



Uma agricultura mais saudável

Brotos de soja, a cultura que mais utiliza bioinsumos no país

Inseticidas e fertilizantes biológicos vencem desconfiança dos produtores rurais e disputam espaço com equivalentes químicos

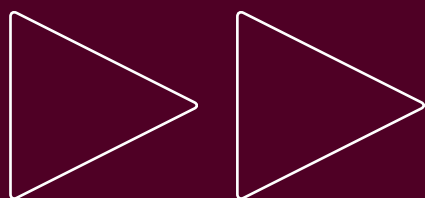
Na covid longa, vírus fica ativo no cérebro por até 80 dias, em teste com hamsters

Novo padrão da TV brasileira terá *streaming*, interatividade e experiência imersiva

Crescimento recorde da violência na região Norte expõe rede integrada de crimes

País tem 64 parques tecnológicos, nem todos conectados a instituições de pesquisa

COP30 termina sem condenação dos combustíveis fósseis; Brasil cria fundo para florestas



acompanhe **pesquisa**fapesp no YouTube

Novos vídeos de
ciência e tecnologia
semanalmente



MAIS VOZES NEGRAS NA CIÊNCIA



O RENASCIMENTO DO PALÁCIO GUSTAVO CAPANEMA



A ARMADILHA QUE ATRAI OS JOVENS PARA O VÍCIO

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



5 CARTA DA EDITORA

6 NOTAS

CAPA

12 Bioinsumos avançam no campo e rivalizam com os agrotóxicos

18 Agricultura e pecuária devem passar por adaptações para superar perdas causadas por alterações climáticas

ENTREVISTA

24 O engenheiro químico Walter Leal descobriu receptores olfativos e feromônios de pragas da agricultura

COOPERAÇÃO

30 Brasil tem 64 parques tecnológicos, nem todos conectados a instituições de pesquisa

ENTREVISTA

34 Morena Mills, cientista social ambiental, estuda como programas de conservação dão certo

BOAS PRÁTICAS

36 Matemáticos tentam prevenir manipulação de métricas de produtividade na disciplina

DADOS

39 EaD responde por mais de 50% dos ingressos em engenharia

COP30

40 Conferência do clima termina sem grandes avanços, em Belém

43 As oportunidades que a transição energética traz para os países do hemisfério Sul

44 Johan Rockström, do Instituto Potsdam, fala dos sistemas que permitem a vida no planeta

46 Pesquisadores cobram mais realismo nas negociações à medida que o planeta esquenta

48 Emissão de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis deverá bater novo recorde

AMBIENTE

50 Imersos em lago da Amazônia com água muito quente, botos e peixes agonizaram até morrer em 2023

EVOLUÇÃO

52 Clima afeta, além dos polinizadores, a evolução do formato das flores em florestas úmidas

FISIOLOGIA

54 Fragmentação do sono atinge de forma desigual machos e fêmeas de moscas-das-frutas

NEUROLOGIA

56 Em hamsters, vírus da Covid-19 permanece ativo no cérebro por até 80 dias



revista **pesquisa**fapesp

CAPA
SHIOTA /
GETTY IMAGES

A pior seca das últimas décadas no Afeganistão provoca perda generalizada nas colheitas e expulsa agricultores do campo (CAPA, P.18)

FOTO HASHIM AZIZ/FAO

Turistas avistam baleia-jubarte no litoral brasileiro: contribuição à ciência (TURISMO, P.83)



WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR



VÍDEOS

VAPE: A ARMADILHA QUE

ATRAI OS JOVENS PARA O VÍCIO

Cresce uso de cigarros eletrônicos, que podem causar dependência rápida e problemas de saúde graves



VERA RUBIN ENTRA

EM OPERAÇÃO COM IMAGENS INÉDITAS DO UNIVERSO

Novo telescópio nos Andes chilenos fará registros detalhados do céu com a maior câmera já construída



PODCAST

FRONTEIRAS DA

CARTOGRAFIA

Como comunidades tradicionais e de periferias estão usando mapas para dar visibilidade a seus territórios.

E mais: saúde mental; *phantoms*; calor extremo

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

ENTREVISTA

- 58** George Fu Gao, ex-diretor do CDC da China, fala sobre a dificuldade de coordenar ações em epidemias

FÍSICA

- 60** Tipo raro de colisão que ocorre no acelerador LHC poderia revelar matéria escura

INOVAÇÃO

- 62** Novo padrão tecnológico da TV brasileira a tornará mais interativa

ENGENHARIA AEROESPACIAL

- 67** Startup cria sistema para prevenir colisões de satélites com lixo espacial

AGRICULTURA

- 70** Fungo originado na Ásia destrói lavouras de mandioca

SOCIOLOGIA

- 72** Violência letal aumenta na região Norte e expõe rede integrada de crimes

ARQUITETURA

- 78** Estereótipos e desigualdade de gênero pautaram o lugar das mulheres nas moradias sociais

TURISMO

- 83** Público que pratica avistamento de baleias no litoral contribui para a produção de pesquisa

OBITUÁRIOS

- 86** Aníbal Fonseca de Figueiredo Neto (1958-2025)
88 Carlos Sandroni (1958-2025)

MEMÓRIA

- 90** Há 25 anos, o sequenciamento genético de bactéria inaugurou a genômica no Brasil

ITINERÁRIOS DE PESQUISA

- 94** Filha de decasségui, socióloga estudou a realidade dos trabalhadores brasileiros em fábricas no Japão

RESENHA

- 96** *Celso Furtado – Trajetória, pensamento e método*, de Alexandre de Freitas Barbosa e Alexandre Macchione Saes. Por Mauricio Chalfin Coutinho

97 COMENTÁRIOS

98 FOTOLAB

Protesto de ativistas pede a exclusão de corporações e lobistas das negociações durante a conferência do clima, em Belém (COP30, P.40)



A graça dos escaravelhos

ALEXANDRA OZORIO DE ALMEIDA — diretora de redação

Esqueça por um momento a copaíba, a andiroba e o açaí. Pense em microrganismos. Quando falamos em biodiversidade brasileira, bactérias e fungos não costumam ser as primeiras imagens que vêm à mente. Nem insetos e ácaros. Mas é dessas formas de vida que têm saído algumas soluções para aumentar a resiliência da agricultura aos efeitos das mudanças climáticas.

O Brasil acompanhou de perto, no último mês, a rodada anual de negociações sobre o enfrentamento do aquecimento global, ocorrida em Belém (página 40). Consensos são difíceis de se alcançar em qualquer grupo, quanto mais em um conjunto tão díspar quanto as Partes que compõem a COP. Mesmo quando a construção de um consenso é bem-sucedida, como o Acordo de Paris, há 10 anos, resta a luta não menos árdua para colocar as resoluções em prática. E para manter acesa alguma esperança.

A atividade agropecuária, importante emissora de gases de efeito estufa, é também vítima dessas alterações do planeta. Estimativas apresentadas pelo diretor do Escritório de Mudanças Climáticas, Biodiversidade e Ambiente da FAO (agência da ONU para a alimentação e a agricultura), Kaveh Zahedi, apontam que aproximadamente um quarto dos prejuízos econômicos provocados pelos desastres climáticos foi absorvido por esse setor (página 18).

Medidas para enfrentar os impactos do aquecimento global na agricultura incluem o desenvolvimento de sementes adaptadas a um clima mais quente e seco, alteração do período de plantio, novas estratégias de preparo de solo, entre outras. Segundo o engenheiro agrícola Eduardo Assad, da FGV, “o modelo de produção nacional

precisa rapidamente se descolar dos ensinamentos da agropecuária da revolução verde, baseada no uso de insumos e defensivos químicos, que esgotam rapidamente o solo, e migrar para o uso de técnicas mais equilibradas”.

Um exemplo são os insumos de origem biológica. Explorando uma fronteira científica e tecnológica da pesquisa brasileira, os bioinsumos trazem impactos significativos. Apresentando um risco bem menor de contaminar água e alimentos, essa categoria inclui biofertilizantes, bioestimulantes, condicionadores do solo, agentes de controle biológico, como a vespinha utilizada contra a broca-da-cana, e inoculantes. Nesse último grupo estão fixadores biológicos de nitrogênio, que, por si sós, representam uma economia anual de R\$ 55 bilhões desde 1981, segundo a Embrapa.

Os bioinsumos foram regulamentados por lei em 2024, com normas específicas, diferenciando-os dos agrotóxicos e fertilizantes químicos (página 12). A soja, a principal cultura brasileira, é a que mais consome insumos de origem biológica no país, seguida pelo milho, que ocupa o segundo lugar em área cultivada.

Especialista na comunicação química de insetos aplicada ao combate a pragas agrícolas, o entomologista pernambucano Walter Leal não simpatiza com essa classe de invertebrados – exceção feita aos besouros e escaravelhos. Professor na Universidade da Califórnia em Davis, nos Estados Unidos, Leal trabalha com colegas brasileiros identificando feromônios de espécies como o bicho-furão da cana e os psílídeos transmissores do *greening*, que afeta as plantações de laranja (página 24). Desafios científicos o motivam: “Se fosse tudo certinho, não era pesquisa, não tinha graça”.



Desenhar e pintar ajuda a manter os neurônios jovens

Criar, para o cérebro preservar

Dançar, tocar algum instrumento, desenhar, jogar videogame, brincar. A criatividade não apenas gera prazer, mas também protege contra o envelhecimento cerebral. A conclusão surgiu de um estudo de uma equipe internacional, incluindo o neurologista Renato Anghinah, da Universidade de São Paulo (USP). Participaram 1.240 pessoas de 13 países (20 eram da Itália, 37 da Argentina, 84 do Brasil e 484 da Turquia), com idade entre 17 e 91 anos. Os pesquisadores se basearam em eletroencefalogramas e modelos computacionais que estimam a idade biológica do cérebro e a comparam com a idade cronológica de cada indivíduo. Os participantes que praticavam atividades criativas apresentaram cérebros mais jovens, com maior conectividade e eficiência em áreas especialmente vulneráveis ao envelhecimento. Os dançarinos de tango, músicos, artistas visuais ou jogadores de videogames estratégicos tinham cérebros até sete anos mais jovens do que seus pares não especialistas. Quanto maior o nível de especialização e o desempenho, maior o retardo na idade cerebral. A conclusão: com exercícios físicos e boa alimentação, a criatividade pode ser uma ferramenta para promover um envelhecimento mais saudável e prevenir doenças neurodegenerativas (*Nature Communications*, 3 de outubro).

Desertificação avança para além do Nordeste

Em consequência da redução da quantidade de chuvas e do aumento da temperatura média anual, as áreas sujeitas à desertificação no Brasil expandiram 30% nos últimos 30 anos e avançaram para além do Nordeste, onde já havia sido registrada (ver Pesquisa FAPESP nº 338). A conclusão provém de dados climatológicos de 1961 a 2020 analisados por pesquisadores das universidades federais do Rio Grande do Norte (UFRN) e do Ceará (UFC) e de Nantes e Rennes, na França. Os resultados indicaram uma expansão da aridez e semiaridez na fronteira de Mato Grosso com a Bolívia e norte de São Paulo e do Rio de Janeiro. As áreas de clima árido, semiárido e subúmido aumentaram, respectivamente, 113%, 21% e 5%, enquanto a de clima úmido encolheu 2%, na comparação entre o período de 1961 a 1990 e o de 1991 a 2020. Em setembro, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) lançou o Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB Brasil), com 182 ações para deter a perda de terras férteis nos próximos 20 anos (*Atmospheric Research*, janeiro 2026).



Niterói: queda de 90% nas infecções causadas por *Aedes*

2

Bactéria eficaz contra a dengue

Niterói, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, conseguiu deter o avanço da dengue. A estratégia usada foi espalhar, por toda a cidade, mosquitos *Aedes aegypti* infectados com a cepa (variedade) *wMel* da bactéria *Wolbachia*, que reduz a capacidade de transmissão do vírus causador da dengue. A partir de 2017, os insetos com *Wolbachia* foram liberados nas áreas ocupadas pela população urbana. Em 2022, a maioria de *A. aegypti* em Niterói já carregava a bactéria, trazida da Austrália e inoculada nos mosquitos em viveiros na própria cidade. De acordo com um levantamento da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) de Belo Horizonte e da Universidade Monash, na Austrália, o número de novos casos de dengue notificados em Niterói foi 89% menor após as liberações de *Wolbachia* que no período anterior (de 2007 a 2016). Em 2024, a incidência de dengue em Niterói foi de 374 por 100 mil habitantes, menor que a do estado do Rio de Janeiro (1.884 por 100 mil) e da média nacional (3.157 por 100 mil). Os resultados observados são similares aos encontrados em localidades da Austrália, Ásia e outros países da América do Sul (*Tropical Medicine and Infectious Diseases*, 25 de agosto).

A traça que digere plásticos

Tanto as formas larvais quanto as adultas da traça-da-cera (*Galleria mellonella*), comuns em colmeias, podem ser úteis para reduzir a poluição gerada pelos plásticos. Em 2017, pesquisadores do Reino Unido e da Espanha mostraram que as larvas desse inseto poderiam comer e digerir polipropileno e polietileno, bastante usados em embalagens. Agora, um grupo da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCS-PA) e da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS) verificou que as larvas se alimentavam também de polietileno de baixa densidade (PEBD). Os experimentos indicaram que a degradação dos compostos petroquímicos deveria resultar da ação combinada de enzimas das larvas e da microbiota. As análises genéticas registram populações abundantes de bactérias degradadoras de plásticos, como as dos gêneros *Rhizobium* e *Sphingobium*, no intestino e nas glândulas salivares tanto das larvas alimentadas com cera de abelha, o alimento habitual, quanto das tratadas com PEBD (*Current Biology*, abril de 2017; *Waste Management*, janeiro 2026).



Larvas de *Galleria mellonella* se alimentam de colmeias e de embalagens plásticas

Relíquias do telejornalismo

Já pode ser consultado e apreciado, pelo Banco de Conteúdos Culturais da Cinemateca Brasileira (bcc.org.br/filmes), o primeiro lote de 226 telerreportagens do Fundo Tupi. Catalogado e digitalizado por meio de um projeto de pesquisa apoiado pela FAPESP e coordenado pelo historiador Eduardo Morettin, da Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo (ECA-USP), o acervo do Fundo Tupi consiste em cerca de 180 mil rolos de telerreportagens realizadas pela TV Tupi durante seu período de funcionamento, de 1950 a 1980. Já estão no site, por exemplo, filmes sobre um protesto das mulheres em Londres, desfile de tropas cubanas, entrevista com o então governador do Rio Grande do Sul Leonel Brizola (1922-2004) em 1961; enchentes na França e protestos na Itália em 1962; protestos no Brasil em 1964, incluindo os movimentos das tropas do Exército e o julgamento dos envolvidos



Cena de *Rebelião de Aragarças*, telerreportagem de 1959

na rebelião de Brasília; e o primeiro transplante do coração realizado em maio de 1968 em São Paulo. O Fundo Tupi, transferido para a Cinemateca Brasileira, inclui noticiários como o *Repórter Esso*, veiculado de 1952 a 1970. Segundo Morettin, outras telerreportagens serão publicadas ao longo do trabalho de catalogação e digitalização, previsto para terminar em 2028.

Onças-pintadas evitam estradas e precisam de matas preservadas



Quando faltam matas para os felinos

Nem todos os felinos silvestres do Brasil respondem da mesma forma às mudanças ambientais causadas pelas atividades humanas, como desmatamento e abertura de estradas. A partir de mais de 14 mil registros das nove espécies brasileiras de gatos selvagens, compilados em 13 plataformas públicas, pesquisadores do *campus* de Rio Claro da Universidade Estadual Paulista (Unesp) traçaram um retrato ecológico desses animais ante as mudanças antrópicas. Suçuaranas (*Puma concolor*) e jaguarundis (*Herpailurus yagouaroundi*) surpreenderam na capacidade de ocupar áreas perto de plantações e de pastagens, enquanto onças-pintadas (*Panthera onca*) e jaguatiricas (*Leopardus pardalis*) evitam estradas e precisam de alguma vegetação natural. Os gatos-do-mato menores, como o gato-maracajá (*L. wiedii*), precisam viver em floresta bem preservada. De acordo com a bióloga boliviana Vanesa Alegre, atualmente pesquisadora no Instituto Mamirauá, a classificação funcional proposta por esse estudo ajuda a prever quais espécies são mais vulneráveis à perda de hábitat e a planejar ações de conservação (*Biological Conservation*, novembro).

Algas recobrem rochas em cavernas

Isoladas ou em colônias, algas unicelulares conhecidas como diatomáceas podem cobrir as colunas de rochas, chamadas espeleotemas, de áreas pouco iluminadas da entrada de cavernas e interferir na formação geológica. Geólogos e biólogos das universidades de Brasília (UnB), Estadual de Campinas (Unicamp) e Estadual Paulista (Unesp) as encontraram em áreas com baixa luminosidade e umidade em rochas de três cavernas da serra do Itaqueri, no interior paulista. Foi um achado improvável, porque esses organismos fazem fotossíntese e são mais comuns em ambientes aquáticos. Duas espécies já identificadas pertencem ao gênero *Orthoseira* e são cilíndricas, com diâmetro variando de 10 a 30 micrômetros (μm) e pequenas estruturas semelhantes a espinhos, visíveis em microscópio eletrônico de varredura. A equipe coordenada pela geóloga Cintia Stumpf, da UnB, verificou que as algas, ao se multiplicarem, podem produzir ácidos e acelerar a dissolução da sílica que compõe as rochas, alterando o pH e a formação dos espeleotemas, como observado sob microscopia eletrônica (*Journal of South American Earth Sciences*, outubro).



Representação artística da Terra de 4,5 bilhões de anos atrás, com a Lua então mais próxima

3

Os primeiros sinais de uma Terra muito antiga

Vestígios extremamente raros em rochas muito antigas da Groenlândia, do Canadá e do Havaí representam os primeiros remanescentes já encontrados da proto-Terra, há cerca de 4,5 bilhões de anos. A proto-Terra era uma bola incandescente de rocha derretida e borbulhante que se formou a partir de poeira cósmica e meteoritos no início do sistema solar. Após 100 milhões de anos, o planeta sofreu um impacto com um meteorito do tamanho de Marte, que alterou seu interior. Pensava-se que o material original havia sido totalmente transformado, mas um grupo dos Estados Unidos, China e Suíça encontrou rochas do manto (a camada abaixo da crosta superficial) com uma excepcionalmente baixa proporção de potássio-40. Simulações das transformações geológicas da Terra indicaram que a rocha com essa composição peculiar era um remanescente preservado do planeta primitivo, que escapou da mistura de materiais gerada pelo impacto com o meteorito gigante. “Nosso estudo mostra que o inventário atual de meteoritos não está completo e que ainda há muito a aprender sobre a origem do nosso planeta”, comentou Nicole Nie, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) e participante do estudo, em comunicado (*Nature Geoscience*, 14 de outubro).

Um dinossauro das montanhas

Paleontólogos argentinos e chilenos encontraram um esqueleto quase completo de um pequeno réptil de pescoço comprido, batizado de *Huayracursor jaguensis*, a uma altitude de 3 mil metros (m) no noroeste da Argentina, na cordilheira dos Andes. É uma das espécies de dinossauros mais antigas do mundo, que teria vivido entre 230 milhões e 225 milhões de anos atrás, quando surgiram novos grupos de animais, incluindo os ancestrais dos mamíferos. “Por mais de meio século, faunas dessa idade estavam restritas a descobertas no Parque Provincial Ischigualasto, em San Juan, Argentina; na região de Cerro Las Lajas, ao sul de La Rioja, Argentina; e no estado do Rio Grande do Sul, Brasil”, comentou Agustín Martinelli, do Museu de Ciências Naturais Bernardino Rivadavia, em Buenos Aires, em um comunicado do Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Técnica (Conicet). Com base na análise dos ossos fossilizados – parte do crânio, uma coluna vertebral completa e membros



Huayracursor jaguensis, um dos dinossauros mais antigos já encontrados

4

anteriores e posteriores quase intactos –, os pesquisadores estimaram que *H. jaguensis* deveria ter 2 m de comprimento e um peso próximo a 18 quilogramas, quase o dobro do tamanho de *Eoraptor lunensis*, dinossauro encontrado no Parque Ischigualasto (*Nature*, 15 de outubro).

Por que chove no Sol

Ao contrário da água que cai do céu na Terra, a chuva solar ocorre na coroa do Sol, uma região de plasma, um gás eletricamente carregado a uma temperatura de milhões de graus, acima de sua superfície. A chuva coronal consiste em aglomerados de plasma mais frios e densos que caem de volta após se formarem no alto da coroa. Durante décadas, os cientistas tentaram explicar como ela se formava rapidamente durante as erupções solares. Por meio de modelos computacionais, astrofísicos da Universidade do Havaí (UH) mostraram que a rápida variação na abundância de elementos químicos como ferro, silício e magnésio, antes considerada constante, poderia explicar esse fenômeno. Esses elementos se ionizam mais facilmente (exigem menos energia) do que outros da coroa e sua abundância varia espacialmente. A proporção desses elementos em relação aos outros aumenta em uma coluna vertical estreita e diminui na região em volta dessa coluna. Essa região de alta concentração emite muita radiação e esfria, dando origem à chuva (UH News e *Astrophysical Journal*, 1º de outubro; *ScienceAlert*, 26 de outubro).

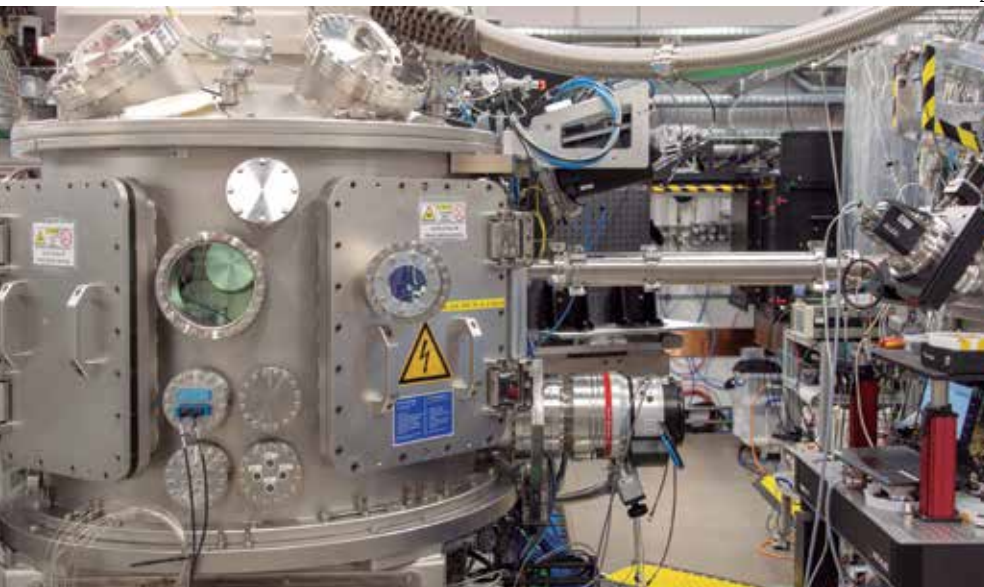


Colunas de ferro, silício e magnésio se distanciam da coroa, esfriam e voltam a cair

A 21ª forma do gelo

Especialistas em estruturas atômicas já haviam encontrado 20 formas do gelo puro, identificadas com numerais romanos e diferenciadas pela disposição dos átomos de hidrogênio e oxigênio. Agora, um grupo internacional, coordenado pelo Instituto Coreano de Pesquisa de Padrões e Ciência (Kriss), identificou uma nova forma, chamada gelo XXI, que se forma à temperatura ambiente e apresenta moléculas muito mais compactadas do que no gelo comum. Os pesquisadores o criaram colocando a água entre duas células de bigornas de diamantes e a submetendo a pressões 20 mil vezes maiores do que a pressão atmosférica normal na Terra, durante 10 milésimos de segundo. Depois, usaram os pulsos de raios X do Laser de Elétrons Livres de Raios X Europeu (XFEL), na Alemanha, para filmar as transformações moleculares. O gelo XXI tem uma estrutura cristalina tetragonal construída a partir de unidades repetitivas surpreendentemente grandes, que pode ser útil para estudar luas geladas como Titã, de Saturno, e Ganimedes, de Júpiter (XFEL e *Nature Materials*, 10 de outubro).

Os diamantes deste equipamento comprimiram a água e formaram uma estrutura supercompacta à temperatura ambiente



Soja invade território indígena

Entre 2001 e 2022, o cultivo ilegal de soja em terras indígenas da região Sul do país aumentou, em média, em 116%. O pico foi em 2019, quando a média esteve 177% acima do valor de referência, de 2001. A conclusão é de um estudo feito pelo antropólogo Felipe Kamaroski, da Associação Brasileira de Antropologia, em Brasília, e pelo biólogo brasileiro Juliano Morimoto, da Universidade de Aberdeen, na Escócia, e do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal do Paraná (UFPR), a partir da análise de dados disponíveis publicamente na plataforma on-line Global Forest Watch. O aumento mais marcante se deu no Paraná (127%), seguido por Santa Catarina (121%) e Rio Grande do Sul (106%), onde foram identificados territórios com mais de 60% da área coberta com os cultivos de soja. Os pesquisadores alertam para a necessidade de encontrar formas de reduzir as invasões de terra, garantir a soberania das populações tradicionais e preservar o ambiente natural (*Sustainability*, 6 de novembro).

