias e 98% na computação) e era majoritário na oferta presencial (54% dos ingressos nas engenharias e 70% na computação)

Nuances da demência

No Brasil, a doença de Alzheimer é mais comum em brancos, enquanto o declínio cognitivo de origem vascular é mais frequente em negros

MARIANA CECI

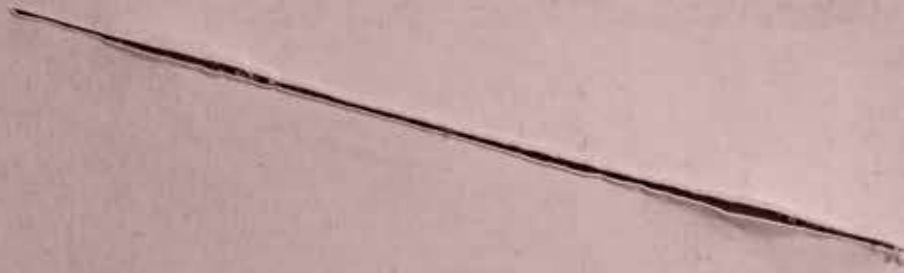
As duas principais formas de demência – a doença de Alzheimer e a demência vascular – não atingem brancos e negros no Brasil de maneira uniforme. Em ambos os grupos, o Alzheimer é a enfermidade que com mais frequência causa declínio cognitivo com o avanço da idade. Ele, no entanto, afeta uma proporção maior de brancos do que de negros. Já a demência vascular, o segundo tipo mais comum, atinge uma porcentagem maior de negros do que de brancos, segundo estudo liderado pela geriatra Claudia Suemoto, da Universidade de São Paulo (USP).

No trabalho, publicado em julho na revista *JAMA Open Network*, Suemoto e colaboradores analisaram amostras de 16 áreas do cérebro e de outras estruturas do encéfalo de 1.815 pessoas com

média de idade de 74 anos que morreram na cidade de São Paulo e doaram o material para o Biobanco para Estudos do Envelhecimento da USP, um dos maiores acervos de cérebro do mundo. Dois terços dos doadores eram brancos e um terço negro, grupo que incluía pretos e pardos. Ao examinar as amostras ao microscópio, os pesquisadores notaram que 28% dos brancos apresentavam placas neuríticas no tecido cerebral, lesões iniciais típicas da doença de Alzheimer, encontradas em 21% dos negros. Já os danos característicos da demência vascular, provocada por bloqueio ou rompimento de pequenos vasos sanguíneos, foram observados em 30% dos negros e 22% dos brancos.

Dos 1.815 casos avaliados, 747 concentravam lesões em quantidades compatíveis com o diagnóstico de demência. As mais comuns foram o Alzheimer (37% dos casos), a demência vascular (26%) e uma combinação das duas (12%). Entre os brancos com demência, 39% tinham Alzheimer. Essa fração era de 33% nos negros. Já o problema de origem vascular afetava 24% dos brancos e 32% dos negros. Não houve diferença na frequência de outros tipos de demência entre os dois grupos.

“Não sabemos se fatores genéticos podem contribuir para explicar a diferença nas taxas de prevalência dessas formas de demência, uma vez que não fizemos testes genéticos”, conta a geriatra da USP. “O mais plausível é que negros tenham mais demência vascular porque têm menos acesso a serviços de saúde e controle inadequado de fatores de risco cardiovascular”, afirma. Os negros eram mais jovens e com menos anos de educação formal que os brancos. Além disso, uma proporção maior de negros fumava, consumia níveis elevados de bebidas alcoólicas e tinha hipertensão.



O que Suemoto e colaboradores viram agora em uma amostra da população brasileira só havia sido observado antes nos Estados Unidos. Em um estudo publicado em 1989 no *Journal of the National Medical Association*, a patologista Suzanne de La Monte, da Escola Médica Harvard, e os colegas Grover Hutchins (1933-2010) e G. William Moore, da Universidade Johns Hopkins, realizaram a autópsia em 144 pessoas com demência e verificaram que a doença de Alzheimer era 2,6 vezes mais comum em brancos do que em negros. Com a demência vascular, ocorria o oposto.

Mais recentemente, a epidemiologista Teresa Filshtein, da Universidade da Califórnia (UC) em São Francisco, e a patologista Brittany Dugger, da UC em Davis, avaliaram 435 casos de demência em três grupos étnicos: negros, hispânicos e brancos não hispânicos. De acordo com os resultados, publicados em 2019 no *Journal of Alzheimer's Disease*, a frequência de demência vascular era mais elevada em negros (40% tinham o problema) do que em brancos (28%) e ainda mais alta entre os hispânicos (54%) – mais estudos são necessários para explicar essa elevada ocorrência de demência vascular no grupo hispânico.

Além de corroborar dados da população norte-americana, o estudo brasileiro é importante por pelo menos três motivos. O primeiro é que, com o aumento da população e da expectativa de vida global, se espera uma elevação importante dos casos de demência, principalmente nos países de média e baixa renda, onde a prevenção e o acesso a diagnóstico e tratamento são mais limitados.

Uma projeção publicada em 2022 na *The Lancet Public Health* calcula que o total de pessoas com demência no mundo deve aumentar 2,6 vezes até

2050, passando dos atuais 57 milhões para 153 milhões. No Brasil, estimativas do grupo da psiquiatra e epidemiologista Cleusa Ferri, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), publicadas em 2023 no *The Journals of Gerontology – Series A*, sugerem um aumento de casos proporcionalmente maior, de 3,3 vezes na próxima década e meia, subindo de 1,8 milhão para 5,5 milhões. Mais recentemente, o “Relatório nacional sobre a demência”, lançado em setembro, reviu esses números para cima. Resultado de uma parceria da Unifesp com o Ministério da Saúde e do consenso de especialistas da área, o documento indica que o total de casos teria sido de 2,5 milhões de casos em 2019 e chegaria a 8,7 milhões em 2050.

O segundo motivo é que a demência vascular parece ser mais comum no Brasil do que em outros países. Em um estudo publicado em 2017 na revista *PLOS Medicine*, Suemoto e colaboradores examinaram amostras de tecido cerebral de 1.092 indivíduos e constataram que, entre os casos de demência, pelo menos 35% eram de origem vascular. A média em outros países é de 20%.

A terceira razão é que, de acordo com alguns especialistas, os casos de demência vascular podem ser em grande parte prevenidos, até mais do que os de outras formas do problema – que incluem a demência frontotemporal, a demência com corpos de Lewy e a demência da doença de Parkinson (ver Pesquisa FAPESP nº 329). Para isso, é necessário o controle adequado de problemas que afetam a saúde dos vasos sanguíneos, como diabetes, obesidade, colesterol elevado, pressão arterial alta, entre outros.

Estar com a saúde cardiovascular em dia contribui para retardar o declínio cognitivo – a redução da memória, da capacidade de concentração

e da agilidade mental que está exacerbada na demência. Em um estudo coordenado por Suetomo, os pesquisadores avaliaram quatro hábitos de saúde (dieta, atividade física, tabagismo e qualidade do sono) e quatro indicadores de saúde (índice de massa corporal, níveis de colesterol, níveis de glicose e pressão sanguínea) de 11.390 brasileiros. Os participantes integravam o Estudo Longitudinal da Saúde do Adulto (Elsa-Brasil), realizado em São Paulo, Rio de Janeiro, Vitória, Porto Alegre, Belo Horizonte e Salvador. Eles foram acompanhados por oito anos e depois agrupados por um escore de saúde cardiovascular. Aqueles que obtiveram pontuação mais alta (entre 80 e 100) nesse escore apresentaram uma redução 42% mais lenta na memória, na fluência verbal e na capacidade de raciocínio do que os de escore mais baixo (entre 0 e 49 pontos), em sua maioria pretos e pardos (55%). Segundo os resultados, publicados em novembro de 2023 no *European Journal of Neurology*, o efeito benéfico se deveu principalmente ao controle dos níveis de açúcar (glicose) no sangue e da pressão arterial.

Controlar a hipertensão e o diabetes não são os dois únicos fatores que podem proteger contra a demência. Em seu relatório mais recente, publicado em agosto na revista *The Lancet*, a Comissão de Prevenção, Intervenção e Cuidado em Demência do periódico, da qual participa Ferri, da Unifesp, elencou outros 12 fatores de risco que podem ser modificados e, se fossem totalmente controlados, evitariam 45% dos casos de demência (ver infográfico ao lado). Em sua terceira edição, o documento, elaborado sob a coordenação da psiquiatra Gill Livingston, da University College London, no Reino Unido, trouxe duas novidades em relação aos anteriores: a redução da acuidade visual e o colesterol elevado. Os 14 fatores de risco identificados podem incidir em diferentes fases da vida, da infância à idade avançada.

Nos primeiros anos de vida, o fator que pode ser modificado e ajudar a proteger da demência décadas mais tarde é a educação formal. Ela auxilia na formação da chamada reserva cognitiva, a capacidade do cérebro de lidar com lesões ao longo da vida, possivelmente por suas células formarem mais conexões entre si e o funcionamento geral acabar menos prejudicado pela perda de parte dessas ligações.

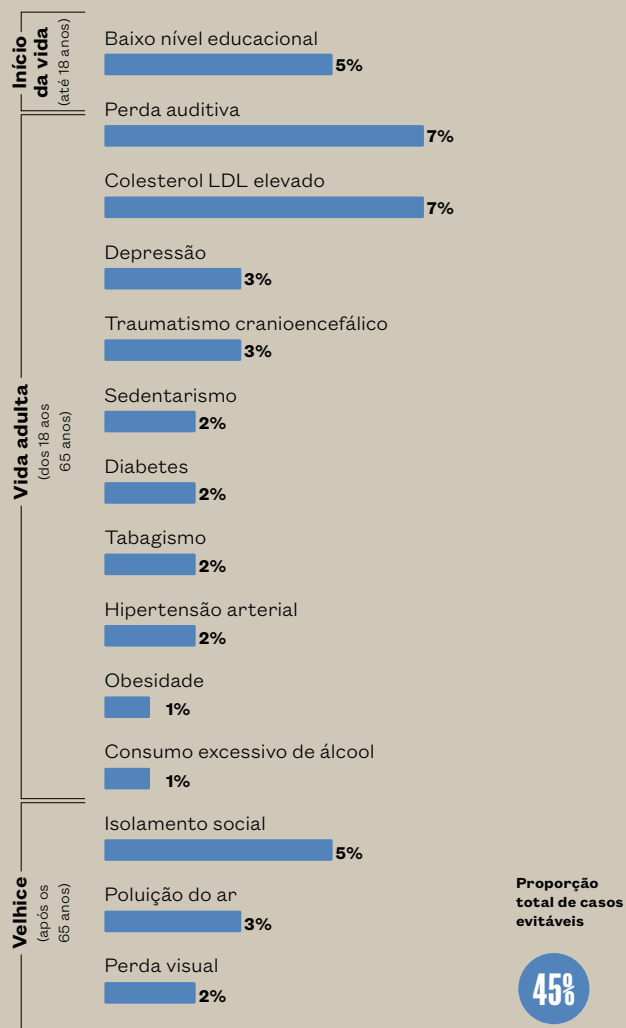
A maior parte dos fatores – no total, 10 – costuma se manifestar ou produzir impacto na idade adulta. São problemas como perda auditiva, depressão, colesterol elevado, hipertensão, tabagismo, entre outros. Já na velhice, o cérebro estaria mais suscetível aos efeitos da redução da capacidade de enxergar, da poluição do ar e do isolamento social.

“Embora a mudança seja difícil e algumas associações possam ser apenas parcialmente causais, nossa nova síntese de evidências mostra como os indivíduos podem reduzir o risco de demência”, escreveram os autores do relatório da *Lancet*. Segundo os pesquisadores, esse potencial de redução de risco é maior em países de média e baixa renda – e entre grupos minoritários e socioeconômicos mais baixos – do que para países de renda mais alta.

“Na América Latina, por exemplo, além de a demência ser mais prevalente, seu início ocorre mais cedo do que em outros países”, afirma o neurologista Paulo Caramelli, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Ele é coautor

O que pode ser mudado

O gráfico mostra quanto o controle ou a eliminação de cada um dos 14 fatores contribuiria para reduzir os casos de demência



FONTE: LIVINGSTON, G. ET AL. THE LANCET, 10 AGO. 2024

de um estudo liderado pelo neurologista Ricardo Nitrini, da USP, que analisou pesquisas feitas em seis países latino-americanos, entre eles o Brasil. Publicado em 2009 na *International Psychogeriatrics*, o trabalho revelou que, embora a prevalência de demência na região fosse semelhante à de países desenvolvidos (7,1% das pessoas com mais de 65 anos tinham o problema), a proporção de casos era mais elevada no início da velhice. Na faixa etária dos 65 aos 69 anos, 2,4% das pessoas tinham demência na América Latina, enquanto a média mundial era de 1,2%. “Acreditamos que isso esteja relacionado à falta de diagnóstico ou de tratamento e controle adequados de problemas cardiovasculares, além da baixa escolaridade, que

infelizmente é uma característica da nossa população”, explica o pesquisador da UFMG.

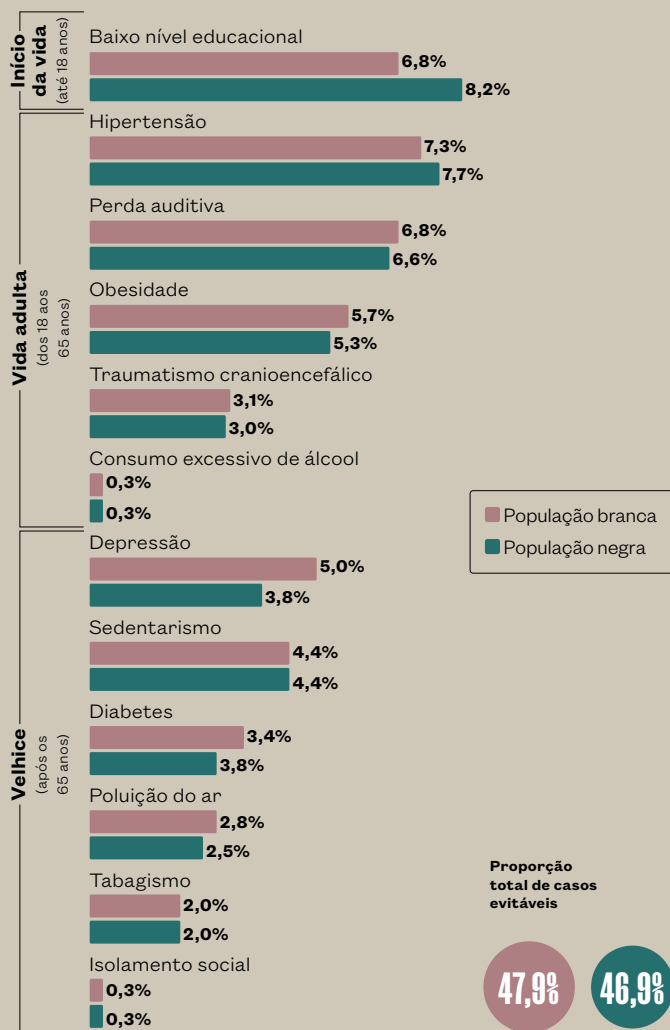
Em 2022, Caramelli, Suemoto, Ferri, Livingston e Nitrini recalcularam para a realidade brasileira o impacto do controle dos 12 fatores de risco apresentados nas primeiras edições do relatório da *The Lancet*. Se fosse possível eliminar esses fatores, haveria uma redução de 48,2% nos casos de demência. A diminuição seria de até 54% nas regiões mais pobres do país. Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, por exemplo, a baixa escolaridade está associada a 7,7% dos casos, enquanto nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, 9,6%. Embora a fração evitável seja quase a mesma para brancos e negros (respectivamente, 47,9% e 46,9% dos casos), o peso de cada fator é diferente nessas duas populações (ver infográfico ao lado), de acordo com os dados, que integram o relatório do Ministério da Saúde e foram publicados em novembro de 2022 na *Alzheimer's & Dementia*.

Composto por dois volumes, o documento do ministério traz informações sobre estigmas associados à demência, além da sobrecarga financeira e psicológica enfrentada pelos cuidadores. Também apresenta estimativas de subdiagnóstico, que é de 50% na Europa, 60% na América do Norte e de 80% a 90% no Brasil. “Aqui, além de haver subdiagnóstico, os diagnósticos são frequentemente realizados muito tarde”, conta Ferri. “Conhecer a realidade é essencial para pensar em estratégias de ação.”

Esses e outros dados do relatório deverão orientar a implementação da Política Nacional de Cuidado Integral às Pessoas com Doença de Alzheimer e Outras Demências, sancionada em junho pelo presidente Luiz Inácio Lula da Silva. Criada em conformidade com o Plano de Ação Global para as Demências 2017-2025 da Organização Mundial da Saúde (OMS), a política estabelece 10 diretrizes, que abrangem temas como fortalecimento da atenção primária em saúde e capacitação dos profissionais desses serviços, criação de uma linha de cuidado para demências nos programas e serviços de saúde já existentes, promoção de hábitos de vida saudáveis voltados à prevenção do problema e garantia do uso de tecnologias para o diagnóstico, tratamento e monitoramento dos pacientes. “Vários motivos têm feito o tema da demência receber mais atenção nos últimos anos. Agora, é preciso criar estratégias que considerem as particularidades das regiões e das diferentes populações do país, usando os recursos que já temos e incorporando novos, para realizar a prevenção, o diagnóstico e o cuidado tanto das pessoas com demência como de seus cuidadores”, destaca Ferri. ●

Impactos um pouco diferentes

Cada um destes 12 fatores tem peso distinto para reduzir casos de demência na população branca e negra do Brasil



Como a endometriose se agrava



Compostos liberados por células de defesa estimulam o crescimento das lesões típicas da doença, que regredem com medicação contra enxaqueca

RICARDO ZORZETTO — ilustração ALINE VAN LANGENDONCK

Todos os meses, durante a menstruação, as mulheres eliminam a camada de células que reveste internamente o útero. É um fenômeno natural que faz parte do ciclo reprodutivo e se repete ao longo de toda a vida fértil. Se um embrião não se implanta e a mulher não engravida, oscilações hormonais fazem o endométrio, a membrana que recobre o interior do útero, romper-se e ser eliminado pela vagina, com um pouco de sangue. Às vezes, no entanto, parte do material que deveria ser expulsa do corpo migra pelas trompas uterinas e chega à cavidade abdominal. Alojados onde não deveriam estar, esses fragmentos geram uma doença inflamatória crônica, dolorosa e com frequência incapacitante que afeta de 10% a 15% das mulheres e dos homens trans (que nascem com o sexo biológico feminino, mas se identificam com o gênero masculino). Essa enfermidade é a endometriose, cuja evolução começa a ser mais bem compreendida como resultado de um trabalho publicado em novembro na revista *Science Translational Medicine*.

No estudo, as equipes lideradas pelo farmacêutico Waldiceu Verri Junior, da Universidade Estadual de Londrina (UEL), e o biólogo molecular Michael Rogers, da Escola Médica de Harvard, nos Estados Unidos, realizaram uma série de experimentos com amostras de endometriose humana, células do endométrio cultivadas em laboratório e camundongos portadores de uma enfermidade que simula a doença humana. Após anos de trabalho, concluíram que a endometriose se instala, progride e causa dor em consequência de uma interação complexa, que se retroalimenta, entre as células das lesões, do sistema nervoso e do sistema imunológico.

Ativados por compostos liberados pelas células do endométrio situadas fora do útero, neurônios responsáveis pela sensação de dor liberam comunicadores químicos que acionam os macrófagos, células de defesa capazes de englobar e digerir

detritos e células mortas ou estranhas ao organismo – como as tumorais, as de parasitas ou as da endometriose, que se encontram fora de lugar. Em situações normais, os macrófagos migrariam até as células que estão onde não deveriam e as eliminariam, ajudando a solucionar o problema. Na endometriose, porém, a liberação dos comunicadores químicos pelos neurônios da dor instrui os macrófagos a perder essa capacidade de limpeza. Em vez de livrarem o corpo das células do endométrio situadas em lugar errado, os macrófagos acabam estimulando que se proliferem. O resultado parece ser um círculo vicioso no qual uma lesão maior continua a ativar os neurônios, que, por sua vez, mobilizam mais macrófagos debilitados.

“Nesse trabalho, verificamos que as células que deveriam combater o problema são justamente as que ajudam a perpetuá-lo”, explica o farmacêutico brasileiro Victor Fattori, primeiro autor do artigo e especialista em mecanismos moleculares da dor e da inflamação. O trabalho traz, no entanto, uma boa notícia. “Existem medicações já aprovadas para uso humano que, ao menos nos testes com animais, ajudaram a reduzir o tamanho das lesões e a dor na endometriose”, conta o pesquisador, que integra o grupo de Rogers e desenvolveu o modelo de endometriose em camundongos usado nas pesquisas de grupo.

Com o biólogo brasileiro Tiago Zaninelli, que atualmente faz estágio de pós-doutorado na Universidade Washington em Saint Louis, e a biomédica Fernanda Rasquel Oliveira, que faz estágio de pós-doutorado com Verri, Fattori realizou a maior parte dos experimentos descritos no artigo.

O primeiro passo foi confirmar se a composição das lesões de endometriose das mulheres era a mesma das geradas no modelo animal. Já se sabia que os fragmentos do endométrio que se instalam fora do útero são uma espécie de microcosmo do revestimento uterino, com funcionamento quase autônomo. Ali, há células de sustentação e produtoras de hormônios, que são nutridas por vasos sanguíneos e se comunicam com o restan-

te do organismo por meio de nervos. Não havia certeza, porém, do tipo de neurônio responsável pela inervação.

Comparando amostras de lesão doadas por oito mulheres com endometriose com lesões dos roedores, Fattori e colaboradores constataram que ambas são inervadas por neurônios sensoriais (responsáveis por conduzir a sensação de dor para o cérebro) de um tipo específico: os neurônios produtores de CGRP, um peptídeo (fragmento de proteína) que funciona como comunicador químico entre células.

Nos testes com camundongos e com células cultivadas em laboratório, os pesquisadores constataram que dois compostos liberados pela lesão – o fator de crescimento endotelial vascular (VEGF) e o fator de crescimento placentário (PIGF) – despertavam esses neurônios, que passavam a sintetizar CGRP ao mesmo tempo que enviavam a informação de dor para o cérebro. Essa ação foi confirmada quando Fattori e colaboradores geraram camundongos geneticamente alterados para não liberar o CGRP: esses animais apresentavam lesões menores e menos sinais de dor do que os do grupo de controle, que produziam o peptídeo.

Em outros experimentos, os pesquisadores verificaram que o peptídeo CGRP recrutava macrófagos para o local da lesão. O CGRP, porém, alterava o funcionamento desses macrófagos que, em vez de remover detritos celulares ou as próprias células da endometriose, passavam a ajudá-las a se multiplicar. Experimentos *in vitro* mostraram que macrófagos cultivados com o peptídeo perdiam a capacidade de eliminar células mortas e seus restos (eferocitose). Ao mesmo tempo, células

do endométrio cultivadas com esses macrófagos se reproduziam mais. Os macrófagos recuperaram a habilidade de realizar eferocitose depois de serem tratados com um medicamento utilizado para enxaqueca que inibe a ação do CGRP. O tratamento também impediu que estimulassem a multiplicação das células da endometriose.

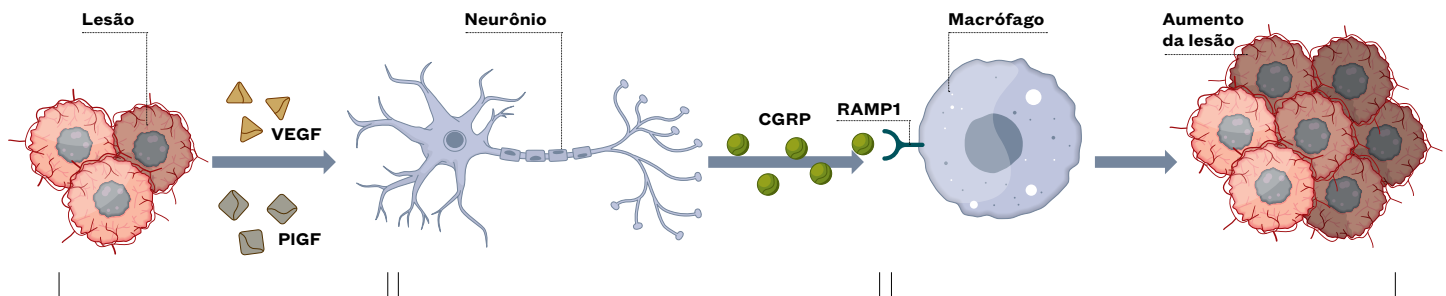
“O trabalho mostra que o CGRP tem um papel dual importante na endometriose. Ele estimula tanto a dor quanto o crescimento das lesões”, comenta o farmacologista Thiago Mattar Cunha, da Universidade de São Paulo (USP) em Ribeirão Preto, que não participou da pesquisa. Especialista em dores crônicas, Cunha lembra que, por muito tempo, se achou que apenas o sistema imunológico regulava o sistema nervoso. “Hoje se sabe que os neurônios, células do sistema nervoso, podem liberar fatores que mudam as características das células imunes”, conta.

Um estudo publicado em 2023 na *Nature Genetics* por pesquisadores da Universidade de Oxford, no Reino Unido, havia indicado que as pessoas com endometriose compartilhavam algumas características genéticas com quem sofria de enxaqueca, um problema em que o peptídeo CGRP também desempenha um papel importante. Fattori decidiu, então, testar se medicamentos que bloqueavam a ação do CGRP podiam reduzir a gravidade da endometriose.

Ele selecionou para os experimentos dois anticorpos monoclonais que neutralizam o CGRP – o fremanezumabe e o galcanezumabe – e dois compostos bloqueadores do receptor ao qual o CGRP se liga na superfície das células de defesa – o rimegepant e o ubrogepant, vendidos, respectivamente, com o nome comercial Nurtec e Ubrelvy. Os quatro medicamentos são utilizados no tratamento da enxaqueca e foram testa-

A ciranda da dor

Lesões de endometriose despertam células do sistema nervoso e do sistema imune que realimentam o problema



Células do endométrio alojadas na cavidade abdominal liberam compostos que ativam neurônios sensíveis à dor

Esses neurônios secretam o peptídeo CGRP, que aciona e altera o funcionamento dos macrófagos

Em vez de destruir as células da endometriose, os macrófagos sintetizam um comunicador químico que as faz proliferar e aumentar a dor

FONTE FATTORI, V. ET AL. SCIENCE TRANSLATIONAL MEDICINE. 2024

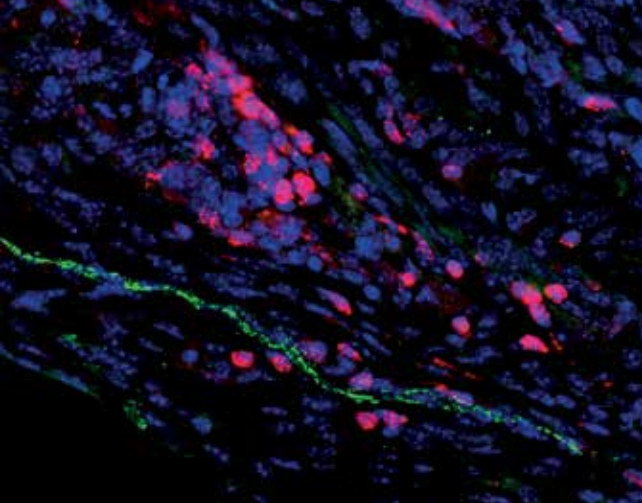


Imagem de microscopia mostra macrófagos (em vermelho) próximos a neurônio (em verde) produtor de CGRP em lesão de endometriose de camundongos

dos individualmente nos camundongos com um problema que simula a endometriose humana.