Como viver no Vale da Morte

Como as plantas do Vale da Morte, na Califórnia, Estados Unidos, conseguem crescer e permanecer verdes sob uma luminosidade ofuscante e a temperaturas que no verão chegam a 50 graus Celsius (°C)? Seung Yon Rhee e Karine Prado, da Universidade do Estado de Michigan (MSU), nos Estados Unidos, encontraram alguns mecanismos de sobrevivência ao estudarem um arbusto conhecido como planta do deserto (*Tidestromia oblongifolia*). Em laboratório, a biomassa de *T. oblongifolia* triplicou em apenas 10 dias. As estruturas celulares responsáveis pela produção de energia reposicionaram-se ao lado dos cloroplastos, onde ocorre a fotossíntese. Os próprios cloroplastos assumiram uma forma de taça, que captura o dióxido de carbono com mais eficiência, estabilizando a produção de energia. E aumentou a produção da enzima rubisco ativase, que ajuda a manter a fotossíntese em altas temperaturas. “Essa é a planta mais tolerante ao calor já documentada”, disse Rhee, em um comunicado da MSU (*Current Biology*, 7 de novembro).



Adaptações metabólicas permitem à planta do deserto crescer mesmo sob calor intenso

3



Menino entre búfalos no Iraque, país com alta proporção de crianças sem água boa para beber

4

Diarreias prejudicam crescimento de crianças

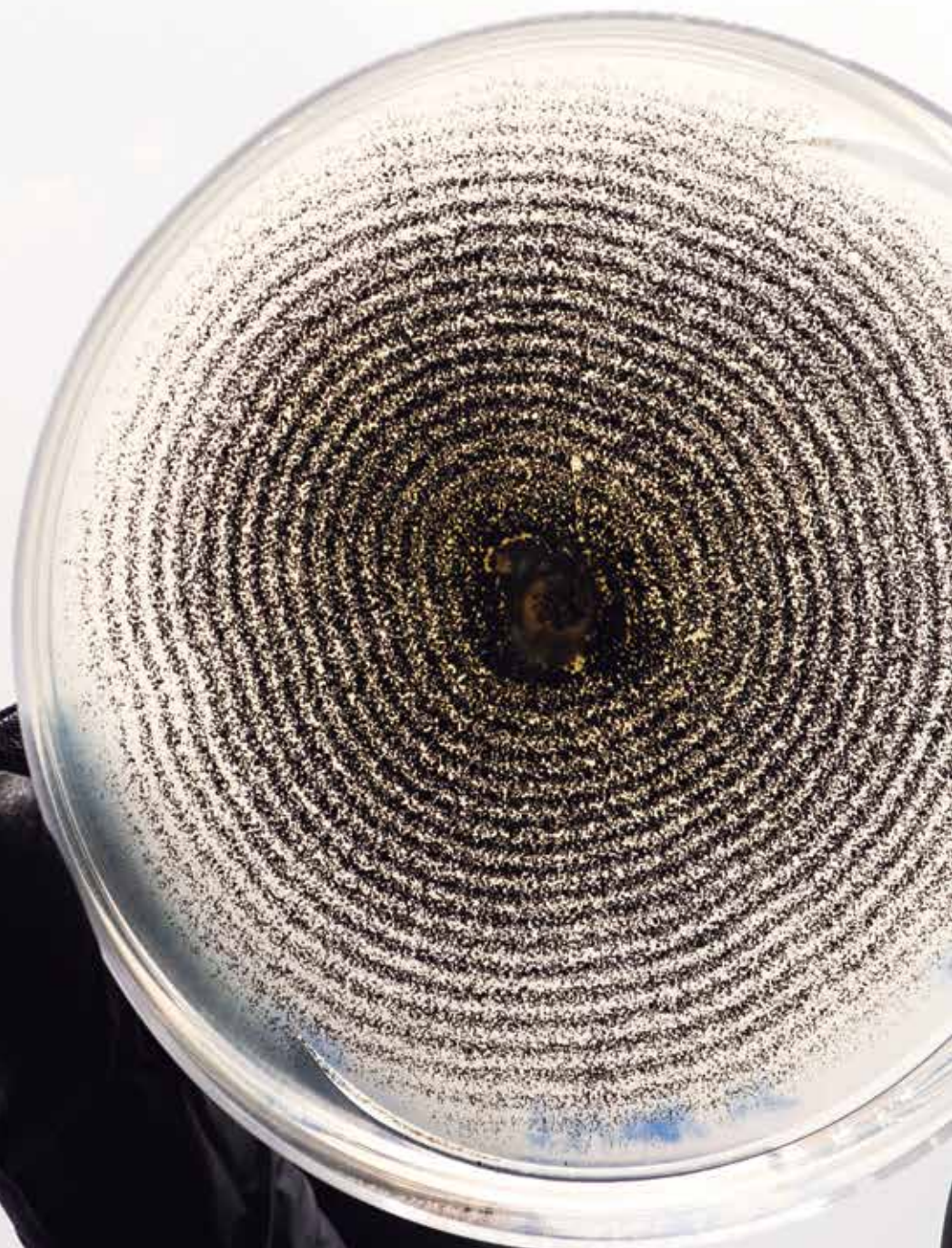
Após examinar os efeitos da contaminação da água domiciliar por *Escherichia coli* em 35.012 crianças menores de 5 anos em 29 países e territórios de baixa e média renda, especialistas da Universidade Waseda, do Japão, e da Universidade Nacional de Economia, do Vietnã, concluíram que diarreias causadas por água contaminada podem prejudicar o desenvolvimento infantil. Três quartos das crianças viviam em casas com água contaminada com *E. coli* e tinham uma probabilidade 2,3 e 1,8 pontos percentuais maior de apresentar baixa estatura e baixo

peso, respectivamente, do que as que viviam onde a água não estava contaminada. A maior proporção de crianças que vivem com água contaminada foi encontrada no Iraque (12,7% de 3.376 crianças). A maior proporção das afetadas por baixa estatura e baixo peso está no Chade (16,1% de 721 crianças) e na República Democrática do Congo (14,3% de 1.158 crianças), respectivamente. No mundo, 149 milhões de crianças sofrem atraso no crescimento e 82 milhões estão abaixo do peso ideal (*Bulletin of the World Health Organization*, 1º de outubro).

Pequenos seres amigos do campo

Insetos, ácaros e formulações à base de bactérias e fungos substituem agrotóxicos e fortalecem as defesas das plantas contra as pragas agrícolas

CARLOS FIORAVANTI



Metarhizium, gênero de fungos bastante usados para a produção de bioinsumos e ainda estudado na USP em Piracicaba



A busca por técnicas agrícolas menos agressivas ao ambiente e o interesse dos consumidores por alimentos com menos resíduos químicos têm impulsionado a produção nacional de insumos de origem biológica, chamados de bioinsumos. Novos produtos à base de microrganismos (bactérias ou fungos), que combatem pragas ou deixam o solo mais favorável ao crescimento de cultivos agrícolas, vêm sendo continuamente lançados por empresas, muitas vezes apoiadas por centros de pesquisa. Com a perspectiva de boas vendas, multinacionais antes dedicadas apenas à fabricação de agrotóxicos, fertilizantes e outros insumos químicos, como a norte-americana Mosaic Fertilizantes e as alemãs Basf e Bayer, abriram unidades de produção de bioinsumos no país.

Aos poucos, as formulações desse tipo substituem agrotóxicos e outros insumos produzidos a partir de moléculas sintéticas. O propósito dos dois grupos de produtos é o mesmo: reduzir a quantidade de insetos, aracnídeos e nematoides (vermes microscópicos abundantes no solo), que corroem a produção agrícola, e favorecer o crescimento de plantas usadas como alimento.

Os bioinsumos apresentam um risco bem menor de contaminar água e alimentos. Além disso, o custo para tratar sementes, combater fungos ou aumentar o aproveitamento de nutrientes do solo para o cultivo de soja por meio dessa estratégia é de menos de 1% acima do custo dos equivalentes químicos, de acordo com um estudo comparativo da Associação dos Produtores de Soja de Mato Grosso do Sul (Aprosoja/MS) de setembro de 2023. Há problemas, porém, que, ao menos inicialmente, resistem às duas estratégias, como a vassoura-de-bruxa da mandioca, que está devastando as plantações na região Norte do país (ver reportagem à página 70).

Ações do poder público completam a interação entre centros de pesquisa, empresas e usuários. Em dezembro de 2024, o governo federal aprovou a Lei nº 15.070, denominada Lei de Bioinsumos. Ela define normas específicas para produção e venda dessa categoria de compostos, antes tratados no mesmo grupo que os agrotóxicos e

fertilizantes químicos, e promove a geração do bioinsumo na propriedade rural, também chamada de *on-farm*, para uso próprio.

Em janeiro, o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) aprovou 29 novos bioinsumos, já como reflexo da nova lei, que simplifica o registro. Em agosto, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) anunciou uma linha de crédito de R\$ 60 milhões em recursos não reembolsáveis para cooperativas da agricultura familiar interessadas em produzir bioinsumos a serem usados por seus associados. Com produtos licenciados ou próprios, 580 empresas atuam nessa área no Brasil, de acordo com um relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO).

“Estamos no auge”, sintetiza o engenheiro-agrônomo Itamar Soares de Melo, da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Meio Ambiente, em Jaguariúna (SP). Em 2009, ele coletou amostras de raízes de mandacaru (*Cereus jamacaru*) no sertão do Nordeste. Sua intenção inicial era usar as bactérias que encontrasse para combater a desertificação, mas uma delas, *Bacillus aryabhatai*, mostrou-se capaz de amenizar os efeitos da falta de água. Refeitos os planos, ele descobriu que o microrganismo secretava um líquido viscoso, rico em açúcares, que protegia as raízes.

Sua pesquisa abriu uma vertente nova nessa área, a dos biofertilizantes mitigadores do estresse hídrico. Licenciada para a empresa mineira NOOA, transformou-se em um bioinsumo, o Auras, indicado principalmente para o milho, que começou a ser vendido em 2021. “Em 2024, já era usado em 1 milhão de hectares [ha; 1 ha equivale a 10 mil metros quadrados]”, informa Melo. Este ano, a Embrapa e a empresa paranaense Bioma lançaram o Hydratus, uma solução líquida com *Bacillus subtilis*, também isolada da Caatinga, que protege a soja e o milho contra a seca.

“As vantagens dos bioinsumos vão muito além da substituição de produtos químicos”, ressalta o engenheiro-agrônomo Ítalo Delalibera Jr., da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP), em Piracicaba. Ele e a engenheira-agrônoma Natasha Sant’Anna Iwanicki, também da Esalq, coordena-

ram uma edição especial da revista *Visão Agrícola* sobre bioinsumos, publicada em julho, com artigos de especialistas nessa área.

“Além de combaterem as pragas diretamente, fungos como *Beauveria* e *Metarhizium* penetram na planta, induzem as defesas contra doenças em geral e ativam a produção de auxina, um hormônio de crescimento, e de hormônios que aumentam a absorção de nutrientes e favorecem a resistência à seca”, diz Delalibera. Nas paredes de sua sala, dois quadros chamam a atenção: uma mosca morta, de abdome para o alto, toda coberta por bolor, e uma formiga sobre a qual cresceram duas estruturas semelhantes a cogumelos.

Como pesquisador ligado ao Centro de Excelência em Pesquisas sobre Controle Biológico (Sparcbio), um Centro de Pesquisa Aplicada (CPA) instalado em 2019 na Esalq, apoiado pela FAPESP, Delalibera fez formulações à base de fungos contra a cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*). O bioinseticida é produzido pela Koppert, fabricante holandesa de bioinsumos que apoia o centro.

Como diretor da unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii) na Esalq, ele contratou 63 projetos de desenvolvimento de formulações e processos de produção para 46 empresas, desde 2018. Para a Bionat, de Olímpia, interior paulista, ele e outros pesquisadores da Esalq criaram um bioestimulante de plantas com a bactéria *Pantoea agglomerans*, lançado há dois anos, e outro, com *Bacillus subtilis* e *B. velezensis*, para controle de nematoides, vendido desde o ano passado.

Segundo Delalibera, uma formulação à base de metabólitos – enzimas e compostos produzidos por uma bactéria durante a fermentação – passou nos testes contra doenças fúngicas e está em fase de registro no Mapa, a última etapa antes da produção em escala comercial. Outra, em fase avançada, resulta da seleção de variedades de bactérias como *Chromobacterium*, que produzem compostos que se mostraram eficazes no combate a doenças de plantas.

Na última safra, as vendas de bioinsumos no país chegaram a R\$ 6,7 bilhões, de acordo com um levantamento da associação CropLife Brasil e da consultoria Blink. A área tratada com produtos biológicos foi de 156 milhões de ha (esse valor corresponde a 1,6 vez os 96 milhões de ha cultivados no Brasil porque inclui várias aplicações ao longo de uma safra).

“A soja não seria uma das principais culturas agrícolas no Brasil sem a fixação biológica de nitrogênio”, ressalta o engenheiro-agrônomo da Embrapa Meio Ambiente Bernardo Halfeld-Vieira. De acordo com a CropLife, o cultivo da soja é o que mais utiliza bioinsumos (62%), principalmente os que combatem insetos

Para a safra vicejar

Os insumos agrícolas de origem biológica são genericamente classificados em cinco grupos



AGENTES DE CONTROLE BIOLÓGICO

Com a finalidade de controlar pragas, dividem-se em três tipos: macrobiológicos (organismos maiores, como insetos e ácaros); microbiológicos (feitos a partir de bactérias, fungos e vírus); e bioquímicos ou semioquímicos (feromônios ou extratos vegetais, que interferem no comportamento de insetos)



BIOFERTILIZANTES

Microorganismos ou compostos orgânicos líquidos que melhoram a fertilidade do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas



INOCULANTES

Microorganismos que promovem a fixação biológica de nitrogênio, essencial para o desenvolvimento das plantas



BIOESTIMULANTES OU BIORREGULADORES

Microorganismos ou extratos de algas que favorecem a germinação, o crescimento das raízes e a resistência à seca



CONDICIONADORES DO SOLO

Microorganismos que melhoram as propriedades físicas e químicas do solo

FONTE: MAPA

(ver infográfico na página 15). “Metade da área das propriedades rurais do Brasil já adota algum tipo de bioinsumo, principalmente os bioinseticidas”, diz o engenheiro-agrônomo da Esalq Fernando Andreote.

Os bioinsumos começaram a ser estudados nos anos 1910, quando pesquisadores dos institutos Agrônomico (IAC), em Campinas, e Biológico (IB), na capital paulista, buscaram microrganismos capazes de deter a broca-do-café, causada por um besouro preto (*Hypothenemus hampei*) com quase dois milímetros de comprimento. Hoje, é um campo consolidado, mas os especialistas custaram a ser ouvidos.

Em uma entrevista para o livro *Cientistas do Brasil – Depoimentos* (SBPC, 1998), a engenheira-agrônoma Johanna Döbereiner (1924-2000), da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, no Rio de Janeiro, contou que começou na primeira metade dos anos 1950 a selecionar bactérias fixadoras de nitrogênio no solo para cultivo de soja: “Ninguém me levava a sério porque não existia na literatura [científica] nenhuma descrição da associação dessas bactérias com plantas superiores”.

A resistência só amainou quando ela mostrou que as bactérias *Bradyrhizobium* e *Azospirillum brasilense* poderiam fazer isso e reduzir os gastos

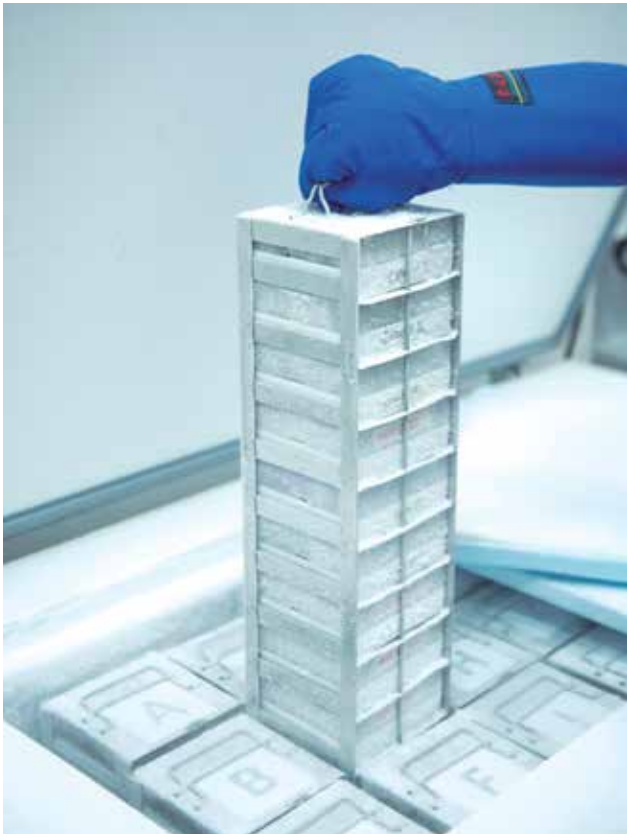
Os fungos contra-atacam: *Cordyceps javanica* cobre com um bolor branco moscas-brancas (ao lado); e *Beauveria bassiana* sobre a lagarta de um provável besouro



1



2



3

com fertilizantes químicos importados. Sua descoberta gerou produtos aplicados em 46 milhões de ha e uma economia em fertilizantes químicos estimada em R\$ 24 trilhões desde 1981, de acordo com o Balanço Social da Embrapa de 2024.

As pesquisas nessa área conquistaram outro reconhecimento internacional em maio deste ano, quando a engenheira-agrônoma Mariange-la Hungria, da Embrapa Soja, recebeu o Prêmio Mundial de Alimentação, concedido pela fundação norte-americana World Food. Desde 1989, com mais intensidade a partir de 2019, as pesquisas da Embrapa sobre controle biológico geraram 23 produtos comerciais para nutrição de plantas e outros 13 para redução do impacto da seca, como

detalhado em um artigo de novembro na *Pesquisa Agropecuária Brasileira*.

“Hoje, as instituições de pesquisa são procuradas por empresas em busca de novidades, o que facilita o estabelecimento de parcerias para o desenvolvimento de produtos”, conta Halfeld-Vieira, nessa área desde o início dos anos 2000.

O engenheiro-agrônomo da Esalq José Roberto Postali Parra, coordenador do Sparcbio, também observou uma grande mudança: “Quando comecei a fazer pesquisa sobre controle biológico de pragas, em 1984, falar com empresa era pecado mortal. Hoje é apenas venial [perdoável]”. Uma das grandes autoridades nessa área (*ver Pesquisa FAPESP nº 261*), ele aprimorou o uso da vespinha

Banco de microrganismos da Esalq, com cerca de 8 mil espécies de fungos e 3 mil de bactérias, usados para o desenvolvimento de defensivos naturais

Proteção extra para os alimentos

Os bioinsumos já são utilizados em áreas expressivas das principais culturas agrícolas do país (safra 2024/2025)

Cultura	Área cultivada (em milhões de ha)	Área com aplicação de bioinsumos (em %)
Soja	47,4	62
Milho	22,2	23
Cana-de-açúcar	8,7	10
Algodão, café, citros e hortifrúti	5,1	6

FONTES BLINK / CROPLIFE BRASIL / IBGE

Trichogramma galloi para combater o ovo da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*), já adotada em cerca de 5 milhões de ha de cana.

O laboratório de que Parra cuida diretamente está tomado por dois grupos de insetos, os que destroem as pragas e as próprias pragas, ambos crescendo em pequenos potes de plástico ou de vidro. Em uma das bancadas, no final de setembro, a bióloga Fernanda Canassa trabalhava com o minúsculo *Bracon* sp., visto como esperança para o controle das populações do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*).

Em outro laboratório ligado ao Sparcbio, o engenheiro-agrônomo José Maurício Simões Bento, com sua equipe, trabalha em um feromônio contra a broca-da-cana. Ele também já tem o que contar, por ter coordenado a pesquisa do primeiro feromônio comercial brasileiro, uma versão sintética de uma substância da fêmea do besouro *Migdolus fryanus*, colocada em armadilhas, para atrair os machos (ver Pesquisa FAPESP nº 218). Bento coordenou ainda o desenvolvimento do feromônio sexual do bicho-furão-dos-citros (*Gymnandrosoma aurantianum*).

Um sinal recente do interesse econômico nessa área foi a compra, em 2023, da Biotrop, fabricante paulista de bioinsumos criada cinco anos antes pelo grupo belga Biobest, especializado em defensivos agrícolas biológicos, em uma operação próxima a R\$ 2,8 bilhões. Em 2023, a gestora de investimentos Pátria intensificou sua participação em empresas ligadas à agricultura, formou uma rede de revendas e assumiu o controle da Microgeo, uma das mais antigas fabricantes de bioinsumos, criada em 2000 em Limeira, interior paulista. Até o ano passado, quando lançou uma linha de biofertilizantes, a empresa renomeada como Allterra tinha apenas um produto, um composto orgânico líquido que promove a fermentação do esterco bovino, normalmente já usado como adubo.

O primeiro campo de prova para essa abordagem foram os laranjais dos próprios donos da empresa nos municípios paulistas de Brotas e São Carlos – quando recebiam a mistura, tornavam-se mais produtivos. “No início, não éramos recebidos nas revendas”, conta o engenheiro-agrônomo Paulo D’Andrea, um dos fundadores da Microgeo. Segundo ele, os vendedores não acreditavam que os bioinsumos poderiam substituir os fertilizantes químicos.

Será que vai funcionar?

Apesar do crescente mercado de bioinsumos no Brasil e no mundo, ainda há um problema a ser resolvido: às vezes esses produtos funcionam e às vezes não. “Se não funciona, pode ser por causa de impurezas, de contaminação, de aplicação incorreta ou da interação inadequada com o microbioma, o conjunto de microrganismos do solo”, diz o engenheiro-agrônomo Rodrigo Mendes, da Embrapa Meio Ambiente. “Quando caem no solo, as bactérias e fungos que formam os bioinsumos atuam como invasores em comunidades já estabelecidas de microrganismos e precisam de condições adequadas para prosperar.”

Quando estava em um estágio de pós-doutoramento na Universidade de Wageningen, nos Países Baixos, Mendes fez experimentos com beterraba em diferentes tipos de solos infectados com o fungo *Rhizoctonia solani*, prejudicial também para tomate e arroz. Em seguida, por meio

de análises genéticas, avaliou a diversidade microbiana de cada amostra de solo. “Os microrganismos que vivem associados às raízes, o microbioma da rizosfera, são primeira linha de defesa da planta contra ataques de fungos”, concluiu. “Quanto maior a diversidade do microbioma do solo, mais efetivas são as defesas das plantas.” Os resultados foram detalhados em um artigo publicado em maio de 2011 na revista *Science*.

“O microbioma é tão importante para as plantas quanto para nós, seres humanos”, sintetiza Mendes. Seus estudos mais recentes mostraram que as bactérias do solo podem tanto cobrir quanto se infiltrar nas raízes, fortalecendo suas defesas contra patógenos. Em um artigo de agosto na revista *Geoderma*, a biotecnóloga Caroline Nishisaka, durante seu doutorado na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP) e na Embrapa Meio Ambiente, com

apoio da FAPESP e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), reforçou as conclusões sobre a importância do microbioma ao fazer experimentos com sementes de trigo depositadas em cinco amostras de solo, todas infectadas com o fungo *Bipolaris sorokiniana*, que faz as raízes apodrecerem.

Uma amostra era de solo natural, três com diferentes diluições do solo e uma com solo esterilizado, de modo a se obter uma gradação da diversidade microbiana. Todas receberam fungo e um inoculante. A doença se propagou mais em solos com microbioma mais pobre, como era esperado, mas foi em solos com menor diversidade de microrganismos que o inoculante apresentou um efeito mais benéfico. “Os bioinsumos devem se encaixar com a comunidade microbiana do solo e se dar bem também com as eventuais pulverizações de produtos químicos”, observa Fernando Andreote, da Esalq.



1

Duas pragas do campo: percevejos-da-soja (*acima*) e lagarta do gênero *Spodoptera* (*ao lado*). À direita, detalhe de plantação de soja, um dos cultivos que mais utilizam bioinsumos



2



3

O ano de 2013 marcou uma virada a favor dos bioinsumos. Foi quando começou a infestação da lagarta *Helicoverpa armigera*, contra a qual não havia nenhuma molécula química. A praga, porém, poderia ser detida por meio do controle biológico. D'Andrea e outros especialistas da área observaram que, a partir desse momento, cresceu bastante o interesse dos agricultores por produtos biológicos.

Grandes empresas, como Koppert, Biotrop, Agrivalle e Simbiose, buscam produtos diferenciados, com variedades exclusivas de microrganismos, enquanto as médias e pequenas tendem a se concentrar nos microrganismos mais usados, no Brasil e em outros países, como as bactérias do gênero *Bacillus* e os fungos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium* spp. e *Trichoderma* spp.

Reforçando a opinião de especialistas dos centros de pesquisa, o biólogo Carlos Ribeiro, sócio-fundador da Biotech Business, de Campinas, observa: “O mercado está crescendo, mas ainda há pouca inovação e é baixa a diversidade de microrganismos usados nos bioinsumos”.

Em busca de um produto original, a empresa, criada em 2022, elaborou uma combinação de fungos e bactérias que se mostrou eficaz em testes preliminares para inibir ovos e formas juvenis de nematoides que atacam as raízes das plantas. Ribeiro diz estar negociando com empresas interessadas em dar continuidade aos testes necessários ao registro no Mapa. Ao mesmo tem-

po, ele ajuda outras companhias a desenvolver ou aprimorar os métodos de produção de seus próprios bioinsumos.

Outras novidades devem brotar nos próximos anos. Halfeld-Vieira, por exemplo, trabalha com uma molécula de lipopolissacarídeo extraído da membrana externa de uma bactéria causadora da mancha bacteriana do maracujá, que se mostrou eficiente para combater outra doença, a mancha bacteriana do tomate.

Na forma de um gel translúcido aplicado sobre a planta ou no solo, o extrato bruto ajudou também a deter outra doença, o oídio, um mofo branco que apareceu inesperadamente na casa de vegetação da Embrapa Meio Ambiente durante os testes. Os tomateiros que receberam o gel resistiram mais ao avanço dos fungos em comparação com os que não haviam recebido.

Descrita em dois artigos científicos – um em março de 2023 na *Physiological and Molecular Plant Pathology* e outro em março deste ano na *Journal of Phytopathology* –, a pesquisa prossegue com a equipe de uma empresa de nome ainda sigiloso. Por meio de um contrato com a Embrapa, ela deverá providenciar a produção e a extração do lipopolissacarídeo e os testes que permitam sua fabricação e venda. ●

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

CAPA

Novos desafios para a produção de alimentos





FOTO MICHAEL DANTAS/AFP VIA GETTY IMAGES

Ribeirinhos transportam cachos de banana no leito do rio Solimões, em Manacapuru, no Amazonas, em meio à seca de 2024

Agricultura e pecuária devem necessitar de deslocamento de área, alteração no manejo da terra e inovações tecnológicas para enfrentar mudanças climáticas

RICARDO ZORZETTO

No início de novembro, o governo do Afeganistão relatou uma redução média de 6% na safra nacional de trigo, em comparação com a do ano anterior. O grão é o principal produto agrícola do país islâmico de 43 milhões de habitantes do centro-sul da Ásia. Em razão da seca prolongada e de pragas agrícolas, a colheita de trigo neste ano ficou em 4,5 milhões de toneladas. A queda na produção só não foi maior porque 70% das terras destinadas ao plantio são irrigadas – nelas, a queda de produtividade foi de 4%, enquanto nas áreas que dependem exclusivamente das chuvas houve redução de 24%. Para alimentar a população, o governo teve de importar 2,3 milhões de toneladas do grão.

O impacto da estiagem sobre a produção agrícola do país asiático não é um caso isolado. Em 2024, o ano mais quente em quase dois séculos, a falta de chuvas já havia provocado estragos na produção de alimentos na Índia e derrubado de 30% a 50% a produção de cereais em ao menos cinco países no sul da África. O Brasil não escapou. A longa estiagem, que no ano passado secou os rios da Amazônia, afetou outras regiões do país e fez encolher as safras de milho e de soja no Cerrado, duas das principais *commodities* agrícolas nacionais. Especialistas atribuem esses eventos, ao menos em parte, às transformações do clima do planeta, que vem esquentando e se tornando mais seco.

Um relatório divulgado em junho pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) estima que a proporção de terras expostas a estiagens mais do que dobrou em 120 anos no mundo. Em 1900, pouco mais de 10% das áreas continentais estavam sujeitas a atravessar períodos de seca intensa. Em 2020, essa proporção já alcançava quase 30%, com os eventos mais extremos de falta de chuvas se concentrando em décadas recentes. A perda de umidade dos solos parece ter se intensificado dos anos 1980 para cá em boa parte do mundo, acompanhada do declínio nos níveis dos rios e aquíferos globais. O documento alerta que, sem reduções importantes na emissão de gases que acumulam calor na atmosfera, esquentam o planeta e modificam o regime de



chuvas, os episódios de estiagem tendem a se tornar mais graves e frequentes até o final do século.

“As mudanças climáticas estão afetando a agricultura e a pecuária de modo muito profundo em todas as regiões do mundo”, afirma o economista iraniano Kaveh Zahedi, diretor do Escritório de Mudanças Climáticas, Biodiversidade e Ambiente da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Ele esteve no Brasil em outubro, quando apresentou dados sobre o tema na Conferência Geral da Academia Mundial de Ciências (TWAS), no Rio de Janeiro. Zahedi conversou com *Pesquisa FAPESP* em meados de outubro, por videochamada, a partir de seu escritório, em Roma. Ele contou que as consequências da alteração do clima sobre a produção de alimentos vêm se tornando mais evidentes nos últimos 10 ou 20 anos. “De 2007 a 2024, o setor agropecuário absorveu aproximadamente um quarto dos prejuízos econômicos provocados pelos desastres climáticos”, relatou. “As alterações no clima estão modificando o que se pode plantar e onde se pode plantar.”

Aumentos da temperatura e alterações no regime de chuvas previstos para as próximas décadas devem forçar os produtores rurais em boa parte do mundo a adotar medidas para contornar a potencial queda de produção. Será preciso trabalhar

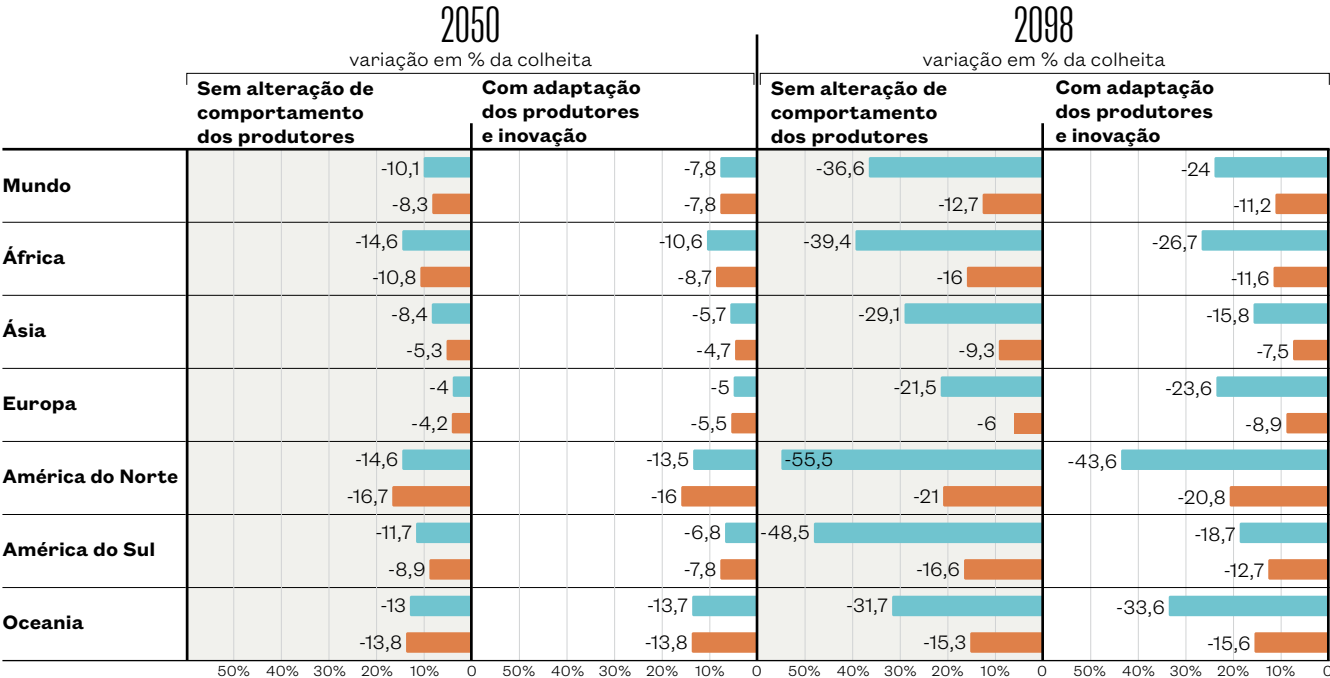
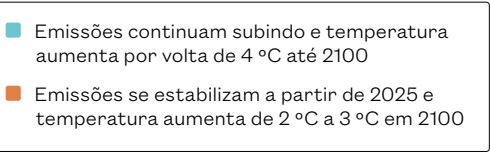
com sementes de variedades adaptadas ao clima mais quente e seco, adotar sistemas de irrigação e novas estratégias de preparo do solo ou expandir a área plantada. Mesmo assim, a produção de alguns dos alimentos mais consumidos pela humanidade não deve ocorrer livre de desafios.

Em um estudo recente, publicado em junho na revista *Nature*, o economista Andrew Hultgren, da Universidade de Illinois, em Urbana-Champaign, nos Estados Unidos, estimou o que pode ocorrer nas próximas décadas com a produtividade de seis grandes culturas, responsáveis por alimentar boa parte da humanidade: trigo, arroz, milho, soja, sorgo e mandioca.

Os pesquisadores coletaram informações sobre a produção desses alimentos em 12.658 regiões com climas e condições socioeconômicas diferentes em 54 países e alimentaram 33 modelos de comportamento do clima, que levam em conta dois cenários adotados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), da Organização das Nações Unidas (ONU), para projetar o que pode ocorrer com essas culturas. No primeiro cenário, mais moderado, as emissões dos gases de efeito estufa (GEE), que aquecem a atmosfera

Alterações projetadas em seis culturas em consequência das mudanças climáticas

Produtividade média das culturas deve cair com e sem medidas de adaptação



FONTE: HULTGREN, A. ET AL. NATURE. 18 JUN. 2025



Acima, comerciantes em mercado em Soroti, Uganda, na África, região em que a produção de alimentos caiu devido a desastres naturais e pragas. À direita, agricultor afegão colhe trigo seco durante a estiagem de 2025

ra, estabilizam-se a partir de meados do século e o planeta fica, em média, de 2 a 3 graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) mais quente por volta de 2100. No segundo, as emissões continuam subindo e a temperatura aumenta por volta de 4 $^{\circ}\text{C}$ até o final do século.

Hultgren e colaboradores dos Estados Unidos e da China realizaram os cálculos do que ocorreria nos dois cenários de aquecimento em duas situações: uma na qual os agricultores não mudam a forma de produzir e outra na qual adotam medidas de adaptação efetivamente tomadas por produtores rurais em várias partes do mundo, como a troca por variedades mais resistentes às novas condições climáticas, a alteração do período de plantio e ajustes no uso de fertilizantes.

A adaptação, como esperado, melhora o quadro. Mesmo assim, os resultados preocupam. Levando em conta a trajetória de aquecimento mais moderado, por exemplo, pode haver uma redução de 8,3% na produção das seis culturas no mundo já em 2050. Se os agricultores forem capazes de adaptar seus plantios: a queda seria de 7,8% nas colheitas. As perdas são ainda mais elevadas até 2098: 12,7% sem e 11,2% com adaptação. Chama a atenção o fato de a redução de safra ser mais acentuada justamente nas regiões que hoje funcionam como os grandes celeiros de alimentos do mundo: as Américas do Norte e do Sul e a Oceania (*ver gráfico na página ao lado*).

“Nos modelos preditivos, sempre há algum grau de incerteza associado aos cenários. Por isso, os resultados podem, às vezes, seguir trajetórias divergentes”, explica o engenheiro-agrônomo Carlos Eduardo Cerri, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP), que coordena o Centro de Pesquisa de Carbono em Agricultura Tropical, o CCarbon,

um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) apoiados pela FAPESP. O pesquisador conta que as previsões não significam que os fenômenos vão se desenrolar exatamente como indicam os modelos, mas que a probabilidade de que assim ocorram é considerável. “O que vemos até o momento”, conta, “são indicações de que as mudanças climáticas devem causar prejuízo na produção de alimentos”.

O impacto dos prejuízos, estimam alguns especialistas, deve se distribuir de modo desigual e afetar mais as populações mais pobres e vulneráveis, que têm maior dificuldade de conseguir alimento à medida que os preços sobem. Se mesmo com a produção agropecuária crescente das últimas décadas não é fácil produzir e distribuir alimentos para 8,3 bilhões de pessoas (cerca de 700 milhões vivem com fome atualmente), o problema deve se tornar mais desafiador com os efeitos do clima sobre a agropecuária somados ao crescimento da população mundial – projetada para chegar a 9,7 bilhões de indivíduos em 2050 e atingir 10,3 bilhões em 2080. “Alguns cenários do IPCC indicam que, sob certas condições e regiões, incluindo a África e a América do Sul, a agricultura dependente da chuva vai se tornar muito desafiadora, se não, impossível”, lembra Zahedi, da FAO.

O Brasil, um dos maiores produtores de alimentos do mundo, precisará submeter boa parte de seu sistema de produção agrícola e pecuária a ajustes se quiser estar preparado para o que pode vir pela frente. É que os trabalhos que embasaram a 4ª Comunicação Nacional do Brasil para a Convenção-quadro das Nações Unidas sobre Mudanças

ças Climáticas esboçam um cenário preocupante. Submetido em 2020 ao organismo internacional de cooperação da área de clima, esse documento oficial do país detalha as emissões de GEE e as ações para reduzi-las e apresenta as vulnerabilidades da agricultura e da pecuária brasileiras aos efeitos do aquecimento global. De sete culturas analisadas nessa versão do documento (a mais recente a apresentar dados de vulnerabilidade), seis devem experimentar algum grau de perda de produtividade até 2050.

As mais afetadas devem ser justamente as maiores culturas: milho e soja. A produtividade do milho pode cair das 4,7 toneladas por hectare (t/ha) atuais para 2,3 t/ha na metade do século (queda de 51%), enquanto a da soja pode baixar de 2,9 t/ha para 0,6 t/ha (redução de quase 80%). A única cultura a apresentar um ligeiro aumento de produtividade deve ser a de mandioca (4,8%). A produção bruta de carne, leite, ovos e pescado também pode encolher (*ver gráfico abaixo*).

Além de se tornarem menos produtivas, as culturas de arroz, feijão, soja e trigo enfrentarão o desafio de encontrar áreas adequadas para o plantio. A previsão é que as regiões com terreno e clima favoráveis a essas culturas encolham entre 7,5% e 85% no cenário moderado, em que as emissões de GEE se estabilizam a partir de 2050.

“No Brasil, as culturas de soja e milho estão muito vulneráveis aos eventos climáticos extremos, como as secas, as inundações e as ondas de frio e calor”, comenta o engenheiro agrícola Eduardo Delgado Assad, da Fundação Getúlio Vargas (FGV), estudioso do impacto das mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira, colaborador da 4ª Comunicação Nacional e um dos coordenadores do inventário nacional de emissões de GEE.

Ainda que outros estudos indiquem uma redução na duração e no volume de chuvas em diversas regiões do país, em particular nas áreas do Cerrado em que são plantados milho e soja, alguns grupos de pesquisa têm uma perspectiva mais otimista e projetam que algumas culturas podem até se tornar mais produtivas. Um deles é o liderado pelo engenheiro-agrônomo Fábio Marin, na Esalq, em Piracicaba. Em estudos publicados de 2021 para cá, Marin e colaboradores simularam o que pode ocorrer com o milho, o feijão, a soja, a cana e as pastagens em diferentes cenários climáticos e regiões do país. De modo geral, as pastagens devem perder um pouco de produtividade, em especial no meio do ano, em razão do atraso do início das chuvas, segundo projeções que devem ser publicadas em janeiro na *Agricultural Systems*. Já as culturas soja, milho, cana e feijão, de acordo com projeções publicadas entre 2021 e 2025 nas revistas *European Journal of Agronomy*, *Theoretical and Applied Climatology* e *Agricultural Systems*, devem se tornar mais produ-



Cenário desafiador

Produtividade de culturas agrícolas, da pecuária e da pesca pode diminuir no Brasil até meados do século

	Produtividade atual	Produtividade projetada para 2050	Variação (%)
Agricultura			
Arroz	4,9 t/ha	4,2 t/ha	-15,2%
Café	1,4 t/ha	1,1 t/ha	-21,5%
Feijão	0,9 t/ha	0,7 t/ha	-23,1%
Mandioca	14 t/ha	14,7 t/ha	4,8%
Milho	4,7 t/ha	2,3 t/ha	-51%
Soja	2,9 t/ha	0,6 t/ha	-79,6%
Trigo	2,5 t/ha	1,3 t/ha	-46,2%
Pecuária			
Carne bovina	9,36 milhões t	8,7 milhões t	-7%
Leite	32.392,40 milhões t	26.273,40 milhões t	-18,8%
Ovos	3.553,80 milhões t	3.433,70 milhões t	-3,4%
Aquicultura			
Pesca	95,1 milhões t	84,6 milhões t	-11%

FONTE 4ª COMUNICAÇÃO NACIONAL DO BRASIL PARA A CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2021)



Safra de milho, no Brasil, vem sofrendo redução por conta de atraso e diminuição do volume de chuvas no meio do ano

tivas – ainda que, para isso, algumas necessitem de melhoramento.

“Embora alguns grupos calculem que o impacto das mudanças climáticas deva ser catastrófico na agricultura, para nossa equipe, com as adaptações necessárias, será possível continuar produzindo bastante no país”, comenta o engenheiro-agrônomo Henrique Brunetti, especialista em pastagens da equipe de Marin, da Esalq. “De qualquer maneira, no entanto, nossa agricultura vai precisar de adaptação”, afirma.

“A maioria dos estudos não leva em consideração que os produtores vão adotar medidas para adaptar suas culturas”, comenta o engenheiro agrícola Marcos Heil Costa, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Minas Gerais, outro que tem uma visão positiva sobre a capacidade da agricultura e da pecuária brasileiras de lidar com os desafios do clima. “Os produtores brasileiros já vêm experimentando adaptações há algumas décadas e assim devem continuar. Farão isso por meio do uso de variedades mais apropriadas ao novo clima, por meio de mudanças na época de plantio agrícola ou do uso de novas tecnologias”, afirma.

Para Costa, a agropecuária nacional vem passando por duas grandes transformações que devem aumentar a produtividade. A primeira é o aumento da área de culturas irrigadas. Dos 283 milhões de hectares dedicados à agricultura e à pecuária, apenas 8 milhões são irrigados hoje, mas devem chegar a 12 milhões até 2040. “Isso permitirá que se realizem de duas a três colheitas por ano em algumas regiões”, estima o pesquisador da UFV. A segunda transformação é a recuperação de pastagens degradadas. “Parte delas está sendo transformada em pastagem mais produtiva e parte vem sendo integrada à agricultura e ao plantio de florestas.”

Nos últimos anos, um dos motores da recuperação de pastagens no Brasil tem sido o Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, o Plano ABC. Formulado pelo governo federal em 2009, o plano adota seis estratégias para promover medidas que reduzam a emissão de GEE ao mesmo tempo que promovam produção agropecuária mais eficiente e resiliente: plantio direto, integração lavoura-floresta-pecuária, plantio de florestas, fixação biológica de nitrogênio, tratamento de rejeitos animais e recuperação de pastagens. De 2010 a 2020, na sua primeira década de vigência, o plano promoveu a recuperação de 26,8 milhões de hectares de pastagens (quase o dobro do planejado), o que evitou a emissão de 36 milhões de toneladas de GEE.

“Para reduzir a pegada de carbono da agropecuária brasileira, que responde por cerca de um terço dos GEE emitidos pelo país, será preciso multiplicar por mil a capacidade de retirar carbono da atmosfera”, diz Assad, um dos idealizadores do Plano ABC. Ele sabe, no entanto, que essa transição exige um investimento nem sempre fácil de se fazer. “O modelo de produção nacional precisa rapidamente se descolar dos ensinamentos da agropecuária da revolução verde, baseada no uso de insumos e defensivos químicos, que esgotam rapidamente o solo, e migrar para o uso de técnicas mais equilibradas, com integração de agricultura-floresta e pastagem e o uso de bioinsumos”, afirma (*ver reportagem na página 12*).

A adoção dessas técnicas não é rápida nem barata. “É preciso pensar em um cenário de quatro anos para começar a ter lucro e o agricultor brasileiro tem uma margem muito pequena. Se tiver duas ou três safras no vermelho, ele quebra”, explica Assad. Apenas a recuperação das terras agrícolas degradadas no mundo consumiria US\$ 300 bilhões por ano. “Mesmo assim, é mais barato do que não fazer nada”, afirma o biólogo Bruno Brasil, diretor do Departamento de Produção Sustentável e Irrigação do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). Segundo Brasil, a recuperação dessas terras em todo o planeta exigiria o investimento de US\$ 7,5 trilhões até 2050. Já o impacto das mudanças climáticas na agropecuária deve levar a perdas de US\$ 23 trilhões.

“Conhecemos muita coisa que pode ser feita para aumentar a resiliência da agropecuária às mudanças climáticas e reduzir a insegurança alimentar”, comenta Zahedi, da FAO. “O grande desafio é fazer as soluções ganharem escala.” ●

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

No rastro dos insetos

Engenheiro químico pernambucano se destacou no Japão e nos Estados Unidos descobrindo receptores olfativos e feromônios de pragas da agricultura

MARIA GUIMARÃES E CARLOS FIORAVANTI

retrato T. J. USHING / UC DAVIS IET

Aos 12 anos, órfão de pai, o pernambucano Walter Soares Leal pretendia fazer escola técnica e começar a trabalhar para ajudar nas despesas da família. Sua mãe tinha outra visão: “Não. Você vai fazer universidade”. Trabalhou, sim, como locutor de rádio, usando o salário para pagar o colégio particular, e ganhou uma bolsa para o cursinho pré-vestibular. Depois da graduação em engenharia química, conseguiu outra bolsa, dessa vez para estudar no Japão, onde viveu por 16 anos entre os estudos de pós-graduação e o trabalho como pesquisador no Ministério da Agricultura, Florestas e Pescas. Em 2000 foi convidado a se candidatar para uma vaga na Universidade da Califórnia em Davis, nos Estados Unidos, onde é professor.

Dotado de raro prazer em mudar de área de pesquisa, Leal chegou à entomologia, a ciência que trata dos insetos, e identificou feromônios – substâncias químicas que promovem a comunicação entre os animais – que ajudaram em novas estratégias de combate a pragas agrícolas. Trabalhando com colegas do Brasil, ajudou no controle do bicho-furão (*Gymnandrosoma aurantiana*) da cana-de-açúcar e, nos últimos anos, participa do até agora difícil controle dos psilídeos-asiáticos-dos-citros (*Diaphorina citri*), transmissores do *greening*, que devasta as plantações de laranja de São Paulo e dos estados vizinhos (ver Pesquisa FAPESP nº 343).

Nesta entrevista, concedida por plataforma de vídeo, Leal, aos 71 anos, conta descontraído e com bom humor suas descobertas, aventuras – como ter chegado no Japão sem saber japonês ou inglês – e conquistas mais recentes, como ser eleito para a Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos, em março de 2024. É casado com uma brasileira, que conheceu no Japão, e tem dois filhos e uma filha.



**ESPECIALIDADE**

Entomologia

INSTITUIÇÃO

Universidade da
Califórnia em Davis
(UC Davis),
Estados Unidos

FORMAÇÃO

Graduação em
engenharia química pela
Universidade Federal
de Pernambuco (1982),
mestrado em química
agrícola pela Universidade
Mie, Japão (1987),
doutorado em bioquímica
aplicada pela Universidade
Tsukuba, Japão (1990)

A dificuldade em agendar esta entrevista mostra como você é ocupado. Como é seu dia a dia?

Nosso trabalho na universidade tem três partes: pesquisa; ensino e mentoria, que são as aulas e orientação aos estudantes; e serviço, que inclui pareceres de projetos de pesquisa, organização de congressos, editoriais para revistas científicas e outras ações não remuneradas, mas que a universidade também espera que a gente faça. Aperta mais quando dou aulas, que se concentram em um trimestre, geralmente no inverno. Aí tenho de preparar, ganhar o interesse dos estudantes e cuidar deles depois. Sou muito dedicado como professor. A pesquisa nos dá muito, mas a grande recompensa é o ensino, motivar uma turma jovem e desenvolver o potencial dos estudantes. Durante 13 anos ensinei fisiologia de insetos e há alguns anos dou aula de bioquímica, que é o que gosto ainda mais porque posso mostrar aos alunos não só o que está nos livros, mas também o que fazemos no laboratório e eles não sabem. Não funciona mais aquela coisa enfadonha do passado de só repetir o que está no livro. Quando não tenho aulas, geralmente uso as manhãs, por causa do fuso horário, para falar com outros pesquisadores da China, Austrália, Europa e do Brasil. Nesse último caso é mais fácil porque são só quatro horas de diferença. Agora mesmo eu estava em uma reunião com o pessoal do Fundecitrus [Fundo de Defesa da Citricultura].

O que estão fazendo?

Trabalhamos juntos há uns 10 anos, tentando resolver problemas urgentes das pragas agrícolas da laranja. O desafio científico do bicho-furão, na citricultura, conseguimos resolver em uma tarde, com Maurício Bento, professor da Esalq [Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, no interior paulista] que naquela época era ainda estudante. Ele foi para o Japão, onde eu estava, e deciframos qual era o feromônio daquela espécie. Depois de descobrir no laboratório, tivemos de provar com experimento de campo, o que demora mais, que aquela era a substância que permitia que os pares se encontrassem para acasalar. Foi um trabalho muito bom, que agora está sendo usado como uma ferramenta para controlar essa praga, interfe-

rindo nessa comunicação. Com a diaforina [*Diaphorina citri*], foi mais complicado.

Por quê?

Depois de uma trabalhadeira danada, descobrimos o feromônio desse inseto e, para ganhar tempo, fizemos os experimentos aqui nos Estados Unidos, onde a época de volta do inseto para o campo começa mais cedo. Ficamos superanimados com os testes de campo com o feromônio, refizemos o experimento no Brasil e não funcionou. Levou um tempo para descobrirmos o problema. Esse inseto tinha uma complicação a mais. Quando está infectado com a bactéria causadora do *greening*, o olfato perde a sensibilidade e ele precisa de uma quantidade 50 vezes maior do feromônio para reagir. Ninguém sabia disso. É como quando alguém está resfriado, perde a sensibilidade do nariz e não sente mais o cheiro de café, que normalmente se percebe a distância. Demoramos para descobrir isso, mas conseguimos. É o que nos motiva. Se fosse tudo certinho, não era pesquisa, não tinha graça.

Com essas descobertas, qual é a perspectiva de controlar o *greening*?