Roedores tratados com essas medicações apresentaram lesões até 50% menores do que os que receberam uma solução inerte (placebo), embora não tenham sido observadas diferenças no número de lesões. Os animais do primeiro grupo também mostravam menos sinais de dor – lambiam menos o abdômen e apresentavam menos contorções – do que os do grupo de controle. “Todos esses medicamentos já foram aprovados nos Estados Unidos para tratar enxaqueca em seres humanos, o que torna mais fácil testá-los também contra a endometriose”, lembra Fattori.

“Esse mecanismo proposto de controle da dor e de redução das lesões é interessante e importante por ser diferente dos que são alvo dos tratamentos disponíveis hoje”, afirma a ginecologista Cristina Benetti Pinto, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que estuda as terapias para endometriose e seu impacto na qualidade de vida dos pacientes. “A endometriose é uma doença crônica que precisa ser mais estudada e que necessita de alternativas terapêuticas”, relata.

Hoje os tratamentos consistem no controle da dor, com o uso de analgésicos e anti-inflamatórios, e no controle do tamanho das lesões por meio de compostos que reduzem a ação do estrogênio. Produzido pelos ovários, esse hormônio estimula o crescimento e o amadurecimento do endométrio ao longo do ciclo reprodutivo, preparando o útero para a gestação, ao mesmo tempo que faz as lesões crescerem – os resultados apresentados agora sugerem que o estrogênio e o CGRP possam agir em conjunto, favorecendo a progressão das lesões. Em parte dos casos, como quando a endometriose se instala na superfície de alguns órgãos, pode ser necessário cirurgia para remover as lesões, o que nem sempre garante que não reapareçam.

Descrita pela primeira vez em periódicos médicos em 1860 pelo patologista austríaco Carl von Rokitansky (1804-1878), a endometriose parece receber menos atenção do que deveria. Uma análise publicada em 2022 na revista *Frontiers in Global Women's Health*, pesquisadoras da Universidade de Canterbury, na Nova Zelândia, relataram que, naquele ano, os Institutos Nacionais de Saúde dos Estados Unidos, o maior centro de pesquisas biomédicas do mundo, alocaram em pesquisas sobre endometriose US\$ 16 milhões, o equivalente a 0,04% de um orçamento de US\$ 41,7 bilhões. Parece pouco diante de uma doença que afeta pelo menos um em cada 10 mulheres e homens trans, com impacto na família e no trabalho – no Brasil, calcula-se que entre 5 e 8 milhões de mulheres em idade fértil tenham endometriose. Apenas nos Estados Unidos, segundo algumas estimativas, algo entre US\$ 78 bilhões e US\$ 119 bilhões são gastos anualmente com atendimento, tratamento e perda de produtividade relacionados à endometriose.

“O trabalho publicado na *Science Translational Medicine* avança na compreensão da endometriose e aponta para uma direção terapêutica promissora”, avalia o ginecologista Mauricio Abrão, da USP, referência internacional no estudo da enfermidade. “Mas são necessários estudos adicionais para validar a eficácia e a segurança dessa abordagem em humanos”, afirma o pesquisador, que não participou do estudo atual, mas investiga as causas, a evolução e os tratamentos da enfermidade.

Em um trabalho publicado em 2023 na revista *Reproductive Sciences*, Abrão e sua equipe avaliaram o impacto da dor na qualidade de vida de 1.129 pessoas que foram depois submetidas a cirurgias para tratar a endometriose. A forma mais frequente de dor relatada foram cólicas intensas (dismenorreia) no período menstrual, experimentada por 93,6% das participantes. A dor reduziu a qualidade de vida de todas e de forma mais significativa daquelas que apresentaram pontuação mais alta, superior a 7, em uma escala de intensidade que vai de 0 a 10.

Uma das limitações do estudo que descreve o papel do CGRP na endometriose é que os testes foram realizados com um modelo da doença em camundongos. “Apesar de informativos, eles podem não reproduzir todos os aspectos da endometriose em humanos, em especial da endometriose profunda, principal causa de dor”, lembra o pesquisador da USP. Além disso, ainda não se sabe quanto tempo duram os efeitos do bloqueio da via do CGRP, algo importante em uma doença crônica como essa. ●

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

Modelador de estruturas

Especialista em explicar o enovelamento de proteínas e do DNA, físico brasileiro ajudou a restaurar o genoma do mamute lanoso

MARCOS PIVETTA E RICARDO ZORZETTO

José Nelson Onuchic gosta de ser livre para se mover entre diferentes temas que pesquisa. “A beleza da vida acadêmica é poder estudar o que se bem entende”, afirmou em entrevista a *Pesquisa FAPESP* em 9 de outubro.

U Pesquisador da Universidade Rice, nos Estados Unidos, Onuchic estava de passagem pelo Brasil. Veio participar de um simpósio sobre temas atuais em biofísica molecular e foi ao Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas, onde funciona a fonte de luz síncrotron Sirius, propor um acordo de colaboração. Ele está interessado em trazer para o país uma técnica de sequenciamento de genomas desenvolvido por colaboradores nos Estados Unidos e em usar o Sirius para analisar a estrutura tridimensional de genomas.

Filho de professores universitários, os matemáticos Nelson Onuchic [1926-1999] e Lourdes de La Rosa Onuchic, que, aos 93 anos, ainda está na ativa, José Nelson graduou-se em engenharia elétrica em 1980 e em física em 1981 pela Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos.

Após o doutorado no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), orientado pelo físico John Hopfield, que ganhou o Nobel de Física de 2024, retornou brevemente a São Carlos antes de se tornar professor da Universidade da Califórnia em San Diego (UCSD). Lá, passou a estudar o enovelamento de proteínas e, com colaboradores, propôs dois conceitos que o tornaram referência na área. Em 2011, mudou-se para a Rice, no Texas, onde iniciou uma linha de pesquisa em câncer. Aos 66 anos, ele publicou mais de 400 artigos científicos, citados 45 mil vezes por outros trabalhos, e é codiretor do Centro de Física Biológica Teórica, que realiza estudos em áreas da fronteira do conhecimento. Leia, a seguir, os principais trechos da entrevista.



Onuchic, durante passagem por São Paulo no início de outubro

Em outubro, o senhor participou de um simpósio sobre biofísica molecular em São Paulo. Do que falou?

Da estrutura do genoma, de como ele está organizado no núcleo das células. Na maior parte do tempo, a molécula de DNA [que abriga os genes e os trechos não codificadores de proteínas] se apresenta na forma de cromatina, que é o DNA levemente enovelado em torno de proteínas. A estrutura tridimensional da cromatina é importante para controlar quais genes serão lidos e quando. Ela pode ocultar alguns genes enquanto expõe outros à maquinaria de leitura das células. Os livros convencionais de genética molecular não falam da estrutura tridimensional dessa molécula, um conhecimento que muda rapidamente.

Em 2016, o senhor publicou um artigo na *PNAS* falando justamente sobre como a estrutura do DNA muda e permite que o gene seja lido, não?

Exatamente. Começamos a trabalhar nessa área com Erez Aiden, do Baylor



College of Medicine, que usa uma técnica chamada Hi-C contact map. Ela permite identificar, por exemplo, trechos da cromatina que se encontravam distantes na molécula de DNA, mas ficavam espacialmente próximos na fita enovelada. Usamos esse mapa de contatos em duas dimensões para gerar a estrutura 3D da cromatina. O modelo evoluiu e, hoje, não precisamos mais do Hi-C. Agora, pegamos segmentos de 50 mil pares de bases do genoma, 10 vezes o tamanho de um gene, e separamos cada segmento em categorias. Na versão mais simples do modelo, a gente divide a cromatina em duas categorias. Chamamos de A a eucromatina, menos condensada e mais fluida, onde há mais genes expressos, e de B a heterocromatina, mais enovelada e com menos informação genética. O modelo também usa informações da técnica ChIP-seq, que investiga como as proteínas estão associadas ao DNA, para obter informações epigenéticas, ou seja, do padrão de ativação dos genes, e classificar os tipos de cromatina.

Como ele funciona?

O modelo tem quatro partes. Três são mais importantes. Primeiro, consideramos o DNA um polímero *soft*, que pode ser cortado, como naturalmente ocorre por causa de certas proteínas. Depois, o modelo separa os tipos A e B por semelhança. Os A tendem a se agrupar com os A e os B com os B. A terceira parte é o cromossomo ideal, em que partes espacialmente próximas da cadeia tendem a se atrair. Isso cria contatos locais, que geram compactação e formação de hélices. Aumentando os contatos locais, evita-se a formação de nós. Isso é importante nos cromossomos. Quando seus trechos são expressos, eles precisam ser desenrolados e não se quer que surjam nós. O modo como a cromatina se enovela evita isso. Uma parte da compactação local dizemos que é motorizada, promovida por proteínas. Em 95% do tempo, a célula se encontra em interfase, quando a cromatina está desenrolada e é duplicada. Nos 5% restantes, ela entra em mitose, que é a divisão celular. Na mitose, aumenta

a compactação e o cromossomo é mais enovelado. Nosso modelo mostra que, aumentando a motorização, aumentam-se a compactação e a formação de hélices.

O que governa tudo isso são as características químicas e elétricas das moléculas?

Isso. Mas é preciso lembrar que o genoma tem funções muito específicas, que precisam ser preservadas por sua conformação. O genoma tem de apresentar a capacidade de ser transcrito [lido pela maquinaria da célula e codificado na forma de RNA], de duplicar e de se separar. Apesar de ele ser tratado pelos modelos como um polímero, assim como as proteínas, a funcionalidade do genoma e das proteínas é distinta. As proteínas são mais rígidas, enquanto o genoma é mais maleável. Trabalhamos hoje para saber como as características estruturais do genoma são importantes para sua função. Isso já foi feito para proteínas. Por muito tempo se trabalhou em enovelamento de proteínas para definir a estrutura delas. Mas, no fundo, o que se quer saber é a função da proteína.

Mas, no caso das proteínas, a estrutura define a função, não?

Muitos livros de biologia falam da relação entre estrutura e função. Mas entender a função é mais complicado do que isso. Muitas proteínas têm várias estruturas. Uma parte das proteínas é ordenada. Outra é desordenada e se torna ordenada quando se liga a outra molécula. Quando se começou a determinar as primeiras estruturas de proteína, iniciou-se pelas mais fáceis, as enzimas, que têm estrutura bem definida. Nelas, a função está estritamente relacionada à forma. Só que as proteínas são muito mais diversas do que isso. A capacidade de esses polímeros, feitos pela combinação de 20 tipos de aminoácidos, assumirem estruturas diferentes é espantosa. Elas podem ser enzimas, sinalizadores, fibras.

Como os físicos ajudam os biólogos a entender essa complexidade?

A questão do enovelamento de proteínas pode ser analisada de duas maneiras. O biólogo pergunta: se te dou essa sequência de aminoácidos, consegue determinar a estrutura e a função da proteína? Como físico, pensei diferente: a partir de uma sequência de aminoácidos, é

possível saber se ela tem ou não estrutura definida? Estou mais interessado em saber o que difere uma proteína de um polímero aleatório de aminoácidos. Partindo dessa perspectiva, propus em 1992 [em um artigo na revista *PNAS*, assinado com Peter Leopold e Mauricio Montal, da Universidade da Califórnia em San Diego] o conceito de funil de enovelamento. Em 1995, Paul Wolynes, Joe Bryngelson, Nicholas Socci, Zaida Luthey-Schulten e eu finalizamos o conceito de paisagem de energia.

O que dizem essas propostas?

Desde os anos 1960, havia um paradoxo sobre o enovelamento de proteínas. Com base no estudo de pequenas proteínas globulares, havia se assumido que elas se enovelam e alcançam a configuração final quando atingem um estado de energia mínima. Mas as proteínas podem assumir um número tão grande de conformações que levaria um tempo muito longo para encontrar esse estado. Um polímero aleatório tem vários estados mínimos de energia que são estruturalmente muito diferentes. Na proteína, propusemos a ideia que não basta ter um estado mais atrativo do que outros. Ele precisa ser mais atrativo para permitir encontrar a estrutura desejada e menos para aquelas que não se quer. O número de estados favoráveis diminui à medida que se aproxima da estrutura mais estável.

Daí a ideia de funil?

Sim. Tem ainda um conceito que chamamos de entropia configuracional. Se uma proteína estiver acima da temperatura de enovelamento, haverá vários estados possíveis. Se estiver abaixo, haverá um estado que começa a prevalecer, mais estável. Esse estado tem energia atrativa suficiente para compensar a entropia configuracional contra a qual compete. Ou seja, há uma temperatura em que a energia ganha da entropia. Só que se quer que essa temperatura que favorece o enovelamento seja atingida antes que a molécula da proteína alcance o chamado estado vítreo e perca mobilidade, ficando presa ali, como em uma armadilha. A ideia da paisagem de energia diz que há um estado atrativo que é muito mais profundo do que o das armadilhas. É possível entender muito da proteína a partir desta hipótese: se a proteína enovela, ela

conseguiu otimizar a estrutura estável sobre as outras. Com base nessa ideia, parto da estrutura da proteína e crio um modelo em que todos os estados nativos [estáveis] são atrativos e os não nativos são repulsivos. Com esse modelo, é possível entender toda a transição e todos os estados intermediários do enovelamento. Em um artigo publicado neste ano na revista *Science*, minha equipe e a de Paul Whitford, da Universidade Northwestern, colaborou com a de Walther Mothes, da Universidade Yale. Mothes havia usado tomografia eletrônica criogênica para definir as estruturas que a proteína *spike* do novo coronavírus assume durante a invasão celular. Mas eles obtiveram estruturas de baixa resolução. Nós já tínhamos feito um modelo da invasão celular e viu-se que as configurações da *spike* era muito próximas das obtidas por eles. Então, trabalhamos juntos para fazer um modelo combinando dados experimentais com nossas simulações.

E o que concluíram?

A *spike* está na superfície do coronavírus. Quando adere ao receptor na superfície da célula humana, a *spike* sofre transformações estruturais que aproximam a membrana do vírus e a da célula.

Esse mecanismo já tinha sido visto em outros vírus?

A primeira proteína em que vimos foi na hemaglutinina, do vírus da influenza.

É difícil ver porque está tudo sempre em movimento.

Por isso, tiveram de usar anticorpos que se ligavam aos estados intermediários da *spike* para ficarem estáveis. Estamos interessados nisso. Se tenho um anticorpo que se conecta a um estado intermediário, posso modificar esse anticorpo para que interrompa a transição para o estado final. Se bloquear essa transição, talvez se impeça o vírus de entrar na célula.

Recentemente o senhor participou de um estudo sobre o genoma do mamute lanoso. O que viram?

O pessoal que iniciou o projeto estava trabalhando nele havia anos e, no final, tinha de fazer a modelagem com os dados e nos chamaram. Eles tiveram de desenvolver estratégias para coletar amostras do material genético do animal, que estava congelado havia 52 mil anos. Quando conseguiram, fizeram um mapa de Hi-C e observaram que havia alguma estrutura preservada. Esse DNA foi congelado e ressecado. Apesar de o cromossomo estar quebrado em diversos segmentos, os pedaços não haviam se movido muito e a estrutura 3D do DNA foi parcialmente preservada. Com o Hi-C e modelagem, conseguimos recuperar essa estrutura.

Como seu grupo ajudou?

Dissemos: “Apesar de esse DNA ter 52 mil anos, acreditamos que as regras de como se organizam e de como os trechos são conectados permanecem as mesmas”. Decidimos, então, olhar o genoma dos primos deles, os elefantes. Usamos as informações do genoma dos elefantes para reconstruir o do mamute lanoso. Depois, com nossos modelos do genoma, conseguimos reduzir muito o nível de ruído da amostra e gerar a estrutura do genoma em três dimensões. Em seguida, fomos ver quais partes do genoma do mamute eram mais ativas e quais eram menos. Também olhamos quais regiões genéticas eram ativas no mamute e não são no elefante. Uma é a que gera os pelos, muito mais abundantes nos mamutes. Isso indica que o que fizemos era consistente.

Como avalia o cenário da pesquisa hoje no Brasil?

“
Usamos as informações do genoma dos elefantes para reconstruir o do mamute lanoso”

Estamos dando pouca atenção à pesquisa básica. Não focar nela é queimar o futuro. A ciência básica é o depósito da capacidade intelectual da sociedade, enquanto a ciência aplicada, que é importante, gera riqueza. No mundo atual, a segurança nacional é mais associada ao controle do conhecimento do que ao poderio militar. No Brasil, todo mundo quer escrever patente. O número de patentes desnecessárias geradas no país é impressionante. Elas são importantes, mas o controle do conhecimento deve ser mais valorizado.

Não é assim também no mundo?

Não. Nos Estados Unidos, a gente escreve patente esporadicamente. Todo mundo sabe que manter boas patentes não é simples. É caro, precisa manter um corpo jurídico para protegê-la. É preciso ser seletivo. Mas esse quadro é parte do aprendizado. Tínhamos uma lei de proteção intelectual fraca no Brasil. Estamos aprendendo como fazer.

Quantas patentes seu grupo gera por ano?

Uma patente a cada quatro ou cinco anos e uns 15 artigos por ano. O que vale para a patente vale para o artigo científico. Há uma tendência de olhar para os números da produção científica ou de patentes quando ocorre a promoção de um pesquisador. Mas, pergunto: “Alguém já leu os artigos? Sabe do que tratam? Qual o impacto do trabalho”. É fácil pegar esses números. Faz parte do processo, mas acho que as coisas estão evoluindo na direção certa.

No Brasil também?

No Brasil em particular. A qualidade da ciência brasileira melhorou muito. Existem vários grupos que deixaram de ser seguidores e hoje competem de igual para igual em nível internacional. Isso se aplica, por exemplo, a boa parte dos Cepid [os Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão financiados pela FAPESP].

Nos próximos dias, irá ao Sirius, em Campinas. O que fará?

Vou falar com o Antônio José Roque da Silva, diretor-geral do CNPEM [Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais] e pesquisadores do Laboratório Nacional de Biociências. Queremos estabelecer uma cooperação entre o nosso grupo e o de Erez Aiden com o CNPEM.



Estamos dando pouca atenção à pesquisa básica. Não focar em ciência básica é queimar o futuro

Queremos aproveitar a janela de oportunidade do Sirius, que tem uma capacidade existente em poucos lugares do mundo. O Sirius consegue fazer tomografia com uma resolução que outros equipamentos não conseguem. Queremos usá-la para fazer tomografia de genomas.

O que querem olhar no genoma?

O Erez Aiden e a Olga Dudchenko, colaboradores do nosso grupo, estão desenvolvendo um projeto chamado DNA Zoo, Zoológico de DNA. Eles querem sequenciar o DNA de várias espécies de plantas e animais. O desafio de sequenciar o genoma dessas espécies é que não há referência para eles. Ao sequenciar esses genomas, haverá muitos erros. A Olga desenvolveu uma estratégia que usa a técnica de Hi-C [que permite saber quais partes estão próximas espacialmente] para corrigir os erros durante o alinhamento. É um sequenciamento muito mais barato. Ela e Erez estão usando a estratégia para sequenciar o genoma de várias espécies. Queremos transferir essa tecnologia para cá, para fazer o genoma de espécies brasileiras.

O que a luz síncrotron permitirá ver?

Como o genoma aparece em três dimensões no núcleo das células.

Por que isso é importante?

O genoma é espetacular. Na divisão celular, ele passa por uma mudança estrutural enorme. Como físico, quero saber se esse sistema consegue se descoordenar e se formar de novo ou se ele tem memória que permite sair do estado em que se encontra na interfase, passar para o da mitose e voltar. Se tem memória, como ela funciona? Qual a consequência disso? Quais os mecanismos de controle?

O que o levou a mudar da Universidade da Califórnia para a Rice?

Vários motivos. Na ciência, como em tudo na vida, há uma crise de meia-idade. San Diego foi muito bom para mim. Cheguei em 1990, me deram o cargo de professor, o *tenure*, em 1992, e o de titular em 1995. Em 2006, fui eleito para a Academia Nacional de Ciências. Eu estava com 54 anos, havia feito várias coisas na área de proteínas e pensei: “Se continuar aqui, farei isso pelo resto da vida. Que tal mudar?”. Na época, a Rice me ofereceu a possibilidade de iniciar estudos em câncer e o Instituto do Texas de Prevenção e Pesquisa do Câncer, o CPRIT, deu ao nosso centro um orçamento de US\$ 10 milhões para começar um projeto de teoria em câncer.

O que estuda sobre o câncer?

Fizemos modelos de metabolismo trabalhando com redes genéticas. Quando cheguei lá, comecei a trabalhar com Eshel Ben-Jacob [da Universidade de Tel Aviv, em Israel] e propusemos um modelo para explicar a ativação de genes que leva as células a se tornarem invasivas no câncer quando sofrem a transição epitelial-mesenquimal. Nessa transição, as células epiteliais [estáticas, como as da pele ou as que revestem órgãos internos] sofrem alterações bioquímicas e adquirem características de células mesenquimais [capazes de migrar e invadir tecidos]. Mostramos que ela é governada pela interação de um gene com um microRNA. Essa interação permite gerar estados híbridos, em que as células têm tanto as características epiteliais quanto as mesenquimais simultaneamente. Mostramos que isso pode ocorrer quando as células são submetidas a estresse. As células híbridas conseguem se mover e aderir, criando *clusters*, mais difíceis de serem destruídos. ●



Amazônia se revelando

Encontro entre pesquisadores e povos da floresta discute como técnica de varredura por laser informa sobre o passado e contribui para o futuro da região

MARIA GUIMARÃES, de Manaus

“O conhecimento indígena é como a arqueologia: quanto mais se cava, mais se encontra”, afirmou a historiadora Soleane Manchineri, ouvidora-geral da Defensoria Pública do Estado do Acre, a um auditório repleto de pesquisadores de instituições de vários estados do país, parentes – como os indígenas se referem uns aos outros – e representantes de outras comunidades tradicionais amazônicas (quilombolas e beiradeiros). A frase ficou marcada como representativa do encontro, que aconteceu no Museu da Amazônia (Musa), em Manaus, entre 18 e 21 de outubro.

A ideia era mostrar os resultados preliminares do projeto Amazônia Revelada, liderado pelo

Lidar remove a floresta virtualmente, como um olhar de raio X, revelando estruturas apelidadas como "colmeias" na Terra do Meio, Pará

arqueólogo Eduardo Góes Neves, do Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo (MAE-USP), que usa uma tecnologia de sensoriamento remoto chamada Lidar (Light Detection and Ranging) para mapear o solo por meio de uma saraivada de milhares de feixes de laser. Com financiamento da Sociedade National Geographic, o projeto contratou sobrevoos em áreas impactadas por desmatamento e projetos de infraestrutura, com autorização das comunidades locais.

O Lidar permite reconstruir com detalhes a imagem tridimensional da estrutura de uma floresta, com seus troncos, ramos e folhas, e também enxergar o que está abaixo dela. É isso que interessa a Neves, que pretende ressaltar a importância da Amazônia como patrimônio histórico e biocultural, formado ao longo dos últimos 13 mil anos pelos povos da floresta.

O pesquisador trabalha na região há quase 40 anos, presenciou desmatamento e destruição de uma parte considerável de sua área e contribuiu para a formação de um grande número de arqueólogos – muitos deles originários da região amazônica e vários radicados em universidades e centros de pesquisa de estados do Norte. O projeto começou por cinco áreas nas quais a rede de pesquisadores ligada a Neves já conduz projetos em parceria com as comunidades locais, desde que elas tenham aderido à iniciativa: Acre/Sul do Amazonas, Médio Guaporé, Tapajós, Terra do Meio e Marajó. Como parceiros na coordenação, Neves conta com os arqueólogos Bruna Rocha, da Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa), em Santarém, Cristiana Barreto, do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), em Belém, Carlos Augusto da Silva, da Universidade Federal do Amazonas (Ufam), o italiano Filippo Stamparoni, diretor-geral do Musa, e o norte-americano Morgan Schmidt, pesquisador em estágio de pós-doutorado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

O projeto tem sede no Musa, criado pelo físico Ennio Candotti e instalado desde 2011 em uma área de 100 hectares (ha) na Reserva Florestal Adolpho Ducke, na borda da capital amazonense. Em espaços integrados à floresta, o museu exibe aspectos da flora, da fauna e da população humana da região. O Amazônia Revelada viabilizou a construção do auditório onde se deu o encontro, de um espaço expositivo com uma mostra sobre a arqueologia amazônica e outra sobre os resultados iniciais do projeto, e de uma reserva técnica apta a armazenar artefatos arqueológicos, etnográficos e fósseis. “Com isso, o Musa se torna um polo na pesquisa em arqueologia”, destacou Stamparoni.

A ideia é fazer uma ciência colaborativa, codeseenhada e coproduzida com as comunidades locais. “O projeto não é nosso, a demanda de estudo

para demarcação é deles”, afirma o arqueólogo Francisco Pugliese, da Universidade de Brasília (UnB). “Nós somos apenas os instrumentos.” O consentimento informado imprescindível à realização do projeto em cada área sai de conversas detalhadas e prolongadas entre os arqueólogos e os habitantes. O conhecimento indígena também guia os pesquisadores para locais mais carregados de história e ajuda a interpretar os achados, prática incomum no âmbito acadêmico.

VISÃO A LASER

No Acre, a possibilidade de usar o Lidar para enxergar o solo abaixo da floresta começou a expandir o número conhecido de geoglifos, enormes figuras geométricas marcadas no chão por valetas e muretas construídas por povos ancestrais e muitas vezes interligadas por estradas milenares (ver Pesquisa FAPESP nº 299). Os sobrevoos já aconteceram por lá, revelando que esses sítios arqueológicos, muito documentados na parte sul do estado, também existem ao norte do rio Purus, já no estado do Amazonas. Um dos geoglifos documentados é quadrado, com estradas afuniladas que saem de dois dos lados, grande a ponto de poder abarcar o estádio do Maracanã, conforme mostrou o topógrafo e geômetra português Hugo Pires, da Universidade do Porto, de Portugal.