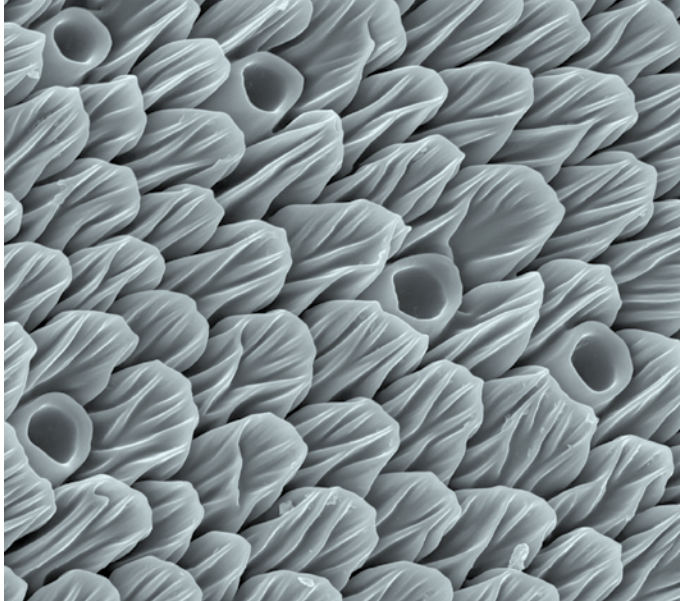
“

Eu adoro o que não sei, porque vou aprender. Virei entomologista sem nunca ter estudado entomologia

O próximo passo é utilizar o feromônio para fazer o que chamamos de confundimento sexual. Colocaremos feromônio no campo e o macho não saberá se ele vem de uma fonte artificial ou de uma fêmea, que normalmente produz a substância de atração sexual. Como se torna mais difícil que os parceiros reprodutivos se encontrem, os machos se perdem pelo caminho, sem encontrar as fêmeas, a frequência de acasalamento diminui e, portanto, a população de insetos também. Essa é a parte teórica. Na prática, certamente teremos de fazer muitos ajustes, de acordo com o comportamento dos insetos. Estamos também testando outras estratégias, como um repelente chamado α -copaeno, um hidrocarboneto líquido oleoso extraído pela primeira vez da resina da copaíba [*Copaifera langsdorffii*], que funcionou em baixas doses contra a diaforina. Esse trabalho rendeu um artigo em janeiro na *Scientific Reports*. O que nos ajuda imensamente é o modo como o Fundecitrus funciona. Aqui nos Estados Unidos, quando vou fazer um trabalho para os plantadores de nozes ou pistache, por exemplo, faço a proposta, recebo o dinheiro e faço a pesquisa na universidade, sem contato com os financiadores. O Fundecitrus, além de financiar a pesquisa, tem uma equipe própria de pesquisadores. Sou pago pela universidade, não pelo Fundecitrus, mas trabalhamos todos juntos, como se fosse uma única equipe, e resolvemos os problemas vendo-os de perto. É muito mais prático e rápido. Não vi nenhum outro lugar que funciona desse modo.

Suas pesquisas são bastante aplicadas, mas ao mesmo tempo você está lidando com pesquisa básica, de comunicação química entre insetos. Como concilia os dois tipos de conhecimento?

Nosso laboratório lida com pesquisa básica e aplicada. Publicamos trabalhos práticos com a equipe do Fundecitrus e outros só de pesquisa básica mostrando, por exemplo, o comportamento do inseto. Tentamos descobrir os receptores da membrana celular associados aos feromônios e, uma vez descobertos, vamos atrás dos compostos e, às vezes, levamos para o campo. Algumas pesquisas nós publicamos sem saber se daqui a 5, 10 ou 100 anos vão ter algum uso. E tem aquelas com uso prático imediato, como com o



Sensores olfativos da antena da borboleta-pavão (*Aglais io*), ampliados 7.500 vezes

bicho-furão e a diaforina. Meu foco principal sempre foram as aplicações agrícolas, mas também me dediquei a estudar o comportamento de mosquitos. Uma das coisas que descobrimos foram os receptores dos neurônios para as moléculas do Deet, um repelente de insetos usado há mais de 70 anos que não sabíamos como atuava sobre os insetos. Aí utilizamos esses receptores para tentar descobrir moléculas novas que pudessem ser usadas como repelente, porque o inseto cria adaptações e chega uma hora em que o Deet não funciona mais. É uma das pesquisas que estamos fazendo no momento, testando uma combinação de compostos diferentes para ver se agem melhor. Às vezes, achamos um composto muito bom, mas o efeito não se mantém por um período longo – e todos queremos repelentes que durem bastante, não é? Tudo isso está baseado na comunicação química dos insetos.

Davis é um *campus* muito agrícola, não? Foi o que o atraiu?

Davis começou com uma escola agrícola, há mais de 100 anos. Era a estação experimental de Berkeley [outro *campus* da Universidade da Califórnia], mas depois diversificou e criou espaço para todas as áreas. É muito bom, porque sempre se pode encontrar alguém trabalhando em uma área com a qual é possível colaborar. Antes de vir para cá, eu estava no Japão, concursado, um cargo de funcionário público no Ministério da Agricultura, Florestas e Pescas. Até onde sei, fui o único estrangeiro na história da agricultura no Japão que fez o concurso público e pas-

sou. Eu poderia ficar lá até me aposentar. Mas o pessoal de Davis pediu que eu me candidatasse para um cargo aqui. No final, havia três finalistas e acabei sendo escolhido. Então, na verdade, eu não vim atrás de Davis; a universidade é que foi me procurar lá no Japão. Devem ter achado que um estrangeiro concursado no Japão era acima da média e devia ter algum valor, porque americano não dá murro em ponta de faca.

As universidades nos Estados Unidos são ambientes muito competitivos. Que dificuldades enfrentou para fazer carreira?

A primeira dificuldade foi fazer a transição, porque eu tinha criado uma história, feito o mestrado, o doutorado e trabalhado no Japão. No início, aqui, quando mandava meus pedidos de financiamento de pesquisa, ninguém me conhecia. Mas logo superei essa parte e ficou muito bom. O processo de avaliação dos professores, aqui, é feito a cada dois, três ou quatro anos, dependendo do nível da carreira, nas três áreas em que temos de trabalhar – ensino, pesquisa e serviço. Se o professor vai bem em uma e não em outra, não recebe uma promoção. Já consegui ganhar três prêmios – de ensino, pesquisa e serviço – em anos seguidos. O de serviço por causa de uma série de palestras sobre a Covid-19, quando estávamos todos em casa e não sabíamos o que fazer. A ideia veio quando eu estava na farmácia e encontrei uma amiga cujo marido era médico. Ela me perguntou: “Esse negócio de Covid, como é que é?”. Ora, o marido dela é que deveria saber.

Então organizei as conversas com especialistas da universidade, por plataforma de vídeo. Ter sido locutor de rádio ajudou muito a conduzir as perguntas.

Como está sua situação com a atual perseguição a cientistas?

Estamos muito chateados com essa situação, porque os Estados Unidos, há 80 anos, decidiram fazer uma parceria entre as universidades e o governo federal. O governo federal financia, as universidades fazem a pesquisa e ambas as partes se beneficiam, criando ciência e novas tecnologias. Estava funcionando muito bem. Agora, mudou o posicionamento e está se tentando quebrar essa parceria. Trabalhei muito nos últimos dias [início de agosto] e continuo trabalhando muito, escrevendo cartas para os representantes no Congresso, porque é o Congresso que decide sobre o orçamento dedicado à pesquisa. A decisão é tomada no Senado e depois na House [Câmara de Deputados]. O Senado deu a recomendação para manter o nível de investimento, sem cortes. Já foi um grande avanço. Há outros problemas a serem trabalhados, mas no momento a maior preocupação é com o orçamento. Sem dinheiro não conseguimos fazer nada.

Como é que você fez para pular de uma área para outra, saindo da engenharia química e chegando ao comportamento dos insetos?

Eu adoro o que não sei, porque vou aprender. Depois da graduação em engenharia química, meu primeiro trabalho foi no IPA, o Instituto de Pesquisas Agronômicas [atualmente Instituto Agronômico de Pernambuco] para fazer análise de resíduos e pesticidas. Depois fui para o Japão me aprimorar na química analítica de pesticidas e encontrei a área de produtos naturais. Gostei muito, e meu interesse evoluiu para a bioquímica. Como a bioquímica utiliza insetos como material, entrei na entomologia. Virei entomologista sem nunca ter estudado entomologia na universidade. Ganhei vários prêmios, porque a entomologia é bastante aberta a quem vem de outras áreas, desde que trabalhe direito, claro. Ainda no Japão, fiz uma brincadeira com os colegas: “Se eu tivesse entrado na medicina sem o treinamento adequado eu iria preso, mas na entomologia vocês me premiam”.

Por que decidiu ir para o Japão?

No IPA, descobri que havia um grupo que também trabalhava com pesticidas no Instituto Adolfo Lutz, em São Paulo. Comecei a ir para lá e a participar das discussões técnicas que eles promoviam uma vez por mês. Nesse grupo, conheci uma nissei que se chamava Heloísa, se não me engano. Um dia ela disse: “Walter, você gosta tanto de estudar, por que não vai para o Japão? Tem uma bolsa de seis meses da Jica [Agência de Cooperação Internacional do Japão], que paga tudo”. De volta a Recife, fui ao consulado e perguntei sobre a bolsa de um semestre, mas disseram que não tinha. Achei estranho. Perguntei se não havia nenhuma outra bolsa. O rapaz que me atendeu disse: “Tem sim, mas é de um ano e meio”. Foi minha primeira lição da cultura japonesa: fazer a pergunta certa. Pedi o formulário, o rapaz não tinha, mas disse que me mandaria por correio quando chegasse. Pensei que não mandariam nunca, mas chegou, uns dois meses depois. Me inscrevi e tive uma sorte danada. Muitos anos depois é que soube que a Jica selecionava descendentes de japoneses, e não sou nem uma coisa nem outra, e havia apenas duas vagas para o Nordeste inteiro. Meus amigos e minha família diziam que eu não iria gostar e logo estaria de volta. Minha mãe sentiu muito. Agora é a minha filha que está pensando em morar na Austrália e não posso dizer nada, não é? Passei 16 anos e meio no Japão, mas, quando cheguei, não sabia falar nem japonês nem inglês.

E como se virou?

O primeiro compromisso dos alunos que chegavam, do mundo inteiro, era aprender japonês de manhã, tarde e noite, durante seis meses. Como o idioma comum entre todos era o inglês, aproveitei e aprendi inglês também, ao mesmo tempo. Na escola, em Nagoya, havia um grupo de brasileiros. Disse para eles: “Não me levem a mal, mas não quero encontrar com vocês, porque vou ficar falando português e não vou aprender essa língua nunca”. Só os via raramente, em festas. Lembro que um dia fui comprar um esparadrapo em uma farmácia, passei quase meia hora explicando o que eu queria e o atendente não entendia. O japonês repete muito o que escuta para ver se consegue entender. Ele repetia “esparadrapo”, mas

não conseguia entender. Até que de repente ele falou: “Ah! Bandedou”. Tem muita palavra em japonês que vem do inglês. Antes de abrir a conta no banco, estudei as perguntas que poderiam me fazer, mas na hora a mulher perguntou tudo diferente. Eu não entendia, e a fila aumentando. Quando a gente é jovem, é mais atrevido. Aprendi também que é preciso aprender outras maneiras de pensar e usar as experiências em seu benefício. No Japão, a forma de fazer ciência também é diferente – a vidraria, os nomes dos equipamentos – tive de aprender tudo de novo quando vim para os Estados Unidos, em 2001. Pensei: “Se consegui sobreviver no Japão, não é possível que não dê certo aqui”. Aprendi a ver os lugares nos quais estou como os melhores possíveis. Não fico vivendo do passado. Então, não tenho muito medo das situações novas.

Como aprendeu a domar o medo?

Não sei, mas lembro que, já saindo de Recife, as pessoas diziam: “Eita, vai para São Paulo, menino, que é isso?”. Claro, sair de lá para o outro lado do mundo é uma coisa um pouco diferente. Tenho muito medo de estar dentro do avião, mas nunca deixei de viajar por causa disso.

“

Eu era acanhado, tinha vergonha de falar com as pessoas, mas o trabalho de locutor de rádio me abriu para o mundo

Fico só esperando chegar. Quando chego, eu digo para mim mesmo: “Está vindo? Venci”. Acho que descobri sozinho a não deixar o medo tomar conta de mim. O que me ajudou muito foi que, quando estava no colegial [ensino médio], trabalhei como locutor esportivo na Rádio Clube de Pernambuco. Eu era acanhado, tinha vergonha de falar com as pessoas, mas esse trabalho me abriu para o mundo, tinha de falar e fazer entrevistas. Também aprendi a “encher linguiça”. Por exemplo, ia para o Maracanã, no Rio de Janeiro, transmitir um jogo, com um microfone sem fio que na época era uma caixona preta. Eu tinha de começar a falar mesmo antes do jogo, quando o narrador fizesse um sinal lá da cabine. Já não enxergo muito bem, e nunca sabia direito quando ele estava gesticulando ou fazendo um sinal para eu entrar no ar. Essas situações me ajudavam a encarar as dificuldades em vez de sair correndo assustado.

Sua mãe não queria que você trabalhasse, mas estava trabalhando...

Sim, para pagar a escola. Era um colégio particular, o Boa Vista. Quando cheguei na rádio, vi que as notícias da manhã e a resenha esportiva, com os resultados dos jogos, eram gravadas às 19h do dia anterior. Quando iam para o ar, eram notícias velhas. Falei com o diretor da rádio: “Posso ficar até mais tarde, pegar os resultados de todos os jogos que acontecem à noite e gravar lá pela meia-noite, para fazermos um noticiário mais completo”. Ele topou e fez um sucesso total. Para mim foi ótimo, porque não precisava ficar lá durante o dia e podia ir só à noite. Nessa época eu já aprendia, na prática, a olhar as coisas de modo que as mudanças fossem boas para todas as partes. Depois tive outra ideia: “Que tal fazermos propaganda de cursinho, que, em vez de pagar, daria bolsas para os estudantes?”. O diretor, que era uma pessoa muito boa, também topou. Juntei as partes. O cursinho, chamado Radier, concordou, e, tudo acertado, avisei: “A primeira bolsa é minha!”. Assim pude me preparar melhor para entrar na universidade, como minha mãe desejava.

Por que escolheu engenharia química?

No colegial, eu não tinha a menor ideia do que fazer. Falaram que engenharia elétrica era bacana, fiz o exame, mas não

passei. Quando estava no cursinho, os professores falaram de química e achavam que eu iria gostar mais desse curso. Passei de primeira. Um professor do cursinho me chamou para ensinar com ele. E foi assim que dei aula no Colégio Santa Maria, onde eu nunca poderia ter entrado como estudante, de tão caro que era. Eu era apenas um ano ou dois anos mais velho que os alunos, o que ajudou a formar um ambiente cordial e a fazer amigos, com os quais ainda tenho contato.

Desde quando você achou que queria ser cientista?

A maioria das pessoas aqui nos Estados Unidos fica desapontada quando eu conto que meu interesse pela ciência veio com os professores da universidade e não na infância. Quando eu era criança, minha preocupação era saber se teria comida no dia. Não era interessado em ciência. Não vou mentir nem criar uma narrativa mais bonita.

Como era o lugar onde você cresceu, sem saber se teria o que comer?

Essa é a parte mais difícil de falar. Ainda hoje é difícil. Meu pai morreu quando eu tinha 6 anos e minha mãe, Amélia, levou tudo sozinha. Éramos cinco filhos. Quando eu tinha 12 anos, queria fazer escola técnica para ganhar dinheiro, e ela falou: “Não. Você vai para a universidade”. Ela não tinha estudo, mas tinha visão. Era muito trabalhadora. O pessoal aqui diz que trabalho muito, mas digo: “Vocês não conheceram minha mãe, senão me chamariam de preguiçoso”. Morávamos em um bairro de Recife chamado Poço da Panela, que na época era periferia. Uma enchente do rio Capiberibe acabou com tudo em casa. Em outra, colocamos todas as coisas no alto, acima da altura a que a água tinha chegado, mas a enchente foi maior ainda e acabou com tudo de novo.

É verdade que você detestava insetos?

Quando era pequeno, não gostava de insetos, não. Porque, no Brasil, inseto é muriçoca [pernilongo], barata e outros bichos indesejados, não é? Depois que comecei a trabalhar com insetos é que os vi como parceiros, mais do que apenas como objeto de pesquisa, desenvolvendo uma relação pessoal com eles. Continuo



Sou o primeiro pernambucano a entrar na Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos

não gostando de muitas espécies, mas os escaravelhos e besouros são muito bonitos e bem-comportados.

Você voltou à UFPE para uma palestra em maio deste ano. Como foi?

Foi uma experiência fantástica, porque os organizadores fizeram uma surpresa enorme para mim. Convidaram alunos do tempo da minha turma que eu conhecia, mas não tinha tido contato por muitos anos, e alguns estudantes de quando fui professor no colégio Santa Maria. Eu não esperava encontrar tanta gente. Toda vez que eu contava uma história, acrescentava: “Tive uma sorte danada nisso aqui...”. Achavam engraçado, mas era verdade. Só habilidade não adianta, tem de ter sorte também. Em junho, organizei um encontro para celebrar os 80 anos de pesquisa financiada pelo governo nos Estados Unidos. Um dos palestrantes, o médico sueco Torssten Wiesel, de 101 anos [ganador do Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1981 com David Hubel e Roger Sperry], falou exatamente disso, da importância de ter sorte para fazer boas descobertas. Mas sorte é sorte, não temos como criar. É,

de certo modo, o acaso, absolutamente imprevisível.

No ano passado você foi eleito para a Academia Nacional de Ciências norte-americana. Mudou alguma coisa na sua rotina?

Mudou, porque fiquei ainda mais ocupado. Não posso apenas dizer que faço parte da National Academy, tenho de trabalhar para a Academia, preparando documentos e ajudando a organizar encontros científicos, como o do início deste ano. Disseram que me elegeram por causa de minhas descobertas sobre a biologia molecular dos receptores de feromônios, mas entrar lá foi também um golpe de sorte. É um processo complicadíssimo, com muitos candidatos qualificados. De todo modo, sou o primeiro pernambucano a entrar na Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos.

Olhando em perspectiva, qual descoberta sua chama mais atenção?

Um dos meus artigos mais citados é sobre os receptores do Deet. Ninguém encontrava. Encontramos, mas foi passo a passo. Primeiro, descobrimos o neurônio que respondia aos receptores. Bom, se tem neurônio, tem receptor. Fomos atrás de todos os receptores, testando cada um, acumulando uma grande quantidade de dados até chegar ao resultado. Também fizemos outros trabalhos que achávamos que teriam grande impacto, mas ninguém notou muito. Encontramos por acaso um receptor bastante sensível dos mosquitos. Testávamos um composto, mas só funcionava uma fórmula antiga, a nova não. Fomos atrás e descobrimos o composto que ativava os receptores. Publicamos um artigo superinteressante, mas que não é muito citado.

Tem planos de se aposentar?

Nunca. Eu ainda gosto tanto do trabalho, tenho muita energia, não vejo a necessidade de me aposentar. Se eu começar a cair, as aulas não ficarem boas, os resultados não ficarem bons, me aposento. Tenho 71 anos e, por sorte, aqui não tem idade obrigatória para aposentadoria, como no Brasil. No ônibus ou no metrô não podem me perguntar se eu gostaria de me sentar, porque é discriminação, é etarismo. ●

Condomínios de inovação

Brasil tem 64 parques científicos e tecnológicos em operação, mas nem todos conseguem conectar instituições de pesquisa e empresas

SARAH SCHMIDT

Criados para conectar universidades, centros de pesquisa e empresas, entre outros objetivos, os parques tecnológicos têm crescido em número no país e ampliado a oferta de serviços e programas. Esses ambientes planejados, que funcionam como condomínios ou bairros de inovação, fornecem infraestrutura para negócios de base tecnológica, como laboratórios e espaço físico para instalar escritórios e linhas de produção, e estimulam interações com grupos de pesquisa e empresas vizinhas. De acordo com um levantamento publicado em outubro, o Brasil tem 64 parques tecnológicos em operação – em 2010, eram apenas 18. Também há 42 em implantação e sete em planejamento. A análise foi conduzida pelo Núcleo de Tecnologias de Gestão (NTG) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) com apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Os dados, de janeiro de 2025, foram coletados na Plataforma MCTI-InovaData-Br, que armazena informações sobre os parques brasileiros.

“Particularmente para o Brasil, que não tem um desempenho promissor em inovação tecnológica em comparação com outros países, os parques cumprem um papel importante ao promover o desenvolvimento e a consolidação de empresas de base tecnológica integradas com o sistema científico”, diz Adriana Ferreira de Faria, professora da



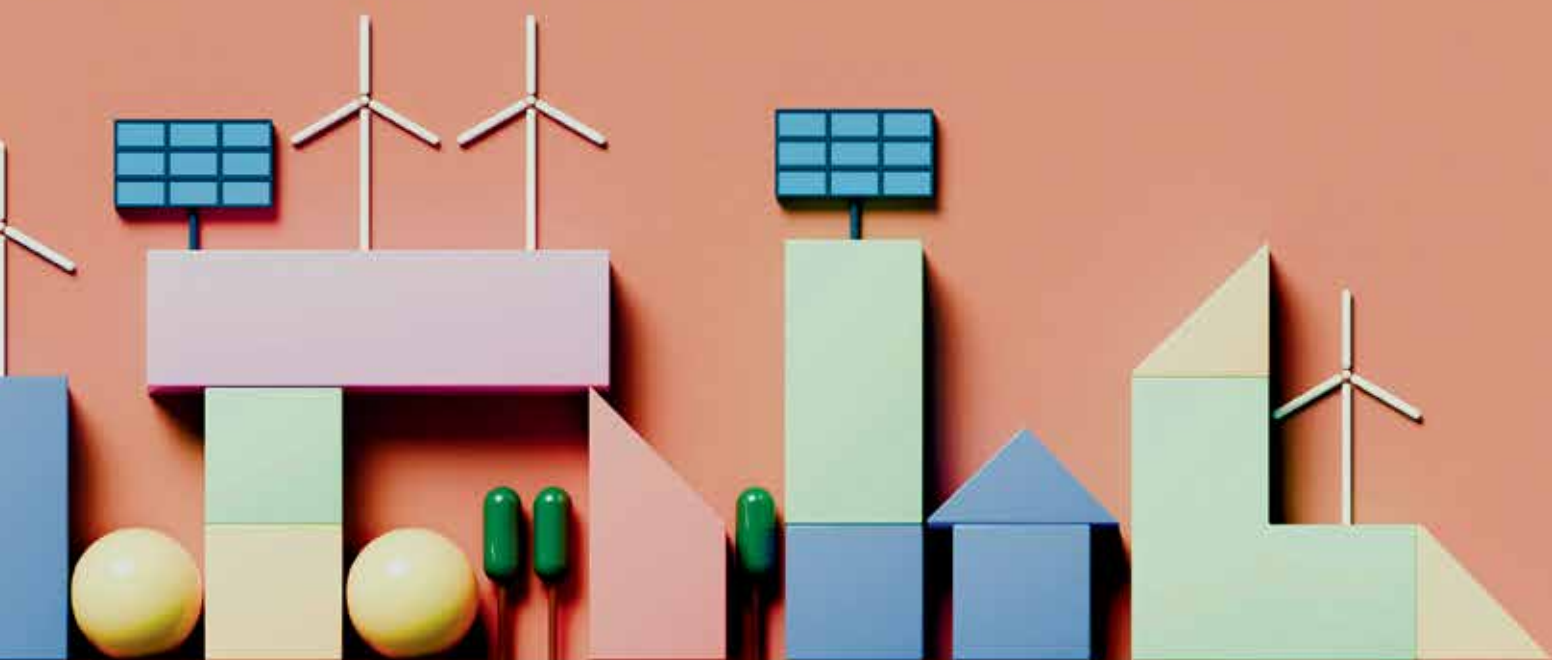
UFV, coordenadora do levantamento e presidente da Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (Anprotec). Ela destaca que, entre 2017 e 2023, os pedidos de proteção de propriedade intelectual por empresas vinculadas a parques tecnológicos, como patentes de invenção e de modelos de utilidade, cresceram 133%, e o faturamento médio delas aumentou cerca de 30%, passando de R\$ 4,36 milhões para R\$ 5,74 milhões. O estudo mostra que o conjunto dessas empresas teve um faturamento total estimado em R\$ 15,1 bilhões em 2023, um crescimento de 170% em relação a 2017, e gerou cerca de 76,6 mil empregos. Segundo Faria, o aumento do faturamento total é atribuído ao crescimento do número de empresas vinculadas no período.

De acordo com o estudo, há mais parques (em operação, implementação e planejamento) nas regiões Sul (35%) e Sudeste (31%). A atividade econômica dessas regiões e o fato de concentrarem universidades e centros de pesquisa já consolidados ajudam a explicar a concentração. O Nordeste abriga 17% dos parques, enquanto o Norte concentra 11% e o Centro-Oeste apenas 7%. Os dados evidenciam a importância das universidades no apoio a essas estruturas. Em 2023, 95% deles tinham representantes de universidades em seus conselhos administrativos e 41% estavam instalados em terrenos que pertencem a essas instituições.

Ainda segundo o estudo, 2.706 empresas e organizações têm algum vínculo com os parques brasileiros em funcionamento, nas mais diversas áreas de atuação (*ver infográfico na página 33*). Elas se dividem em três tipos: as residentes, que estão fisicamente instaladas nesses espaços; as incubadas, que estão em estágio inicial e recebem apoio de incubadoras criadas dentro dos parques; e as associadas, que mantêm relação institucional com o ambiente, sem ocupação física.

Os parques brasileiros oferecem diferentes programas para apoiar empreendimentos inovadores: 88% disponibilizavam espaço para instalação de empresas residentes, 79% para incubação, que é o apoio a startups em estágio inicial, e 72% para pré-incubação, que é a fase de preparação de ideias e modelos de negócio anterior à criação da empresa. Apenas 35% tinham programas de aceleração, que oferecem a empreendedores treinamento e mentoria para impulsionar seus negócios, e só 37% firmaram parcerias com parques do exterior, o que pode dificultar o processo de internacionalização das empresas.

As primeiras iniciativas no país surgiram na esteira de um programa de implantação de parques lançado em 1984 pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Em 1990, havia no país dois deles em operação: o Polo de Biotecnologia do Rio de Janeiro (BioRio), iniciado em 1988, atualmente com



18 empresas, segundo o estudo, e a Fundação Parque Tecnológico da Paraíba (PaqTcPB), em Campina Grande, criada em 1985, que hoje abriga 14 empresas. O exemplo paraibano se destacou por uma aproximação, incomum na época, entre universidade, setor produtivo e governo, de acordo com o relatório “Brasil inovador”, do MCTI, de 2024, que reuniu a história das políticas públicas que impulsionaram os ambientes de inovação do país nos últimos 40 anos.

Na virada dos anos 1990, também havia uma iniciativa do CNPq, do Centro de Indústrias do Estado de São Paulo (Ciesp) e da Prefeitura Municipal de São Carlos, em fase de implantação no interior paulista, o São Carlos Science Park (ParqTec), que se consolidou ao redor dos *campi* da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Federal de São Carlos (Ufscar) e hoje abriga 29 empresas. “A Opto Eletrônica foi a primeira empresa do ParqTec, ainda em 1985, quando a iniciativa era apenas uma incubadora”, conta o físico e empresário Jarbas Caiado de Castro Neto, do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), fundador da empresa, a primeira fábrica nacional de lasers. “Naquela época, a cultura universitária tinha um caráter muito fechado e interagir com empresas era praticamente um tabu dentro da universidade.” Segundo ele, o movimento foi importante para impulsionar a criação de outros empreendimentos na região e levar essa cultura para as instituições de pesquisa. “Essa foi uma ruptura trazida pelos parques tecnológicos no Brasil: as empresas passaram a se abrir para uma formação mais ampla, que valoriza a ciência básica. Antigamente, elas absorviam apenas engenheiros ou

médicos. À medida que as empresas de tecnologia começaram a avançar, passaram a contratar físicos, químicos, biólogos e matemáticos.”

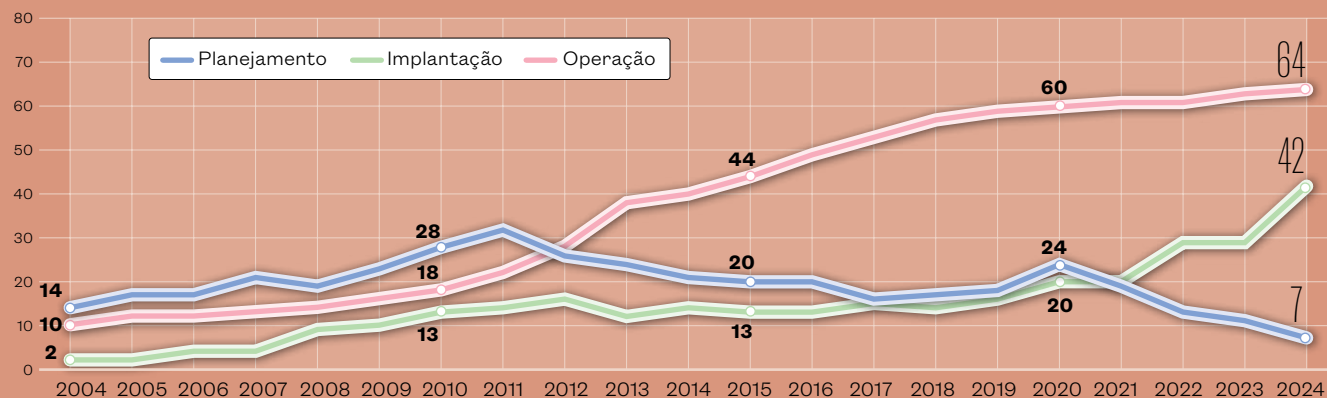
Já outros parques, também fruto daquele programa do CNPq, não vingaram, segundo a publicação de 2024 do MCTI. As iniciativas de Manaus (AM), Joinville (SC) e Santa Maria (RS), criadas na mesma época, não prosperaram, “[...] devido a limitações de capacidade científico-tecnológica e à falta de infraestrutura industrial inovadora”, conforme conclusão do documento.

Em tempos recentes, vários outros parques se consolidaram. Segundo Faria, alguns deles têm vocação forte para determinadas áreas, como o Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos (SP), com inclinação para o setor aeroespacial. O da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) ocupa uma área de 350 mil metros quadrados dentro da cidade universitária e, entre as 37 empresas residentes, tem unidades da Petrobras e da Ambev. O da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (Tecnopuc) passou a receber laboratórios de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de empresas globais de tecnologia, como Dell, HP e Microsoft, e hoje tem 158 empresas vinculadas. O do Porto Digital, no Recife (PE), nasceu há 25 anos com foco em tecnologia da informação com um diferencial: integra-se ao centro histórico de Recife, espalhando-se pelos seus casarões.

Faria, da UFV, ressalta que é preciso relativizar o conceito de sucesso dessas iniciativas. “Um parque com faturamento de R\$ 140 milhões por ano, como o de Viçosa [MG], que é jovem, pode parecer pequeno diante de parques grandes e consolidados, mas é significativo quando lembramos que o orçamento anual do município é de cerca de 400 milhões”, observa ela, que é diretora do centro tecnológico que coordena o parque mineiro.

O avanço em 20 anos

Número de parques tecnológicos do país em diferentes estágios



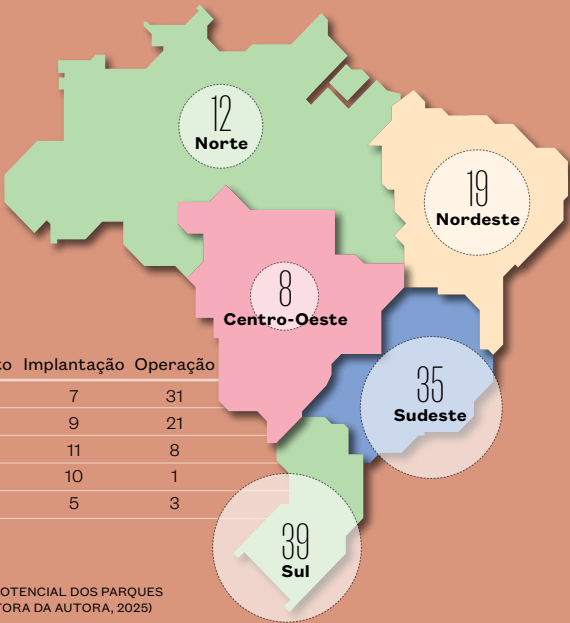
FONTE: EVOLUÇÃO, IMPACTO E POTENCIAL DOS PARQUES TECNOLÓGICOS DO BRASIL (EDITORIA DA AUTORA, 2025)

Distribuição pelo país

Parques em diferentes estágios de estruturação

	Planejamento	Implantação	Operação
Sul	1	7	31
Sudeste	5	9	21
Nordeste	0	11	8
Norte	1	10	1
Centro-Oeste	0	5	3

FONTE EVOLUÇÃO, IMPACTO E POTENCIAL DOS PARQUES TECNOLÓGICOS DO BRASIL (EDITORA DA AUTORA, 2025)



O que as empresas fazem

Mapa das atividades dos empreendimentos e organizações vinculadas aos parques

Setor de atuação	
Tecnologia da informação	50%
Economia criativa	10%
Saúde humana	9%
Suporte a CT&I	8%
Biotecnologia	8%
Agronegócio	8%
Eletrônica	6%
Meio ambiente	5%
Telecomunicações	4%
Aeronáutico	4%
Energia	4%
Outros	15,9%

FONTE EVOLUÇÃO, IMPACTO E POTENCIAL DOS PARQUES TECNOLÓGICOS DO BRASIL (EDITORA DA AUTORA, 2025)

Bruno Brandão Fischer, professor da Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), *campus* de Limeira, alerta que é preciso cuidado ao atribuir impactos positivos aos parques, como o aumento de faturamento das empresas. “Observar que as empresas do parque estão crescendo é uma coisa. Afirmar que o parque é a causa desse crescimento é outra. É preciso analisar como evoluíram empresas da mesma cidade, que estão fora dos parques. Os efeitos positivos podem advir de fatores macroeconômicos mais amplos ou de dinâmicas regionais”, diz o pesquisador, que não participou do levantamento.

Fischer é um dos autores de um estudo que analisou 45 parques tecnológicos brasileiros. Na pesquisa, eles foram classificados em três categorias principais: baseados em universidades (40% da amostra); parques legitimadores (31%), mais maduros e bem estruturados, que trabalham como intermediários entre empresas, governo e centros de pesquisa; e os “hotéis de empresas” (29%), com pouca presença de instituições de pesquisa e funcionando principalmente como provedores de espaço físico e serviços básicos aos interessados. Os dados constam de um artigo publicado em setembro de 2025 na revista científica *Innovation & Management Review*. “Há casos em que o parque é simplesmente um prédio que tem aluguel com preço um pouco abaixo do mercado”, diz Fischer. “Muitos dos chamados parques hotéis não têm infraestrutura para atividades de inovação, P&D ou serviços para startups”, completa Rodrigo Dávila Bolliger, primeiro autor do estudo, que cursa doutorado em política científica e tecnológica na Unicamp sob orientação de Fischer.

Um dos fatores associados ao crescimento dos parques é o lançamento de editais direcionados a eles, abertos pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) em 2013, 2021 e 2024 (*ver infográfico na página 32*). Os pesquisadores alertam que, se os parques têm perfis diferentes, também precisam de políticas que levem em conta essa diversidade. Segundo Bolliger, políticas de fomento federais se baseiam na apresentação de projetos e repasse de recursos, sem considerar as necessidades específicas ou o grau de maturidade de cada parque. “No caso dos ‘hotéis de empresas’, por exemplo, seria necessário desenvolver estruturas ligadas a P&D e apoio a startups para aproximá-los do conceito esperado de parque tecnológico”, observa.

Para Marcelo Seido Nagano, professor da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, as políticas deveriam priorizar o fortalecimento dos parques já existentes com maior potencial de crescimento, direcionando recursos com base em métricas de desempenho – como geração de empregos qualificados e patentes –, em vez de apenas financiar novos empreendimentos. Ele é um dos autores de um artigo publicado em outubro na revista científica *Journal of the International Council for Small Business* que apresentou estudos de caso de quatro parques tecnológicos brasileiros para entender como esses ambientes desenvolvem capacidades para orientar sua estratégia de inovação. O pesquisador destaca que os parques investigados que se mostraram mais inovadores adotam estratégias que vão além da oferta e locação de espaço. “Eles atuam como verdadeiros orquestradores, conectando ativamente startups, empresas consolidadas, pesquisadores e investidores”, diz. ●

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

É preciso ouvir as comunidades locais

Cientista social ambiental do Imperial College London analisa por que iniciativas e programas de conservação dão certo e se multiplicam

SARAH SCHMIDT



Mills no campus da USP, em São Paulo

A cientista social ambiental Morena Mills, professora e pesquisadora do Imperial College London, no Reino Unido, fez a graduação em estudos marinhos na Universidade de Queensland e o doutorado em conservação biológica na Universidade James Cook, ambas instituições australianas. Apesar das pesquisas iniciais em biologia e ecologia, ela se interessou em realizar estudos para compreender por que as pessoas se engajam em programas de conservação e quais fatores fazem essas iniciativas funcionarem e se multiplicarem.

Nascida na capital paulista, em 2002 ela deixou a cidade para estudar na Austrália, aos 18 anos, e desde 2016 trabalha no Imperial College. No final de outubro, Mills esteve em São Paulo para participar do evento Diálogo Brasil-Reino Unido Pré-COP30: Da Ciência às Políticas Públicas, realizado na Universidade de São Paulo (USP). Entre um compromisso e outro, concedeu a entrevista a seguir para *Pesquisa FAPESP*, na reitoria da universidade.

Como foi a transição de ecóloga para cientista social ambiental?

Eu me interessava por comportamento animal. Mas percebi que, para mim, aquele não era o jeito de fazer uma ciência que causasse mais impacto, embora, claro, também tivesse importância. Tinha muito interesse em fazer ciência aplicada, que ajudasse na tomada de decisões e na construção de políticas públicas. Era preciso entender o comportamento humano, porque eram as pessoas que estavam levando à crise de biodiversidade que vivemos. As pessoas são o problema, mas também criam soluções e desenvolvem governanças que são a chave para um mundo mais sustentável. Então, redirecionei minhas pesquisas nessa área.

O que a fez mudar a chave?

Depois da graduação, comecei a trabalhar como pesquisadora da Universidade de Queensland em um projeto com pescadores em Moreton Bay, na Austrália. Eles não confiavam no governo e hesitavam em compartilhar dados sobre onde

e quanto pescavam. Havia um projeto paralelo, liderado pelos pescadores, e nós os ajudamos a usar a mesma metodologia adotada pelo governo para criar um plano com os dados de que eles dispunham, que fosse mais representativo de suas necessidades. Esse plano, desenvolvido em conjunto, foi um dos documentos que serviram de base para criar o planejamento espacial marinho daquela área. Foi aí que percebi a importância de entender as pessoas e as suas motivações para se engajarem ou não em projetos de conservação.

O que tem estudado agora?

A maior parte do meu trabalho está dedicado a um projeto de pesquisa chamado Catalyzing Conservation, que busca entender como é possível criar uma iniciativa de conservação que seja efetiva, dê resultados positivos para o meio ambiente e para as pessoas. Ao mesmo tempo, é fundamental que seja uma iniciativa escalonável, isto é, que atraia o engajamento de dezenas ou centenas de pessoas ou possa ser aplicada

em uma área grande. E por que são necessárias ações em larga escala? Porque, caso contrário, não dá resultado, já que muitas das espécies, os ecossistemas e os processos ecológicos que precisamos preservar requerem áreas amplas. Uma das principais teorias que usamos é a da difusão de inovação. Ela permite analisar iniciativas considerando três dimensões: as características do projeto, da população envolvida e do contexto socioecológico, o que inclui políticas públicas e condições ambientais favoráveis. Embora essa teoria seja antiga, ela é pouco adotada no contexto ambiental. O uso que fazemos dela, nesse sentido, é inovador. Outra teoria que aplicamos é a de Ostrom [Elinor Ostrom, 1933-2012, vencedora do Nobel de Economia de 2009], amplamente reconhecida. Ela trata de governança e de como criar sistemas de gestão de recursos de uso comum que sejam sustentáveis ao longo do tempo.

Há exemplos bem-sucedidos?

Sim. Um deles é uma iniciativa em Fiji, na Oceania, chamada Locally Managed Marine Area Network. Ela é dirigida pelas comunidades indígenas do país. Lá, as áreas marinhas pertencem a diferentes grupos indígenas. E são as comunidades locais que criam os planos para o gerenciamento costeiro dos espaços, definindo, por exemplo, que tipo de peixe se pode pescar em determinada área. Hoje, 22% da área de pesca costeira de Fiji é coberta por essa rede. Isso foi possível porque os povos indígenas já tinham seus territórios bem definidos. Eles tomaram a frente do processo e desenvolveram uma forma de governança alinhada às comunidades. A iniciativa reforça a cultura e a identidade dos povos, fortalecendo o senso de pertencimento e valorizando práticas locais. Descobrimos que quase 75% dos participantes tinham um vizinho próximo que também participava da rede, sugerindo que a adoção é impulsionada, em parte, pela aprendizagem entre comunidades próximas. Isso ocorreu ao longo de 30 anos.

Existem mais iniciativas?

Outro exemplo vem do Chile, com as chamadas Turf (Territorial Use Rights for Fisheries). São áreas manejadas por grupos de pescadores que antes não podiam capturar o loco, um molusco muito

“
Os moradores
trazem
conhecimentos
que nem a melhor
tecnologia
consegue captar

valorizado no país. A pesca estava proibida por causa da escassez da espécie. Os pescadores, então, propuseram um acordo: se pudessem gerenciar as áreas costeiras onde atuavam, teriam permissão para pescá-lo, desde que garantissem práticas sustentáveis. Essa proposta surgiu num contexto de pouca governança marítima federal e se mostrou bastante eficaz. O modelo se espalhou rapidamente. Cerca de 750 organizações pesqueiras começaram a adotar esse tipo de gestão. Além do benefício econômico, os pescadores também passaram a sentir um forte senso de pertencimento e responsabilidade territorial com a ideia de que “essa é a nossa área, nós cuidamos dela”.

Quais são as principais características das iniciativas bem-sucedidas?

A maioria dos nossos estudos de caso de projetos de conservação e restauração em grande escala é de iniciativas lideradas pelas comunidades locais. No Nepal, há 23.026 comunidades que protegem suas florestas para uso sustentável, que eles chamam de Community Forest User Groups. Em Fiji, são mais de 350 comunidades que protegem suas áreas marinhas. Na Namíbia, 20% do território, um total de 166.179 quilômetros quadrados, está sob gestão comunitária de recursos naturais. Leis que empoderam comunidades locais e tradicionais as estimulam a se engajar na conservação e beneficiam diretamente o meio ambiente. As pessoas participam de iniciativas de conserva-

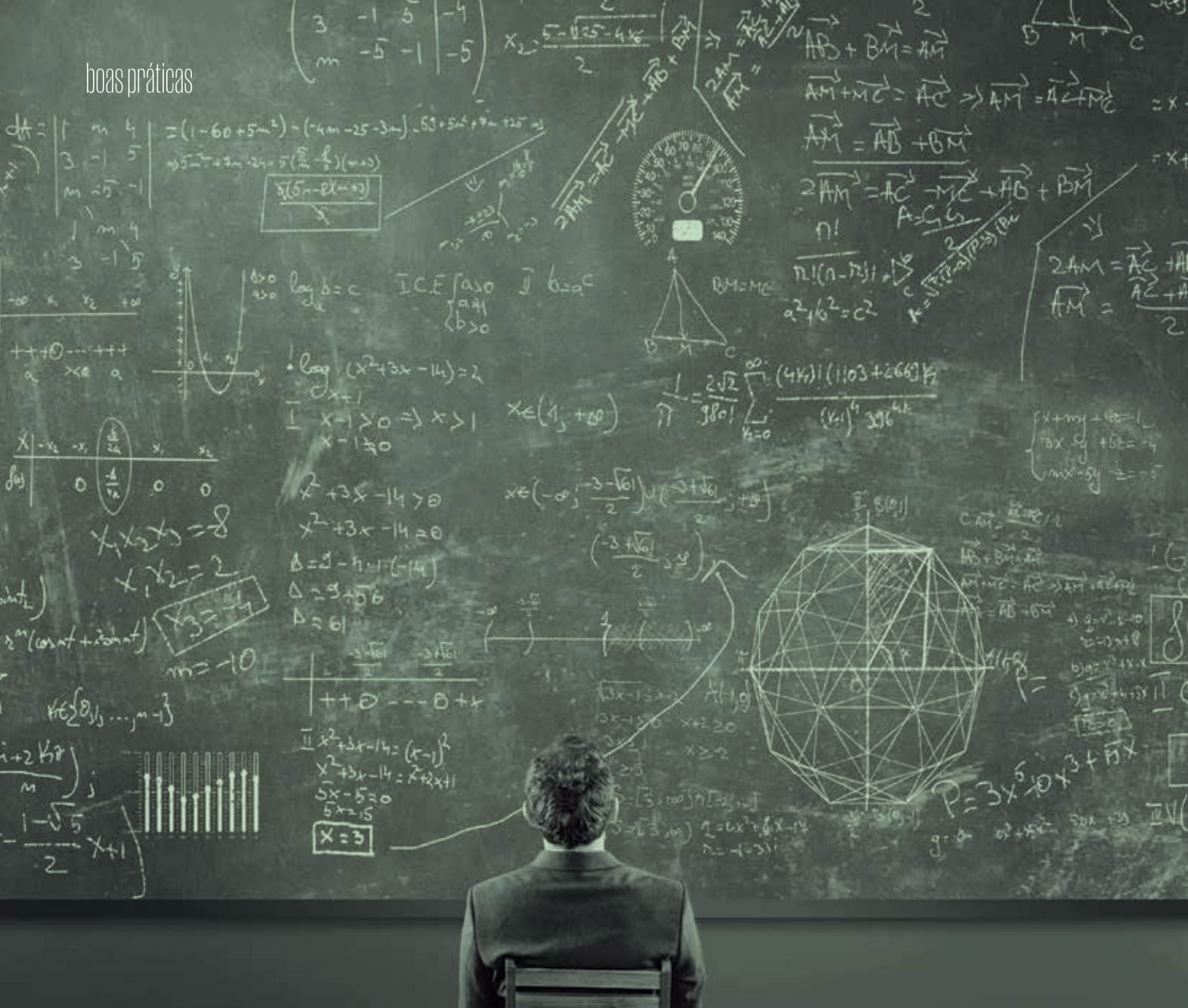
ção por diferentes razões – financeiras, ecológicas e identitárias. Portanto, criar ações que respondam a essas motivações favorece o engajamento em escala.

Quais os exemplos brasileiros?

O Código Florestal e o CAR [Cadastro Ambiental Rural] fizeram muitas pessoas perceberem que precisavam manter a floresta em suas propriedades e se engajar em práticas mais sustentáveis. Alguns produtores se envolvem por causa do mercado de carbono, outros pela oportunidade de desenvolver agroflorestas e diversificar seu meio de vida. Há vários motivos para o engajamento. Políticas públicas que incentivam e sustentam esse processo de engajamento são fundamentais. Acho que o Código Florestal é um bom exemplo de política pública que está funcionando. Muitos projetos de restauração acontecem justamente em áreas onde a lei exige a recomposição da vegetação, o que mostra seu impacto. Mas não basta ter políticas públicas. No caso do Código Florestal, muita gente quer restaurar florestas e busca fazer isso da forma mais eficiente possível. O problema é que essa lógica de eficiência costuma favorecer áreas maiores, com potencial de participação no mercado de carbono. Assim, acabam beneficiando mais os grandes proprietários, o que pode gerar desigualdades, justamente o que se tenta evitar.

Com base no que vê, quais são os erros mais comuns dos projetos que não engrenaram?

O que não dá certo é coerção, imposições, projetos que nascem de cima para baixo. Os processos precisam ser participativos, com engajamento real das comunidades locais, que arcam com os custos e recebem os benefícios das ações. É essencial manter uma comunicação constante com elas, não só por uma questão de justiça e legitimidade, mas porque isso melhora a qualidade dos projetos. As pessoas locais trazem conhecimentos e informações que nem a melhor tecnologia, como satélites, inteligência artificial e dados sofisticados, consegue captar. Por isso, é fundamental adotar uma abordagem de coprodução, em que projetos e políticas públicas são construídos junto com as comunidades, e não apenas para elas. ●



Falsa impressão causada pelos números

Matemáticos analisam casos de manipulação de indicadores de produtividade e propõem estratégias para prevenir o problema

Dois estudos publicados em setembro no repositório de *preprints* arXiv analisaram uma crise deflagrada pela manipulação de métricas de desempenho de pesquisadores da área de matemática – o primeiro detalhou as causas do problema e o segundo reuniu soluções e recomendações para enfrentá-lo. O pano de fundo dos dois manuscritos, produzidos por um grupo de trabalho composto por membros da União Matemática Internacional (IMU) e do Conselho Internacional de Matemática Industrial e Aplicada (Iciam), foi a exclusão de todos os autores de artigos na área de matemática da lista de “pesquisadores altamente citados” da empresa Clarivate Analytics, em 2023 e 2024. Essa lista é um levantamento anual que aponta cerca de 6 mil cientistas de todos os campos do

conhecimento, cujos trabalhos foram citados com frequência extraordinária por outros pesquisadores de suas áreas em anos recentes.

A Clarivate atribuiu a desclassificação ao fato de a disciplina ser um domínio de pesquisa relativamente pequeno e altamente fragmentado: o número de matemáticos não é grande e eles produzem trabalhos em muitas subáreas. Como as taxas médias de publicação e citação são baixas, na comparação com outras disciplinas, mesmo pequenos aumentos no número de publicações e citações tendem a distorcer o desempenho de pesquisadores e a análise da produção científica do campo como um todo. Por conta disso, segundo a empresa, a área se tornou vulnerável a estratégias de manipulação de métricas. Em 2025, a Clarivate voltou a incluir os matemáticos em sua lista – foram 65 pesquisadores no total – depois de aplicar critérios mais rigorosos ao avaliar os nomes.

“Um certo número absoluto de artigos e citações pode fazer um ‘pesquisador altamente citado’ em matemática, mas não ser suficiente em outras áreas. Portanto, manipular o sistema fica mais fácil”, afirmou ao site Retraction Watch a matemática e cientista da computação alemã Ilka Agricola, autora principal de ambos os *preprints*. Segundo ela, o indicador da Clarivate, com poucas exceções, tornara-se inútil para revelar pesquisa em matemática de boa qualidade. “A lista de altamente citados para a área de matemática ficou tão distorcida que a Clarivate não podia mais fingir que ela tinha algum valor”, afirma Agricola, que é pesquisadora da Universidade de Marburg.

A Clarivate não mencionou casos concretos de manipulação na lista, mas uma reportagem publicada em janeiro de 2024 na *Science* revelou os contornos da fraude. Com base em um levantamento feito pelo matemático Domingo Docampo, da Universidade de Vigo, na Espanha, a revista apontou indícios da existência de cartéis de citação formados por pesquisadores de determinadas universidades, que mencionavam os artigos uns dos outros para inflar indicadores de produtividade de suas instituições. “Achei indivíduos que publicavam em revistas que nenhum matemático sério lê, cujos trabalhos eram citados em artigos sem importância e que estavam em instituições que ninguém conhece”, disse Docampo à *Science*.

A manipulação também envolvia a publicação de *papers* em periódicos que aceitam somas em dinheiro para divulgar artigos sem uma revisão por pares genuína, as chamadas revistas predatórias. Docampo constatou que havia ocorrido uma mudança no perfil dos *papers* da área de matemática entre o 1% dos artigos que receberam maior número de citações em anos recentes. No topo dessa lista, apareciam trabalhos assinados por autores ligados a instituições sem tradição em pesquisa em matemática, como a Universidade Médica da China, em Taiwan, e a Universidade King Abdulaziz, na Arábia Saudita.