O pesquisador aderiu ao projeto recentemente, depois de ouvir um episódio do podcast *Rádio Novelo Apresenta* feito pela jornalista Letícia Leite, responsável pela comunicação do Amazônia Revelada. Pires trabalha com documentação de patrimônio arqueológico em vários lugares do mundo e desenvolveu um método chamado Modelo Residual Morfológico (MRM) para tratar os dados do Lidar. A técnica permite colorir depressões e elevações no microrrelevo do solo captado pelo Lidar, e com isso gera imagens que revelam a complexidade do terreno de forma mais contrastada e ressaltam detalhes arqueológicos.

O primeiro a avistar geoglifos na Amazônia brasileira foi o paleontólogo Alceu Ranzi, atualmente aposentado pela Universidade Federal do Acre, ao chegar a Rio Branco em um voo comercial em 1986. Demorou quase 20 anos para que se dedicasse a eles. “Em 2000 vi que os arqueólogos não estavam trabalhando nisso”, contou ele, que passou a fazer sobrevoos para procurá-los. “Depois veio o Google Earth, eu passava horas no computador buscando geoglifos.” Ele foi procurado por um desconhecido, Francisco Nakahara, que tinha visto um documentário sobre o assunto e queria também encontrar esses vestígios. Ranzi ensinou como e passou a receber registros com coordenadas. “É um senhor de 84 anos e já listou mais de 300 geoglifos”, conta o paleontólogo. No estado há cerca de mil geoglifos registrados em áreas desmatadas.

Mais surpreendente foi o achado no município de Costa Marques, Rondônia, na fronteira com a Bolívia. Ali está a comunidade quilombola de Príncipe da Beira, remanescente de escravizados levados para a construção de uma fortaleza, no final do século XVIII para defesa contra invasões hispânicas, que ao longo do século XIX perdeu importância até ser abandonada. De acordo com o arqueólogo Carlos Augusto Zimpel, da Universidade Federal de Rondônia (Unir), nas ruínas havia objetos europeus, como louça e talheres, assim como indígenas e pessoas de origem africana. A construção é tombada desde 1950 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan). Com o Lidar, apareceram perto dele os resquícios de uma vila portuguesa que consta em um mapa do século XVIII com o nome de Bragança, mas cuja localização não se conhecia. “Eu passava por lá e não percebia a vila”, disse Zimpel. Perto dos vestígios em relevo, que permitem reconstituir o traçado das ruas, há geoglifos e valas indica-

Delegações Tupari e Jupaú na reunião no Musa e consulta à comunidade na aldeia Alto Jarú, Rondônia, para realização do projeto

tivos de uma ocupação muito mais antiga, com restos de cerâmica associados a manchas de terra preta, o solo modificado pela ação indígena. “O projeto Amazônia Revelada pode levar turismo arqueológico para lá”, comentou Santiago Cayaduro Pessoa, que vive na comunidade e atua como guia no forte.

Os Kuikuro do Alto Xingu são parceiros da pesquisa arqueológica, mas em um primeiro momento não aceitaram os sobrevoos por não querer que dados sobre seus locais sagrados se tornassem públicos. Mas têm colhido imagens em pontos específicos usando um drone equipado com Lidar, que o técnico geógrafo Kumessi Kuikuro pilota com maestria. “Os Kuikuro se tornaram referência no Território Indígena do Xingu em termos de mapeamento e são procurados pelas outras etnias”, disse a arqueóloga Helena Lima, do MPEG. Pelo acordo, os dados coletados pertencem aos indígenas, que concedem níveis de acesso aos pesquisadores.

Um sítio arqueológico próximo à aldeia tem montículos, valas, praças e estradas. As valas seguem para o rio e conectam todos os sítios no Alto Xingu, segundo Schmidt, que trabalha na Amazônia desde 1998. Pela presença de terra preta, cuja formação intencional ele descreveu recentemente em coautoria com indígenas Kuikuro (*ver Pesquisa FAPESP nº 333*), ele interpreta montículos dispostos em círculo como as lixeiras atrás de cada uma das casas. As habitações, feitas de barro e madeira, não resistiram ao tempo. Mas as composteiras, sim.

No espírito de pesquisa conjunta entre arqueólogos e indígenas, e de prática decolonial, todo o material escavado nas terras tuparis fica na aldeia Palhal, em Rondônia, onde há o plano de criar um museu. Réplicas para registro dos pesquisadores serão feitas a partir de escaneamento tridimensional. Uma das lutas dos habitantes da Palhal é pela demarcação, uma vez que a aldeia ficou de fora da contígua Terra Indígena Rio Branco. “Nossos antepassados estão enterados lá”, explicou Adilson Tupari.

Um desafio é transformar os achados em proteção da floresta e melhoria na vida de quem vive nela, uma vez que os sítios arqueológicos têm proteção garantida pela Constituição. “Jogamos um bom problema no colo do Iphan”, brincou Neves, do MAE-USP. Isso porque não há um mecanismo para cadastrar sítios arqueológicos apenas com base em imagens obtidas com Lidar, e a tecnologia já começou a revelar mais áreas de interesse do que é possível visitar e escavar em tempo hábil. Será necessário adequar a normatização e ampliar



Entre dois geoglifos circulares, linhas retas e leve relevo são resquícios da vila de Bragança, à margem do rio Guaporé



as possibilidades de registro, e mesmo assim os problemas não terão terminado. “Proteção normativa não necessariamente significa proteção física”, disse o arqueólogo Thiago Berlanga Trindade, chefe do Serviço de Registro e Cadastro de Dados do Iphan. A comunidade e a sociedade civil precisam se envolver na fiscalização.

Os povos da floresta – sejam eles indígenas, quilombolas, beiradeiros ou ribeirinhos – enfrentam ameaças que são urgentes, violentas e graves. Os relatos incluíram genocídio, estupro, epidemias letais, estradas cortando territórios, poluição dos rios, destruição de locais sagrados, invasões por fazendeiros (com monoculturas de soja, milho ou arroz), grileiros, madeireiros e garimpeiros, secas decorrentes de mudanças climáticas ou barragens hidrelétricas. A mudança climática tem sido um golpe mais inesperado, em acréscimo à sucessão de violências desde a chegada dos europeus à região. “Estamos vivendo uma estiagem que nunca meus avós pensaram em ver”, contou Marquinho Castro dos Santos, do povo Mayoruna, professor na escola de sua aldeia, Marajaí, às margens do Solimões, no município de Alvarães. Nessa erosão de direitos básicos também perdem o acesso à memória. A comunidade beiradeira – resultante de casamentos entre indígenas, descendentes de escravizados de origem africana e ribeirinhos – da Terra do Meio, no sul do Pará, tem visto a história se perder, com pouco acesso

a educação e sem valorização da cultura local. Também do Pará, às margens do rio Tapajós, vieram beiradeiros de Montanha e Mongabal e um representante do povo indígena Munduruku. O arqueólogo Vinicius Honorato, da Ufopa, ressaltou que a arqueologia ajuda a fortalecer o conhecimento tradicional.

Na busca pela recuperação e preservação da memória, Antônio Enésio Tenharin, secretário executivo municipal de Povos Indígenas em Humaitá, no sul do Amazonas, contou que seu povo pede, por meio de uma ação civil pública de 2014, a criação de centro de memória e publicação de material didático sobre os impactos da construção da rodovia Transamazônica sobre os povos indígenas Tenharin e Jiahui.

A reunião em Manaus permitiu o encontro entre todos esses grupos e reforçou a arqueologia como aliada. “Estamos juntos nessa batalha”, disse Vilson Tenharin, da aldeia Marmelos, no sul do Amazonas. Foram quatro dias ricos na formação de uma rede, que os coordenadores pretendem fortalecer promovendo outros encontros entre os povos. O trabalho arqueológico, eles afirmaram, precisa partir dos povos da floresta, inclusive promovendo a formação de arqueólogos de origem indígena, quilombola e beiradeira.

Vista como uma ciência voltada para o passado, a arqueologia se apresentou como uma janela para pensar (e garantir) o futuro. Para os pesquisadores e povos da floresta, a Amazônia não está revelada; está se revelando. ●

A jornalista viajou a convite do projeto Amazônia Revelada.



Piracemas secas

A vegetação dos igapós tem baixa estatura e cresce sobre a areia e as rochas do leito, que deveria alagar nas épocas de cheia

Baixa vazão na Volta Grande do Xingu impede a reprodução de peixes e inviabiliza o modo de vida de indígenas e ribeirinhos

MARIA GUIMARÃES

No final de novembro, quando começava a chover na bacia do rio Xingu, os sarobais floriam nos igapós e os pacus, curimatás, tucunarés e outros peixes começavam a se preparar para desovar nas piracemas da Volta Grande do Xingu (VGX), Pará. Habitantes da região – indígenas e ribeirinhos – planejavam o acampamento anual nessas áreas para aproveitar a fartura da pesca e se locomoviam principalmente usando voadeiras, reservando as rabetas para águas mais rasas. Essa descrição, repleta de termos que refletem todo um sistema socioambiental, tem os verbos no passado porque, nos últimos anos, nada disso tem acontecido. O motivo é a soma devastadora da construção e operação da usina

hidrelétrica de Belo Monte com as sucessivas estiagens extremas que têm castigado a Amazônia.

A usina de Belo Monte começou a ser construída em 2010, aprovada pelo governo antes de ficar pronto o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e contra recomendação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). A geração de energia é por fio-d'água, que não exige a formação de represas tão grandes. Mas isso não significa pouco impacto. No caso do complexo hidrelétrico de Belo Monte, foi escavado um canal que desvia a água da Volta Grande para uma represa ao fim da qual a usina principal gera quase toda a energia do complexo (ver infográfico na página 60). As dezenas de comunidades ribeirinhas e os três povos indígenas que vivem ao longo dos 130 quilômetros (km) da VGX passaram, assim, a repartir o rio com a geração de energia para centros urbanos de todo o país.

De acordo com o geólogo André Sawakuchi, da Universidade de São Paulo (USP), o projeto original já previa reduzir a vazão da VGX em até 80%. “É um design que gera uma situação de conflito por água.” Diante disso, indígenas perceberam que precisavam vigiar o impacto. “Começamos o monitoramento em 2013, antes do fechamento da barragem”, conta Josiel Juruna, vice-liderança da aldeia Miratu, na Terra Indígena Paquiçamba. Com apoio do Instituto Socioambiental (ISA), seu grupo começou a anotar a pesca e a caça que chegavam à aldeia e ampliou a ação para outras seis comunidades indígenas na área. Assim, nasceu o Monitoramento Ambiental Territorial Independente (Mati), coordenado por Juruna. A usina começou a operar em 2016 e atingiu o funcionamento pleno em 2019.

Desde 2019 o Mati conta também, a pedido do Ministério Público Federal (MPF), com a participação de pesquisadores de nove universidades e centros de pesquisa, entre eles Sawakuchi. “Os relatórios encomendados pela Norte Energia são divulgados em um formato que os habitantes das comunidades não compreendem”, relata a bióloga Camila Ribas, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), uma das coordenadoras. O papel desses pesquisadores é acompanhar de longe as atividades cotidianas dos monitores, com esporádicas visitas presenciais, ajudar a sistematizar os dados e a produzir documentos com validade científica que possam, também, subsidiar a luta por direitos. Desde o início de 2023, o trabalho da equipe científica tem financiamento da FAPESP e das Fundações de Amparo à Pesqui-

sa dos Estados do Pará e Amazonas (Fapespa e Fapeam), no âmbito da iniciativa Amazônia+10.

Em 2021, o Mati agregou comunidades ribeirinhas. “Não nos conhecíamos, mas precisávamos trabalhar juntos”, lembra Juruna, que – assim como os ribeirinhos Raimundo Silva e Orcylene Reis – conversou com a reportagem por chamada de vídeo ao final de um dia no qual estabeleceram novas parcelas de monitoramento. Ribas explica que as inspeções pelo Mati são cotidianas e disseminadas, enquanto a empresa fiscaliza poucos pontos, quatro vezes ao ano.

Raimundo Silva, coordenador dos monitores ribeirinhos, vive na comunidade Goianinho, no fim da VGX, e ressalta que a vegetação de baixa estatura típica das áreas alagáveis, o sarobal, está seco. De acordo com artigo em fase de publicação na revista *Perspectives in Ecology and Conservation*, cujo primeiro autor é o ecólogo Adriano Quaresma, pesquisador em estágio de pós-doutorado no Inpa, a variação natural no nível do rio chega a 4 metros (m), com máximo entre março e abril e mínimo entre julho e agosto. Mas, na zona de impacto de Belo Monte, essa amplitude não passa de 1,6 m e o alagamento dos igapós, áreas que ficam inundadas após as cheias do rio, chega com um atraso de até quatro meses. “Vimos que 70% dos igapós da região da VGX já não ficam alagados na cheia”, afirma Ribas.

Com a diminuição drástica do alagamento, além da morte das plantas típicas dali, os pesquisadores documentaram o crescimento de espécies vegetais não tolerantes ao alagamento. Ribas é especialista em aves e já tem notado a presença de espécies que não costumam frequentar áreas alagadas, outro indicador da mudança das características ecológicas dessas áreas.

Entre 401 observações de frutos caídos, 327 (81%) não encontraram água. Isso significa que os peixes e tartarugas aquáticas, os tracajás, não encontram esse alimento, mesmo que consigam adentrar os canais. Nas áreas acima do reservatório Pimental, nada disso aconteceu.

Orcylene Reis, da comunidade Bacajá, conta que tem visto no rio um aumento dos insetos aquáticos conhecidos como piuns. “Isso acontece porque tem cada vez menos peixes, que se alimentam deles”, explica. Ela é coautora de um artigo cujo primeiro autor é Josiel Juruna, também em processo de publicação na *Perspectives in Ecology and Conservation*, que mostra como a vazão, medida por réguas graduadas instaladas em todas as piracemas

do monitoramento, tem sido insuficiente para a reprodução dos peixes. Os habitantes do Xingu chamam de piracema – termo habitualmente usado para designar os movimentos migratórios dos peixes para reprodução – os locais propícios para a desova, onde os filhotes se desenvolvem até terem tamanho para seguir para o corpo principal do rio.

“É preciso uma vazão de 10 mil a 15 mil metros cúbicos por segundo [m³/s] para desencadear o metabolismo hormonal que inicia a migração dos peixes para a piracema do Zé Maria”, exemplifica a bióloga Janice Muriel-Cunha, da Universidade Federal do Pará (UFPA) e do Mati. “Isso não está mais acontecendo.” Segundo ela, as piracemas enchem fora de sincronia com o período fisiológico de reprodução, tarde demais para os peixes.

O mesmo se dá em várias das áreas monitoradas, e peixes como o pacu e o curimatá, os favoritos por ali, foram ficando raros – sinal de que o ciclo reprodutivo foi interrompido. Os tracajás, que faziam parte da alimentação e cultura das comunidades indígenas, também estão ameaçados.

“Nosso rio quase não tem mais pesca”, resume Raimundo Silva. A alimentação dos ribeirinhos mudou completamente, é preciso ir ao supermercado e comprar frango, mortadela e comida enlatada. “Somos obrigados a causar dano aumentando a roça, e quando tiramos árvores frutíferas, isso afasta a caça que come os frutos”, completa.

Uma atividade econômica tradicional da região era a pesca de peixes ornamentais. “O leito do rio

é formado por rochas que abrigam uma variedade de peixes únicos, como os acaris-zebra”, conta Muriel-Cunha, da UFPA, referindo-se à espécie *Hypancistrus zebra*, ameaçada de extinção. Essa pesca foi drasticamente reduzida.

A navegação também está prejudicada, sem passagem para as lanchas conhecidas como voadeiras. As rabetas – barcos pequenos com uma hélice pequena na ponta de uma haste longa, que pode ser ajustada para ficar rente à superfície – ainda podem ser usadas em certas situações, mas se torna cada vez mais comum o recurso às pequenas canoas movidas a remo.

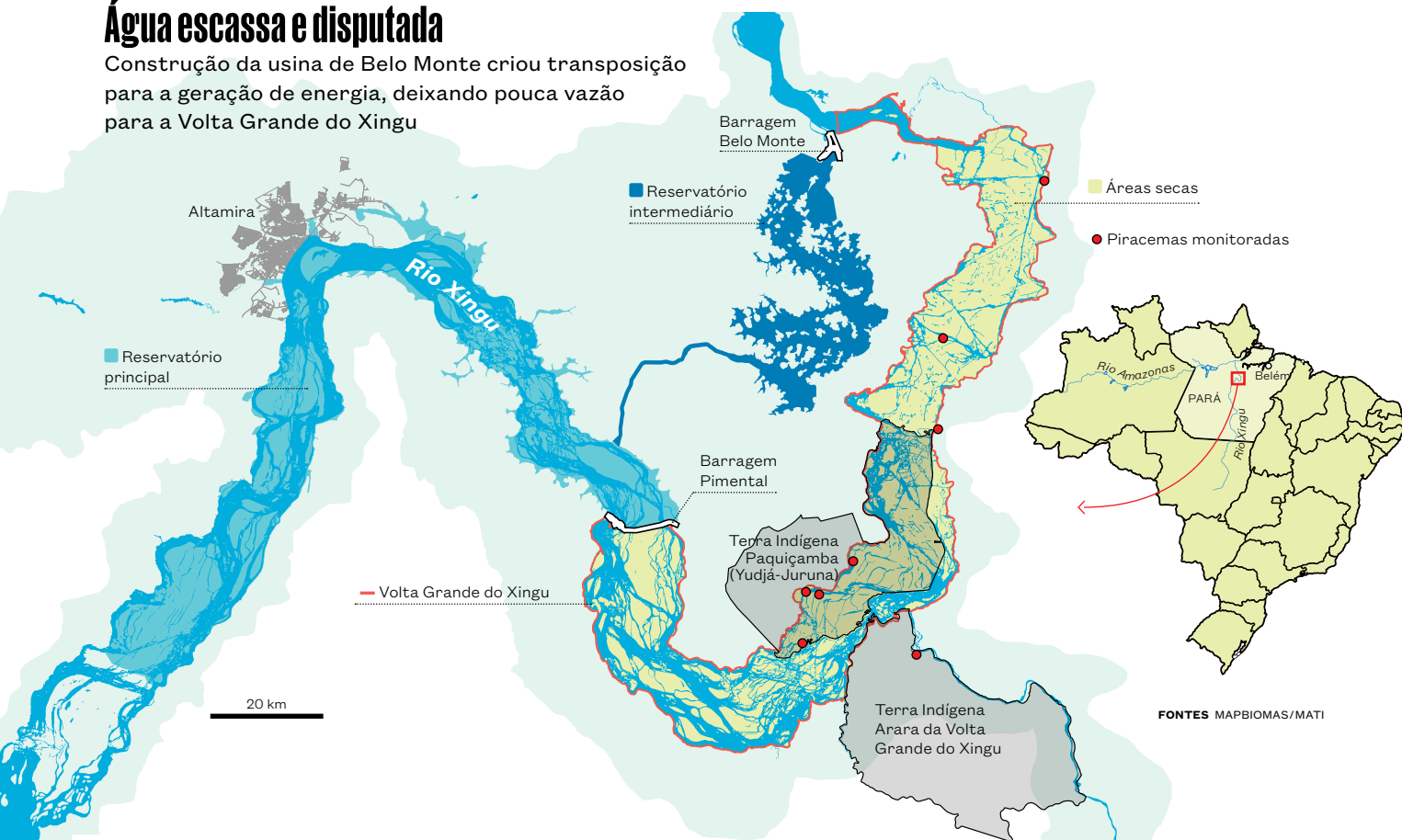
CONFLITO SOCIOAMBIENTAL

Os pesquisadores defendem que a entrega de água para a Volta Grande, controlada pela barragem de Pimental, precisa seguir o ritmo natural para que os igapós alaguem no período de cheias, entre dezembro e fevereiro, e se mantenham tempo suficiente para os ovos eclodirem e os jovens peixes se desenvolverem, processo que leva cerca de três meses para várias espécies. “Mexer no hidrograma aplicado atualmente pela Norte Energia é a única possibilidade”, afirma Sawakuchi. O volume total de água previsto no plano de operação da usina não existe na estação seca, situação agravada pelas estiagens extremas de 2023 e deste ano.

Para a subsistência do ecossistema, seria essencial priorizar a VGX quando a vazão aumentar.

Água escassa e disputada

Construção da usina de Belo Monte criou transposição para a geração de energia, deixando pouca vazão para a Volta Grande do Xingu





Foi em uma das canoadas promovidas para visitantes para os Yudjá-Juruna convidaram pesquisadores a participar do monitoramento

Não é o plano da Norte Energia. “Considerando que o hidrograma foi definido durante os EIA que subsidiaram a implantação da usina, definindo capacidade de geração de energia para o Sistema Interligado Nacional; considerando que os impactos detectados são os prognosticados no EIA; e que a Norte Energia tem implementado as ações de mitigação e compensação; não há o que se falar em ajuste de hidrograma”, afirmou Bruno Bahiana, superintendente Socioambiental e do Componente Indígena da Norte Energia, por e-mail.

Os habitantes da VGX afirmam que os projetos de sustentabilidade não foram cumpridos. Orcylene Reis monitora a qualidade da água dos poços instalados em algumas comunidades e diz que ela não é potável. “A água tem contaminação por amônia.” Segundo ela, os poços são pouco profundos – e alguns deles já secaram.

Não há solução possível, uma vez que a usina está feita; a busca é por minimizar os danos. “O ideal é que o Brasil se torne menos dependente de energia hidrelétrica”, defende Sawakuchi. “Acho completamente errado falar da hidroenergia das grandes barragens como energia limpa”, afirma o antropólogo Emilio Moran, da Universidade Estadual de Michigan, nos Estados Unidos (ver Pesquisa FAPESP nº 284). “Estudos já têm mostrado as grandes emissões de carbono e metano vindas das usinas com reservatórios.” Para ele, os danos ambientais e sociais das barragens são permanentes e criam uma situação insustentável na pesca e na sociedade.

As consequências existem mesmo fora da zona de impacto direto, como mostrou estudo coordenado por Moran em uma comunidade ribeirinha, publicado em julho na revista científica *Energy*



Research & Social Science. Os moradores relatam a perda dos predadores de topo, como os grandes bagres, e a deterioração da qualidade da água, que em consequência da turbidez se torna inadequada para lavar roupa ou para consumo.

Para Josiel Juruna, o Mati traz reconhecimento das populações locais como cientistas. “Não somos alunos universitários, mas o que fazemos é ciência.” Os artigos são feitos em coautoria entre eles e os pesquisadores acadêmicos. “Precisa ser assim para que as coisas mudem”, diz Juruna.

Moran considera o Mati um ótimo exemplo de ação integrada entre comunidades e academia. “Esses trabalhos podem dar mais força às pesquisas puramente científicas por adicionarem a experiência cotidiana das populações aos dados científicos”, diz o antropólogo, que já começou a incorporar a participação cidadã em suas pesquisas na Amazônia. ●

Com a falta de alagamento por anos sucessivos, os frutos caem no seco e o sarabal está morrendo

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

Caatinga, fértil outra vez

Experimentos indicam estratégias para recuperar a vegetação nativa e aumentar a produção agrícola no semiárido nordestino

CARLOS FIORAVANTI (texto) e **THIAGO ZANETTI** (fotos), de São João do Cariri e Cabaceiras (PB)

Sob o sol intenso do meio da tarde do início de novembro, o biólogo Helder Araujo entra em um pomar com 102 pés de três espécies de pitaias (*Hylocereus* spp.), já com 2 metros (m) de altura e longos ramos verdes. Estamos na fazenda experimental da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em São João do Cariri, a 200 quilômetros (km) da capital, João Pessoa. É uma das áreas mais secas do Nordeste.

Ele para diante de um dos pés de pitaias e com delicadeza puxa um pouco a ponta de um dos ramos. “Olhe. Já saíram os botões florais. Vai frutificar em dezembro. A produção será maior lá por fevereiro e março. Será nossa segunda safra. Já encontramos minhoca no solo, indicando que a fertilidade voltou.” As plantas são irrigadas por gotejamento com a água que vem de um poço próximo.

Com os cultivos experimentais de pitaia, sorgo (*Sorghum bicolor*), feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), goiabeira (*Psidium guajava*), maracujá (*Passiflora edulis*) e maracujá-da-caatinga (*Passiflora cincinnata*), Araujo e outros pesquisadores da UFPB ligados a um programa chamado Nexus

Cultivos experimentais como o de pitaías (à esq.) mostram como recuperar áreas degradadas, como esta, perto de Campina Grande, dominada por facheiros, cacto típico do Nordeste



Caatinga estão mostrando como a vegetação, o solo e a produtividade da Caatinga podem ser reconstituídos – e por meio de cuidados simples. Um dos principais é descompactar o solo e mantê-lo coberto com plantas ou folhas secas, para permitir a infiltração de água e evitar a perda de sedimentos e nutrientes. Nessa região, a erosão, em áreas descobertas, pode carregar cerca de 8 toneladas (t) de terra por hectare (ha) por ano.

“Antes de plantar”, conta Araujo, “passamos uma vez o trator com grade de corte para descompactar superficialmente o solo e deixar a água infiltrar”. A medida também beneficiou outras plantas, como um pau-ferro (*Libidibia ferrea*) de quase 3 m que agora cresce nos limites do pomar. “Foi uma surpresa. Não plantamos. A semente devia estar aqui, mas não conseguia germinar, porque o solo estava compactado.”

O engenheiro-agrônomo da UFPB Raphael Beirigo, que acompanha a visita, comenta: “O solo da Caatinga é ótimo. Um dos principais tipos, o luvisolo, tem uma camada superficial arenosa e outra, que começa a uns 20 centímetros [cm] abaixo, argilosa. Esse arranjo é perfeito para reter água por mais tempo. Em 2015, na primeira vez

que cavei no Cariri paraibano, fiquei surpreso ao ver que a camada argilosa estava úmida, depois de três meses sem chover”.

O problema, ele acrescenta, é que o solo tem sido maltratado e perdido água, em consequência do desmatamento. Em um estudo publicado em outubro de 2023 na *Scientific Reports*, pesquisadores da UFPB e da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) argumentam que a principal causa das mudanças na Caatinga é a perda de vegetação nativa promovida pela ação humana, que favorece a desertificação e, aliada a temperaturas médias anuais mais altas, a formação de áreas de clima árido (ver Pesquisa FAPESP nº 338).

“A agricultura na região Nordeste é pouco produtiva porque a Caatinga foi muito desmatada e o solo é muito erodido e compactado”, diz Beirigo (ver *infográficos*). “Uma ideia bastante difundida, de que a agricultura não vai bem na região porque o solo é raso, é bobagem.” Seu argumento ganha força com as árvores que crescem com pouco solo no alto de blocos de rochas, os lajeados, que se destacam na paisagem da região.

A Caatinga ocupa 850 mil km², dos quais 89% já sofreram modificações causadas pela ação hu-

mana (ver Pesquisa FAPESP nº 335). Depois de cortada, por causa do solo bastante suscetível à erosão, não se recompõe, diferentemente do Cerrado, da Mata Atlântica e da Amazônia. Em consequência, nas áreas vizinhas à fazenda da UFPB – desmatadas desde o século XVIII, como em toda a região, para a criação de gado e para o cultivo de algodão, que predominou na região até os anos 1980 –, o que mais se vê é uma vegetação acanhada, com poucas espécies, que cresce pouco sobre solos secos e pedregosos.

É o mesmo cenário de um filme clássico do cinema nacional, *Vidas secas*, de 1963, dirigido por Nelson Pereira dos Santos (1928-2018), baseado na obra de Graciliano Ramos (1892-1953), e bem diferente dos raros exemplares de Caatinga preservada. Um deles está na Fazenda Salambaia, de Cabaceiras, também na região do Cariri paraibano. Ali há pau-ferro, jatobá (*Hymenaea rubriflora*), pau-d’arco ou ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*), mulungu (*Erythrina velutina*) e outras árvores de 15 a 20 metros, cujas copas se tocam e sombreiam o solo coberto de folhas que seguram a umidade.

Atento à história da região, Araujo comenta que outra indicação de que a paisagem na Caatinga já foi diferente são os documentos enviados para a Biblioteca Nacional em 1881 para um *Catálogo geográfico do Brasil*, publicados nos *Anais da Biblioteca Nacional* em 1991. De acordo com esses relatos, nos municípios de São João do Cariri e Cabaceiras havia “diversas espécies de madeiras de construção e marcenaria”, frutas silvestres – “jabuticaba (nas serras do Corredouro e Caturité), umbu, quixaba, joá, xiquexique, facheiro, mandacaru, uvaia, ameixa, [e] cumbeba” – e animais, incluindo onças, guaxinins, porcos-do-

-mato, veados, tamanduás, emas, jacus, pica-paus, periquitos e papagaios.

Na fazenda experimental, nem tudo são frutos. O plantio das goiabeiras, por exemplo, não deu certo. Gafanhotos-marrons que parecem galhos secos, conhecidos como mané-magro (*Stiphra robusta*), destruíram 38 das 48 mudas de goiabeira que haviam sido plantadas em meio a outras áreas degradadas. Embora a praga também tenha atacado outro plantio com a mesma quantidade de mudas de goiabeira ao lado de uma reserva privada com floresta nativa, não se perdeu nenhuma porque os insetos tinham outras fontes de alimento ou foram contidos pelos pássaros e outros predadores. Um artigo publicado em janeiro de 2022 na *Revista Caatinga* registrou os resultados dessa experiência não planejada, que mostrou a importância das matas nativas próximas aos cultivos.

Árvores de 20 metros crescem sobre o solo úmido de uma Caatinga preservada em uma fazenda de Cabaceiras

Na fazenda da universidade, em um experimento de restauração, crescem também 200 árvores de 11 espécies, como pau-ferro, mulungu, pau-d’arco, angico (*Anadenanthera colubrina*), aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), tamboril (*Enterolobium timbouva*) e craibeira (*Tabebuia aurea*), algumas já com 3 m de altura, entre touceiras de capim buffel (*Cenchrus ciliaris*), muito resistente à seca, que se espalhou cobrindo o solo.

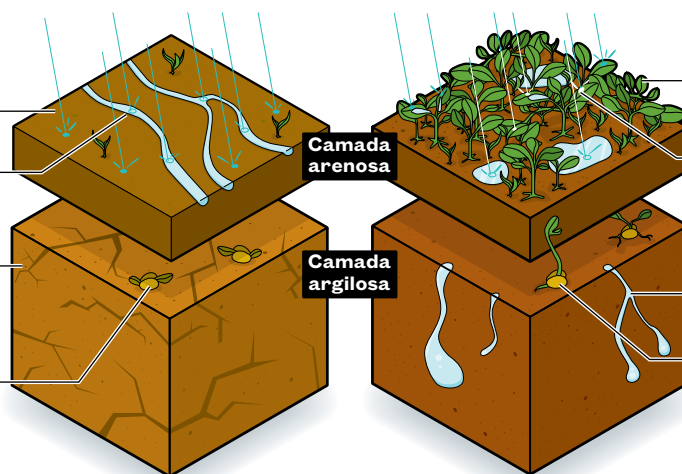
“Para recuperar a vegetação na Caatinga, temos de recuperar o solo”, comenta o biólogo Renato Garcia Rodrigues da Universidade Vale do São Francisco (Univasf), *campus* de Juazeiro, Bahia. “Não adianta plantar em solo ruim, duro e seco, como o de um estacionamento.” Ele en-

Solo da Caatinga em transformação

Terra nua facilita perda de água, evitada com cobertura vegetal

Água perdida

1. O corte da vegetação nativa deixa o solo descoberto
2. A chuva cai sobre o solo nu e carrega o solo superficial
3. A camada argilosa abaixo da superfície seca enrijece e perde capacidade de reter água
4. Sem umidade, em um solo compactado, as plantas não conseguem emergir



Água mantida

1. O solo coberto com plantas ou folhas secas mantém a umidade
2. A chuva perde força ao bater nas folhas e a erosão será menor
3. A água se infiltra e permanece na camada argilosa
4. Com reservas de água, as plantas crescem

FONTES HELDER ARAUJO E RAPHAEL BEIRIGO/UFPB



trou nesse campo em 2014, ao avaliar uma área de recuperação da vegetação em Cabrobó, Pernambuco, que foi um fracasso completo: todas as árvores morreram. “A empresa que fez o trabalho não conhecia as espécies nativas e usou um método eficaz em áreas de Mata Atlântica, com plantio em fileiras em área total, que não funciona muito bem na região, porque o solo e o clima são muito diferentes.”

Dois anos depois, como coordenador do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (Nema) da universidade, Rodrigues aceitou uma encomenda do Ministério de Integração e Desenvolvimento Regional: desenvolver, testar e implantar métodos de baixo custo para recuperar áreas degradadas, ao longo de 2 mil ha às margens dos canais de transposição do rio São Francisco, em colaboração com as equipes do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama).

A primeira tarefa foi procurar espécies nativas que crescessem espontaneamente com pouca água em áreas degradadas, tivessem raiz superficial, produzissem muitas sementes e ajudassem outras plantas a se desenvolver. Os pesquisadores identificaram 26 espécies nativas, descritas em um artigo de fevereiro de 2022 na *Revista Árvore*. Entre elas se destacou a mata-pasto (*Senna uniflora*), herbácea com flores amarelas que pode atingir 1,5 m de altura. “Espalhamos toneladas de sementes de *Senna*, que, quando cresce, forma um tapete sobre o solo e o enriquece com fungos capazes de aumentar a capacidade das plantas de reter a água”, conta Rodrigues. Os resultados estão detalhados em um artigo de março de 2023 da *Journal of Applied Ecology*.

Em seguida, a equipe da Univasf selecionou espécies de árvores capazes de viver sem irrigação e as plantou juntas, em grupos, chamados núcleos de aceleração de regeneração natural. Os núcleos podem abrigar 13 mudas pioneiras, de crescimento rápido, agrupadas em 36 m², ou 13 secundárias, de crescimento mais lento, em 16 m². Os grupos de árvores são cercados com galhos e troncos de uma espécie exótica invasora, a algaroba (*Prosopis juliflora*), que ocupou muitas áreas da Caatinga degradada às margens das rodovias.

Em mapas no computador, os núcleos de árvores aparecem como pontos ao longo dos canais do São Francisco e contêm informações sobre as espécies que foram plantadas e quantas eventualmente morreram. Rodrigues abre um ponto ao acaso e, entre as 13 de um núcleo pioneiro, apenas uma havia morrido; segundo ele, a taxa de sobrevivência das mudas de algumas espécies é superior a 90%. As tabelas que acompanham os mapas registram 45.539 árvores plantadas nos núcleos de espécies pioneiras e 9.204 nos de se-

Xiquexiques (à esq.) e macambiras se espalham sobre blocos de rochas, os lajeados



cundárias no eixo leste e 44.005 e 32.240 em cada grupo no eixo norte. Segundo Rodrigues, o plantio deve terminar em três anos.

Tanto o grupo da UFPB quanto o da Univasf plantam mudas com raízes longas, aproveitando as descobertas de um grupo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), coordenado pela bióloga Gislene Ganade, que trabalha com restauração da Caatinga desde 2010. “Desenvolvemos a técnica de mudas com raiz longa, de 1 m, em 2013, para não depender da sorte e da chuva”, ela conta. “Produzimos na casa de vegetação, com água e nutrientes, e depois de seis meses a um ano levamos para o campo. A taxa de sobrevivência aumenta de 30%, com a raiz curta, para 70%, com a raiz longa, que consegue aproveitar a água armazenada na camada argilosa do solo.”

O trabalho avançou. Em 2016, na Floresta Nacional de Açu, na região central do Rio Grande do Norte, Ganade começou a testar modelos de restauração da paisagem, plantando 4.704 mudas de raiz longa em 45 combinações, com uma, duas, quatro, oito ou 16 espécies de árvores nativas. Uma das primeiras descobertas, detalhada em abril de 2018 na *Ecology and Evolution*, foi a identificação das espécies de árvores que facilitam o crescimento de outras. Por essa razão, ganharam o nome de facilitadoras, a exemplo do ipê-roxo, pereiro (*Aspidosperma pyriforme*), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), jurema-branca (*Piptadenia stipulacea*) e imburana (*Commiphora leptophloeos*). “As espécies facilitadoras retêm água, fazem sombra e aumentam a

produtividade de outras plantas nas áreas restauradas”, comenta Ganade.

Outra constatação, apresentada em março de 2023 na *Journal of Ecology*, é que a maior diversidade de espécies de árvores beneficia o crescimento das que seriam mais lentas se isoladas, como o cumaru (*Amburana cearensis*), cujas folhas servem como matéria-prima para cosméticos. A variedade de espécies também atrai insetos de solo, entre eles as formigas, que ajudam a espalhar as sementes.

Para ampliar o alcance de suas descobertas, Ganade criou um centro de treinamento na floresta de Açu que, em três anos, recebeu cerca de 600 pessoas interessadas em conhecer novas técnicas de recuperação ambiental e outras 50 que desejavam se tornar coletores de sementes. “Queremos incentivar a atuação de cooperativas para a produção de cosméticos e mel a partir das espécies nativas da Caatinga ao longo do desenvolvimento da área em restauração”, ela diz. “Aqui, a terra é multifuncional.”

O administrador público Pedro Leitão concorda: “Por viver em uma região de pouca chuva, o pequeno agricultor tem de entender de milho, feijão, frutas, mel, algodão, madeira, bode, boi, galinha, peixe, porque produz um pouco de tudo”. De janeiro de 2020 a setembro de 2023, ele coordenou o Projeto Rural Sustentável (PRS) Caatinga, com financiamento do governo do Reino Unido, em cooperação com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). O objetivo era promover a implantação de tecnologias agrícolas de baixa emissão de carbono, como a redução da movimentação do solo, reúso ou contenção de água e tratamento de dejetos animais. Por meio de

A jurema-preta prepara o solo e facilita o desenvolvimento de outras espécies de árvores



Um tamboril se mantém verde e viçoso no início de novembro, em pleno período seco

propostas apresentadas por 20 organizações não governamentais, 1.505 famílias de 31 municípios do Piauí, Pernambuco, Bahia, Alagoas e Sergipe se dispuseram a testar as novas possibilidades de trabalho no campo. Os camponeses recebiam materiais para preparar a terra, cultivar peixes ou produzir mel e eram acompanhados por 700 técnicos em assistência rural. Entre outros resultados, o relatório final do projeto registra um aumento médio de 15% na renda das famílias dos produtores rurais, 600 ha de integração lavoura-floresta-pecuária, 200 ha de área restaurada e 1,2 milhão de toneladas de emissão de CO₂ evitada.

“As técnicas usadas na Caatinga para manter o solo úmido são diferentes das usadas em outras regiões”, observou Leitão, reforçando a conclusão de Rodrigues. “Conservar o solo na Caatinga é difícil, porque as chuvas são mais concentradas e torrenciais e a resistência à erosão é baixa, principalmente nas áreas inclinadas”, comenta o engenheiro-agrônomo José Marques Jr., da Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Jaboticabal, que não participou dos experimentos. “Por isto é importante escolher bem o que plantar, para deixar o máximo possível de matéria orgânica vegetal sobre o solo.”

Os experimentos de revitalização da Caatinga, incluindo os de outras instituições como a Fundação Araripe, sediada em Crato, no Ceará,

confirmam ou atualizam as bases conceituais elaboradas há décadas, entre outros, pelos engenheiros-agrônomos Carlos Bastos Tigres (1899-1980), autor do *Guia para o reflorestamento do Polígono das Secas* (Ministério da Viação e Obras Públicas, 1964); João de Vasconcelos Sobrinho (1908-1989), que propôs formas de conter a desertificação no semiárido nordestino; e Geraldo Barreto, defensor da preservação do solo e coautor de *Caminhos para a agricultura sustentável: Princípios conservacionistas para o pequeno produtor rural* (Editora IABS, 2015).

Em um debate sobre conservação de biomas realizado em 4 de novembro na Assembleia Legislativa de São Paulo, o engenheiro-agrônomo Pedro Brancalion, da Universidade de São Paulo (USP), comentou que a restauração da vegetação nativa contribui para a redução de enchentes e para o bem-estar das pessoas, ao oferecer ambientes sombreados, mas ainda esbarra nos custos – em média, R\$ 30 mil por ha.

Mesmo assim, até mesmo os pequenos proprietários rurais podem se cercar de plantações viçosas e árvores em terra fértil. “Quando comprei este sítio, há 16 anos, o solo estava detonado”, comenta Bonaldo Simões Nilo, de 69 anos, ao contar a história de sua propriedade de 5 ha, a 14 km do centro do município de Cabaceiras. Agora o sítio é um oásis verde cercado por terras abandonadas, ocupadas por vegetação rala e seca. “Já plantamos mais de mil mudas de 20 espécies de árvores”, conta seu filho, Breno, 23 anos. Algumas, como a braúna (*Schinopsis brasiliensis*) e a jurema, crescem agora, sem terem sido semeadas, em meio às plantações de palmas, vendidas para os vizinhos que criam cabras.

As palmas e as folhas secas com que eles cobrem o chão favorecem a fertilidade do solo e o crescimento de outras plantas. No bosque em formação, um jatobá plantado em janeiro de 2024 já está com 1,5 m; há também aroeiras, angicos, barriguda ou paineira-branca (*Ceiba glaziovii*) com quase 2 m.

Nilo cria perus, pavões e galinhas-d’angola, vendidas para criadores. O filho, fotógrafo da natureza, cultiva e vende cactáceas e suculentas, cultivadas ao lado da casa: “Tatu-peba, tamanduá, raposa, inhambu, codorna e outros bichos que antes não víamos agora moram no sítio”, ele conta. “Já vem gente observar aves, até mesmo as migratórias, que param aqui.” ●



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

Lixo na órbita da Terra

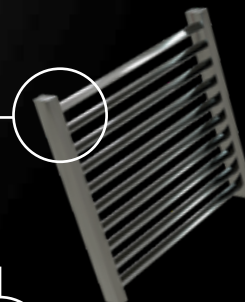
Sujeira espacial

Quantidade e classificação de detritos que rondam o planeta

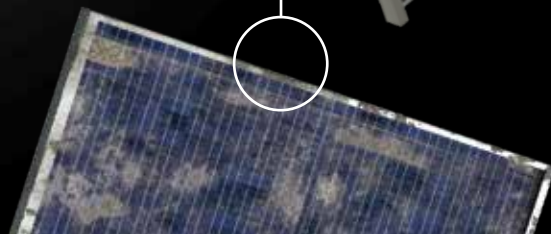
130 MILHÕES
entre 1 mm e 1 cm



1,1 MILHÃO
entre 1 cm e 10 cm



40,5 ML
maiores que 10 cm



Brasil estrutura rede nacional de telescópios para monitorar os milhões de detritos espaciais que colocam em risco satélites, foguetes e a segurança no planeta

DOMINGOS ZAPAROLLI

O Brasil deu início à estruturação de uma rede nacional de informações sobre lixo espacial. Os principais objetivos da iniciativa são estabelecer o monitoramento dos detritos e gerenciar o risco de colisão com satélites brasileiros, ampliar a segurança de lançamentos realizados no Centro Espacial de Alcântara, no Maranhão, e reduzir riscos de acidentes na reentrada de artefatos em rota de colisão com o território nacional. A estrutura também irá colaborar com as redes internacionais de vigilância de detritos espaciais. Estima-se a existência de mais de 130 milhões de objetos – a maioria deles milimétricos – orbitando o planeta Terra.

A primeira fase será estabelecida com a conclusão da aquisição pela Divisão de Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em São José dos Campos, de um sistema de gerenciamento de riscos e de três telescópios. O investimento, de R\$ 12 milhões, será da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep).

Com espelhos em torno de 40 centímetros (cm) de diâmetro, os três telescópios estão em processo de aquisição. A compra deverá ser iniciada ainda em 2024, caso os recursos sejam desembolsados no prazo previsto. Segundo o engenheiro mecânico Willer Gomes dos Santos, responsável pelo Laboratório de Monitoramento de Objetos Espaciais (LMOE) do ITA, está programada uma

expansão futura do sistema por meio da incorporação de um telescópio maior com abertura de cerca de 1 metro (m) de diâmetro.

“Os telescópios de maior abertura são capazes de detectar artefatos de menor brilho. Também são usados para identificar e caracterizar objetos ainda não catalogados”, explica o engenheiro aeroespacial Carlos Amaral, membro do LMOE-ITA e capitão da Força Aérea Brasileira (FAB). “Telescópios de abertura menor, quando empregados com equipamentos maiores, são utilizados principalmente para determinação preliminar da órbita de artefatos. Seus dados são empregados na correlação com outros objetos já catalogados”, complementa.

Os três telescópios terão como foco principal a observação de objetos que se deslocam por órbitas médias, entre 2 mil quilômetros (km) da Terra e 35.786 km, e altas, acima de 35.786 km. Esta última altura define a chamada órbita geossíncrona, na qual um satélite se desloca no espaço com a velocidade de rotação da Terra, de forma que ele fica parado sobre um ponto na superfície do planeta. Opera nessa órbita, por exemplo, o Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas (SGDC) (*ver Pesquisa FAPESP nº 256*). “Embora não seja o escopo de utilização pretendido, os telescópios também serão capazes de observar objetos em órbita baixa”, detalha o capitão.

Após a aquisição dos telescópios, o prazo previsto de instalação é de um ano. Um dos aparelhos deverá ser integrado ao Observatório Pico

dos Dias, do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), no município mineiro de Brazópolis. Estuda-se instalar os outros dois em São Paulo e Goiás.

O sistema de gerenciamento de risco já foi adquirido e encontra-se em operação desde janeiro deste ano. Denominado GSTT Orbit Guard, é um software desenvolvido pela empresa italiana GMSPAZIO, que utiliza informações coletadas por telescópios e outros tipos de sensores, como radares, para prever e prevenir riscos de colisões. No Brasil, o sistema atua de forma duplicada, com uma plataforma de informações em operação no Centro de Operações Espaciais da FAB, em Brasília, órgão responsável pela supervisão, controle e operação dos satélites militares brasileiros. A outra plataforma está instalada no LMOE-ITA, com enfoque voltado para o desenvolvimento de pesquisas e a capacitação de mão de obra para o setor de Defesa e a indústria aeroespacial brasileira.

“Hoje já processamos dados fornecidos por outros sensores, como o telescópio automatizado ROBO40, instalado no LNA, com espelho de 40 cm de diâmetro”, informa Amaral. O equipamento serve principalmente às observações astronômicas – o rastreamento de lixo espacial é uma atividade secundária.

META DE 15 TELESCÓPIOS

O projeto do ITA prevê também o monitoramento de órbitas baixas, até 2 mil km de altitude. Opera nesse patamar a maioria dos 30 satélites brasileiros ativos, entre eles os Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS), o governamental Amazonia 1 (ver Pesquisa FAPESP nº 300), que usa sensoriamento remoto para monitorar o des-

matamento e a atividade agrícola na Amazônia, e o nanossatélite de observação da Terra e coleta de dados VCUB1, da Visiona, *joint venture* entre a Embraer Defesa & Segurança e a Telebras.

“Uma boa configuração para uma rede nacional de monitoramento de detritos espaciais deveria ser composta de pelo menos 15 equipamentos dedicados a essa tarefa, com diferentes diâmetros, instalados em localidades distintas”, avalia o astrofísico Wagner Corradi, diretor do LNA. “O território brasileiro é muito extenso. Precisamos de informações coletadas em diferentes locais para uma boa triangulação de dados, o que permite estabelecer adequadamente a trajetória e a velocidade dos objetos”, justifica. O pesquisador explica que a informação sobre o percurso do lixo espacial permite manobrar de forma precisa os satélites e evitar possíveis colisões.

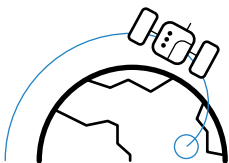
A maioria dos telescópios dedicados ao rastreamento de lixo espacial está no hemisfério Norte e há muitas lacunas na observação abaixo da linha do Equador. No Brasil, o único equipamento dedicado a essa tarefa é o Panoramic Electro Optical System (PanEOS), que pertence à Agência Espacial Federal Russa (Roscosmos). Está instalado desde 2017 no Observatório Pico dos Dias, após acordo com a Agência Espacial Brasileira (AEB), e sua gestão é compartilhada com a Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria, com sede em Itajubá (MG).

O instrumento, formado por um conjunto de câmeras, é composto de um telescópio principal

Estratégias para mitigar riscos

Confira iniciativas que podem reduzir a produção de lixo espacial

Estruturas espaciais e satélites construídos com dispositivos que permitem forçar a queda deles após o fim da vida útil. A técnica, já usada com as antigas estações espaciais Skylab e Mir, chama-se autorremoção



FONTE ROBERTO DIAS DA COSTA (IAG-USP)

<p>Uso de veículos lançadores que não entram em órbita e caem imediatamente após liberar o satélite</p>	<p>Foguetes projetados para descartar propelente residual após a liberação do satélite, evitando o risco de explosões em órbita. A técnica é denominada passivação</p> <p>Satélites equipados com dispositivos de passivação</p>	<p>Deslocamentos de satélites desativados para órbitas “cemitério”, acima de 35.786 km, reduzindo o risco de colisões com satélites ativos</p>
<p>Remoção de satélites desativados. Há estudos para desenvolver veículos automáticos para essa finalidade, redes para fazer um “arrastão” de satélites e canhões de laser capazes de desacelerar o objeto e permitir uma queda controlada</p>	<p>Política do one up, one down: cada satélite lançado requer a retirada de um análogo de órbita</p>	



Telescópio PanEOS: único equipamento no Brasil dedicado a monitorar detritos espaciais

com lente de 75 cm de diâmetro, complementado por dois de 25 cm e dois de 13,5 cm. Como informa Corradi, o foco de observação do PanEOS é determinado pela Roscosmos, que também é a destinatária dos dados coletados. “Temos acesso total aos dados gerados pelo PanEOS. Eles estão armazenados e à disposição de quem quiser usar. Mas não temos, *a priori*, a prerrogativa de escolher os alvos do telescópio. A rede nacional vem justamente para termos liberdade de escolher esses alvos”, diz o diretor do LNA.

A oportunidade de uso do PanEOS proporcionou ao físico colombiano William Humberto Úsuga Giraldo desenvolver a primeira máscara brasileira para detecção de fragmentos espaciais em imagens de telescópio. Foi objeto de seu mestrado em Engenharia e Ciências Aeroespaciais na Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), em 2022.

A máscara é composta por um procedimento computacional capaz de filtrar e diferenciar na imagem capturada pelo telescópio o que é lixo espacial e o que é estrela no fundo do céu. Elas são de uso exclusivo dos telescópios para os quais foram criadas. O PanEOS, contudo, já tem máscaras russas. Para o astrofísico José Dias do Nascimento Júnior, orientador de Giraldo no mestrado, o projeto abre caminho para pesquisas brasileiras com o PanEOS e proporciona capacitação para desenvolvimento no Brasil de novas máscaras para leitura de dados sobre detritos espaciais.

Está prevista para 2025 a entrada em operação de um telescópio de observação de detritos

no Observatório Astronômico e do Geoespaço da Paraíba, no Sítio Unha de Gato, nas proximidades de Juazeirinho (PB). O projeto é resultado de um acordo entre a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e o Observatório Astronômico de Xangai, na China. O equipamento FocusGeo é composto por três telescópios de 18 cm de diâmetro.

“Estamos na fase de elaboração do memorando de operação do telescópio”, diz o físico Lourivaldo Mota Lima, do Departamento de Física da UEPB e coordenador do projeto. Ele adianta, porém, que as informações coletadas pertencerão ao observatório chinês, que poderá, a seu critério, disponibilizar os dados para instituições e pesquisadores brasileiros ou sistemas internacionais de vigilância de lixo espacial. “O propósito da UEPB é utilizar as imagens geradas para pesquisas assim que o telescópio entrar em operação”, esclarece Lima. “Pelo acordo firmado, nos cinco primeiros anos, as imagens estarão à disposição dos pesquisadores envolvidos no projeto, no Brasil ou no exterior.”

MILHÕES DE DETRITOS NO ESPAÇO

Além de autonomia operacional, a constituição de uma estrutura própria de observação e rastreamento de lixo espacial permitirá ao Brasil ter acesso privilegiado às iniciativas internacionais que monitoram esses fragmentos, como a Rede de Vigilância Espacial dos Estados Unidos e o Centro Europeu de Operações Espaciais. Segundo Corradi, nações e instituições que colaboram com informações das redes internacionais têm acesso amplo aos dados coletados por outros países, enquanto os não colaboradores conseguem acessar apenas dados públicos.

Em boletim emitido em julho de 2024, a Agência Espacial Europeia (ESA) estimou que vagueiam pela órbita terrestre 40,5 mil detritos espaciais maiores de 10 cm, 1,1 milhão de objetos entre 1 cm e 10 cm e 130 milhões de detritos de 1 milímetro (mm) a 1 cm. Apenas 36.860 objetos, os maiores, são regularmente rastreados pelas redes de vigilância espacial e mantidos em seus catálogos.

A maioria dos fragmentos é resultante de aproximadamente 650 colisões, explosões e rompimentos gerados em artefatos espaciais, como o choque do satélite desativado russo Kosmos 2251 com o norte-americano Iridium 33, em 2009, que produziu 2 mil detritos maiores de 10 cm e milhares de fragmentos menores.