As estratégias de manipulação utilizadas por pesquisadores desonestos são descritas no primeiro manuscrito publicado pelo grupo de trabalho. O estudo sugere que as tentativas de manipulação da lista dos altamente citados – tanto na matemática como nas outras áreas – foram impulsionadas pelo peso que essa classificação ganhou no cômputo de rankings internacionais de universidades, a exemplo do Academic Ranking of World Universities (ARWU), da Universidade Shanghai Jiao Tong, da China. Em alguns casos, pesquisadores com grande produção científica faziam acordos financeiros com universidades de pouco renome para se declararem vinculados a elas – assim, as instituições ganhavam pontos no ranking chinês.

Já o segundo manuscrito oferece recomendações, diretrizes e ações para detectar e neutralizar tentativas de manipulação de indicadores bibliométricos, o que permitiria à comunidade dos matemáticos ter mais controle sobre a avaliação de sua pesquisa. Recompensar o corpo docente com base em seus melhores artigos, aliviando a pressão para que publique com muita frequência, assim como educar os pesquisadores sobre periódicos predatórios e desencorajá-los a utilizar esses veículos, são algumas das práticas sugeridas às instituições pelos autores do *preprint*.

No campo individual, o manuscrito lança alguns alertas. Lembra que a matemática tem muitas conjecturas famosas ainda em aberto e que periódicos com práticas predatórias podem oferecer a autores chances de publicar “provas” dessas conjecturas sem fazer uma revisão por pares confiável. “O *status* desses resultados pode se tornar obscuro e pesquisas futuras baseadas neles serão um desperdício de esforço ou recursos”, diz Agricola. Para identificar bons periódicos e artigos de qualidade, o estudo sugere aos autores a utilização de dois bancos de dados confiáveis, o zbMath Open e o Mathematical Reviews, com a ressalva de que não abrangem alguns títulos interdisciplinares. O zbMath Open é um serviço de resumos e revisão bibliográfica gratuito para matemática pura e aplicada que contém mais de 5 milhões de entradas bibliográficas, resenhas e resumos de artigos, livros e conferências. Já o Mathematical Reviews (ou Math Reviews) coleta e revisa artigos, livros e outras publicações e é publicado pela Sociedade Americana de Matemática (AMS).

O que, no final, perpassa todas as recomendações é a crítica a avaliações baseadas apenas em indicadores bibliométricos. “Quando uma medida se torna uma meta, ela deixa de ser uma boa medida”, diz Agricola citando uma máxima do economista britânico Charles Goodhart. “Talvez uma vantagem dos matemáticos seja que não nos impressionamos facilmente com números, pois conhecemos os meios para entendê-los e analisá-los.” ● MÔNICA MANIR

Universidade Sorbonne, em Paris, anuncia seu desligamento de tradicional ranking acadêmico em 2026

A Universidade Sorbonne, em Paris, na França, anunciou que em 2026 deixará de fornecer dados para a coleção de rankings acadêmicos produzida pela revista *Times Higher Education (THE)* – o mais famoso deles é o World University (WU), que classifica 2.191 instituições de 115 localidades. Uma das justificativas para a decisão, segundo a cientista da computação Nathalie Drach-Temam, reitora da Sorbonne, é a falta de transparência na seleção dos dados para avaliar o desempenho das instituições. “Estamos deixando esse ranking específico, mas nossa crítica aos rankings universitários

internacionais é global”, disse a reitora, segundo o site Science/Business. “Esses rankings, construídos com base em indicadores quantitativos selecionados e amalgamados em uma única pontuação, não são projetados para avaliar a pesquisa nem para refletir a amplitude e a profundidade das missões das instituições de pesquisa e ensino superior.”

A Sorbonne ocupa a 75ª posição no WU. A universidade integra a Coalizão para o Avanço da Avaliação da Pesquisa (Coara), que reúne universidades, agências de fomento e instituições de pesquisa na defesa de metodologias de avaliação mais sólidas. Segundo um dos documentos publicados pela coalizão, evitar o uso dos rankings “ajudará a comunidade de pesquisa e as organizações de pesquisa a recuperarem a autonomia para moldar as práticas de avaliação, em vez de ter que acatar critérios e metodologias definidos por empresas comerciais externas”.

O movimento da universidade francesa não é isolado. No final de 2022, as faculdades de direito das universidades

Yale, Harvard e Columbia, nos Estados Unidos, abandonaram os tradicionais rankings acadêmicos da *U.S. News & World Report*, uma revista semanal que deixou de circular em 2010, mas segue publicando na internet classificações de faculdades e universidades, seu produto mais famoso. A então diretora da Faculdade de Direito de Yale, Heather K. Gerken, afirmou na época que as pontuações do ranking da *U.S. News* desvalorizavam programas da instituição que promovem carreiras de interesse público e auxílio financeiro para alunos da classe trabalhadora. “Chegamos a um ponto em que o processo de classificação está minando os principais compromissos da profissão jurídica”, disse.

Em 2023, 52 universidades da Coreia do Sul anunciaram um boicote ao ranking da empresa inglesa Quacquarelli Symonds (QS), depois que uma mudança na metodologia provocou quedas drásticas no desempenho das instituições. Em 2024, a Universidade de Zurique, na Suíça, também desistiu do *THE*.

Ferramenta examina títulos e resumos de artigos de oncologia em busca de indícios de fraude

Uma ferramenta de inteligência artificial que analisa títulos e resumos de artigos científicos apontou mais de 260 mil estudos sobre câncer que podem ter sido produzidos por fábricas de *papers*, serviços fraudulentos que comercializam estudos sob demanda, às vezes com dados falsos. A análise, divulgada no repositório de *preprints* bioRxiv, ainda não foi revisada por pares. Os criadores da ferramenta, dois pesquisadores da Austrália e dois da França, treinaram um modelo de linguagem para distinguir entre estudos legítimos e artigos listados como suspeitos de fraude no banco de dados do site Retraction

Watch, que reúne *papers* que tiveram a publicação cancelada por erros ou violações éticas. A precisão na identificação de artigos problemáticos chegou a 91%. Em seguida, o software rastreou 2,6 milhões de estudos sobre câncer presentes no banco de dados do PubMed. Foram sinalizados 261.245 artigos suspeitos.

“Acreditamos que esses números estejam até subestimados”, disse à revista *Nature* o cientista de dados Baptiste Scancar, do Instituto Agro-Rennes, na França, um dos responsáveis pela análise. Segundo o *preprint*, a prevalência de artigos falsos em biologia e medicina é estimada em 3%, mas a pesquisa sobre câncer estaria mais sujeita a fraudes pela alta pressão imposta a pesquisadores para publicar resultados. Os autores enfatizam que especialistas humanos precisam checar se há falsos positivos na lista. Em entrevista à *Nature*, um porta-voz da Wiley, uma das editoras com estudos sob suspeição, foi nessa linha: “Estamos adotando a mesma abordagem tecnológica, mas verificada por humanos”.

CONTEÚDO EXTRA

Conhece a nossa newsletter de integridade científica?



Acesse o QR Code para assinar nossas newsletters

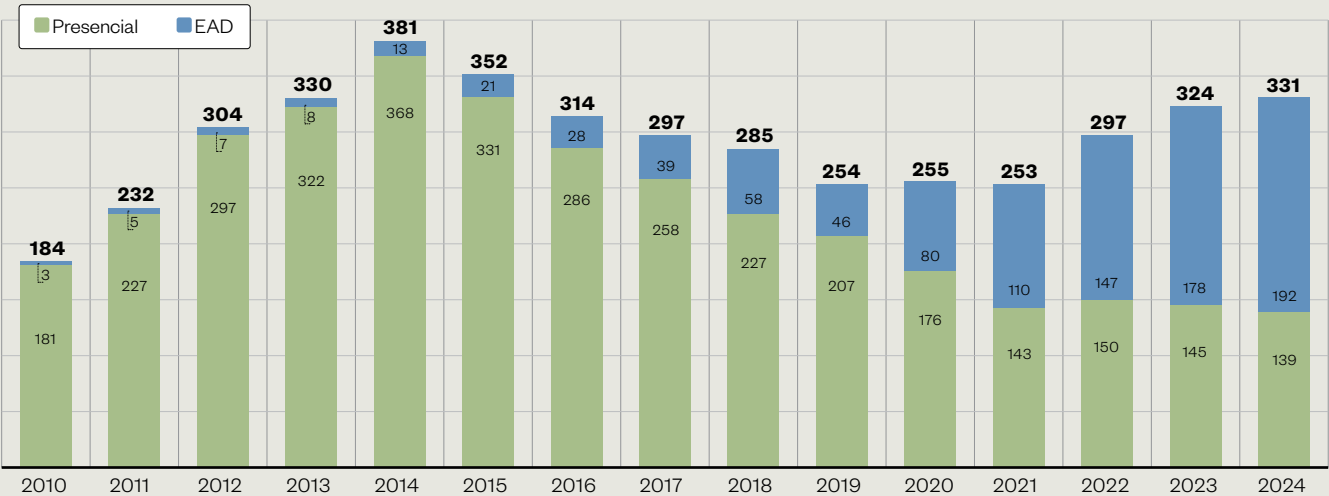


dados_ **EaD responde por mais de 50% dos ingressos em engenharia**

- A expansão da oferta de cursos de graduação na modalidade a distância (EaD) se acentuou nos últimos anos. De 2014 a 2024, os ingressos nessa modalidade aumentaram quase cinco vezes ao passarem de 728 mil (23% do total de 3,11 milhões) para 3,35 milhões (67% do total de 5,01 milhões)
- Em contraste, houve retração significativa na oferta de cursos presenciais. Nestes, os ingressos se retraíram em 30% no mesmo período, passando de 2,38 milhões (77% do total) para 1,66 milhão (33% do total)
- Essa mudança significativa do perfil da oferta de cursos superiores no Brasil afetou todas as áreas, incluindo a formação de professores (licenciatura), em que já era relevante há mais tempo, chegando, em anos mais recentes, aos programas de engenharia¹

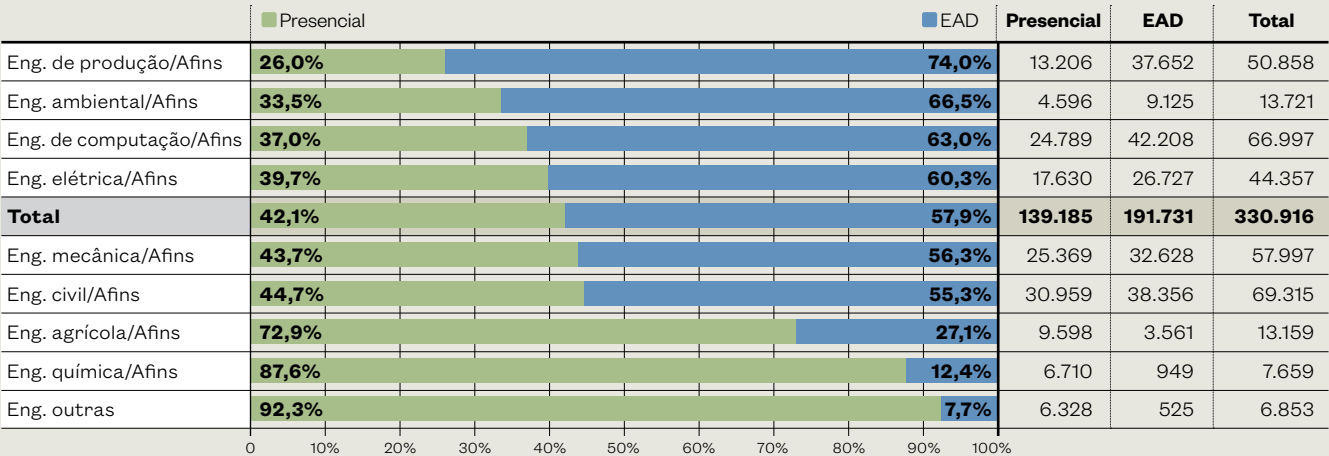
Ingressantes em programas de engenharia por modalidade de ensino

2010-2024 - EM MILHARES



- Como indica o gráfico acima, nas engenharias, 58% dos ingressantes em 2024 se matricularam em programas de EaD. Essa fração era menor que 2% em 2010 e ainda abaixo de 15% em 2017
- Em todas as maiores áreas de formação em engenharia verificou-se, em 2024, uma maior parcela de ingressos na modalidade a distância. As exceções foram as áreas com menor número de ingressantes

Ingressantes por área e modalidade de ensino em 2024



NOTA (1) ESSES DADOS REFEREM-SE APENAS A PROGRAMAS QUE FORMAM BACHARÉIS RECONHECIDOS PELO CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA (CONFEA) COMO ENGENHEIROS NO SENTIDO PLENO

FONTES MICRODADOS DO CENSO DA EDUCAÇÃO SUPERIOR (INEP) / MEC ELABORAÇÃO FAPESP/DPCTA/GPAFI



Protestos populares marcaram a COP30, como a Marcha Global dos Povos Indígenas em 17 de novembro

O mapa ficou pelo caminho

Conferência em Belém termina sem avanços significativos para frear as mudanças climáticas

MARCOS PIVETTA, de Belém

A 30ª Conferência das Partes, a COP30, reuniu pouco mais de 56 mil pessoas inscritas, o segundo maior número de participantes de sua história, e terminou um dia depois do previsto. Impasses nas negociações estenderam a conferência, que se iniciara em 10 de novembro, até o final da tarde do sábado, 22 de novembro. A despeito dos esforços da presidência brasileira à frente do processo de negociação entre os quase 200 países que assinam a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), o pacote de textos finais da COP30 não registrou avanços significativos nos grandes temas que pautaram boa parte das discussões.

Não houve progressos concretos no sentido de abandonar progressivamente os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), principal causa do aquecimento global, nem de elevar as metas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) assumidas pelos países. Um ganho, ao menos

no papel, foi o chamamento para se fazer esforços para triplicar o valor destinado especificamente à adaptação climática dos países em desenvolvimento dos atuais US\$ 40 bilhões anuais para US\$ 120 bilhões em 2035. “Não demos todos os passos que queríamos, mas demos passos firmes”, disse Ana Toni, diretora-executiva da COP30, em entrevista coletiva, após o final da conferência.

Esse tipo de final, sem avanços estrondosos, é o padrão usual das COP, que só incluem decisões em seus documentos oficiais quando há consenso entre todos os seus signatários. Historicamente o maior emissor de GEE, os Estados Unidos não participaram da conferência por decisão do presidente Donald Trump, que anunciara em janeiro deste ano a saída do país do Acordo de Paris, o principal tratado climático no âmbito da UNFCCC.

Uma das expressões mais ouvidas nos corredores da conferência na capital paraense foi “mapa do caminho”, uma espécie de plano estratégico, de roteiro mais detalhado, sobre como enfrentar, com ações e prazos definidos, as questões mais prementes da crise climática. O mapa do caminho mais comentado foi o do abandono progressivo dos combustíveis fósseis, que emitem cerca de 70% dos GEE que aquecem o planeta, e sua substituição por formas de energia mais limpas, como a solar e a eólica. Também muito citado foi um mapa do caminho para a preservação das florestas.

Ambas as iniciativas foram fortemente patrocinadas no início da COP30 pelo governo brasileiro, ganharam apoios (mais de 80 países deram aval às duas propostas), mas não prevaleceram devido a resistências de um grupo de países, em especial o das nações cuja economia depende largamente da produção de petróleo. Nenhum dos dois mapas do caminho aparece nos textos

finais da conferência, que nem mesmo cita os combustíveis fósseis.

Por conta própria, o embaixador André Corrêa do Lago, presidente da COP30, comprometeu-se a tentar organizar os dois mapas do caminho, o da saída dos combustíveis fósseis e o da preservação das florestas, para levá-los à próxima conferência. A Turquia será a sede da COP31, mas a presidência e as negociações estarão a cargo da Austrália. Por uma iniciativa da Colômbia e dos Países Baixos, foi anunciada a criação de uma conferência, fora da Convenção do Clima das Nações Unidas, para discutir especificamente a questão do uso do carvão, petróleo e gás natural. O encontro, apoiado pelo Brasil, será na Colômbia, em abril de 2026.

Em linhas gerais, cientistas não se mostraram animados com os resultados da COP30. “A verdade é que não há como evitar um perigoso aumento da temperatura global sem acabarmos com a dependência de combustíveis fósseis até 2040, ou no mais tardar até 2045. Não cumprir isso empurrará o mundo para uma perigosa mudança climática dentro de 5 a 10 anos, causando extremos climáticos cada vez mais intensos que afetarão bilhões de pessoas. Apesar dos melhores esforços do Brasil e de muitos países que trabalharam para unir o mundo em torno de um roteiro para acabar com nossa dependência de combustíveis fósseis, forças contrárias bloquearam o acordo.”

O trecho faz parte de um comunicado distribuído à imprensa, após o fim da conferência, por um grupo de sete pesquisadores. Os signatários do documento foram o climatologista Carlos Nobre, do Instituto de Estudos Avançados da Universi-



Proposto pelo Brasil, o fundo de investimentos para financiar a preservação das florestas tropicais recebeu a promessa de aportes da ordem de US\$ 6,5 bilhões

dade de São Paulo (IEA-USP); Johan Rockström, diretor do Instituto Potsdam para Pesquisa de Impacto Climático, na Alemanha (*ver entrevista na página 44*); a matemática Thelma Krug, coordenadora da parte científica da COP30 e integrante do Conselho Superior da FAPESP; o físico Paulo Artaxo, do Instituto de Física da USP; a matemática Marina Hirota, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e do Instituto Serrapilheira; a climatologista anglo-gambiana Fatima Denton, da Universidade das Nações Unidas; e o físico britânico Piers Forster, da Universidade de Leeds, do Reino Unido.

Mesmo sem um mapa do caminho ratificado pela conferência deste ano, a questão da preservação das florestas tropicais, que têm grande capacidade de retirar carbono da atmosfera e contribuir para reduzir o aquecimento global, foi um dos temas dominantes do encontro. No final de setembro, o Brasil lançou a proposta de criar um fundo de investimentos destinado a financiar a preservação das florestas tropicais (TFFF), como a Amazônia e a Mata Atlântica na América do Sul e as densas formações vegetais do Congo e do Sudeste Asiático. O país se comprometeu a depositar cerca de US\$ 1 bilhão no TFFF.

Durante a COP30, ao menos 61 países apoiaram a ideia do fundo e alguns, como Indonésia, Noruega, França, Alemanha, Portugal e Países Baixos, anunciaram aportes nesse mecanismo, totalizando US\$ 6,5 bilhões de dólares. “Em poucos dias, o fundo conseguiu levantar bilhões, o que parece promissor”, comentou Artaxo, que

esteve em Belém. A meta é conseguir US\$ 25 bilhões nos próximos anos para o TFFF. Cerca de 20% do dinheiro captado pelo fundo deverá ser direcionado para populações indígenas e comunidades locais que moram nas florestas.

Embora não tenham assento nas mesas de negociação, algo reservado apenas para os representantes dos países signatários da UNFCCC, pesquisadores estiveram em vários debates e apresentações em diferentes pavilhões (*ver texto sobre alguns eventos com cientistas na página 43*). Coordenado por Nobre e Rockström, o Pavilhão das Ciências Planetárias foi um ponto de encontro e troca de experiências e informações entre os pesquisadores.

Manifestações da sociedade civil ocorreram dentro e fora da COP30. Gritos contra os combustíveis fósseis, a favor da preservação das florestas, por mais dinheiro para financiamento climático foram ouvidos em Belém. Temas mais locais, como pedidos de demarcação de terras indígenas e proteção das áreas de quilombolas, também ecoaram pela capital paraense. “A participação da população nesta COP realmente é impressionante”, disse o economista Francisco de Assis Costa, do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará (Naea-UFPA).

Na primeira semana da conferência, alguns participantes de uma passeata furaram o bloqueio e entraram no setor mais fechado da COP30. O incidente gerou estresse, mas foi um caso isolado. Outro momento de tensão foi um incêndio ocorrido em um setor da conferência em seu penúltimo dia. O incidente não feriu gravemente ninguém, mas levou à evacuação do local e paralisou os trabalhos naquele dia. Apesar do fogo, a COP30 seguiu em frente e chegou ao final. ●



A conferência de Belém não conseguiu aprovar um roteiro detalhado para guiar o abandono progressivo dos combustíveis fósseis

Preparando a transição energética

Especialistas apontam oportunidades para os países do hemisfério Sul em debates organizados pela FAPESP



Energia solar e eólica combinadas na mesma região, na China: alternativa ao carvão e petróleo

Ainda que possa ter dificuldade para conseguir financiamentos e acelerar a transição energética, um dos principais temas tratados na COP30, o Brasil tem uma vantagem: a extensão territorial. “Países como Brasil, Índia e África do Sul possuem vastos territórios, o que é excelente para o desenvolvimento de energia eólica e solar e para atrair investimentos em energias renováveis e profissionais qualificados na área”, avaliou Pu Wang, diretor de pesquisa no Instituto de Estratégias de Desenvolvimento Sustentável da Academia Chinesa de Ciências, em um dos debates promovidos pela FAPESP na COP30, em Belém.

Para Wang, o aumento da produção de carros elétricos na China é um exemplo de como as mudanças climáticas também representam oportunidades de desenvolvimento econômico para os países do hemisfério Sul, começando com a fabricação de painéis solares e baterias e avançando para tecnologias mais inovadoras.

Dipak Dasgupta, membro do Instituto de Energia e Recursos da Índia e do Conselho Científico da COP30, indicou

outra possibilidade: a busca de soluções para o aprimoramento das redes elétricas de alta tensão. As redes são cruciais para a energia renovável por permitir o transporte eficiente de eletricidade de áreas de geração (como usinas solares e eólicas) para os centros de consumo, com perdas mínimas de energia.

“A capacidade das redes de transmissão de alta tensão para lidar com a energia renovável é um problema comum a todos nós [países do Sul global]”, afirmou. A seu ver, não há nenhuma razão para que os engenheiros indianos não conversem com os operadores de redes de energia do Brasil ou da China, por exemplo. O debate foi mediado por Gilberto Jannuzzi, professor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e assessor da Diretoria Científica para o Programa de Transição Energética da FAPESP.

Outro painel, com representantes da Iniciativa Amazônia+10, teve a participação da economista italiana Mariana Mazzucato, da University College London, da Inglaterra, que defendeu a intensificação da ação do poder público na

resolução de grandes desafios sociais. Ela refutou as alegações de restrições orçamentárias utilizadas por países, principalmente os mais ricos, para se esquivar do financiamento de ações de combate às mudanças climáticas: “Os governos alegam que não têm dinheiro para a saúde ou para o clima. Essas restrições orçamentárias são falsas”, diz. “Quando se quer fazer algo, o dinheiro é criado.”

A Amazônia+10 foi lançada pela FAPESP em 2022 e encampada pelo Conselho Nacional das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (Confap). Hoje a iniciativa reúne 25 FAP de todo o país e 10 parceiros internacionais com o objetivo de financiar a pesquisa na Amazônia, com protagonismo local.

A Fundação paulista promoveu também debates sobre vários outros temas durante a COP30, que trataram desde os limites de resistência da Amazônia às transformações causadas pela ação humana e mudança do clima até a pesquisa oceânica, acerca da importância de preservar o ambiente marinho. ●

COM INFORMAÇÕES DA AGÊNCIA FAPESP

Em busca dos limites da Terra

Diretor do Instituto Potsdam para Pesquisa de Impacto Climático fala da importância dos nove sistemas que permitem a vida no planeta

MARCOS PIVETTA, de Belém

O cientista do sistema terrestre Johan Rockström, um sueco de 59 anos, diretor do Instituto Potsdam para Pesquisa de Impacto Climático, na Alemanha, coordenou os estudos que levaram à criação do conceito de limites planetários. A expressão designa nove sistemas biofísicos e processos fundamentais para a Terra continuar habitável.

Em setembro de 2025, Rockström e seus colaboradores lançaram a segunda edição de um relatório anual que faz um check-up da “saúde” do planeta. A partir de uma série de parâmetros, cada um dos nove limites recebe um diagnóstico de sua situação – se está na zona de segurança, de risco ou de alto risco.

O mais recente relatório elevou de seis para sete os limites planetários que inspiram preocupação. Apenas dois, a situação da camada de ozônio e a produção de aerossóis, foram aprovados. Quatro foram classificados no nível mais crítico: mudanças climáticas, integridade da biosfera, modificação dos fluxos biogeoquímicos e introdução de materiais feitos pelo homem na natureza. Três foram considerados em risco: mudanças no uso da terra (florestas e áreas verdes), conservação da água doce e acidificação dos oceanos. No relatório anterior, os oceanos ainda estavam na zona segura. Nesta entrevista, Rockström fala dos resultados de seus estudos.

O que são exatamente os limites planetários?

São os processos ambientais que regulam a estabilidade e o funcionamento do planeta, analisados a partir do estado da arte do conhecimento científico. Dessa forma, é possível identificar variáveis de controle para cada um desses processos limítrofes, basicamente conjuntos de dados que sejam bons indicadores de sua situação, como a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera. Se estivermos dentro desses limites críticos, provavelmente seremos capazes de permanecer vivos em um estado interglacial semelhante ao dos últimos 12 mil anos do Holoceno [época geológica em que vivemos]. Mas, se os ultrapassarmos, corremos o risco de nos afastar das atuais condições de vida. Identificar os limites críticos é mais fácil do que definir o seu estado. Apenas em 2023, tivemos informações suficientes para quantificar o estado dos nove limites. Hoje diria que muita ciência é necessária para reduzir as incertezas e aperfeiçoar ainda mais as variáveis de controle. Mas esses nove limites parecem bem robustos e cientificamente justificados.

Quais são as diferenças entre os limites planetários e os pontos de inflexão, de não retorno, de um sistema?