“Um objeto milimétrico viajando em velocidades que superam 20 mil quilômetros por hora pode causar danos significativos ao colidir com um satélite, um telescópio espacial ou a Estação Espacial Internacional”, diz o astrofísico Roberto Dias da Costa, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de



Invólucro do motor do foguete Delta 2, que caiu na Arábia Saudita em 2001

São Paulo (IAG-USP). “Um satélite avariado pode ter impacto significativo nas telecomunicações, na vigilância territorial ou na previsão climática.”

Para a vida na Terra, o lixo espacial ainda não gerou danos concretos. Só há conhecimento de uma pessoa atingida por fragmentos vindos do espaço, a norte-americana Lottie Williams, em janeiro de 1997, sem nenhuma consequência. “Não há registro de danos materiais significativos”, relata Costa. A maioria dos objetos perdidos no espaço, diz o professor da USP, é de tamanho reduzido, o que faz com que queimem e se desintegrem ao entrarem na atmosfera terrestre. Até hoje, os detritos maiores que não queimaram ou se fragmentaram caíram principalmente em áreas desérticas ou em oceanos. “Mas os riscos sempre existem”, adverte.

IMPACTO AMBIENTAL DESCONHECIDO

Um problema ainda não adequadamente dimensionado é o impacto no ambiente e na vida na Terra causado pela poluição do lixo que vem do espaço. “Essa é uma informação que as agências não disponibilizam”, diz o matemático Jorge Kennety Silva Formiga, pesquisador do Departamento de Engenharia Ambiental do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (ICT-Unesp), em São José dos Campos. “Sabemos que o material que chega à Terra contém titânio, alumínio, ferro, chumbo, entre outros materiais. Mas qual é o impacto ambiental no futuro e quem se responsabilizará por ele?”, indaga o professor.

O pesquisador pondera que é fácil determinar quem é o dono e responsável legal por um foguete ou satélite. Mas quando se trata de fragmentos de artefatos que explodiram ou colidiram com

outros objetos, que muitas vezes ao longo de sua trajetória voltam a se chocar com outros artefatos, não é simples estabelecer sua responsabilização.

Formiga e o matemático Denilson Paulo Souza dos Santos, chefe do Departamento de Engenharia Aeronáutica da Faculdade de Engenharia de São José da Boa Vista (FESJ) da Unesp, são coautores de um modelo matemático para determinar a trajetória dos detritos espaciais e as informações sobre a reentrada na atmosfera e o ponto de colisão com a Terra. “O modelo matemático se faz muito importante para o monitoramento dos detritos, já que muitos deles não possuem monitoramento constante pós-vida útil. [...] Uma das alternativas em que o estudo pode ser aplicado é a coleta de detrito espacial por exemplo, reduzindo, assim, os problemas com excesso de detrito nas órbitas terrestres”, escreveram em artigo publicado em 2021 no *Brazilian Journal of Development*.

A proposta da dupla é realizar a análise do ciclo de vida dos resíduos espaciais, especialmente de fragmentos de satélites. “Vamos estudar a dinâmica dos detritos depois de uma explosão ou colisão”, diz Santos. Após essa ocorrência, explica o pesquisador, forma-se uma nuvem de fragmentos. Os algoritmos em desenvolvimento vão analisar a propagação dessa nuvem, a trajetória dos objetos e, se for o caso, seu ponto de reentrada na atmosfera terrestre. “Conhecendo todo o ciclo de vida dos detritos, poderemos determinar sua origem, seu risco e os responsáveis legais pelo resíduo”, pondera Formiga.

Com o auxílio da FAPESP, os dois professores também propuseram uma estratégia de mitigação preventiva dos efeitos dos detritos espaciais baseada em manobras para a alteração da rota dos objetos. Isso se daria por meio de impulsos gerados por um canhão de laser terrestre, uma técnica proposta pelo físico norte-americano Claude Philipps em artigo publicado na revista *Acta Astronautica*, em 2014.

Formiga e colegas desenvolveram um modelo matemático que utiliza as informações sobre a trajetória dos detritos e o efeito gravitacional para calcular a propulsão necessária com o laser e os efeitos do pulso do laser no deslocamento do fragmento. O estudo resultou em uma publicação no periódico *The European Physical Journal* em 2023. O artigo demonstra que o pulso de laser pode realizar uma pequena mudança na variação da velocidade dos detritos, alterando sua rota de reentrada na atmosfera e evitando colisões. ●

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

A permeabilidade do solo

Equipamento automatizado pioneiro que mede a velocidade com que a água penetra no terreno chegará ao mercado em 2025

GUILHERME COSTA

O primeiro aparelho brasileiro a automatizar a coleta de dados hídricos do solo, criado a partir de uma parceria entre o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a Falker, companhia gaúcha de tecnologia agrícola, está programado para chegar ao mercado nacional no início de 2025. Com o auxílio de um microcomputador de baixo custo, o novo permeâmetro – nome do dispositivo usado para avaliar a condução da água em diferentes terrenos – será capaz de medir a velocidade com que a água se move no solo quando ele está encharcado, parâmetro conhecido como condutividade hidráulica saturada do solo. Um artigo científico detalhando as características e o funcionamento do aparelho foi divulgado no periódico *Journal of Hydrology*, em 2019.

Essa propriedade do solo revela sua capacidade de transmitir ou drenar água, o que é essencial para diversas atividades, entre elas o planejamento de sistemas sustentáveis de produção agrícola. Com base nessa informação, é possível ajustar parâmetros do sistema de irrigação às condições do

terreno, reduzindo o desperdício e combatendo a erosão. Saber como a água permeia o solo também é fundamental para a construção de estruturas de drenagem de estradas, estimativas de recargas de aquíferos e parâmetros para a construção de aterros sanitários e barragens, bem como para ações da Defesa Civil, como a prevenção e a contenção de deslizamentos de encostas.

“Com o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, que geram chuvas torrenciais e secas severas, o conhecimento sobre o movimento da água no solo será cada vez mais importante para planejar ações de órgãos públicos e da iniciativa privada”, diz o engenheiro-agrônomo Wenceslau Teixeira, responsável pela pesquisa na unidade Solos, da Embrapa, no Rio de Janeiro.

Uma das lacunas atuais na investigação brasileira sobre solos, sustenta o engenheiro, é o pouco conhecimento de suas propriedades hidráulicas. Ele explica que os solos do Brasil e das demais regiões tropicais, em especial os argilosos, têm um comportamento hídrico muito distinto do terreno de regiões temperadas, como os prevalentes nos Estados Unidos e na Europa. “Precisamos de dados nacionais confiáveis de forma que possamos parar de usar valores e modelos cuja calibração é feita naqueles países e que levam em conta outros tipos de solo”, enfatiza.

A maior inovação do novo permeâmetro, batizado de SoloFlux e cujo desenvolvimento teve início em 2018, é fazer a coleta automatizada e digitalizada dos dados. Hoje, para fazer a medição

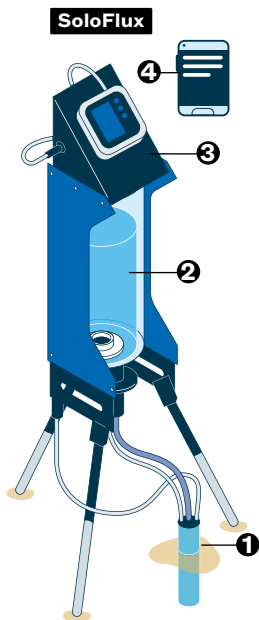
da condutividade hidráulica saturada, emprega-se um permeâmetro analógico que demanda um profissional com alta capacitação técnica para realizar a coleta manual dos dados e calcular a condutividade hidráulica. Um dos aparelhos mais empregados no mundo é o chamado permeâmetro de Guelph, modelo analógico criado na Universidade de Guelph, no Canadá, nos anos 1980. Importado, ele exige uma montagem complexa em campo, o que não ocorre com o SoloFlux.

O primeiro passo é fazer um pequeno buraco no solo, com cerca de 20 centímetros (cm) de profundidade e 6 cm de diâmetro, onde o teste será realizado. O dispositivo analógico é composto por um sistema formado por dois cilindros, um dentro do outro, de modo a manter um nível constante de água no furo. À medida que o líquido penetra no solo, o permeâmetro mede sua taxa de infiltração. As medidas são anotadas pelo técnico em um caderno durante o procedimento. Em laboratório, elas são digitalizadas e usadas para calcular a condutividade hidráulica do solo (*ver infográfico abaixo*).

“Nós simplificamos e automatizamos esse processo. Nosso permeâmetro mede o vácuo que mantém a coluna da água dentro de um único cilindro. A variação desse vácuo é equivalente à variação do nível de água, o que nos permitiu quantificar melhor a vazão do líquido no solo”, explica o engenheiro electricista Geraldo Cernicchiaro, responsável pela investigação no CBPF. Os dados são gerados em tempo real durante a medição e podem ser transmitidos por bluetooth ao aplicativo Falker Flow instalado em celular, tablet ou computador. A visualização imediata das

Medição facilitada

Como opera o permeâmetro digital e as diferenças do modelo analógico



1. Instalação

O SoloFlux vem pronto para uso. Basta estabilizá-lo, fazer um furo no solo e inserir uma sonda. Com o permeâmetro de Guelph, é preciso primeiro fazer sua montagem, inclusive dos dois cilindros, um dentro do outro, usados para a medição. Um tubo é encaixado no furo

2. Preenchimento com água

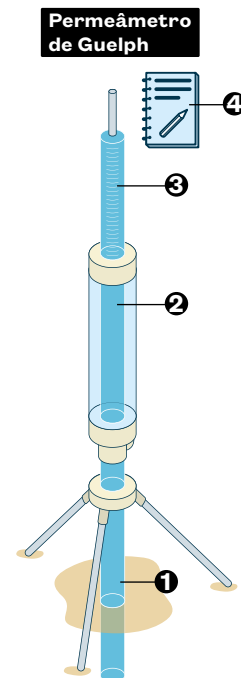
O técnico enche o cilindro do permeâmetro com água, que começa a fluir para a sonda do modelo digital (SoloFlux) ou para o tubo do aparelho analógico (permeâmetro de Guelph)

3. Medição

Quando o solo está encharcado, o dispositivo digital faz automaticamente a medição a partir do vácuo criado no cilindro. No analógico, um dos cilindros contém uma marcação em milímetros. Com um cronômetro, o técnico controla a variação do nível da água no cilindro

4. Obtenção dos dados

O SoloFlux mostra o resultado digitalmente por meio de um aplicativo no celular ou computador. Com o permeâmetro analógico, os dados coletados em campo são digitalizados em laboratório e usados para calcular a condutividade hidráulica do solo



informações em campo permitirá, se for preciso, refazer a coleta ou ampliar a amostragem para outros pontos do terreno.

A possibilidade de expandir a área analisada em uma única ida a campo é um aspecto importante permitido pela inovação, segundo o engenheiro-agrônomo Claudinei Fonseca Souza, especialista em irrigação e drenagem: “Se hoje gastamos duas horas para fazer a medição em um único ponto, com o novo permeâmetro, aparentemente mais rápido e fácil de operar, poderemos coletar mais amostras no mesmo espaço de tempo. Como o solo tem uma variabilidade espacial de atributos bastante elevada, nada garante que a leitura feita em determinado ponto seja a mesma a 10 metros de distância dele”. Professor do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Souza não participou do desenvolvimento do SoloFlux.



Técnicos testam permeâmetro digital em campo

Além da agilidade e da possibilidade de ampliar o escopo das medições, a leitura dos dados em campo também poderá diminuir os custos da operação. No modelo analógico, o técnico precisa voltar ao laboratório para digitalizar e processar as informações. Se houver algum erro na coleta, o trabalho de campo poderá ser perdido, obrigando a uma nova medição. Nos tempos da graduação, recorda-se Souza, ao realizar uma medida com um permeâmetro convencional, ele se deparou com um buraco de tatu que o obrigou a repetir o procedimento. “Imagine se há um problema na coleta de dados que você só percebe quando volta ao laboratório? E se o laboratório não fica na mesma cidade? Trabalho e dinheiro são desperdiçados”, pondera.

Marcio Albuquerque, CEO da Falker, avalia que a facilidade de manuseio do novo equipamento permitirá a ampliação de seu uso. “Para que o aparelho tenha valor comercial e escala de uso, o ideal é que apresente rapidamente o resultado das medições”, comenta. Segundo ele, o aparelho tem um grau de ineditismo mundial. “Nas nossas pesquisas, identificamos apenas um equipamento, na Europa, que está entre estágio de pesquisa e produto, para aplicação em saneamento.”

Fundada em 2005, a Falker fabrica dispositivos para a agricultura de precisão. No momento, a empresa realiza ensaios do novo permeâmetro com agricultores de uma cooperativa no Paraná. “Esse nosso parceiro está testando o dispositivo em uma aplicação interessante voltada à conservação do solo”, destaca Albuquerque.

O permeâmetro digital é a primeira inovação criada nos laboratórios do CBPF que chega ao

mercado. O centro é mais voltado para áreas de pesquisa básica, mas tem feito ultimamente um esforço para que suas investigações se desdobrem em inovações. Junto com a Embrapa, o centro é o detentor da patente sobre o dispositivo eletrônico que digitaliza o processo de medida da condutividade hidráulica saturada e o algoritmo correspondente. Já o desenvolvimento do novo sistema de medição, diferente do usado no permeâmetro de Guelph, foi realizado em parceria com a Falker e é amparado por segredo industrial.

“A criação desse novo permeâmetro é uma aplicação direta do conceito de inovação aberta. Tudo começa com uma investigação em um centro de pesquisa e depois é estabelecida uma parceria com uma empresa privada que participa do desenvolvimento e viabiliza a comercialização da tecnologia”, explica a química Gizelle Bedendo, responsável pelo setor de Transferência de Tecnologia da Embrapa Solos.

No acordo firmado entre os três parceiros, foi estabelecida uma taxa a título de *royalties* a ser paga pela Falker à Embrapa e ao CBPF. Uma cláusula determina a revisão desse valor dois anos após o lançamento comercial do equipamento. Segundo Albuquerque, o SoloFlux custará cerca de 50% do valor de permeâmetros analógicos à venda no mercado. O equipamento da Guelph, por exemplo, custa em torno de R\$ 70 mil. A empresa tem planos para exportar o permeâmetro digital, o que está previsto para ocorrer ainda no primeiro semestre de 2025. ●

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

Transparência com radiação

Pesquisadora explica de que forma radioisótopos podem ajudar a rastrear produtos como madeira, carne, soja e café

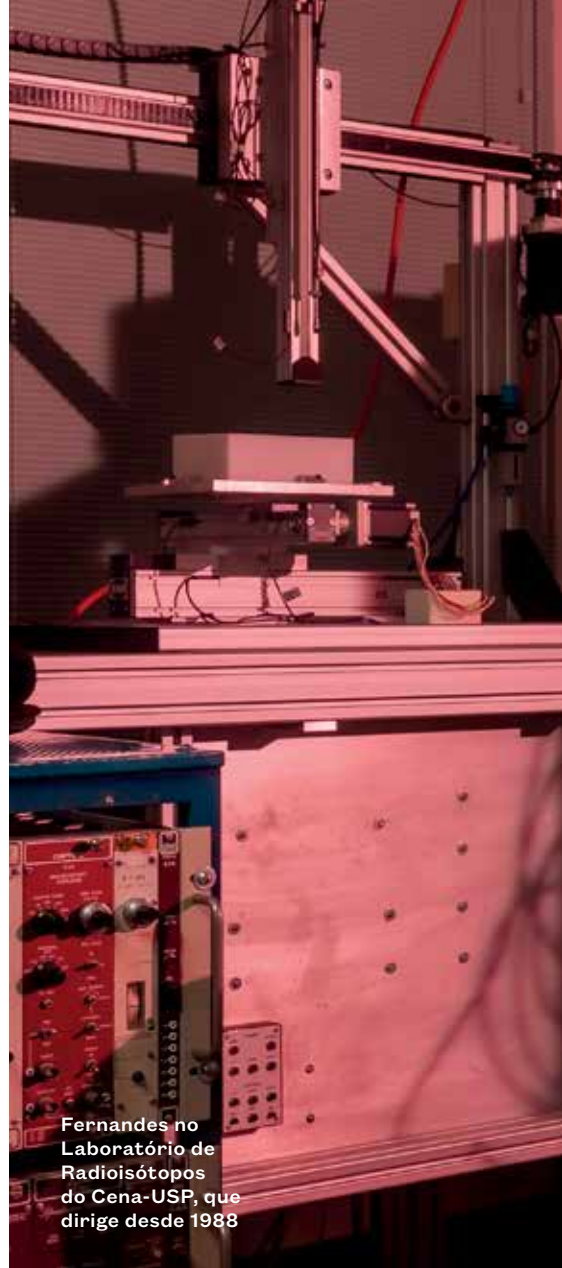
FRANCES JONES

Como comprovar que determinada madeira não tem origem ilegal analisando apenas os elementos químicos da amostra? E que um café é de fato orgânico ou que uma soja não é oriunda de área de desmatamento? A engenheira-agrônoma Elisabete Aparecida De Nadai Fernandes, responsável pelo Laboratório de Radioisótopos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (Cena-USP), em Piracicaba, trabalha há décadas com uma técnica baseada em princípios da física nuclear para analisar alimentos e plantas e busca responder a essas questões.

Um de seus projetos, apoiado pela FAPESP, visa a desenvolver meios para autenticar, a partir da radiação nuclear, a origem de *commodities* brasileiras com base na medição direta de seus elementos químicos. O método poderá se tornar uma ferramenta no combate a fraudes. “Uma coisa é dizer que uma amostra não veio de área desmatada. Outra é demonstrar isso apresentando características intrínsecas do material, que pode variar conforme sua origem”, diz a pesquisadora.

No ano em que completa 50 anos de formada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), da USP, Fernandes, de 72 anos, tem o que comemorar. Em março, foi agraciada com o George Hevesy Medal Award 2024, principal prêmio internacional em química nuclear e radioanalítica. Em setembro, recebeu o Prêmio Fundação Bunge na categoria Vida e Obra, com o tema “Rastreabilidade na produção de alimentos: Segurança alimentar, capacitação e redução de assimetrias regionais”.

Nessa entrevista, a pesquisadora detalha como funciona a técnica de análise por ativação neutrônica com a qual trabalha, originada em uma descoberta de 1936 do físico-químico húngaro George Hevesy, laureado com o Nobel de Química em 1943, e da física germano-dinamarquesa Hilde Levi. Eles verificaram que um tipo de terras-raras ficava radioativo após exposto a uma fonte de nêutrons. Fernandes relembra sua experiência ao examinar alimentos contaminados pela radioatividade de Chernobyl e o acidente com céσιο-137, ocorrido em Goiânia, ambos nos anos 1980.



Fernandes no Laboratório de Radioisótopos do Cena-USP, que dirige desde 1988

A tecnologia com a qual a senhora trabalha pode promover a transparência nas cadeias produtivas brasileiras de *commodities* agrícolas de exportação?

A análise por ativação neutrônica permite determinar os elementos químicos presentes em uma amostra, seja ela do reino animal, vegetal ou mineral, e, com isso, obter a assinatura química de cada uma delas. Aplicando quimiometria [ciência que interpreta medidas de um sistema ou processo químico] e métodos de inteligência artificial a esses dados da composição química, conseguimos distinguir as amostras. Um exemplo recente é um projeto financiado pelo CNPq [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico] para a rastre-



FOTO KEINY ANDRADE

bilidade da carne bovina no Brasil. Por meio da análise por ativação neutrônica, diferenciamos carnes oriundas das cinco regiões brasileiras, do Paraguai, do Uruguai, da Argentina e da Austrália. Pela composição química e por meio do uso de inteligência artificial, foi possível diferenciar com quase 100% de acurácia a origem dessas carnes.

Como funciona a técnica de análise por ativação neutrônica?

Consiste em duas etapas fundamentais. Uma é a ativação de uma amostra do material a ser analisado pela irradiação com nêutrons, produzindo radionúclídeos, estados excitados de núclídeos estáveis [núcleos dos átomos dos diferentes elementos químicos presentes], que tam-

bém são chamados isótopos radioativos ou radioisótopos. Para isso, a amostra é exposta dentro de um reator nuclear a um bombardeio de nêutrons, o que provoca a formação de núcleos radioativos nos átomos do material exposto. Para voltar ao seu estado de equilíbrio, os átomos emitem radiação. Aí entra a segunda etapa da análise, quando é feita a detecção da radiação característica desses núcleos ativados, ao passarem para o estado menos energético. A atividade radioativa e o número de radionúclídeos da amostra diminuem gradativamente. É o chamado decaimento radioativo – e cada elemento químico apresenta diferenças nesse processo. Com isso, determinamos os elementos químicos de uma amostra, sem o seu processamento químico

efetivo. Usamos apenas princípios de física nuclear.

A amostra precisa de alguma preparação?

Sim. É preciso levá-la a um estado de pulverização. Ela passa primeiro por uma secagem, em estufa ou por liofilização [processo de desidratação por sublimação]. Depois tem que ser transformada em um pó. Há moedores para fazer a moagem com a granulometria desejada. A amostra em pó é colocada em cápsulas de polietileno ultrapuro. Em seguida, é enviada ao reator nuclear de pesquisas do Ipen [Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares], em São Paulo. Lá, é irradiada com nêutrons, e os núclídeos dessa amostra se transformam – passam para o tal estado excitado. Após dois ou três dias, as amostras são liberadas e voltam ao Cena.

E o que acontece lá?

Ao retornar ao estado fundamental, as amostras emitem radiações características dos elementos químicos presentes nela. Um espectrômetro detecta a radiação gama e transforma esses dados em sinais elétricos que geram um espectro de contagens em função da energia emitida. Dependendo da matriz da amostra irradiada, é possível determinar até 40 elementos químicos de uma vez. A tradução, ou melhor, a deconvolução dos espectros gama e o cálculo das frações de massa dos elementos químicos são feitos por um pacote computacional criado pelo engenheiro-agrônomo Márcio Arruda Bacchi. Trata-se de uma ferramenta robusta, especialmente pelo fato de não necessitar da dissolução da amostra, como ocorre com o método mais usual. Essa é uma das vantagens da análise por ativação neutrônica. Para se fazer a dissolução, usam-se ácidos, mas nem sempre se consegue identificar na solução resultante todos os elementos químicos presentes na amostra original, pois parte deles foi destruída pelos ácidos.

No caso da carne bovina, como é feita a diferenciação? Tem algum elemento químico na carne argentina que não tem no produto brasileiro?

Os elementos químicos, em sua maioria, são os mesmos na carne daqui e de lá, mas há os que variam conforme o local

onde o animal foi criado. Também diferem conforme a raça, a alimentação, o bem-estar durante a vida, a forma de abate. Tudo isso fica, de alguma forma, registrado na composição química da carne. O *fingerprint* [assinatura química] daquela amostra vai variar segundo essas características. A discriminação não se baseia apenas nos teores individuais dos elementos, mas nas relações entre eles, o que torna o *fingerprint* uma ferramenta poderosa para determinar a origem da carne. Ao longo do nosso projeto, publicaremos os elementos que caracterizam cada região e os modelos que permitem identificar a origem das amostras por meio das relações entre esses elementos químicos.

Há alguma desvantagem na técnica de análise por ativação neutrônica?

Não posso dizer que seja desvantagem, mas há a necessidade de um reator nuclear para fazer a irradiação. Como não temos esse equipamento no Cena, recorreremos ao Ipen. Contudo, ela apresenta méritos e elevado rigor metrológico. Em 2001, participei de um grupo de trabalho criado em Paris para demonstrar as características de medição em estudos-piloto e comparações promovidos pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas [BIPM] e outras entidades. Seis anos depois, a técnica foi reconhecida como método primário de medição pelo Comitê Consultivo para a Quantidade da Matéria – Metrologia em Química e Biologia [CCQM] do BIPM. É a mais alta categoria para um método analítico.

Quando começou a trabalhar com essa metodologia?

Há 42 anos. Em 1982, iniciamos um projeto para lidar com um problema da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, quando a colheita dela era ainda feita manualmente e com auxílio de pás carregadeiras. O método foi concebido para detectar a presença de resíduos do solo na cana processada pelas usinas. Esses resíduos acabavam danificando o maquinário. Fizemos um processo de rastreabilidade e, utilizando a técnica de análise por ativação neutrônica, conseguimos determinar o quanto havia de resíduo de solo na amostra. O escândio [metal de baixa dureza] foi escolhido como traçador de solo na cana-de-açúcar. Ele estava

presente nos 10 tipos distintos de solo em que a variedade havia sido plantada, mas não na cana livre de impurezas. Queríamos investigar até onde esses resíduos poderiam chegar e o impacto que teriam. A rastreabilidade mostrou-se adequada para avaliar o teor de terra aderida à cana, bem como a eficiência dos processos de lavagem. Anos depois, em 1999, com uma tese de doutorado sobre metrologia dos cafés brasileiros, conseguimos diferenciar cafés advindos de produção orgânica, da produção convencional e do processo de transição [entre os dois sistemas] pelo *fingerprint* das amostras. Césio, cobalto e rubídio foram os elementos químicos que se destacaram como traçadores dessa diferenciação. Ora estavam mais concentrados em um sistema, ora em outro.

Quem mais trabalha no país com essa técnica?

Há pesquisadores no Ipen e no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear [CDTN], em Belo Horizonte, mas muitos já se aposentaram. Em 2023, iniciei um projeto temático financiado pela FAPESP focado na transparência e na rastreabilidade da cadeia produtiva de *commodities*

brasileiras com base na medição direta de isótopos e elementos químicos. Há na equipe pesquisadores do Ipen, da Embrapa Pecuária Sudeste, do Inpa [Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia] e de outros cinco países: Canadá, Áustria, Holanda, Bélgica e República Tcheca. As *commodities* envolvidas são a carne bovina, a madeira e a soja. Já temos um ano de projeto e conseguimos fazer algumas análises. Um artigo, com foco no perfil elementar de espécies de ipê para auxiliar no rastreamento de madeira da floresta amazônica, acaba de ser publicado na revista *Trees, Forests and People*. Apesar de todo mundo conhecer os diferentes tipos de ipê, o roxo, o amarelo, o branco etc., não se sabia que, por conta das cores, havia variações na composição química da madeira. Muito menos que há variações entre as espécies de ipê-amarelo existentes. Analisamos árvores de duas espécies e a composição química variou. É incrível. Esse primeiro trabalho com amostras coletadas na Amazônia evidenciou que cada espécie de árvore nativa tem a sua assinatura química. A partir desse trabalho, estamos elaborando um banco de dados com o *fingerprint* das diferentes espécies arbóreas da Amazônia. Esse banco será disponibilizado em publicações, especialmente, e de outras formas, seguindo a política de confidencialidade.

Como participou da análise de alimentos contaminados pelo desastre de Chernobyl?

O acidente nuclear de Chernobyl [na Ucrânia, então parte da antiga União Soviética] aconteceu em abril de 1986, quando eu fazia um curso em Viena. Na Europa, se formaram nuvens de material radioativo. Grande quantidade de leite em pó oriundo de países como França, Áustria e Suécia foi contaminada e deveria ter sido descartada. Mas parte do produto ia para a Irlanda, onde recebia nova embalagem e era exportado. Esse leite chegou ao Brasil. De volta a Piracicaba, trabalhando com técnicas analíticas capazes de fazer a detecção de radionuclídeos, comprei o leite importado, pois tinha filhos pequenos na época. Ele era vendido no supermercado por um preço inferior. Para nossa tristeza, havia nele radionuclídeos liberados na precipitação da nuvem nuclear. Ras-



O acidente com césio-137 ocorrido em Goiânia colocou o Brasil na lista de países contaminados com radioatividade

treamos esses produtos e descobrimos que eram contaminados pela radiação de Chernobyl.

O que aconteceu a partir dessa descoberta?

Nada. Meu orientador de doutorado, Epaminondas de Barros Ferraz, hoje com 89 anos, ligou para um ministro na época, que prefiro não nomear, e avisou o que estava acontecendo. Com a notícia da possível contaminação, diretores de escolas infantis, públicas e creches traziam sacos com leite em pó aqui no Cena para análise. Passei várias noites analisando as amostras. Todo aquele leite estava contaminado. O professor Epaminondas alertou as autoridades, mas o produto já estava no mercado – e sua venda não foi proibida. Não chegamos a nenhuma conclusão sobre os efeitos do leite contaminado no organismo das crianças que o consumiram.

Seu grupo atuou no caso do vazamento de céσιο-137 em Goiânia.

Sim, o maior acidente radioativo do Brasil aconteceu em setembro de 1987. Catadores de materiais recicláveis abriram inadvertidamente uma fonte de céσιο de uma clínica de radioterapia abandonada. Mais de 200 pessoas entraram em contato com o pó branco da cápsula. O professor Epaminondas foi convocado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Chegando ao local, observou que crianças pegavam manga de uma árvore sob a qual a cápsula havia sido quebrada. Prevendo o risco a que o público estava exposto, ele solicitou que cercassem a área e coletassem amostras de folhas e frutos daquela mangueira. Eu analisei esse material no Cena. Quando colocamos a manga no detector de radiação gama, se viu um fotopico enorme correspondente ao céσιο-137. Chovia muito quando a cápsula foi manipulada. Parte do material que saiu da cápsula escorreu sobre o solo, chegando à raiz. A planta absorveu e, pelo fato de uma mangueira como aquela ter uma evapotranspiração enorme, circulou muita água contaminada. O céσιο saía pelas folhas, subia na atmosfera, depositava de novo nas folhas e nas mangas. Até o professor Epaminondas chegar ao local do acidente, muita gente pode ter consumido os frutos.



O número de pesquisadoras no Cena é reduzidíssimo. Somos apenas cinco mulheres em um grupo de 29 pessoas

Que outras consequências o acidente causou?

Afetou o país, uma vez que o Brasil entrou para uma lista de países contaminados com radioatividade. O radionuclídeo céσιο-137 tem uma meia-vida física de 30 anos. Para que seja considerado não mais presente na natureza, são recomendadas cinco meias-vidas. Ou seja, 150 anos.

O Brasil, portanto, ainda está nessa lista.

Sim, vai figurar nela até meados do próximo século, uma vez que só decorreram até agora 37 anos. O setor de exportação foi muito afetado, porque os países compradores, independentemente de o episódio de ter sido limitado a uma região brasileira, podem exigir um certificado, um laudo de não radioatividade. A primeira *commodity* de exportação a ser questionada foi o café. Depois, o açúcar. As *commodities* brasileiras tiveram que se submeter a esses requisitos do comércio exterior. Já elaboramos mais de 100 mil certificados. As receitas provenientes desses serviços vêm propiciando investimentos em infraestrutura laboratorial, equipamentos e bolsas para alunos de graduação e pós-graduação, sendo

relevantes para financiar atividades de pesquisa e desenvolvimento em técnicas analíticas nucleares, metrologia e inteligência artificial aplicadas à agricultura e a estudos ambientais. Continuamos a emitir esses certificados, uma vez que o Brasil permanece na relação de países atingidos por radiação.

Os produtos passam pelo Cena apenas para certificar a possível radioatividade?

Na documentação de exportação também estão exigindo um certificado de origem. Algumas instituições podem emití-lo baseado em documentos, que são passíveis de fraude. Por isso, surgiu o projeto de rastreabilidade das *commodities* com ativação neutrônica. Uma coisa é você dizer que aquela amostra não veio de uma área desmatada. Outra é provar a partir de alguma característica intrínseca do material que ela realmente não veio. Somos pioneiros no país nessa certificação.

No último ano a senhora recebeu vários prêmios. O que sentiu?

É de respirar fundo, pois não estou acostumada. Sempre trabalhei timidamente e sem grande visibilidade, publicando, apresentando trabalhos no exterior, fazendo estágios. Durante a solenidade de formatura de 50 anos na Esalq, meus colegas me disseram: “Você sempre foi a melhor aluna da turma”. Então, acordei: “Acho que mereço”. Tenho mais contatos e reconhecimento fora do que no país.

Por quê?

Dirijo esse laboratório desde 1988, quando o professor Epaminondas se aposentou. Enquanto era ele, tudo ia bem. Mas depois passou a ser uma mulher a responsável. A luta é árdua para você se manter e mostrar a seus colegas que você é capacitada, independentemente do sexo. Tem sido assim até hoje. O número de pesquisadoras no Cena é reduzidíssimo. São cinco docentes mulheres em um grupo de 29. É uma coisa que vem de longe e, infelizmente, persiste.

Com essas premiações, meninas e jovens pesquisadoras podem se inspirar no seu exemplo.

Exatamente. Minhas alunas me dizem isso. Um dia a gente chega lá. ●

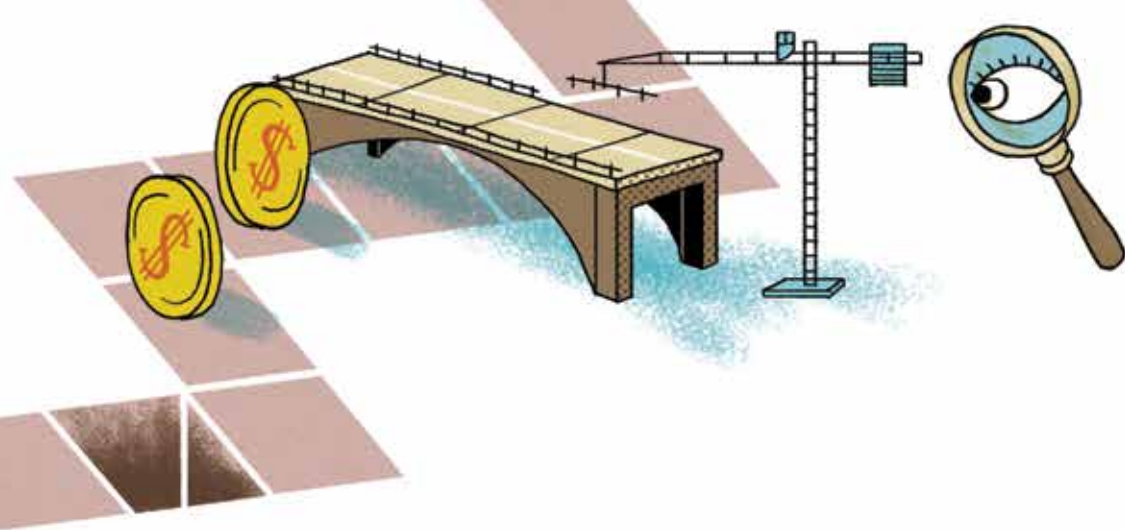


O caminho do dinheiro

No marco dos 100 anos do Tribunal de Contas do Estado de São Paulo, pesquisadores explicam a atuação desse órgão e sugerem medidas para aumentar sua eficiência

CHRISTINA QUEIROZ — ilustrações DANIEL ALMEIDA





Criado há 100 anos com a proposta de fiscalizar o uso de recursos públicos, o Tribunal de Contas do Estado de São Paulo (TCE-SP) tem sua história impactada pelas transformações do Estado brasileiro nesse período. Instituído na Primeira República (1889-1930), o órgão foi suspenso na Era Vargas (1930-1945) e sofreu reformas na ditadura militar (1964-1985) e na Constituição de 1988. Ao longo do tempo, a corte teve suas atribuições ampliadas, de forma que, hoje, também é responsável por avaliar a eficiência da gestão estatal, buscando estratégias para envolver a sociedade no controle de gastos.

Com o objetivo de resgatar a trajetória do órgão, pesquisa coordenada pelo jurista José Reinaldo de Lima Lopes e pela historiadora Íris Kantor, ambos da Universidade de São Paulo (USP), e pelo jurista Ariel Engel Pessa, da Universidade Presbiteriana Mackenzie, analisou documentos armazenados no acervo do TCE-SP e no Arquivo Público do Estado de São Paulo. O estudo, que contou com o trabalho de uma equipe de 21 pessoas, entre estagiários do tribunal, alunos de mestrado e doutorado da USP, acaba de ser publicado no livro *A história do Tribunal de Contas do Estado de São Paulo: Primeiro centenário – 1924-2024* (Edusp, 2024).

“Nosso primeiro desafio foi organizar o acervo do TCE-SP”, relata Kantor. De acordo com a historiadora, foram catalogadas mais de 2 mil fotos que estavam sem identificação e uma vasta documentação contendo informações sobre casos, decisões jurídicas e fundamentação legislativa. Além do trabalho com fontes primárias, o estudo abarcou entrevistas com seis conselheiros para levantar informações sobre a história recente do órgão.

Atualmente, o Brasil conta com 31 tribunais de contas, incluindo o da União, os dos estados (em 26 capitais e no Distrito Federal), dos municípios do estado (existentes na Bahia, em Goiás

e no Pará) e os tribunais de contas do município, em São Paulo e no Rio de Janeiro. Os tribunais dos municípios do estado são vinculados aos órgãos estaduais, enquanto os tribunais de contas do município funcionam de forma autônoma e independente dessas cortes.

O jurista Guilherme Jardim Jurksaitis, da Fundação Getúlio Vargas em São Paulo (FGV-SP), esclarece que a função principal desses órgãos é realizar o controle de recursos e contas públicas, incluindo contratações, gastos com recursos humanos e parcerias com entidades do terceiro setor, entre outras despesas. “Os tribunais fiscalizam como o Estado gasta o dinheiro que recebe dos contribuintes”, reforça Jurksaitis, que também é assessor técnico-procurador no TCE-SP.

Apesar de hoje a atuação dos tribunais ser abrangente, sua função nos primórdios era restrita à análise contábil. Esse foi o caso do TCE-SP, criado em 1924 por Washington Luís (1869-1957), que foi governador do estado de 1920 a 1924. O projeto tinha como referência instituições similares que funcionavam em países europeus e o Tribunal de Contas da União (TCU), estabelecido em 1891. Apenas seis anos depois de sua criação, em 1930, o TCE-SP foi extinto por meio de um decreto estadual, mas voltou a funcionar em 1947.

Entre as décadas de 1950 e 1960, o TCE-SP expandiu suas funções, acompanhando o desenvolvimento econômico do estado e a necessidade de fiscalizar grandes obras públicas. Nesse período, entre outras atividades, o órgão aprovou a desapropriação de terrenos para a expansão do *campus* da USP, além de ter fiscalizado o processo de reforma e a contratação de novos professores. Outro aspecto revelado pelo estudo é a ligação entre o TCE-SP e a Faculdade de Direito daquela universidade. Cerca de 65% dos conselheiros que passaram pelo tribunal nos últimos 100 anos foram formados nessa faculdade, como relata Pessa. Com a criação da FAPESP, em 1960, o órgão também passou a fiscalizar as contas da Fundação.

Em 1968, durante a ditadura militar, foi instituído o Tribunal de Contas do Município de São Paulo (TCM-SP), que assumiu a responsabilidade de fiscalizar as contas da capital paulista. Naquele momento, o TCE-SP nomeou conselheiros e funcionários com especialização em finanças públicas para ampliar a sua qualificação técnica. Segundo Pesso, como órgão governamental, o TCE-SP inicialmente manteve adesão ao regime. Essa postura começou a mudar na década de 1970, quando o movimento de contestação à ditadura ganhou força na sociedade e o tribunal incorporou posturas mais críticas ao governo.

Com a Constituição de 1988, os tribunais de contas tiveram suas competências ampliadas para além da análise contábil. “Essa mudança representou a transição de uma postura reativa para a atuação proativa desses órgãos, que passaram a exercer o controle prévio, concomitante e posterior de gastos públicos”, explica Pesso, do Mackenzie.

De acordo com Ursula Dias Peres, do Centro de Estudos da Metrópole (CEM) da USP, um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) apoiados pela FAPESP, antes da implementação do Plano Real, em 1993, a instabilidade monetária e o fato de os documentos contábeis serem físicos tornavam o controle orçamentário pouco eficaz. Segundo a pesquisadora, essa situação começou a mudar no ano 2000, a partir da promulgação da Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF). “A legislação impôs limites para gastos com pessoal, endividamentos e a concessão de benefícios fiscais”, acrescenta Lopes, da USP. Além disso, a LRF passou a exigir a publicação de informações sobre a execução orçamentária e financeira de entes públicos.

Outra medida que impactou o trabalho dos tribunais de contas em todo o Brasil foi a Lei nº 12.527, sancionada em 2011, conhecida como Lei de Acesso à Informação (LAI). A legislação determina que os órgãos públicos devem divulgar dados de forma proativa e responder a solicitações da sociedade. Para adequar-se a ela, o TCE-SP, por exemplo, criou o Serviço de Informações ao Cidadão, que atende a demandas de acesso à informação, e elaborou um portal da transparência, para disponibilizar dados sobre suas atividades.

Com pesquisas sobre orçamento e governança pública desde 2010, a economista Fernanda Filgueiras Sauerbronn, coordenadora do Programa de Pós-graduação em Ciências Contábeis da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), observa que, embora a LAI garanta transparência no acesso a dados orçamentários, o controle deve abarcar não apenas a disponibilidade de informa-


ções, como também estratégias para mobilizar a sociedade em atividades de fiscalização. “As leis por si só não asseguram transparência no uso do dinheiro”, argumenta. Dentre essas medidas, ela menciona a realização de cursos por parte dos próprios tribunais para mostrar à população como utilizar a LAI, elaborar pedidos de informação e acompanhar as respostas de órgãos públicos. Também é preciso, segundo a pesquisadora, tornar os portais da transparência mais intuitivos, por meio de linguagem acessível e inclusão de recursos visuais, como gráficos e tabelas para facilitar a compreensão dos dados.

Já nos anos 2000, soluções tecnológicas viabilizaram o desenvolvimento de sistemas para automatizar tarefas do controle de gastos que antes eram feitas manualmente, conforme Peres. Ela acrescenta que a inteligência artificial (IA) também se tornou indispensável à modernização de auditorias. Esses programas permitem, por exemplo, cruzar informações financeiras e contratuais por meio de palavras-chave e informações numéricas, agilizando o mapeamento de receitas, contratos e licitações. “A IA destaca dados atípicos e facilita o rastreamento de irregularidades, tornando a auditoria mais precisa”, afirma a pesquisadora.


Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos, os tribunais de contas enfrentam o desafio de evitar que análises técnicas elaboradas pelo corpo de auditores sejam impactadas por decisões políticas. “Governadores e deputados têm grande influência na escolha dos conselheiros. Essas vinculações podem afetar decisões envolvendo a aprovação ou reprovação de contas públicas”, alerta Peres. Sauerbronn concorda e lembra, inclusive, que em 2021 cinco conselheiros do Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro (TCE-RJ) foram afastados por suspeita de corrupção. “Nesse período, os dois conselheiros que não estavam envolvidos na denúncia eram servidores de carreira”, comenta. “Para que os tribunais sejam independentes, um dos caminhos é que os cargos de conselheiros sejam ocupados por profissionais concursados.” De acordo com a pesquisadora da UFRJ, tribunais de várias partes do Brasil têm se mobilizado nessa direção. Órgãos de estados como Ceará, Mato Grosso e Espírito Santo começaram a realizar os primeiros concursos públicos para as vagas de conselheiro há cerca de 10 anos.

Outra limitação ao trabalho de tribunais de contas, segundo Sauerbronn, são as emendas parlamentares. Por meio delas, deputados e senadores influenciam a alocação de recursos públicos, em função de compromissos assumidos com estados, municípios e instituições durante o mandato. “Nos últimos 10 anos, as emendas têm alterado a dinâmica de controle do orçamento público”,





Dados dos tribunais de contas subsidiam o trabalho de pesquisadores e de organizações da sociedade civil



avalia a economista. Isso acontece, segundo Peres, porque há uma falta de clareza sobre como os recursos de emendas devem ser auditados. Os tribunais de contas são responsáveis por fiscalizar a contabilidade e a efetividade de programas, entidades e fundos governamentais. Por sua vez, a equipe de auditores estabelece um tema ou iniciativa a ser avaliada, elaborando um plano de trabalho que inclui a definição do objetivo, das questões de auditoria, dos critérios de avaliação e procedimentos de coleta e análise de dados. Essa etapa abrange a avaliação de documentos como leis, planos governamentais, relatórios de auditorias anteriores e estudos acadêmicos.

Em relação às emendas parlamentares, não há uma lei específica que defina como podem ser utilizadas, o que pode favorecer o desvio de recursos. “É preciso criar critérios objetivos para regulamentar o destino das emendas”, defende a pesquisadora Peres, do CEM-USP. Por causa desse problema, em agosto de 2024, o Supremo Tribunal Federal (STF) determinou a suspensão temporária da execução de emendas parlamentares. A medida permanecerá em vigor até que o Congresso Nacional estabeleça mecanismos para assegurar um controle efetivo dos recursos liberados a partir de emendas.

“Apesar de desafios e problemas envolvendo interferências políticas na fiscalização de contas públicas, os tribunais de contas desempenham papel cada vez mais ativo no combate à corrupção e na detecção de desvios de recursos ao ampliar o acesso à informação e endurecer regras de fiscalização”, afirma Peres. Ela explica que os dados fornecidos por esses órgãos também subsidiam o trabalho de organizações da sociedade civil, como a Transparência Brasil e a Transparência Internacional, dedicadas a fiscalizar a gestão pública. Além disso, as informações são utilizadas em pesquisas científicas, a exemplo de dois trabalhos recentes elaborados por Peres.

Em estudo de 2022, a pesquisadora analisou a atuação de 11 tribunais de contas estaduais do país na definição de gastos educacionais. Um dos

achados da pesquisa é que esses órgãos geram desigualdades no financiamento da educação ao introduzir mudanças em diretrizes federais. Isso acontece, por exemplo, quando os estados adicionam novas regras às normas federais, criando camadas extras de regulamentação. Nesse sentido, Peres menciona o caso do TCE de Sergipe que, ao regulamentar as despesas consideradas como Manutenção e Desenvolvimento do Ensino (MDE), atendeu às determinações da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), mas adicionou gastos que inicialmente não eram considerados pela legislação. Entre eles está o pagamento de entidades comunitárias e filantrópicas conveniadas com o setor público e a realização de concursos para professores e pessoal administrativo.

Já em pesquisa concluída em 2024 com dados de diferentes relatórios produzidos pelo TCM-SP, Peres identificou que a cidade de São Paulo acumulou um saldo de caixa de quase R\$ 25 bilhões, entre 2014 e 2023. O aumento de tributos, como o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) e o Imposto sobre Serviços (ISS), assim como a reforma previdenciária de servidores municipais contribuíram para a formação dessa reserva. “O valor elevado em caixa também indica que recursos públicos estão sendo subutilizados, limitando a formulação e o alcance de políticas públicas no município”, analisa Peres.

Por fim, Jurksaitis destaca que os tribunais de contas funcionam como repositórios de informações sobre práticas da administração pública. “Pelo menos uma vez ao ano, o TCE-SP, por exemplo, realiza visitas presenciais nas mais de 3 mil entidades que fiscaliza, produzindo diagnósticos e emitindo alertas que podem subsidiar intervenções legislativas e evitar irregularidades”, conclui. ●

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

A arte da loucura



“A música já foi ensaiada neste hospício, onde tivemos quatro ou cinco artistas. [...] A música me parece um meio aproveitável no tratamento da loucura, e ele desde muitos anos foi empregado na Itália, como meio curativo das afecções mentais. Em um país onde as belas-artes são geralmente cultivadas, esse recurso necessariamente devia ser lembrado pelos médicos encarregados da direção dos alienados.”

O relato acima, de 22 de julho de 1856, é do médico Manuel José Barbosa, diretor do Hospício de Pedro II, a primeira instituição psiquiátrica da América Latina. Fundado em 1852, o manicômio funcionou até 1944 onde hoje se encontra o *campus* da Praia Vermelha da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), no bairro de Botafogo. Desde o primeiro ano, atividades como a leitura, a escrita, o desenho e a montagem de espetáculos teatrais foram oferecidas aos internos. O estabelecimento disponibilizava também oficinas de sapataria, alfaiataria, marcenaria, floricultura e de desfiar estopa, em consonância com as práticas do alienismo francês, inaugurado pelo médico Philippe Pinel (1745-1827), considerado o fundador da moderna psiquiatria.

A presença das manifestações artísticas no antigo hospício foi objeto de investigação da psicanalista Cristiana Facchinetti, professora do Programa de Pós-graduação de História das Ciências e da Saúde da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Segundo a pesquisadora, as narrativas sobre a arte produzida em manicômios no Brasil costumam se concentrar no período a partir da primeira metade do século XX, quando médicos como Osório Cesar (1895-1979) e Nise da Silveira (1905-1999) passaram a dar atenção a essas pro-



duções, reconhecendo seu valor terapêutico e estético. Ambos defendiam uma abordagem não agressiva no tratamento psiquiátrico, através da criação de ateliês de arte para os pacientes.

Na pesquisa, Facchinetti utilizou fontes como periódicos científicos e jornais diários disponíveis na Hemeroteca Digital da Biblioteca Nacional. “Os médicos brasileiros que fizeram estágio em hospitais psiquiátricos europeus naquela época passaram a considerar o material produzido pelos pacientes para fins de observação e de diagnóstico. O Brasil estava em sintonia com as teorias que embasaram a medicina mental que circulavam no Ocidente, embora o país não tenha feito um serviço museológico de guarda dessa documentação visual”, afirma a psicanalista.

De acordo com Facchinetti, o Hospício de Pedro II, posteriormente renomeado Hospício Nacional de Alienados (HNA), não só estimulava a produção artística dos pacientes, como também a expunha. Em 1892, na então recém-estabelecida República, uma lei determinou uma exibição anual, dentro da própria instituição, do material produzido pelos chamados “alienados”. A arte dos internos passou a chamar a atenção da imprensa e atraiu a curiosidade de pessoas como o escritor Machado de Assis (1839-1908), que publicou no jornal *A Semana*, em 1895, a crônica “Sobre uma exposição dos trabalhos realizados pelos internos do Hospício Nacional de Alienados”.

Foi somente no século XX que a arte produzida por pacientes psiquiátricos ultrapassou as grades dos manicômios e passou a ser exibida em galerias e museus do país, informa a historiadora da arte Kaira M. Cabañas, diretora associada para Programas Acadêmicos e Publicações no Center for Advanced Study in the Visual Arts, na National Gallery of Art, em Washington, nos

Acima, obra sem título e sem data de Aurora Cursino dos Santos, e, na página ao lado, Escola Livre de Artes Plásticas do Hospital Psiquiátrico do Juquery, nos anos 1950

Estados Unidos. No ano passado, a pesquisadora norte-americana lançou no Brasil *Aprender com a loucura: Modernismo brasileiro e arte contemporânea global* (WMF Martins Fontes), escrito durante sua estada como professora visitante na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) nos anos 2010.

A obra busca entender o encontro entre os campos da arte e da saúde mental no modernismo brasileiro por meio de personagens como Cesar e Silveira. O primeiro (*ver Pesquisa FAPESP nº 247*) começou a trabalhar em 1923 no Hospital Psiquiátrico do Juquery, inaugurado em 1898, em Franco da Rocha (SP). “Quando Osório Cesar chega ao hospital, muitos pacientes já pintavam e desenhavam, mas essa produção só vai ganhar importância por iniciativa dele”, diz Cabañas. Em 1933, o médico organizou uma exposição de trabalhos dos pacientes psiquiátricos junto com o artista plástico Flávio de Carvalho (1899-1973),

no Clube dos Artistas Modernos (CAM), em São Paulo. Entretanto, a administração do hospital só formalizou a Seção de Artes Plásticas em 1949, que passou a ser dirigida pelo médico Mário Yahn (1908-1977). Nos anos 1950, o espaço se transformaria na Escola Livre de Artes Plásticas, sob gestão de Cesar.

Nascida em Alagoas, Silveira se formou em medicina em 1926, em Salvador (BA). Era a única mulher da turma. Mudou-se para o Rio de Janeiro e foi aprovada em um concurso público para médico psiquiatra em 1933. Presa ainda nos anos 1930, durante o governo Vargas, por acusação de comunismo, ficou afastada do serviço público até 1944, quando começou a trabalhar no Centro Psiquiátrico Nacional, no bairro carioca do Engenho de Dentro. Pouco depois, em 1946, ela abriu um ateliê de pintura para seus pacientes com o pintor Almir Mavig-

Autorretrato de Elfriede Lohse-Wächtler (1931), artista alemã morta pelo regime nazista



Contornos do imaginário

Coleção alemã reúne cerca de 40 mil obras de pacientes psiquiátricos de instituições europeias

Apontada como uma das mais importantes do gênero no mundo, a coleção Prinzhorn, hospedada na Clínica Psiquiátrica da Universidade de Heidelberg, na Alemanha, vem sendo pesquisada desde 2018 por Lucia Reily, professora do curso de pós-graduação em artes visuais da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Composto por itens como desenhos e pinturas realizados por pacientes psiquiátricos, o acervo começou a ser reunido no final do século XIX. Porém entre 1919 e 1921 ganhou musculatura ao ser ampliado pelo psiquiatra e historiador da arte Hans Prinzhorn (1886-1933) e pelo então diretor da clínica de Heidelberg, o também psiquiatra Karl Wilmanns (1873-1945). Na época, a coleção passou a reunir cerca de 5 mil obras realizadas por 435 internos de Heidelberg e de outras instituições europeias.

Em 1921, Prinzhorn analisou uma série daqueles trabalhos artísticos.