Uma explicação simples é que estabelecemos os limites planetários para que os pontos de não retorno não sejam ul-

trapassados. Os pontos estão sempre relacionados a componentes específicos do sistema, como a floresta amazônica, os recifes de corais tropicais, a corrente marinha Amoc, a camada de gelo da Groenlândia e da Antártida Ocidental. Podemos então dizer, com alto nível de confiabilidade, que não vamos ultrapassar os pontos de não retorno se estivermos dentro dos limites planetários. Quanto mais estressamos os limites, mais perto estamos de ultrapassar os pontos de não retorno. Esse é, por exemplo, o caso da Amazônia, que faz parte dos limites planetários do uso da terra. Se uma floresta tropical é pressionada demais, pode mudar de estado e virar uma savana.

A alteração teria que ser de que ordem para que isso ocorra?

A ciência mais atualizada indica que, se houver uma perda de aproximadamente 25% da cobertura de árvores, há cerca de 50% de risco de que a floresta entre em um ponto de não retorno. Se a floresta for levada ao limite, por meio do desma-





“

Enquanto a Amazônia
tiver os rios voadores,
ela será uma
floresta tropical.
Se eles desaparecerem,
pode virar uma savana

tamento, da perda de biodiversidade, das mudanças climáticas, o sistema entrará em colapso em um ponto muito preciso. E este ponto preciso é quando o sistema de rios voadores parar de funcionar. Se isso ocorrer, o sistema deixa de se autoumidificar e passa a se tornar mais seco. Enquanto tivermos os rios voadores, a Amazônia será uma floresta tropical.

Esses limites planetários estão todos interconectados?

Pelo menos alguns deles, talvez a maioria, estão interligados. As mudanças climáticas, tema dessa conferência, são um deles. Elas influenciam alguns limites e são influenciadas por outros.

O que levou a acidificação dos oceanos a saltar em apenas um ano da zona segura para a de risco?

Infelizmente, a acidificação do oceano continua piorando ano a ano. Há uma redução linear do seu pH, que mede a acidez. Simplesmente acabamos de passar do limite seguro. Mais ácido, o oceano decompõe o carbonato de cálcio, que é o

componente básico para toda a vida que depende de conchas. Ele se torna mais corrosivo para os seres vivos. Essa é a primeira razão para a mudança de *status*. A segunda é que estamos fazendo grandes atualizações sobre a ciência dos oceanos, temos mais informações. Prevejo que teremos de adicionar mais parâmetros para medir a segurança dos oceanos, como a pesca em excesso, o aquecimento das águas, os níveis de oxigênio, a presença de microplásticos.

O senhor já esteve em várias COP. Como avalia o papel da conferência para conter as mudanças climáticas?

Precisamos reformar a COP, porque ela não está mais funcionando. Há dois anos, ao lado de Sandrine Dixson-Declève, do Clube de Roma [organização informal que discute temas globais], mandei uma carta para Simon Stiell, presidente da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas [UNFCCC], sugerindo uma reforma na COP. Comecei a carta dizendo que a primeira coisa que o mundo deveria fazer é comemo-

rar o fato de que, após mais de 30 anos, as negociações climáticas chegaram ao fim. Não precisamos de mais negociações. Todos os componentes legais [para atuar] já existem. Sabemos monitorar a temperatura do planeta. Temos mecanismos de financiamento climático. Conhecemos os danos causados pelos combustíveis fósseis. Tudo está pronto. Não precisamos mais debater. Temos de diminuir as emissões e nos adaptarmos às mudanças do clima. No modelo atual das COP, ficamos revisitando coisas antigas o tempo todo. Na verdade, nem precisamos de um compromisso anualmente negociado, que, aliás, ninguém realmente cumpre.

O foco deve ser mais ação e menos discussão?

A COP deve se tornar uma reunião de implementação. Precisamos que elas se tornem muito mais orientadas para o trabalho. Precisamos de instâncias em que todos os países sejam responsabilizados e a ciência esteja muito mais presente para ajudar continuamente no alinhamento do que está sendo proposto para o mundo real. A ciência diz que é preciso reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 5% ao ano. E o que os países dizem, no papel, que farão? Que reduzirão em 5% as emissões em 10 anos. Hoje, há uma diferença de 10 vezes entre o que a ciência prega e a meta de cortes dos países. ●

Aquecimento de 1,5 °C bate à porta

Estragos do calor: brigadista combate incêndio na Terra Indígena Tenharim/Marmelos, situação cada vez mais frequente na Amazônia

Pesquisadores cobram mais realismo nas negociações à medida que o planeta esquentar e coloca ecossistemas e vidas em risco

RENATA FONTANETTO, de Belém

Atingir o tão falado marco de 1,5 grau Celsius (°C) de aquecimento global na superfície terrestre, algo que o Acordo do Paris de 2015 ainda tenta evitar, não é mais uma realidade distante. É agora certo e deve ocorrer em poucos anos.

Até mesmo o secretário-geral das Nações Unidas (ONU), António Guterres, reconheceu a situação: “A dura verdade é que falhamos em garantir que o aumento da temperatura permaneça abaixo de 1,5 °C. A ciência agora nos diz que uma ultrapassagem temporária desse limite é inevitável e deve ocorrer, no máximo, no início da década de 2030”. As palavras foram ditas na Cúpula de Líderes que antecedeu a 30ª Conferência das Partes sobre Mudanças Climáticas da ONU, a COP30, que ocorreu em Belém.

No Pavilhão de Ciências Planetárias, um dos que integraram a zona azul, de acesso restrito, da COP30, houve um debate no dia 11 de novembro sobre as consequências de romper a meta do 1,5 °C de

aquecimento global. O espaço oficial – o primeiro totalmente dedicado à ciência, algo inédito até agora nas COP – foi coordenado pelo climatologista Carlos Nobre, do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA-USP), e pelo pesquisador sueco Johan Rockström, diretor do Instituto Potsdam para Pesquisa do Impacto Climático, na Alemanha.

No jargão científico, o período em que o aquecimento global se mantiver acima de 1,5 °C antes de retornar para abaixo desse limite (desde que sejam tomadas medidas efetivas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa) é chamado de *overshoot*. Há hoje consenso de que algum nível de *overshoot* é inevitável. O perigo reside na duração desse estado, ou seja, quanto tempo o planeta permanecerá aquecido acima do teto.

“Prefiro dizer que vamos ter que enfrentar um *overshoot* temporário. Tenho esperança de que seremos mais rápidos na transição energética e mais claros quanto à redução gradual e ao abandono do uso dos combustíveis fósseis”, enfatizou a matemática Thelma Krug, coorde-

nadora do Conselho Científico da COP30 e integrante do Conselho Superior da FAPESP, durante o evento.

De forma pontual, a superfície terrestre registrou seu primeiro *overshoot* em 2024, quando a Organização Meteorológica Mundial anunciou um aumento médio de temperatura de 1,55 °C em relação aos níveis pré-industriais (1850 a 1900). De acordo com especialistas, o fenômeno El Niño – o superaquecimento das águas equatoriais do oceano Pacífico que influi nas variáveis climáticas – interferiu no resultado do ano passado. Para reconhecer a ultrapassagem desse limite de temperatura, o Acordo de Paris adota outra metodologia que capta uma variação mais profunda: são consideradas as temperaturas médias globais dos últimos 10 anos e sua projeção para a década à frente.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) já havia indicado que o planeta poderia exceder temporariamente o 1,5 °C e retornar para esse patamar até o fim do século. No entanto, ainda que sejam implementadas todas as metas mais recentes de redução das emissões de gases de efeito estufa

(GEE) submetidas pelos países às Nações Unidas – as chamadas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) –, o mundo caminha para atingir um aquecimento de 2,3 a 2,5 °C até 2100.

Muitos danos ambientais são irreversíveis e não é possível antecipar com certeza toda a cascata de eventos decorrentes da ultrapassagem da meta de 1,5 °C. O sexto e mais recente relatório de avaliação do IPCC detalha

os possíveis impactos e indica cenários de *overshoot* que começam a partir desse patamar e chegam a mais de 4 °C. Um dos grupos biológicos mais frágeis são as barreiras de corais de águas quentes, que já sentem efeitos negativos com os níveis atuais de aquecimento. Entre 2023 e 2025, 84% das áreas de corais do mundo tiveram um estresse térmico que causou branqueamento em massa, segundo dados da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (Noaa), dos Estados Unidos.

“A ciência demonstra que precisamos de uma redução de emissões de pelo me-

nos 5% ao ano, a partir de agora. Infelizmente, os compromissos atuais equivalem a uma redução total de 5% em 10 anos”, escreveram Nobre, Rockström e outros sete cientistas em uma carta pública de 14 de novembro endereçada aos negociadores da COP30. Eles ainda advertiram que deixar o aquecimento global superar 1,5 °C aproxima o planeta dos chamados pontos de não retorno. De acordo com o IPCC, esses pontos são limites críticos que, uma vez cruzados, causam mudanças profundas e abruptas no sistema terrestre e são de difícil reversão, como parece ser o caso dos corais.

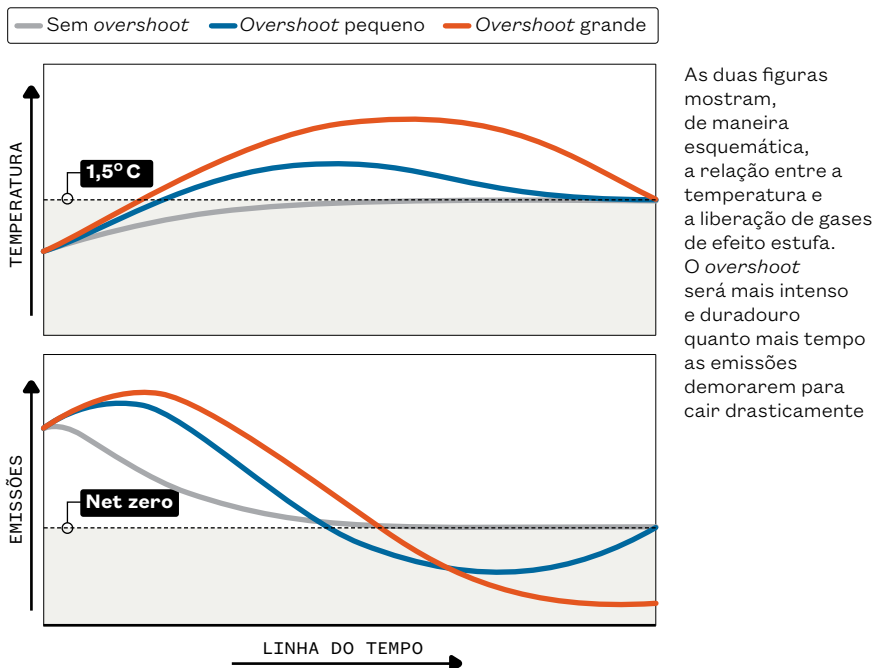
Outra dificuldade é que o Acordo de Paris não aborda o conceito desses limites, o que dificulta o encaminhamento de políticas públicas voltadas a essa questão. “O Acordo de Paris não foi concebido para abordar as ameaças desses elementos de não retorno”, avalia a cientista política Manjana Milkoreit, da Universidade de Oslo, na Noruega. Em entrevista a *Pesquisa FAPESP*, ela diz que a infraestrutura de governança do tratado climático de 2015 contempla mudanças graduais. Na medida em que os pontos de não retorno são atingidos, a governança do acordo deveria, a seu ver, levar em conta os riscos.

“Precisamos usar essa arquitetura para reinterpretar nossos objetivos de longo prazo, a fim de minimizar os riscos de desencadear novos pontos de não retorno e nos adaptar àqueles que não estamos conseguindo evitar”, sugere Milkoreit. Ela ainda enfatiza que a ambição das metas de corte indicadas nas NDC deveria ser um dos tópicos a serem mais debatidos na COP30 para aproximar as negociações da realidade. “Não vejo muito apetite para focar no 1,5 °C. Mas a meta não está perdida. Neste momento, o importante é retornar ao 1,5, e não mais evitá-lo”, comenta a pesquisadora.

Para a britânica Samantha Burgess, vice-diretora do Serviço de Mudanças Climáticas Copernicus, na Europa, o momento pede concentração nos pontos de inflexão “positivos”, como o corte nos GEE, a mudança da matriz energética e o desmatamento zero. “Sabemos que podemos limitar o aquecimento futuro reduzindo emissões de GEE e atingindo emissões líquidas zero rapidamente. Mas precisamos de ambição política para colocar isso em prática”, diz em entrevista concedida para *Pesquisa FAPESP*. ●

Vivendo no calor extra

O termo *overshoot* indica o período em que o aquecimento global deverá superar 1,5 °C antes de retornar para baixo desse limite



As duas figuras mostram, de maneira esquemática, a relação entre a temperatura e a liberação de gases de efeito estufa. O *overshoot* será mais intenso e duradouro quanto mais tempo as emissões demorarem para cair drasticamente

Ainda nas alturas

Emissão de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis deverá bater recorde, novamente, até o fim de 2025

MARCOS PIVETTA, de Belém

As emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás de efeito estufa (GEE), derivadas da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento devem subir até o fim deste ano 1,1% e totalizar 38,1 bilhões de toneladas. Será um novo recorde de produção do gás em razão da combustão de carvão, petróleo e gás natural, um feito negativo que tem se repetido na maioria dos anos nas últimas décadas. Os cinco maiores produtores de CO₂ em razão do emprego de combustíveis fósseis serão, em ordem de importância, a China, os Estados Unidos, a Índia, a União Euro-

peia e o Japão. O Brasil deverá estar em uma posição intermediária, entre o décimo e o vigésimo lugar.

Com relação ao outro processo associado a atividades humanas que levam à liberação de dióxido de carbono, as chamadas mudanças no uso da terra, como o desmatamento e os incêndios florestais, 2025 deve fechar o ano com um número positivo. Está prevista uma redução de quase 11% no total de emissões líquidas (diferença entre a quantidade de carbono liberada e retirada da atmosfera pela vegetação) por esse setor. Até o final do ano, deverão ser produzidos 4,1 bilhões de toneladas de CO₂, 0,5 tonelada a menos do que em 2024. O Brasil, que detém 60% da maior floresta tropical do planeta

(Amazônia), costuma ser o maior emissor de dióxido de carbono no setor de mudanças do uso da terra, respondendo por aproximadamente 30% do total.

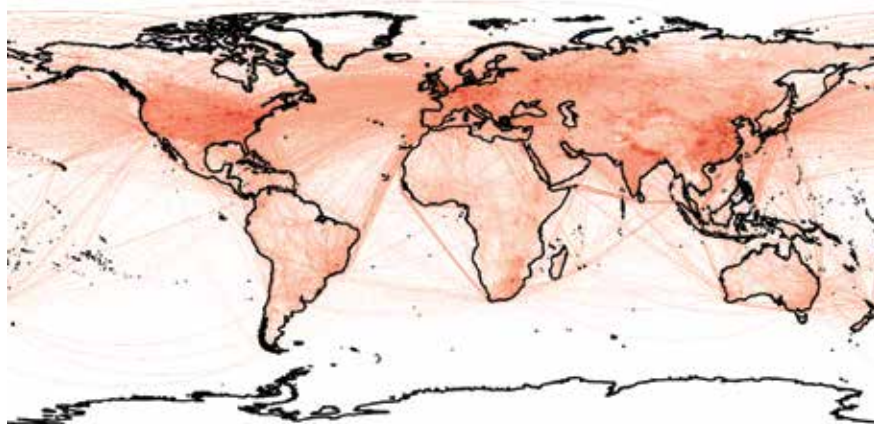
Quando se somam as quantidades projetadas de emissão do gás pelos dois processos (queima de combustíveis e mudança do uso da terra), o total estimado para 2025 é praticamente o mesmo do ano passado. Em 2024 foram liberados 42,4 bilhões de toneladas de CO₂, 0,2 bilhão de toneladas a mais do que o previsto para este ano. A queda estimada das emissões no setor de mudanças do uso da terra em 2025, no entanto, deverá compensar apenas em parte a elevação associada à queima de combustíveis fósseis. Isso porque o uso de petróleo,



Vapor-d'água de usina termoeletrica na Alemanha, que usa carvão para produzir eletricidade: mais CO₂ no ar

O mapa-múndi das emissões

Quanto mais avermelhado for um ponto do globo, maior a produção de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis



FONTE GLOBAL CARBON PROJECT

ram estáveis nas últimas décadas, mas há projeções de serem muito impactados pelas mudanças climáticas”, diz a geógrafa brasileira Thais Rosan, da Universidade de Exeter, que participa há cinco anos do projeto e esteve na capital paraense para divulgar os resultados do trabalho.

Segundo um estudo feito por parte do grupo do Global Carbon Project publicado na revista *Nature* em 12 de novembro, as mudanças climáticas têm levado, desde os anos 1960, à redução da capacidade de os ambientes terrestres e marinhos sequestrarem carbono da atmosfera. O trabalho credita cerca de 8% do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera em relação ao período pré-industrial (segunda metade do século XIX) ao efeito silencioso das mudanças climáticas sobre esses sistemas. Um exemplo de sumidouro que perde parte de seu potencial de retirar carbono do ar são as florestas degradadas, menos eficientes nessa tarefa do que uma mata totalmente preservada.

A alta nas emissões deste ano de dióxido de carbono oriundo de combustíveis fósseis foi puxada pelos Estados Unidos e, surpreendentemente, até pela União Europeia. O crescimento da produção de CO₂ na China e Índia, dois países com grandes economias e populações, foi menor do que a média da década passada. A queda nas emissões líquidas de dióxido

de carbono no setor de mudanças do uso da terra se deveu, em grande medida, à redução de desmatamento na América do Sul, em especial na Amazônia.

Segundo as estimativas do trabalho, mais quatro anos com os níveis atuais de emissão de dióxido de carbono, que, sozinho, provoca cerca de 70% do aquecimento global, farão com que a temperatura média do planeta rompa de vez o limite de 1,5 grau Celsius (°C) a mais do que no período pré-industrial. “Com as emissões de CO₂ ainda aumentando, manter o aquecimento global abaixo de 1,5 °C não é mais plausível”, comenta Pierre Friedlingstein, do Instituto de Sistemas Globais da Universidade de Exeter, coordenador do estudo, em material de divulgação para a imprensa. A humanidade deve se preparar para viver por décadas acima desse limite.

As projeções que constam do artigo da *Earth System Science Data* apontam para um ligeiro aumento nas emissões ligadas a cada um dos combustíveis fósseis até o final de 2025. O problema é que essa elevação de pequena monta em relação aos números de 2024 fará com que a produção de dióxido de carbono pela queima de carvão seja a maior desde 1959, primeiro ano com dados compilados pelo Global Carbon Project. O mesmo recorde negativo também deverá ser batido pelo uso do petróleo e do gás natural. Até o fim do ano, somente o uso de carvão vai liberar 15,9 bilhões de toneladas de CO₂, à frente do petróleo (12,6 bilhões) e do gás natural (8,1 bilhões). ●

carvão e gás natural é responsável por cerca de 90% da produção do principal gás de efeito estufa.

Esse conjunto de dados foi divulgado em 13 de novembro pelo Global Carbon Project, iniciativa internacional coordenada pela Universidade de Exeter, no Reino Unido, na forma de um artigo ainda sem revisão por pares (*preprint*) no periódico *Earth System Science Data*. Nessa mesma data, houve eventos para dar publicidade do trabalho em algumas cidades do mundo. Uma delas foi Belém, em razão da realização da COP30. “As emissões seguem altas, mas têm ritmos e padrões regionais distintos. Do lado oposto, os sumidouros naturais de carbono [que retiram CO₂ do ar] se mostra-

Vítimas do calor amazônico

Imersos em uma água mais quente do que a de uma banheira aquecida, botos e peixes agonizaram até morrer em 2023

GISSELLE SOARES

Em 28 de setembro de 2023, pesquisadores do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, organização social ligada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), foram surpreendidos por uma cena devastadora no lago Tefé, no Amazonas: 70 botos de duas espécies – boto-vermelho e tucuxi – foram encontrados mortos em seu canal de escoamento. Naquele dia, os sensores registraram 39,5 graus Celsius (°C) nas águas superficiais do lago, muito acima do observado em anos anteriores, quando as medições mensais indicavam uma temperatura máxima de 33,3 °C e média de 29 °C.

Nas semanas seguintes, o número de carcaças de botos chegou a 209. A área da superfície do lago foi reduzida em cerca de 75%. Diminuiu de 379 quilômetros quadrados (km²) para apenas 95 km². Grandes áreas antes alagadas se transformaram em poças rasas, com menos de 50 centímetros de profundidade. Nessas condições extremas, houve também grande mortalidade de peixes em outros lagos e reservatórios da região, agravada pela drenagem de áreas de várzea e redução do volume dos rios.

As informações são de um artigo publicado em 6 de novembro na revista *Science*, coordenado pelo engenheiro ambiental brasileiro Ayan Fleischmann, do Instituto Mamirauá, em parceria com instituições de pesquisa nacionais e in-

ternacionais. O estudo mostrou que a elevada mortalidade de peixes e botos registrada em 2023 foi consequência da combinação entre a seca extrema e uma onda de calor, ambas sem precedentes. Além das mudanças climáticas globais, uma forte manifestação do fenômeno climático El Niño, caracterizado pelo aquecimento das águas superficiais do centro-leste do oceano Pacífico, contribuiu para a estiagem e o calor acentuado na região Norte naquele ano.

Utilizando simulações hidrodinâmicas, os pesquisadores identificaram quatro fatores principais para o superaquecimento: a baixa velocidade do vento, que reduziu a perda de calor da água; a radiação solar intensa associada à pouca cobertura de nuvens; as águas mais turvas que o normal, o que aumentou a absorção de calor; e o volume muito reduzido de água, que favoreceu o aquecimento. O modelo indicou ainda que a falta de vento teve papel mais decisivo que o próprio aquecimento do ar.

Entre os 10 lagos monitorados (Tefé, Coari, Samaumerinha, Amaña, Buá-buá, Cedrinho, Janaucá, Calado, Miriti e Castanho), cinco registraram temperaturas diurnas acima de 37 °C. Em um deles, o Tefé, a água chegou a 41 °C em toda a profundidade, de cerca de 2 metros (m), e a diferença entre a máxima e a mínima temperatura diária chegou a 13 °C. A temperatura de 41 °C é 2 °C superior à considerada confortável para o ser humano ficar em uma banheira caseira com água aquecida.

“Certo dia, quando a temperatura atingiu o pico da tarde, presenciamos uma cena muito forte: um boto-vermelho agonizando, girando em círculos até afundar. A carcaça estava intacta, o que indicava que não houve ferimentos, mas um colapso fisiológico”, lembra Fleischmann. Antes da tarde, segundo o pesquisador, aquele ambiente era fértil, cheio de peixe. “Quando começava a esquentar, os bichos iam embora [o lago

Boto que sucumbiu às altas temperaturas das águas no lago Tefé





Vista do lago Tefé durante seca intensa, quando suas águas baixam

tem conexão com o rio Solimões] e os botos-vermelhos ficavam. Era como uma armadilha porque eles não conseguiam sair. Tinha um efeito neurológico quando começavam a agonizar, a girar em círculos, e eles não conseguiam tomar a decisão correta de sair do ambiente.”

Para o biólogo Marcelo de Oliveira Soares, do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará (Labomar-UFC), que não participou do estudo, o episódio de 2023 evidencia os limites da vida aquática diante do calor extremo. “Com a água muito quente e sem refúgio, os animais ultrapassam seu limite de tolerância e entram em colapso. Eventos como esse tendem a se tornar mais frequentes e intensos com o avanço das mudanças climáticas”, diz.

O comentário dialoga com a explicação do também biólogo Adalberto Luis Val, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), coautor do novo estudo. Os peixes enfrentam o que ele chama de “trio

da morte”: o aquecimento, a desoxigenação e a acidificação das águas. “Mesmo aumentos pequenos de temperatura, de 1 ou 2 °C, já comprometem a reprodução e o metabolismo”, detalha Val.

Espécies da região, como o tambaqui, evoluíram para respirar na superfície, onde há mais oxigênio. O problema é que essa é a camada mais aquecida da água. “Essa adaptação, que antes garantia sobrevivência, volta-se contra os animais em eventos extremos, levando a uma mortalidade em massa”, comenta o pesquisador. Val é coautor de outro artigo, publicado em 2024 no *Journal of Experimental Biology*, sobre a mortalidade dos peixes amazônicos durante a seca de 2023.

“Depois de registrar aquela temperatura absurda no lago Tefé, a pergunta natural que fizemos foi se o fenômeno estava ocorrendo também em outros lagos”, conta Fleischmann. “Organizamos uma rede emergencial com parceiros em diferentes regiões e fomos a campo.” Os dados mostraram que o aquecimento era generalizado.

Para dimensionar o problema, a equipe combinou medições diretas,

modelagem hidrodinâmica e dados de satélite. O esforço revelou um aquecimento médio de 0,6 °C por década nos lagos amazônicos desde 1990, resultando em um aumento da ordem de 2 °C nos últimos 35 anos. “Os satélites foram fundamentais, porque faltam séries históricas longas de temperatura da água na Amazônia. O desafio agora é transformar esse esforço pontual em monitoramento contínuo, feito com o apoio das comunidades locais”, explica o pesquisador.

Desde dezembro de 2024, Fleischmann coordena o projeto Lagos Sentinelas da Amazônia, com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A iniciativa reúne pesquisadores, gestores públicos e comunidades ribeirinhas para compreender e monitorar, de forma colaborativa, os impactos das mudanças climáticas nos lagos da Amazônia Central e buscar soluções adaptativas para as populações do entorno. ●

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



O truque das flores tropicais

Pétalas que escoam a água da chuva sugerem como o clima ajudou a moldar a evolução de plantas em florestas úmidas

GUILHERME COSTA

Pequenas e delicadas, as flores dos gêneros *Miconia* e *Leandra* – parentes das quaresmeiras e dos manacás-de-cheiro e comuns nas florestas tropicais das Américas – são bem engenhosas: dependem das vibrações das abelhas para liberar o pólen e apresentam pétalas capazes de escoar a água, mantendo o pólen disponível mesmo em períodos de chuva. A importância evolutiva do formato das flores foi a conclusão do estudo liderado pela bióloga Patrícia Sperotto, estudante de doutorado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), publicado em setembro na revista científica *Evolution*.