O estudo rendeu o livro *Bildneri der Geisteskranken* (ou *Imaginária dos doentes mentais*), lançado no ano seguinte. “Ele não tratou as obras pelo viés da patologia, mas as relacionou aos movimentos de arte moderna, como o expressionismo”, conta Reily.

O médico deixou Heidelberg em 1921, antes portanto da publicação do livro, e abandonou a carreira de psiquiatra hospitalar, passando a trabalhar como psicanalista. De acordo com a pesquisadora, a obra atraiu a atenção de artistas como o pintor alemão Max Ernst (1891-1976) e o escritor francês André Breton (1896-1966), um dos teóricos do movimento surrealista. Mesmo inédito no Brasil, o livro influenciou também psiquiatras brasileiros, como Osório Cesar. Em 1929, Cesar publicou *A expressão artística nos alienados: Contribuição para o estudo dos símbolos na arte*, em que aponta semelhanças entre a produção dos

internos do Hospital Psiquiátrico do Juquery (SP) e os movimentos artísticos de vanguarda, como o cubismo.

Com a ascensão do nazismo, nos anos 1930, a coleção caiu no ostracismo até que parte dela veio a público em 1963 em mostra no museu Kunsthalle, na Suíça. Atualmente, o acervo abriga cerca de 40 mil obras de pacientes psiquiátricos, como a pintora Elfriede Lohse-Wächtler (1899-1940), internada em uma clínica na Alemanha em 1929. Em 2023, 130 trabalhos da artista alemã ganharam exposição no Museu Coleção Prinzhorn. “Ela já tinha uma carreira artística profissional antes da internação e retratou muitas mulheres, inclusive colegas da clínica”, diz Reily. “Em 1940, foi condenada à morte pelo Programa T4, do regime nazista, que eliminou pessoas com distúrbios mentais e deficiências avaliadas como não recuperáveis. Felizmente, suas obras continuam a circular por meio de exposições, pesquisas e publicações.”

nier (1925-2018) e, seis anos mais tarde, foi a vez de inaugurar o Museu de Imagens do Inconsciente, para guardar e expor as obras. “Mas já em 1949, o Museu de Arte Moderna de São Paulo [MAM-SP] expôs as obras dos pacientes de Nise, na mostra *9 artistas de Engenho de Dentro do Rio de Janeiro*. O Brasil é inovador nesse sentido. Na Europa, coleções psiquiátricas da mais alta relevância, como a Prinzhorn [ver box], só foram exibidas em museus de arte na década de 1960”, compara Cabañas.

A mostra no MAM-SP é considerada um marco. “O catálogo de exposição, por exemplo, identificava os pacientes psiquiátricos pelo seu verdadeiro nome, e não por pseudônimos ou pelo seu diagnóstico”, comenta o especialista em museologia e patrimônio Eurípedes Gomes Cruz Junior, autor do livro *Do asilo ao museu: Nise da Silveira e as coleções da loucura* (Editora Holos, 2024), que traz um estudo comparativo de coleções psiquiátricas de arte no Brasil e no exterior, como do Museu de Imagens do Inconsciente e do Centre Psychiatrique Sainte-Anne, em Paris. O trabalho é fruto de sua tese de doutorado, defendida em 2016 na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio).

Segundo o pesquisador, a musealização das coleções psiquiátricas promoveu mudanças na percepção da sociedade brasileira sobre a loucura, abrindo caminho para o movimento da luta antimanicomial. “Não é à toa que o Brasil tem hoje uma das legislações mais avançadas do mundo na área da saúde mental. As exposições de arte ajudaram a preparar o terreno para essas mudanças”, avalia Cruz Junior.

Cabañas concorda, mas aponta uma contradição no processo: se os espaços culturais no Brasil do período moderno e críticos de arte como Mario Pedrosa (1900-1981) fizeram uma inclusão estética desses trabalhos, a exclusão social dos artistas-pacientes permaneceu inalterada naquele momento. “Os artistas estavam então sujeitos, como indivíduos, a um regime psiquiátrico que considerava ‘terapêutico’ o seu isolamento da sociedade, embora suas obras fossem expostas na qualidade de arte em museus”, critica. “As instituições artísticas que incluíram essas obras não conseguiram levar em conta seus locais de produção, ou seja, os manicômios, e incluir a população segregada do hospital, como os pobres dos centros urbanos, os imigrantes e os negros, assim como as mulheres, cada qual frequentemente considerado como uma ameaça à ‘ordem’ social”, afirma.

É o caso de nomes como Arthur Bispo do Rosário (c. 1909-1989) e Aurora Cursino dos Santos (1896-1959). Bispo, um dos últimos pacientes psi-



Manto da apresentação, título atribuído à obra sem data de Arthur Bispo do Rosário

quiátricos a produzir dentro de um manicômio, a Colônia Juliano Moreira (CJM), em Jacarepaguá, no Rio de Janeiro, nunca reivindicou a condição de artista, mas sua obra ganhou *status* de arte após sua morte. Desde 2000, batiza um museu situado na antiga CJM, que começou a ser desativada na década de 1990. Santos, que trabalhou como prostituta, passou seus últimos 15 anos de vida no Hospital Psiquiátrico do Juquery. Ali, frequentou a Escola Livre de Artes Plásticas, quando pintou mais de 200 quadros, ao mesmo tempo que era submetida a sessões de eletrochoque.

Atualmente, ela é considerada uma artista pioneira do feminismo por suas imagens que retratam a violência contra a mulher, como defende a historiadora Silvana Jeha, doutora pela PUC-Rio. “Seus desenhos de vaginas, estupros e demais abusos anteciparam, nos anos 1950, uma série de questões que a arte feminista norte-americana abordaria apenas uma década mais tarde, e só seriam discutidas no Brasil no século XXI”, afirma a pesquisadora independente, autora do livro *Aurora: Memórias e delírios de uma mulher da vida* (Editora Veneta, 2022), que assina com o psicanalista Joel Birman, professor da UFRJ. E completa: “Infelizmente, existem poucas exposições individuais da produção desses artistas no Brasil. É como se, aos olhos dos curadores nacionais, eles não tivessem uma singularidade artística”. ●

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

Colagem com
ilustrações de Graziella
Mattar para os livros
ABC Espaço e
ABCDinos, escritos por
Anelli e Bodenmüller

Na língua das crianças

Escritos por pesquisadores, livros ilustrados e com elementos literários buscam estimular a curiosidade científica do público infantil

PATRICIA MARIUZZO

“**P**or que os animais entram em extinção?”, “O que é memória?”, “Por que domingo não se chama primeira-feira?” Perguntas como essas, formuladas por alunos do ensino fundamental nas oficinas da Universidade das Crianças, projeto de divulgação científica da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), despertaram uma ideia na bióloga Debora d’Ávila Reis. Coordenadora da iniciativa e professora do Instituto de Ciências Biológicas daquela universidade, ela propôs à Editora UFMG lançar livros para responder às questões que atiçavam a curiosidade das crianças. Assim, surgiu em 2018 o selo Estraladabão, que conta com 24 títulos, todos escritos por pesquisadores acadêmicos. Dentre eles, figura *Como se forma a lava dos vulcões?* (2022), assi-

nado por Reis, Aracy Alves Martins, da Faculdade de Educação (FE) da UFMG, e pelo neto dela, Davi, então com 8 anos. “Nossa proposta é falar sobre ciência por meio de uma linguagem simples e com elementos do texto literário”, explica Carla Viana Coscarelli, professora da Faculdade de Letras (Fale-UFMG), que está à frente da editora.

Falar de ciência de forma simples foi o que também motivou o biólogo Carlos Navas, do Departamento de Fisiologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (USP), a escrever *Sapiência: A surpreendente história de como os sapos falantes descobriram a ciência* (Instituto Edube). Na obra, lançada em outubro, ele conta a história de um grupo de batráquios que se depara com o sumiço do seu principal alimento: as moscas. Para trazer os insetos de volta ao pântano em que vivem, os sapos pas-

sam a elaborar gráficos, mapas e tabelas com os dados coletados para então estabelecer hipóteses e tomar decisões em nome da própria sobrevivência. “A discussão pública a respeito da ciência na pandemia de Covid-19 me impactou profundamente. Desde então, tem me preocupado o desconhecimento sobre como se faz ciência, um processo que envolve observação, questionamento e construção de evidências”, conta Navas. “Veio daí a ideia de fazer um livro em que descrevo o método científico de forma lúdica a partir dos temas que estudo em laboratório. Acho que temos uma lacuna desse tipo de conteúdo no Brasil, especialmente para professores e alunos do ensino fundamental.”

Instituições do mercado livreiro como a Câmara Brasileira do Livro e o Sindicato Nacional dos Editores de Livros não possuem números sobre esse segmento no país. Para a bióloga Danusa Munford, do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do ABC (UFABC), o reconhecimento da importância de obras com esse viés na educação de crianças e jovens tem ganhado força no Brasil. “Mas ainda há muito espaço nos currículos e nas práticas de leitura das escolas”, comenta a pesquisadora, que atua na formação docente e investiga o processo de aprendizagem de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental. “A leitura desses livros com a mediação de professores possibilita que as crianças se aproximem da ciência, pois essas obras usam elementos da literatura infantil como ilustrações e humor, e podem ser articuladas a projetos de investigação científica em sala de aula. Não

podemos esquecer que é na escola que grande parte das crianças tem contato com os livros.”

Em 2024, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), iniciativa do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) e do Ministério da Educação, que, entre outras ações, avalia e seleciona quais livros serão adotados em escolas públicas, incluiu a categoria “livro informativo”. O termo vai ao encontro da nomenclatura utilizada nos Estados Unidos e na Europa, que também definem esse tipo de produção como “não ficção”. “É uma designação mais abrangente do que ‘divulgação científica’, muito associada no senso comum às chamadas ciências duras. Ela abarca, por exemplo, livros com conteúdo das humanidades e das ciências sociais”, explica o bibliotecário e pedagogo Marcus Vinicius Rodrigues Martins, que analisou 80 livros informativos para crianças em português, espanhol, francês e inglês durante a pesquisa de doutorado defendida na FE-UFGM em 2020. “Sobretudo a partir dos anos 2000, essa produção vem se apropriando dos recursos gráficos e literários das obras de ficção infantil. Ao unir literatura, ciência e arte, os livros informativos colaboram tanto para a educação científica quanto para a formação estética das crianças.”

O paleontólogo Luiz Eduardo Anelli, do Instituto de Geologia da USP, não abre mão desses recursos. “Conto histórias sobre dinossauros e outros temas sempre seguindo critérios científicos, mas com apoio de ilustrações e metáforas. O desafio é não menosprezar a inteligência dos leitores e atrair a aten-

ção deles em um mundo cada vez mais conectado às telas”, diz o pesquisador, que estreou no segmento em 2008 com o *Guia dos dinossauros do Brasil* (Editora Peirópolis). Desde então publicou 21 livros e no momento tem mais dois em produção. Neste ano, seu *ABCDarqueologia* (Editora Peirópolis, 2023), que assina com a escritora Celina Bodenmüller, venceu o 1º Prêmio Jabuti Acadêmico na categoria Ilustração, a cargo de Graziella Mattar. “Hoje, me considero um escritor que estudou paleontologia”, diverte-se Anelli.

Livros para crianças escritos por cientistas não são novidade no Brasil. “Esse tipo de publicação circula no país desde o século XIX por meio da tradução de títulos oriundos sobretudo da França”, relata a historiadora da ciência Kaori Kodama, da Casa de Oswaldo Cruz da Fundação Oswaldo Cruz (COC-Fiocruz). Um desses autores era o médico e químico Louis Figuier (1819-1894), que abandonou a carreira científica para se dedicar à produção de artigos na imprensa e de livros, inclusive para crianças. “Nas escolas brasileiras, os melhores alunos eram premiados com obras de Figuier”, prossegue Kodama.

Na primeira metade do século XX, o biólogo e zoólogo gaúcho Rodolpho von Ihering (1883-1939), que trabalhou, por exemplo, no Museu Paulista, publicou títulos para o público infantil, como *Férias no pontal* (1924), relançado em 2024 pela editora Livros Vivos. Outro pesquisador que se aventurou nessa seara foi o bacteriologista José Reis (1907-2002), do Instituto Biológico de São Paulo, conhecido pelo pioneirismo na divulgação científica no Brasil. Segundo o livro *José Reis: Reflexões sobre a divulgação científica* (Fiocruz/COC, 2018), organizado por Luisa Massarani e Eliane Monteiro de Santana Dias, ele lançou pela Edições Melhoramentos obras como *Aventuras no mundo da ciência* (1950), cujo enredo se passa em um instituto científico e aborda aspectos da história natural. Para Navas, da USP, a experiência de escrever para esse público é uma via de mão dupla: “O retorno que venho recebendo das crianças está influenciando as perguntas que faço como cientista”, afirma. ●



À esquerda, capas de livros do biólogo Carlos Navas, da USP, e de Jacyntho Lins Brandão, professor de literatura grega da UFGM



Loja na cidade de Kilmarnock, Escócia, vendendo televisores em 1955

memória

Válvulas, videoteipe e smart TV

Ao completar 100 anos, a televisão encara a concorrência da internet e luta para continuar relevante

SUZEL TUNES

Em 10 de junho deste ano, aos 94 anos, morreu o comendador Affonso Brandão Hennel, que durante décadas dirigiu a empresa Sociedade Eletro Mercantil Paulista, mais conhecida pela sigla Semp. Criada em 1942 no bairro da Barra Funda, na cidade de São Paulo, foi a primeira empresa a montar no Brasil um televisor, em 1951. Em 1972, passou a fabricar a primeira TV em cores nacional, vendida, a partir de 1977, com a marca Semp-Toshiba, em razão de uma sociedade com a empresa japonesa, desfeita em 2016.

Os aparelhos smart TV que saem das fábricas como a agora chamada Semp TCL, em razão da fusão com a multinacional chinesa TCL Corporation, marcam uma história de contínua evolução tecnológica, palpites frustrados e competição crescente, iniciada há 100 anos. Com uma caixa de papelão, lentes de faróis de

bicicleta, agulhas de costura e tesouras, o engenheiro escocês John Logie Baird (1888-1946) montou um aparato que foi capaz de enviar uma figura estática, a silhueta de uma cruz de Malta, de um transmissor eletromecânico para um receptor a alguns metros de distância, em 1924. Foi a primeira transmissão de TV da história.

Dois anos depois, diante de membros da Royal Institution, Baird transmitiu uma figura humana em movimento de uma sala a outra de seu laboratório, em Londres. Uma pequena imagem em preto e branco, trêmula e fragmentada, numa tela de 8 centímetros (cm) por 6 cm. O logotipo do novo produto era ambicioso: um globo com um olho no centro e os dizeres “The eye of the world” (O olho do mundo).

Em 1927, Baird enviou um sinal de TV a uma distância de 653 quilômetros, de

Londres, na Inglaterra, a Glasgow, na Escócia. Em 1928, fez a primeira transmissão de TV transcontinental, de Londres para Nova York. E, nesse mesmo ano, a primeira transmissão em cores, assim descrita pela revista científica *Nature* de 18 de agosto: “Delfínios e cravos apareceram em suas cores naturais e uma cesta de morangos mostrou a fruta vermelha muito claramente”. O relato da *Nature* também vaticinava: “[...] temos a certeza de que [a TV] se tornará parte da nossa vida cotidiana. Em vez de apenas ouvir um especialista descrever o progresso de uma corrida de barco ou de um jogo de futebol, a geração mais jovem pode esperar vê-los também numa televisão”.

A recepção do público não foi tão efusiva quanto a dos cientistas. Um memorando de 1º de outubro de 1928 da British Broadcasting Corporation (BBC), a emissora pública do Reino Unido, assinala que a TV eletromecânica de Baird, então em testes, só permitia movimentos muito lentos, pois qualquer gesto com velocidade normal produzia um borrão. E a expressão dos espectadores, que saíam do show, “não demonstrava nem entusiasmo nem interesse”. O que certamente se justifica pela baixa qualidade de imagem: enquanto as TV atuais podem ter mais de mil linhas de resolução, a TV de Baird tinha apenas 30.

Duas décadas depois, embora a qualidade técnica já tivesse melhorado bastante, a TV ainda enfrentava alguma resistência. Em 1946, o produtor cinematográfico norte-americano Darryl Francis Zanuck (1902-1979), fundador do estúdio de cinema 20th Century Fox, teria dito: “A televisão não conseguirá manter nenhum mercado por mais de seis meses. As pessoas logo se cansarão de ficar olhando para uma caixa de madeira todas as noites”. Não podia estar mais enganado. Após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), o desenvolvimento econômico dos Estados Unidos tornou a TV um bem de consumo acessível e indispensável, com lugar de destaque garantido nas salas de estar das famílias norte-americanas.

No Brasil, a televisão chegou em 1950. A emissora pioneira foi a TV Tupi de São Paulo, inaugurada em 18 de setembro pelo jornalista e empresário Assis Cha-

teaubriand (1892-1968). Nesse dia, havia apenas 200 receptores de TV, que o próprio Chateaubriand havia importado às pressas dos Estados Unidos ao se dar conta de que não haveria quem assistisse à estreia, relata o escritor Fernando Morais no livro *Chatô: O rei do Brasil* (Cia. das Letras, 1994). Atualmente, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estima que 71,5 milhões de domicílios brasileiros, o equivalente a quase 80% dos 90,7 milhões, estão equipados com televisor, que pode receber o sinal de 583 emissoras e 13.692 retransmissoras.

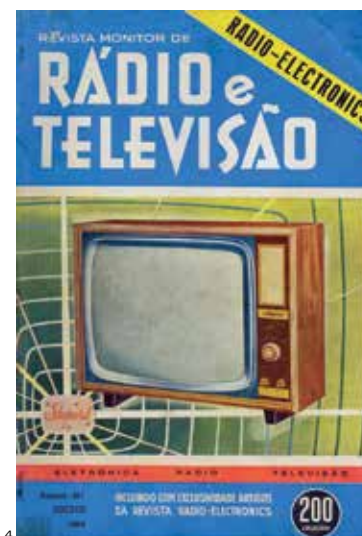
SÍNTESE DE SABERES

A palavra televisão começou a ser empregada por volta de duas décadas antes que o invento fosse apresentado ao mundo (*ver linha do tempo na versão on-line desta reportagem*). Consta que tenha sido criada pelo cientista russo Constantin Perskyi (1854-1906), a partir da junção das palavras tele (longe, em grego) e videre (ver, em latim). Ele a usou pela primeira vez no Congresso Internacional de Eletricidade da França, uma das atividades da Exposição Universal de 1900, em Paris, ao apresentar uma tese sobre a possibilidade de transmissão de imagens a distância com base nas propriedades fotoelétricas do selênio (a capacidade de converter luz em eletricidade), demonstradas 27 anos antes pelo engenheiro eletricitista inglês Willoughby Smith (1828-1891).

“A TV é o resultado de conhecimentos e experiências em diferentes campos do conhecimento, como mecânica, eletricidade e engenharia, e nasceu da pesquisa de centenas de pessoas”, destaca o engenheiro eletricitista Marcelo Zuffo, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) e coordenador do Centro Interdisciplinar em Tecnologias Interativas da USP (Citi-USP). Dois avanços científicos foram importantes para esse desenvolvimento: o disco de Nipkow e, principalmente, o tubo de raios catódicos.

O invento do alemão Paul Nipkow (1860-1940) era a peça-chave do aparelho eletromecânico de Baird. O disco giratório com furos para captar as imagens baseava-se numa característica do olho humano chamada de persistência visual. “A imagem captada pelo olho permanece na retina por microssegundos”, explica Zuffo. “Quando o disco era gi-

A primeira revista sobre televisão, de 1928; propaganda dos anos 1960 do televisor Invictus, uma das primeiras marcas fabricadas no Brasil; e uma edição de 1964 da *Monitor de Rádio e Televisão*, publicada de 1947 a 1982





Em 1925, Baird ajusta um transmissor de um aparelho rudimentar de televisão, inventado por ele



The Televisor, projetado por Baird, o primeiro aparelho receptor de TV, vendido na Europa nos anos 1930

rado rapidamente, as imagens captadas eram percebidas como se estivessem em movimento.” Foi utilizando o disco de Nipkow que Baird fez seu aparelho de TV pioneiro.

Os discos giratórios da TV eletromecânica logo seriam superados pela tecnologia da TV eletrônica analógica, que utilizava o tubo de raios catódicos inventado em 1897 pelo físico alemão Karl Ferdinand Braun (1850-1918). O tubo de raios catódicos, com o formato de um decantador de vinho deitado, convertia o sinal elétrico em imagem.

As TV de tubo – que os pesquisadores chamam de TV 1.0 – dominaram o mercado mundial por décadas. Outro avanço foi a TV em cores, desenvolvida nos anos 1960, que só chegou ao Brasil na década seguinte.



Propaganda de 1953 de um tubo de raios catódicos

O salto tecnológico seguinte, a TV 2.0, seria do sistema analógico para o digital, que converte o sinal em sequências de números binários. Os primeiros estudos para a implantação da TV digital no Brasil começaram no mesmo ano em que entrou em operação nos Estados Unidos, em 1998. “Começamos fazendo testes comparativos entre os padrões norte-americano, europeu e japonês de TV digital”, lembra o engenheiro eletricista Cristiano Akamine, da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Mackenzie sediou em 2004 a primeira reunião para formalizar uma grande rede de cooperação científica com o objetivo de formatar o Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD), que mobilizou 1.200 pesquisadores brasileiros (*ver Pesquisa FAPESP nº 120*). “Em 29 de junho de 2006, o governo federal publicou o Decreto nº 5.820, instituindo o Sistema Brasileiro de TV Digital, com base nas recomendações da academia brasileira”, orgulha-se Akamine.

A TV digital estreou no Brasil em 2007 e o encerramento das transmissões analógicas em todo o país havia sido previsto para o final de 2024, mas em dezembro de 2023 o Ministério das Comunicações estendeu o prazo até junho de 2025. Enquanto isso, pesquisadores reunidos no Fórum do Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre já estudam inovações para a TV digital. A chamada TV 3.0 (o nome comercial é DTV+) promete qualidade de vídeo e áudio superior à atual e novas

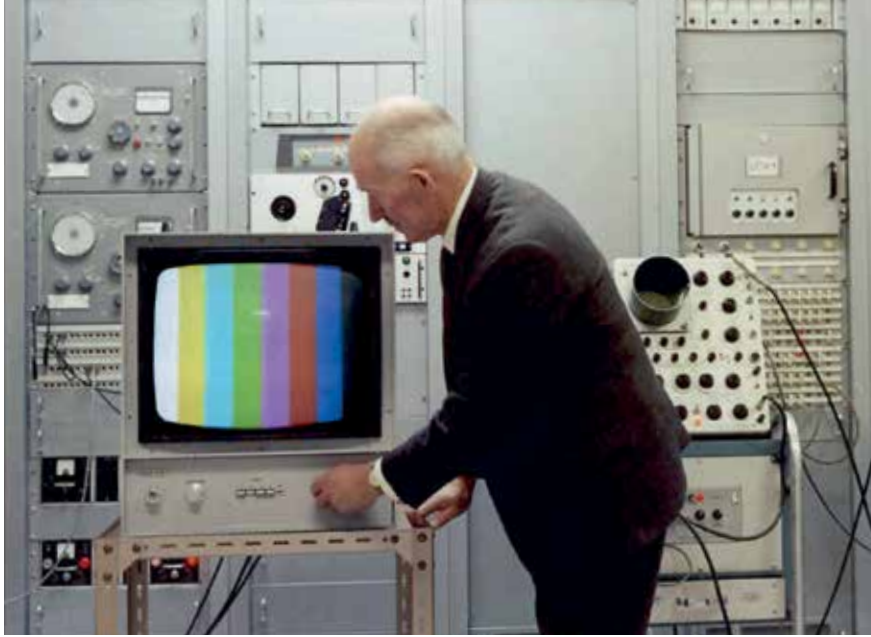
funcionalidades, como personalização de conteúdos, mesmo na TV aberta. “Os números de canais de TV serão substituídos por aplicativos das emissoras de TV aberta. O telespectador vai navegar como se estivesse em uma plataforma de streaming. A televisão ficará cada vez mais parecida com o smartphone”, prevê Akamine. Em 2011 chegaram as smart TV, que se diferenciam da digital por contar com acesso à internet e a aplicativos.

ESPAÇO DE DISCUSSÃO

Às inovações tecnológicas corresponderam mudanças nos modos de fazer e ver TV. O videoteipe, ou VT, inventado nos Estados Unidos em 1956 e adotado no Brasil em 1959, trouxe a primeira grande alteração. Enquanto os primeiros programas eram adaptações dos sucessos do rádio e do teatro, apresentados necessariamente ao vivo, o videoteipe permitiu a gravação fora dos estúdios e o surgimento de novas experiências narrativas na ficção televisiva.

“A possibilidade de gravar cenas externas permitiu que os roteiristas levassem à telenovela lugares e referências que os telespectadores conseguiam reconhecer”, conta a cientista social Maria Immacolata Vassallo de Lopes, da Escola de Comunicações e Artes da USP (ECA-USP) e coordenadora do Centro de Estudos da Telenovela (CETVN).

A partir de 1965, as transmissões via satélite contribuíram para que a televisão se consolidasse como o principal meio de comunicação de massa do país. “A TV se tornou um dos principais agentes de



Teste de televisão em cores na estação de transmissão Mount Kaukau, Nova Zelândia, em 1970, e detalhe da fita de videoteipe, que permitia ao operador editar trechos dos filmes



transformação cultural e política no Brasil. Alcança todas as classes sociais, mobiliza debates e interfere até no horário de grandes eventos esportivos e culturais em função de sua grade de programação”, exemplifica Gilberto Alexandre Sobrinho, do Instituto de Artes da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Para o historiador Eduardo Victorio Morettin, também da ECA-USP, a TV é uma fonte histórica privilegiada. Com apoio da FAPESP, ele cataloga o acervo jornalístico da TV Tupi, depositado na Cinemateca Brasileira: “Estamos fazendo o levantamento das telerreportagens de interesse para digitalização. Em um ano já levantamos 4 mil notícias”.

O acervo catalogado revelará de que maneira a TV retratou temas como o movimento pela anistia, o golpe de 1964,

protestos estudantis e o movimento de maio de 1968, na França. “Nossa intenção é mostrar como esses telejornais contribuíram para a construção de uma sociedade que se configurou numa perspectiva mais conservadora”, diz Morettin.

A televisão – e, em particular, a telenovela – converteu-se em um espaço público de discussão de temas representativos da sociedade. “É um recurso comunicativo que, se bem aproveitado, pode contribuir para a inclusão social, responsabilidade ambiental e respeito às diferenças”, defende Lopes.

Contudo, a relevância da televisão na sociedade brasileira ganhou a concorrência, nos últimos anos, da internet e de plataformas de streaming de vídeo.

Os programas da TV aberta competem com conteúdo produzido em diversas partes do mundo e o próprio televisor encontra um substituto no aparelho celular. De acordo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (Pnad) do IBGE de 2022, 91,5% dos domicílios brasileiros já têm acesso à internet, e a porcentagem de domicílios com assinatura paga de streaming de vídeo chegou a 43,4% (31,1 milhões). “Em diversos países, como nos Estados Unidos, o streaming é mais assistido que a TV aberta. É questão de tempo, vai acontecer no Brasil”, avalia Sobrinho.

“Uma nova tecnologia nunca acabou com a anterior”, discorda Lopes. Segundo ela, no campo da ficção televisiva está ocorrendo um processo de mútua influência, a “serialização da novela e a novelização da série”. Enquanto as telenovelas investem em estruturas narrativas mais dinâmicas, já existem séries cujos episódios são lançados capítulo a capítulo, como na novela.

“No Brasil, a audiência está caindo, mas a TV aberta ainda domina. Ela é um dos únicos meios de comunicação que conseguem falar massivamente com a população de mais de 200 milhões de habitantes”, considera a pesquisadora da área de comunicação Melina Meimaris, em estágio de pós-doutorado na Universidade Federal Fluminense. Ela prevê que a televisão na sala continuará existindo ao lado do celular e do monitor de computador. “Não é um *versus* o outro, o espectador não vai ficar preso a uma única experiência.” ●



Fuzarca e Torresmo, comediantes dos anos 1950 da TV Tupi

Desvendando a identidade das árvores



De origem ribeirinha, a engenheira florestal Gracialda Costa Ferreira se dedica à preservação da floresta e das tradições das comunidades amazônicas

Aos 22 anos escutei pela primeira vez alguém chamar as árvores pelo nome científico: *Myrcia sylvatica*, cujo apelido é “murta”, e *Banara guianensis*, conhecida como “andorinha”. Era 1992 e eu estava em Igarapé-Açu, cidade a cerca de 120 quilômetros de Belém, no Pará. Foi meu primeiro dia de trabalho de campo coletando amostras de plantas como parte do Programa Shift [Studies of Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics], fruto de uma parceria da Embrapa Amazônia Oriental com as universidades de Bonn e de Göttingen, ambas da Alemanha. Aquilo gerou em mim um encantamento e, desde então, tenho estudado e trabalhado para conhecer a identidade das árvores.

Sou ribeirinha, nasci em Abaetetuba, cidade que é a segunda produtora de açaí do Pará. Venho de uma família

muito humilde, minha mãe é dona de casa e meu pai, pescador. Durante toda a minha infância tomei banho no igarapé antes de ir para a escola pela manhã. Na volta, ia para o mato, que é como as pessoas das comunidades ribeirinhas chamam a floresta, e escalava o tronco das palmeiras para colher açaí. Foi o interesse pelas espécies vegetais que me motivou a estudar engenharia florestal na Faculdade de Ciências Agrárias do Pará [FCAP], hoje Universidade Federal Rural da Amazônia [Ufra].

Não foi um percurso fácil. Para começar, tive que convencer minha mãe a me deixar fazer o ensino médio. Para ela, bastava saber ler e escrever. Foi o curso técnico em contabilidade que me permitiu assumir uma vaga de trabalho temporário em um escritório em Belém, em 1991. No ano seguinte, fui para a Embrapa [Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária] fazer o trabalho de coleta botânica que também era para ser temporário, mas no qual acabei ficando até 2004, sempre em projetos relacionados à identificação de vegetais.

Trabalhei ao longo de toda a graduação. Saía do laboratório e ia direto para as aulas, boa parte das vezes sem almoçar, uma rotina que acabou afetando a minha saúde. No terceiro semestre do curso, consegui uma bolsa Pibic [Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica], financiada pelo CNPq [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico]. Com meu primeiro pagamento contratei um plano de saúde para tratar uma úlcera, resultado da má alimentação.

Em 2000, concluí a graduação e no mesmo ano fui aceita no Programa de Mestrado em Ciências Florestais da então FCAP. No estudo, analisei o angelim,

árvore da família Leguminosae, cuja madeira é uma das mais comercializadas no Pará. Concluído dois anos mais tarde, esse trabalho foi publicado pela Embrapa, em 2004, como *Manual de identificação botânica e anatômica – angelim*. O termo “angelim” engloba um grupo de espécies de árvores com propriedades diferentes, mas que, frequentemente, são vendidas sob o mesmo nome. Isso traz várias consequências, desde o comprometimento da qualidade do produto feito com a madeira até riscos para a conservação de espécies raras, que, por erros de identificação, são exploradas na mesma intensidade que espécies comuns.

Ao sair da Embrapa, dirigi o Bosque Municipal Rodrigues Alves, em Belém, entre 2005 e 2006. Ali, inventariamos 510 árvores, das quais cerca de 400 são espécies raras. A probabilidade de extinção dessas espécies pelo manejo incorreto e pelo desmatamento é muito grande. Estamos perdendo espécies para sempre. Há árvores ainda não descritas sendo derrubadas e associadas à espécie errada para ter o uso licenciado.

A COP30 [Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima], que ocorrerá em Belém, no próximo ano, tem chamado a atenção para a cidade. O evento pode atrair instituições de pesquisa, fortalecer as que já estão aqui e firmar novas parcerias baseadas na escuta das pessoas da floresta. Entretanto, me preocupam a chegada de projetos e as políticas públicas para incentivar negócios baseados na exploração dos recursos da floresta. Não sou contrária a essas iniciativas, mas para que elas sejam sustentáveis, de fato, é preciso conhecer, inventariar, mapear a floresta. Bioeconomia exige muito conhecimento. A identificação botânica é essencial para o bom manejo da floresta, ela agrega va-

lor. E é isso que garante a conservação, a produtividade e, conseqüentemente, o retorno econômico e social. Essa é uma das minhas motivações para trabalhar com as comunidades.

Desde 2006, quando já era professora do Centro de Ciências Agrárias da UFRA, trabalho com a Associação Arte Miriti de Abaetetuba. Por meio de uma parceria com a Embrapa Amazônia Oriental, temos discutido a conservação das áreas de várzea que garantem a matéria-prima para a produção dos brinquedos de miriti, uma palmeira bastante comum. Eles são uma importante fonte de renda na cidade, sendo comercializados especialmente durante a festa do Círio de Nazaré, que acontece em outubro, em Belém. Há cerca de 20 anos, a população local começou a cortar os miritizeiros macho para plantar palmeiras de açaí. Isso comprometeu toda a produção de miriti e, até hoje, os artesãos precisam adquirir a matéria-prima em outras localidades para fazer os brinquedos.

Como pesquisadora e ribeirinha, sei que precisamos facilitar o acesso de tecnologias para as pessoas que vivem na floresta e, sobretudo, estabelecer arenas de socialização de conhecimento. No doutorado, que defendi em 2009, no Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, desenvolvi uma ferramenta de modelagem ambiental de espécies que pudesse ser acessível às comunidades e cooperativas. Ao combinar os inventários florestais de empresas, que incluem identificação e coordenadas geográficas das espécies, com dados de características ambientais como o tipo de solo e o clima, o modelo calcula a probabilidade de ocorrência de espécies em áreas ainda não inventariadas. Agora, esse modelo está servindo de base para o desenvolvimento de um aplicativo.

Não paro quieta. Desde 2018, participo de outro projeto entre a Embrapa e a UFRA para ajudar a prefeitura de Portel, na ilha de Marajó, a estruturar o Centro de Referência em Manejo de Açaizais Nativos do Marajó, o Manejaí. A ideia é ampliar, com responsabilidade, a produção de açaí de 1 tonelada [t] para 6 t



Acima e na outra página, Ferreira na UFRA, onde começou a carreira acadêmica e atualmente leciona

por hectare. Isso teria um impacto significativo na renda das famílias locais.

No Marajó também realizamos pesquisas acadêmicas, especialmente sobre como certos fatores, a exemplo do solo, dos insetos e da disponibilidade de água, determinam mudanças nas copas das árvores ao longo do ano. Para esses estudos, treinei um grupo de jovens da comunidade para ajudar na coleta botânica. Eles são chamados de “pesquisadores da floresta”. Além disso, estamos implementando as primeiras áreas de coleta de sementes e de restauração de floresta em territórios comunitários do Marajó. Hoje não basta combater o desmatamento, é urgente recuperar as florestas que foram degradadas. Essa é uma das contribuições que quero deixar para a minha região. ●

DEPOIMENTO CONCEDIDO A
PATRICIA MARIUZZO



SAIBA MAIS
Associação
Arte Miriti de
Abaetetuba

Do mítico ao afetivo

JOSÉ NEWTON COELHO MENESES



O jardim das hespérides. Minas e as visões do mundo natural no século XVIII
 Laura de Mello e Souza
 Companhia das Letras
 200 páginas
 R\$ 89,90

O passado colonial de Minas Gerais foi, muitas vezes, simplificado e deslocado do universo colonial da América portuguesa. Laura de Mello e Souza é esteio inaugural de uma historiografia rigorosa e investigativa a uma diversidade de fontes documentais, criadora de uma compreensão do passado mineiro, ao mesmo tempo complexo e específico, mas interligado ao mundo moderno. *O jardim das hespérides* apresenta as Minas sintonizadas a um universo amplo, não “serranias impenetráveis, [...] guardadas por dragões”, como descreve Diogo de Vasconcelos (1843-1927), mas outra capitania, aberta a um cosmopolitismo instigante e decifrável.

“Dimensões” é a expressão escolhida pela autora para tipificar as suas compreensões das “visões do mundo natural no século XVIII” mineiro. Ela as divide em quatro vertentes: mítica, trágica, prática e afetiva. Apresentadas em capítulos distintos, vêm permeadas por uma bela cartografia que problematiza a ocupação, a colonização, as formas de pensar e de viver, os imaginários historicamente construídos. A “dimensão mítica” traz elementos de edenizar a geografia e a natureza, com o sertão a ser desbravado, e matas atraentes “para uma infinidade de pássaros”, mas difíceis para o colonizador. Este, não edeniza o clima, algumas vezes demonizado. Encanta-o uma fauna em profusão variada, os pastos férteis, os rios piscosos, um verdadeiro paraíso terreal.

Na dimensão “trágica”, as montanhas parecem configurar um terreno aberto aos desastres, sepultura de homens e de suas consciências. Espaço de potencialidades e de dramaticidades; território de climas desafiantes e de motins perigosos. “O clima é tumba da paz e berço da rebelião”, sintetizou dom Pedro de Almeida e Portugal (1688-1756), o conde de Assumar, transformando o paraíso em inferno, onde a chuva destrói as urbes e os caminhos labirínticos e torna os rios corredeiras intransponíveis. Febres, natureza bruta, “gentio feroz” e animais monstruosos espreitam a vida e vislumbram a morte. O mistério, entretanto, atrai os homens.

A “prática” é a dimensão onde a conquista do sertão evidencia a dura realidade cotidiana. Ela vai sendo conhecida, nomeada e vivida como experiência transformadora, onde há protagonismos de indígenas, quilombolas e homens “práticos”.

Universos distintos vão sendo conquistados e devassados, indicando lugares virgens a se desbravar. Esse é o sentido da prática colonizadora: dizimar os “bravios”, civilizar a “barbárie”. As comarcas de Sabará, Serro do Frio, Rio das Mortes e Vila Rica demarcam uma Minas, identificada em mapa de José Joaquim da Rocha (1737-1807), de povos comuns “que trabalhavam a terra, iam à missa, cumpriam funções de vereança” e ordenavam a vida e o meio natural. A natureza se domina com práticas de lavrar a terra, em uma faina agrícola produtora de milho, feijão, arroz, mandioca e aguardente.

A terra agora tem seus cientistas e seus homens de letras a cantar arcádias e a prever uma civilização. Na “dimensão afetiva”, apresenta-se ao leitor uma Minas de “floração intelectual e artística, sem par na América portuguesa”. Os núcleos urbanos, mais bem ordenados, contradizem a queda da produção aurífera e reafirmam a diversidade da economia colonial mineira. Filhos da elite da terra se formam em Coimbra e veem com olhos científicos as paisagens naturais e humanas, riquíssimas e distintas da Europa. A terra canta-se como pátria: “pátrios rios” e “riquíssimos tesouros” pátrios. “Destes penhascos fez a natureza o berço em que nasci”, verseja Cláudio Manuel da Costa (1729-1789), que Laura de Mello e Souza (tão bem) biografou. O poeta, como tantos outros, subordina a natureza à ação humana, mas não deixa de se impressionar com ela e, como em Alvarenga Peixoto (1742-1792), natural do Rio, mas radicado nas Minas, a vê como “bárbara, mas abençoada”.

Há um equilíbrio no tratamento dado às quatro dimensões, distinguindo-as de forma clara e, com a mesma inteligibilidade, interligando-as, traçando com elas as várias redes de um território em ocupação. A autora é professora de ofício e gosto. Como tal, é didática e criativa. Não abdica, entretanto, da erudição e do gosto pela verticalidade da análise, expondo-os em narrativa clara e elegante. Atenta ao universo local, Laura de Mello e Souza esgarça as fronteiras do regional, as amplia para um universo mais dilatado, manuseando com esmero as escalas de tempo e espaço.

José Newton Coelho Meneses é professor do Departamento de História da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

PRESIDENTE

Marco Antonio Zago

VICE-PRESIDENTE

Carmino Antonio de Souza

CONSELHO SUPERIOR

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

CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO**DIRETOR-PRESIDENTE**

Carlos Américo Pacheco

DIRETOR CIENTÍFICO

Marcio de Castro Silva Filho

DIRETOR ADMINISTRATIVO

Fernando Menezes de Almeida

pesquisafapesp

ISSN 1519-8774

COMITÊ CIENTÍFICOLuiz Nunes de Oliveira (*Presidente*), Américo Martins Craveiro, Anamaria Aranha Camargo, Ana Maria Fonseca Almeida, Anapátricia Moraes Vilha, Carlos Américo Pacheco, Carlos Graeff, Célio Haddad, Claudia Mendes de Oliveira, Deisy de Souza, Douglas Zampieri, Eduardo Zancul, Euclides de Mesquita Neto, Fernando Menezes de Almeida, Flávio Vieira Meirelles, José Roberto de França Arruda, Jô Ueyama, Lillian Amorim, Lillian Sanchez Carneiro, Marcio de Castro Silva Filho, Mariana Cabral de Oliveira, Marco Antonio Zago, Maria Julia Manso Alves, Marie-Anne Van Sluys, Marta Ametche, Nina Stocco Ranieri, Paulo Schor, Reinaldo Salomão, Richard Charles Garratt, Rodolfo Jardim Azevedo, Sergio Costa Oliveira, Luiz Vitor de Souza Filho, Watson Loh**COORDENADOR CIENTÍFICO**

Luiz Nunes de Oliveira

DIRETORA DE REDAÇÃO

Alexandra Ozorio de Almeida

EDITOR-CHEFE

Nelson Marcolin

EDITORES Fabrício Marques (*Política Científica e Tecnológica*), Carlos Fioravanti (*Ciências da Terra*), Marcos Pivetta (*Ciências Exatas*), Maria Guimarães (*Ciências Biológicas*), Ricardo Zorzetto (*Ciências Biomédicas*), Ana Paula Orlandi (*Humanidades*), Yuri Vasconcelos (*Tecnologia*)**REPÓRTERES** Christina Queiroz e Sarah Schmidt**ARTE** Claudia Warrak (*Editora*), Júlia Cherem Rodrigues e Maria Cecilia Felli (*Designers*), Alexandre Affonso (*Editor de infografia*)**FOTÓGRAFO** Léo Ramos Chaves**BANCO DE IMAGENS** Valter Rodrigues**SITE** Yuri Vasconcelos (*Coordenador*), Jayne Oliveira(*Coordenadora de produção*), Kézia Stringhini (*Redatora on-line*)**MÍDIAS DIGITAIS** Maria Guimarães (*Coordenadora*), Renata Oliveira do Prado (*Editora de mídias sociais*), Vitória do Couto (*Designer digital*)**VÍDEOS** Christina Queiroz (*Coordenadora*)**RÁDIO** Fabrício Marques (*Coordenador*) e Sarah Caravieri (*Produção*)**REVISÃO** Alexandre Oliveira e Margô Negro**REVISÃO TÉCNICA** Ana Maria Fonseca de Almeida, Claudia Pens, Deisy das Graças de Souza, Gustavo Quevedo Romero, Jean Ometto, José Eduardo Corá, José Roberto Arruda, Luiz Vitor de Souza, Maria de Fátima Morethy Couto, Nina Ranieri, Patricia Morellato, Reinaldo Salomão, Ricardo Ribeiro Rodrigues**COLABORADORES** Aline van Langendonck, André Kitagawa, Daniel Almeida, Danilo Albergaria, Domingos Zapparoli, Enrico Di Gregorio, Frances Jones, Giselle Soares, Guilherme Costa, Juliana Vaz, Mariana Zanetti, Mayana Ferrão, Patricia Mariuzzo, Renata Fontanetto, Sinésio Ferreira Pires, Suzel Tunes, Thiago Zanetti**MARKETING E PUBLICIDADE** Paula Iliadis**CIRCULAÇÃO** Aparecida Fernandes (*Coordenadora de Assinaturas*)**OPERAÇÕES** Andressa Matias**SECRETÁRIA DA REDAÇÃO** Ingrid Teodoro**É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DE TEXTOS, FOTOS, ILUSTRAÇÕES E INFOGRÁFICOS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO**
TIRAGEM 28.080 exemplares
IMPRESSÃO Plural Indústria Gráfica
DISTRIBUIÇÃO RAC Mídia Editora**GESTÃO ADMINISTRATIVA** FUSP - FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**PESQUISA FAPESP** Rua Joaquim Antunes, nº 727, 10º andar, CEP 05415-012, Pinheiros, São Paulo-SP**FAPESP** Rua Pio XI, nº 1.500, CEP 05468-901, Alto da Lapa, São Paulo-SPSecretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**PESQUISA FAPESP 25 ANOS**

Parabéns a *Pesquisa FAPESP* e à equipe talentosa da revista pelos 25 anos de jornalismo científico de ótima qualidade. Orgulho do povo paulista e brasileiro. Sucesso e vida longa!

Aracy Balbani**LEITORES EM TODOS OS ESTADOS**

Acompanhava na Bahia, sigo acompanhando o conteúdo no Espírito Santo. É sensacional! Dão atenção à ciência, em especial ao que é produzido no Brasil, a linguagem é simples e clara, e a qualidade das artes, gráficos e demais elementos visuais é incrível.

Jomar Fagundes

Faço parte do 0,40% do Amazonas. Mas, além de mim, outros leem a revista aqui. Após terminar de ler o número mensal, eu repasso a uma biblioteca comunitária do meu bairro.

Raphael Fernando Diniz**EDIÇÃO DE NOVEMBRO**

Quero agradecer por fazerem um jornalismo de tanta qualidade, ético, responsável, envolvente, bem escrito.

Paolla Jenevian**GRAFENO**

O texto reflete uma pesquisa profun-

da e uma escrita clara, destacando a evolução do grafeno de uma descoberta acadêmica a um produto com impacto real no mercado. Agradeço a *Pesquisa FAPESP* pelo constante apoio à pesquisa científica e pela valorização de temas tão importantes para o desenvolvimento tecnológico e econômico do Brasil. A revista continua sendo um exemplo de excelência na divulgação científica.

Thoroh de Souza**CIANOACTÉRIAS**

Que mais pesquisas possam contribuir para o entendimento das belezas do Pantanal, especialmente das enigmáticas lagoas salinas. Uma honra ter participado de alguns dos estudos. Parabéns aos autores e a *Pesquisa FAPESP* pela reportagem.

Kleber Renan de Souza Santos**CORREÇÃO**

O cinturão de asteroides se situa entre as órbitas de Marte e Júpiter, e não entre Marte e Vênus, como foi erroneamente mencionado na reportagem “Ameaça futura” (edição 345).

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

ASSINATURAS, RENOVAÇÃO E MUDANÇA DE ENDEREÇO

Envie um e-mail para assinaturaspesquisa@fapesp.br

PARA ANUNCIAR

Contate: Paula Iliadis
E-mail: publicidade@fapesp.br

EDIÇÕES ANTERIORES

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

LICENCIAMENTO DE CONTEÚDO

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

CONTATOS

revistapesquisa.fapesp.br
redacao@fapesp.br



PesquisaFapesp



pesquisa_fapesp



@pesquisa_fapesp



PesquisaFapesp



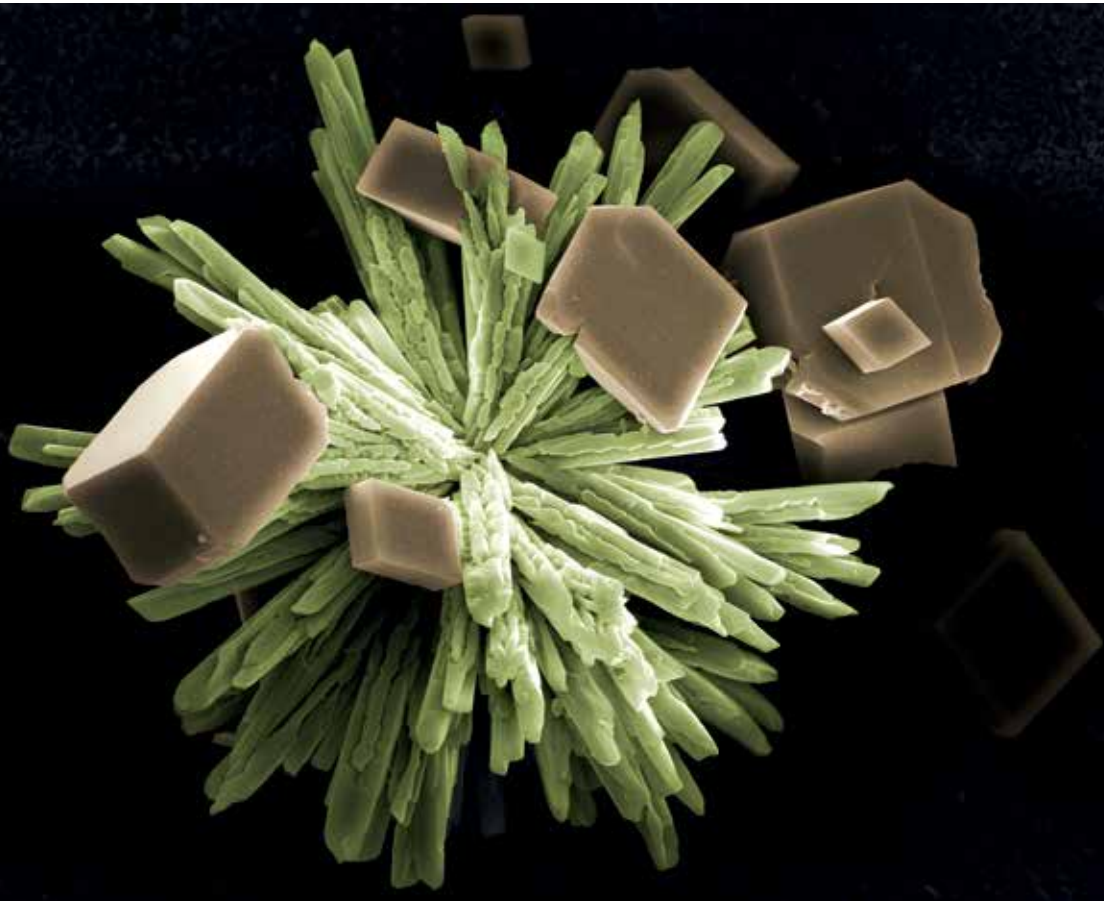
pesquisafapesp



cartas@fapesp.br

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

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



Cristais nos tubos

O carbonato de cálcio é inimigo das tubulações na extração de petróleo. Quando há predominância de calcita, os cubos da imagem acima, não há nada a fazer: é preciso substituir os canos. Experimentos com substâncias químicas inibidoras visam reduzir a taxa de deposição e também modular a forma dos cristais. Nesse caso, o tratamento levou à formação principalmente de aragonita (*os espetos esverdeados*), que pode ser removida por meio de limpeza. A fotografia foi premiada na categoria de microscopia eletrônica do XXII MetMat, concurso promovido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP).

Imagem enviada pelo biólogo **Fabio Dossi**, pesquisador do Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP), em Aracaju, Sergipe



ACOMPANHE O SITE PESQUISA FAPESP

REPORTAGENS EXCLUSIVAS

VÍDEOS, PODCASTS E GALERIAS DE IMAGENS

ATUALIZAÇÕES DIÁRIAS

NAVEGAÇÃO SIMPLES

COMPATÍVEL COM DISPOSITIVOS MÓVEIS

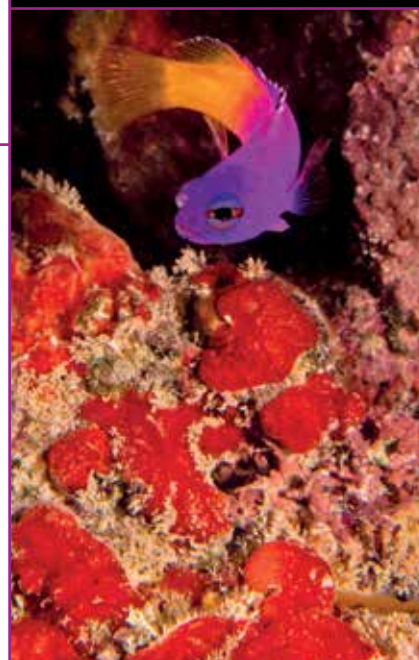


A relação da Amazônia com a seca não é uniforme

O fenômeno tem significativas variações de resposta à crise climática e algumas regiões parecem ter chegado ao ponto de colapso ecológico

Imagem: Roberto de Souza/Imagem/Contraste/Arquivo/Arquivo/Arquivo

Cadastre-se e receba
nossas newsletters gratuitas



pesquisafapesp

assine newsletter edição impresa

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



pesquisabrasil

PODCAST

Desconforto térmico nos prédios

Podcast discute o desafio de adaptar edifícios para torná-los mais resilientes ao aumento da temperatura nos próximos anos. E mais: violência na floresta; organismos aquáticos, comportamento de risco

POR PESQUISA BRASIL



ASTROFÍSICA

Asteroide que vai passar perto da Terra em 2029 pode criar chuva de meteoros na Lua daqui a 100 anos

Proximidade com o planeta pode fazer com que pedaços do astro se desprendam de seu entorno devido a perturbações gravitacionais

POR MARCOS FIVETTA

ISSAS PRÁTICAS

Mulheres têm maior probabilidade do que homens de parar de publicar artigos científicos, mostra levantamento

FOSSIL

Precursor dos dinossauros tinha características ósseas precursoras da corrida bípede

SÁUDE PÚBLICA

PRODUÇÃO CIENTÍFICA

MEMBRIA

revistapesquisa.fapesp.br



pesquisafapesp



revista **pesquisa** fapesp

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