Sperotto analisou 502 espécies de uma linhagem da família das melastomataceas para investigar a relação entre o formato das pétalas e diferentes condições am-

bientais e climáticas. Ela observou que, em ambientes úmidos, algumas dessas espécies apresentam pétalas mais estreitas e pontiagudas, por onde a água escoaria mais facilmente e o pólen se mantém em boas condições. “Quando pensamos em evolução floral, geralmente associamos a enorme variedade ao processo de polinização por animais”, explica a bióloga. “A pressão ambiental na evolução da forma das pétalas é muito pouco explorada.”

Para entender de que modo o ambiente influenciou a forma das flores, ela elaborou, com seu orientador, o biólogo Marcelo Reginato, da UFRGS, e colegas da Universidade de Michigan e da Academia de Ciências da Califórnia, ambas nos Estados Unidos, um protocolo de análise que combinou dados de características físicas (morfologia), de quando florescem ou frutificam (fenologia) e de condições climáticas em que vivem. Para a análise da morfologia, o grupo reuniu imagens de pétalas registradas em herbários e publicações, além de fotografias próprias, e analisou os contornos das estruturas usando softwares que permitiram medi-las nas imagens. Essas silhuetas foram transformadas em coeficientes numéricos que possibilitaram comparar objetivamente as variações de forma entre centenas de espécies. “Com isso, procuramos testar se havia coincidência entre as espécies apresentarem valores mais altos nesse coeficiente, significando pétalas mais estreitas e agudas, e as flores serem menores e florescerem em época de chuva”, detalha Sperotto.

As informações sobre o período de floração e índices de precipitação foram obtidas em bancos de dados públicos e coleções científicas, relacionando datas e locais de coleta às condições ambientais de cada região. Os pesquisadores trabalharam com dados históricos de precipitação e temperatura registrados entre 1960 e 2021. “Um desafio foi lidar com uma grande quantidade de dados”, destaca Reginato. “Foi preciso criar códigos e scripts para fazer todo o processamento das informações e viabilizar a análise.”

A partir daí, reconstruíram a história evolutiva desses traços por meio de análises filogenéticas, que traçam o parentesco entre as espécies, revelando que pétalas pontiagudas surgiram repetidas vezes em linhagens de flores pequenas que florescem em épocas chuvosas. Esse

resultado sugere uma mudança funcional, em que estruturas originalmente moldadas para a atração de polinizadores passaram também a favorecer o escoamento de água, ampliando a adaptação das plantas a ambientes úmidos. O fato de elas se tornarem menos chamativas, de acordo com Reginato, reforça que a pressão seletiva é mais ambiental do que relacionada à atração de animais.

Além do achado raro, o rigor metodológico do estudo impressionou o biólogo Vinícius Brito, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). “Já existe uma quantidade expressiva de informações sobre as relações evolutivas entre as espécies desse grupo, mas quase nada sobre como a forma da pétala se relaciona com a pressão ambiental”, comenta. “Os autores mostraram muita habilidade ao integrar aspectos geográficos, climáticos, evolutivos e de atributos das plantas.”

A amplitude da amostra também chamou a atenção. Ao reunir dados de mais de 500 espécies – cerca de um quarto de toda a diversidade conhecida dessa linhagem de plantas tropicais distribuídas pelas Américas –, o estudo alcança um nível de representatividade incomum em pesquisas macroevolutivas. Normalmen-

te, análises desse tipo abrangem apenas cerca de 10% das espécies de um grupo, o que torna esse levantamento especialmente expressivo. Para Brito, o trabalho evidencia a força da botânica brasileira, sustentada por décadas de estudos taxonômicos e sistemáticos que formaram a base de dados necessária para pesquisas desse porte. “Não teria sido possível realizar esses estudos se não fossem gerações de botânicos coletando, tombando esse material em coleções científicas e analisando e descrevendo”, ressalta Reginato.

Os resultados ainda abrem espaço para uma reflexão sobre o futuro das flores em extremos climáticos. Embora o estudo tenha utilizado dados históricos de precipitação e temperatura, fundamentais para entender padrões de longo prazo, o cenário atual se mostra muito mais instável. Sperotto destaca que as transformações ambientais vêm ocorrendo em um ritmo acelerado, modificando rapidamente as condições que afetam essas espécies. “Uma planta que hoje vive em um ambiente seco pode, em pouco tempo, se ver em um cenário muito mais úmido. Talvez ela não tenha tempo de se adaptar da forma como mostramos”, pondera. “Ela precisará encontrar outra estratégia muito rápido ou será extinta.” ●

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



Tococa guianensis e *Clidemia cf. capitellata*: pétalas arredondadas e sistema que libera pólen em resposta à vibração

Luz demais, energia de menos

Estudo com mosca-das-frutas revela que a fragmentação de sono afeta machos e fêmeas de forma desigual, desregulando o relógio biológico e reduzindo a eficiência energética das células

GUILHERME COSTA

Queda acentuada na capacidade motora, níveis de glicose e triglicerídeos bem abaixo do normal, mitocôndrias trabalhando mais, porém produzindo menos energia. Esse quadro nada saudável foi observado em moscas-das-frutas (*Drosophila melanogaster*) após períodos de privação de sono e alterações no ciclo circadiano. Esse relógio biológico interno, em ciclos de aproximadamente 24 horas, regula uma variedade de processos fisiológicos, comportamentais e metabólicos nos seres vivos.

Não é possível extrapolar os resultados diretamente para outras espécies, mas a mosca-das-frutas é um modelo muito usado para investigar princípios biológicos mais gerais. Em 2017, o prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina reconheceu o trabalho de pesquisadores que identificaram os genes centrais do relógio biológico por meio de estudos em drosófilas. Elas apresentam – assim como os seres humanos – ciclos bem definidos de sono e atividade, diretamente regulados pela luminosidade. No caso dessas

moscas, quando expostas à luz constante ou a ciclos luminosos fragmentados, as fêmeas apresentam um desequilíbrio generalizado no organismo, indicativo de estresse metabólico e oxidativo.

“Elas apresentam respostas mais intensas às interrupções no ciclo luminoso do que à exposição contínua à luz”, ressalta a bioquímica Tâmie Duarte, pesquisadora em estágio de pós-doutorado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Ela é a primeira autora de um estudo publicado em setembro na revista *Journal of Experimental Biology*. “Com isso, pudemos entender que o sono fragmentado pode ser mais nocivo à saúde do que dormir um pouco menos.”

Os machos da mesma espécie, por sua vez, ainda que afetados, demonstram maior estabilidade do sono e resiliência metabólica, mantendo as funções mitocondriais mais preservadas sob os mesmos esquemas de ciclos de luz. “Isso revela diferenças nas respostas ao ciclo circadiano, ao sono e ao estresse oxidativo entre os sexos, o que pode indicar mecanismos distintos ou alterações específicas em cada um deles”, sinaliza a biomédica Monica Andersen, da Univer-

sidade Federal de São Paulo (Unifesp), que não participou do estudo.

Especialista em sono humano, ela reforça a importância de trabalhar com os dois sexos nas amostras, que, via de regra, contemplam apenas machos. “O organismo feminino apresenta aspectos fisiológicos e comportamentais diferentes do masculino, o que pode fazer com que responda de outra forma às mudanças no sono e no ciclo circadiano. Especialmente porque, no caso de algumas espécies, há oscilações hormonais ligadas ao ciclo reprodutivo”, explica.

A amostragem restrita a indivíduos machos também incomodava Duarte. Ao revisar a literatura sobre o tema, ela percebeu que, mesmo em estudos com outras espécies – incluindo mamíferos –, a predominância desse sexo é recorrente. Além disso, a falta de um método padronizado impedia comparações robustas entre os trabalhos sobre padrões de sono e modelos de privação. Durante o doutorado, realizado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ela percebeu a necessidade de desenvolver um modelo experimental de privação e fragmentação do sono que comparasse os sexos, evitasse estímulos mecânicos e priorizasse o uso controlado da luz, condição mais próxima das perturbações enfrentadas por humanos. Persistente, levou dois anos para aperfeiçoar o procedimento adotado na pesquisa. O estudo também teve financiamento do

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs).

O experimento foi conduzido com moscas adultas virgens, para evitar flutuações hormonais e que ponham ovos durante o experimento, criadas em ambiente controlado. Inicialmente, centenas delas foram submetidas a uma alternância

entre ciclos com 12 horas de luz e 12 horas de escuridão e outro de escuridão constante, para calibrar seu mecanismo de relógio biológico. No experimento, as moscas foram divididas em três regimes de luz durante três dias consecutivos. O primeiro grupo ficou em ambiente constantemente iluminado. O segundo recebeu quatro interrupções luminosas de uma hora cada um durante a fase escura, configurando uma fragmentação moderada do ritmo biológico. O terceiro impôs uma fragmentação mais severa, com oito eventos de iluminação: quatro eventos de luz apagada durante a fase clara e quatro de luz durante a fase escura, todos com duração de uma hora. “Essa mudança inesperada no período em que a luz deveria permanecer acesa confunde o relógio biológico ainda mais e aumenta a fragmentação do ritmo circadiano”, explica Duarte.

“Ninguém havia testado esse esquema de oito interrupções ou comparado protocolos com diferentes regimes de luz”, afirma a bióloga Cristiane Lenz Dalla Corte, que foi orientadora de Duarte na UFSM e coautora do artigo. “Queríamos entender as diferenças entre os modelos de fragmentação de sono causados pela luz e como eles afetam o comportamento, a resposta ao estresse e o metabolismo energético em ambos os sexos.”

Após o período de exposição irregular, as moscas ficaram dois dias em ciclo normal (12 horas de luz, 12 de escuridão), etapa destinada a avaliar a capacidade de recuperação do sono e da atividade locomotora. Durante todo o experimento, cada indivíduo foi mantido isoladamente em um tubo de vidro com 65 milímetros (mm) de comprimento e 5 mm de diâmetro, todos conectados ao sistema *Drosophila Activity Monitoring* (DAM2),

Elas apresentam respostas mais intensas às interrupções no ciclo luminoso

equipamento que monitora a atividade locomotora por meio de um feixe infravermelho que atravessa o centro do tubo. O critério para marcar episódios de sono é validado para a espécie: o inseto precisa passar ao menos 5 minutos sem cruzar o feixe.

O desenho experimental permite análises segmentadas, com dados gerados durante e após a exposição à luz. O modelo também possibilita avaliar separadamente os efeitos em machos e fêmeas, com monitoramento contínuo que registra as variações a cada minuto. Para Duarte, essa estrutura torna o método versátil, uma vez que outros pesquisadores podem aplicar apenas partes do protocolo e ainda assim obter resultados comparáveis entre diferentes estudos, algo que considera essencial para o avanço das pesquisas sobre sono e ritmos circadianos.

Além da análise do padrão de sono, o estudo envolveu avaliações comportamentais, fisiológicas e bioquímicas, como a quantificação de glicose e triglicerídeos, a atividade de enzimas antioxidantes e a função mitocondrial ao fim dos três dias de tratamento experimental.

Nesse universo experimental em camundinhos de vidro, as drosófilas ressaltam os danos metabólicos causados pela falta de descanso, que provavelmente valem para outros organismos, em ambientes mais complexos. Fica o alerta para proteger as suas noites. ●

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

O sono fragmentado pode ser mais nocivo à saúde do que dormir um pouco menos

Efeitos de longa duração

Em hamsters, vírus da Covid-19 permanece ativo no cérebro por até 80 dias e causa distúrbios associados à perda de memória, ansiedade e depressão

SAMUEL FERNANDES

Perda de memória, confusão mental, depressão e ansiedade. Essas são algumas das queixas neurológicas mais associadas à covid longa. De difícil definição, é uma síndrome comum, que se manifesta em 6% a 12% das pessoas infectadas pelo novo coronavírus (Sars-CoV-2), e pode causar uma grande variedade de sintomas – mais de 200 já foram identificados. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o traço comum da síndrome é que seus sinais aparecem nos três primeiros meses após o contato com o vírus, na fase aguda da doença ou mesmo após a recuperação, e costumam persistir por várias semanas ou mais de ano.

Nela, os distúrbios que afetam o funcionamento do cérebro e das outras estruturas do sistema nervoso central são frequentes. Um estudo publicado em 2024 no *International Journal of Infectious Diseases* mostrou que 94% das pessoas em um grupo de 231 pacientes com covid longa ainda apresentavam sintomas cognitivos e neurológicos um ano após o primeiro atendimento. Apesar de comuns, essas manifestações intrigam médicos e pesquisadores, por terem uma origem biológica ainda não bem compreendida.

No Instituto Pasteur em Paris, o neurocientista brasileiro Guilherme Dias de Melo e colaboradores deram agora um passo importante para desfazer o enigma por trás das manifestações neurológicas da covid longa. Trabalhando com roedores infectados com Sars-CoV-2, os pesquisadores identificaram alterações no padrão de ativação dos genes e no funcionamento das células cerebrais que duram muito tempo e podem explicar as queixas mais comuns dos pacientes, como perda de memória, ansiedade e depressão. Os resultados foram apresentados em julho, em um artigo publicado na revista *Nature Communications*.

No laboratório do virologista Hervé Bourhy, Melo e colaboradores administraram pequenas gotas de soro fisiológico contendo Sars-CoV-2 na narina de hamsters-sírios, simulando o modo como as pessoas se contaminam, e acompanharam os animais por 80 dias. Os pesquisadores fizeram os experimentos com três variantes do coronavírus: a Wuhan, identificada na China no início da pandemia; a delta; e a ômicron.

O primeiro achado importante foi que o coronavírus chega rapidamente ao sistema nervoso central. Quatro horas após entrar pelas narinas, o vírus já estava instalado no tronco encefálico, estrutura que abriga os conjuntos de células res-

Extraídos do cérebro de roedores, aglomerados do Sars-CoV-2 (*mancha rosa*) infectam células em laboratório e as fazem se fundir, gerando uma célula gigante com vários núcleos (*azul*)

ponsáveis pelo controle dos batimentos cardíacos, da pressão arterial e da produção de certos neurotransmissores, como a dopamina. Embora a concentração do Sars-CoV-2 diminua depois da primeira semana da infecção, os pesquisadores encontraram vírus ativo e capaz de invadir células até o final do experimento. O vírus já tinha sido achado 230 dias após a infecção no cérebro de pessoas que morreram de Covid-19, mas não se sabia se permanecia ativo e capaz de infectar células (viável).

“Não existiam trabalhos registrando a presença de Sars-CoV-2 viável no cérebro de modelos animais por um período tão longo”, conta Melo. “A maioria dos trabalhos de covid longa em modelos animais não detectou o vírus no cérebro, e os poucos que o fizeram não encontraram o vírus ativo”, reitera o biólogo Roney Coimbra, da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) em Minas Gerais, que investiga o impacto neurodegenerativo da Covid-19 e não fez parte do estudo atual.

Para entender como o Sars-CoV-2 altera o funcionamento do sistema nervoso central, os pesquisadores do Pasteur analisaram a expressão (ativação ou inibição) dos genes em diferentes tipos de células cerebrais em dois momentos: no quarto dia após a infecção, ainda na fase aguda da doença; e no 80º dia, na etapa crônica. No primeiro período, 3.863 genes estavam mais ativos que o normal e 4.014 tiveram a expressão reduzida em comparação com o perfil de ativação dos animais do grupo de controle, que havia recebido nas narinas apenas gotas de soro fisiológico, sem vírus. Aos 80 dias, o número de genes com funcionamento alterado tinha diminuído. Havia 410 mais ativos e 424 mais inibidos nos animais com covid longa.

Ao investigar a função dos genes com padrão de ativação alterado nas fases aguda e crônica da doença, Melo e colaboradores verificaram que, como esperado, eles indicavam uma inflamação ativa no cérebro. “A inflamação crônica do cérebro é grave e favorece o desenvolvimento de doenças neuropsiquiátricas e problemas cognitivos”, explica a bioquímica Leda Talib do Laboratório de Neurociências do Instituto de Psiquiatria da Universidade de São Paulo (IPq-USP), que não participou do estudo com Melo.

Mas não foi só. O perfil de ativação dos genes também sugeria alterações na síntese e destruição de proteínas, na produção de energia e na comunicação entre as células. Nesse último ponto, foram observadas modificações na comunicação celular promovida por dois neurotransmissores, o glutamato, associado à formação da memória e ao aprendizado, e a dopamina, ligada à motivação, ao prazer e ao bem-estar. Em conjunto, escrevem os autores do estudo, essas alterações funcionam como assinatura molecular neuro-

degenerativa da covid longa, semelhante à que ocorre em enfermidades humanas como as doenças de Parkinson e Alzheimer.

A fim de examinar se as alterações na expressão gênica podiam, de fato, contribuir para os sintomas neurológicos e psiquiátricos da covid longa, a equipe do Pasteur submeteu os hamsters a testes comportamentais em três momentos do estudo após a fase aguda – no 15º, no 30º e no 80º dia. No experimento para avaliar a ansiedade, os animais, depois de passarem um tempo sem acesso à comida, eram retirados da caixa em que estavam habituados a viver e, individualmente, transferidos para um ambiente novo, iluminado e com alimento à disposição. Os pesquisadores, então, registravam o tempo até que comessem a se alimentar.

Roedores gostam do escuro e evitam locais claros. Quanto mais ansiosos, mais tempo ficam parados, sem explorar o ambiente. Enquanto os hamsters do grupo de controle rapidamente iam atrás do alimento, os infectados pelo vírus demoravam dezenas de segundos – às vezes, mais de cinco minutos – para buscar comida.

Em outro teste, os pesquisadores pingavam algumas gotas de uma solução açucarada no dorso dos hamsters e registravam o que ocorria em seguida. Em geral, os roedores mantêm a pelagem limpa, lambendo o que adere aos pelos. Os animais infectados com o vírus, em especial as fêmeas, passavam bem menos tempo se limpando do que os do grupo de controle. Os pesquisadores interpretam esse resultado como falta de motivação e de autocuidado, dois fenômenos comuns na depressão em seres humanos.

Por último, Melo e os outros pesquisadores avaliaram o impacto da infecção prolongada sobre a memória. Para isso, realizaram um teste em que apresentam aos animais um objeto novo. Assim como outros roedores, hamsters são curiosos e correm para inspecionar o que não conhecem e dão menos atenção para objetos conhecidos. No teste, a equipe do Pasteur notou que os animais com covid longa, em particular os infectados pela variante de Wuhan, passavam o mesmo tempo reconhecendo objetos novos e antigos, como se não se lembrassem do que já conheciam.

“Os testes comportamentais realizados tornam o estudo completo”, comenta Talib, da USP. Ela, no entanto, lembra que a pesquisa foi feita com animais adultos e deixa em aberto questões como o impacto da covid longa na cognição e no humor de crianças e idosos. ●

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

Contra os vírus e a desinformação

Ex-diretor do CDC da China fala sobre a dificuldade de coordenar ações em epidemias e do receio da disseminação de notícias falsas

RICARDO ZORZETTO



Fu Gao, durante palestra na 17ª Conferência Geral da TWAS, no Rio de Janeiro

O virologista chinês George Fu Gao conhece os vírus como poucos. Ele acompanhou várias epidemias nas últimas décadas e, durante a pandemia de Covid-19, esteve à frente do Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) da China, que coordenou parte das ações do país para lidar com o novo coronavírus, o Sars-CoV-2. Seu grupo identificou a proteína à qual o vírus adere para invadir as células e causar a infecção, testou anticorpos contra ele e desenvolveu ao menos uma vacina.

Mais recentemente, Gao começou a se preocupar com um tipo de vírus não biológico: o vírus da informação, ou, como apelidou em um artigo publicado de 2022, o “inforus”, agente causador da infodemia, a propagação rápida e incontrolável das informações, quase sempre imprecisas ou falsas. “Por causa da internet e da inteligência artificial, as notícias se espalham muito rapidamente, mais rápido do que um vírus biológico”, afirma.

Formado em medicina veterinária na Universidade Agrícola de Shanxi, na China, Gao migrou para a microbiologia e depois para a virologia. Fez doutorado na Universidade de Oxford, no Reino Unido, onde foi professor de 2001 a 2004, e, no retorno à China, foi para o Instituto de Microbiologia da Academia Chinesa de Ciências (CAS), onde atua. De 2017 a 2022, dirigiu o CDC chinês. Gao é autor de mais de 600 artigos científicos. Um deles, publicado em 2020 no *The New England Journal of Medicine*, descreve o isolamento do Sars-CoV-2 em pacientes de Wuhan e já foi citado mais de 35 mil vezes.

Colaborador de um grupo da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), no Rio de Janeiro, Gao falou com *Pesquisa FAPESP* em outubro, durante a 17ª Conferência Geral da Academia Mundial de Ciências (TWAS), realizada em parceria com a Academia Brasileira de Ciências (ABC). Leia os principais trechos.

Quando os primeiros relatos de um novo vírus identificado em Wuhan chegaram ao CDC da China e como sua equipe se envolveu na investigação do surto inicial?

Tudo começou no final de 2019. Médicos e enfermeiros começaram a noticiar e vi na internet que se tratava de uma pneumonia de etiologia desconhecida. Então, a Comissão Nacional de Saúde da China enviou especialistas, inclusive do CDC chinês, para Wuhan. Em uma semana, obtivemos o sequenciamento do material genético do vírus, o isolamos e divulgamos os dados. Submetemos tudo à Organização Mundial da Saúde [OMS]. Foi preciso nos comunicarmos com colegas ao redor do mundo, como os do CDC dos Estados Unidos, do Japão, da Coreia do Sul. Os diretores dos CDC têm uma espécie de consórcio para compartilhar dados em qualquer emergência. Na minha opinião, todos, incluindo o CDC da China, se saíram bem. Não podíamos esperar mais do que se conseguiu. Era um vírus muito novo. Hoje, o diagnóstico, o desenvolvimento de vacinas e de

*A reportagem foi ao congresso a convite da TWAS e da ABC

antivirais ainda estão aquém das nossas expectativas, mas somos capazes de desenvolver rapidamente outros meios de proteção individual, incluindo intervenções não farmacêuticas, como o uso de máscaras. O problema é a coordenação.

Por quê?

É necessária a participação da sociedade, dos profissionais da saúde, dos políticos, e não apenas em nível nacional, mas também internacional. Na conferência da TWAS, mencionou-se a necessidade de uma governança global e de um tratado para lidar com pandemias. Precisamos de um tratado para adotar medidas contra uma pandemia? Nesse caso, os agentes infecciosos são os inimigos em comum da humanidade. Todos deveriam se unir e combatê-los. Mas parece que os governos ainda precisam se sentar e negociar sobre o assunto.

Por que é tão difícil determinar a origem do vírus? A ideia mais aceita é que veio de morcegos, mas surgiu a especulação de que poderia ter escapado de um laboratório.

A hipótese mais forte é que veio de morcegos porque os vírus geneticamente mais próximos ao Sars-CoV-2 são vírus que infectam morcegos. A ideia de que teria escapado de laboratório é boato. Cadê as evidências? Desde o início, o que sabemos é que ele foi identificado pela primeira vez na China, mas ainda não sabemos a origem geográfica do vírus. Todos querem a resposta para essa pergunta, mas não sabemos.

Ele podia estar circulando em outros animais ou em outras regiões?

Sim. Acreditamos que ele tenha vindo de morcegos, mas talvez o vírus já estivesse circulando em outros animais ou até em seres humanos algum tempo antes. Não sabemos.

Quando viu as primeiras notícias sobre o Sars-CoV-2, imaginou que poderia haver uma pandemia?

Nós, pesquisadores, sabemos que os vírus da gripe ou os coronavírus podem causar surtos ou até uma pandemia. Há uns 20 anos tivemos a epidemia de Sars [Síndrome Respiratória Aguda Grave], que foi muito séria. Sabemos que os coronavírus estão em todo lugar, nos pássaros

voando no céu, nos mamíferos nadando no mar ou correndo sobre a terra. Como controlar? O vírus da gripe também é muito comum. Por isso, os profissionais dessa área, inclusive eu, sempre acreditam que pode haver pandemias.

Qual pode ser o próximo vírus a ameaçar a humanidade?

Eu colocaria o vírus da gripe ou o coronavírus em primeiro lugar. De tempos em tempos, temos um surto ou uma epidemia desses vírus. Ao lado deles, eu incluiria o “inforus” [neologismo cunhado por Gao para “vírus da informação”, que seria o agente causador da infodemia, o excesso de informações, muitas delas imprecisas ou falsas sobre um assunto, que se propagam e se multiplicam de forma rápida e incontrolável]. Por causa da internet e da inteligência artificial, as notícias se espalham muito rapidamente, mais rápido do que um vírus biológico.

Estamos mais bem preparados para a próxima pandemia do que estávamos antes?

Não. Se tivermos outra, a situação será a mesma ou até pior porque não conseguimos cooperar.

Você estuda os mecanismos de invasão viral e de transmissão de vírus entre espécies. Quais as principais contribuições do seu grupo a respeito do Sars-CoV-2?

Liderei a equipe do CDC da China que

sequenciou o material genético do vírus e o identificou usando microscopia eletrônica. Assim, descobrimos que era um coronavírus. Depois, identificamos o receptor que ele usa para entrar nas células, entre eles a enzima conversora de angiotensina 2. Na época, surgiram histórias sobre o pangolim. Então, fomos procurar esse receptor nas células do pangolim e o encontramos em vários tecidos. Esses receptores existem em outros animais, como coelhos e algumas espécies, não todas, de morcego. Diferentes variantes do Sars-CoV-2 mantêm a mesma afinidade de ligação.

Quais vírus estuda atualmente?

No momento, estou trabalhando no desenvolvimento de uma vacina para a mpox [antes chamada de varíola dos macacos]. É uma vacina de subunidade proteica e está na fase 1 de ensaios clínicos na China. Na África, a epidemia não terminou. Ainda há muitos casos na República Democrática do Congo, no Congo, em Serra Leoa e Camarões. Além dela, estamos iniciando uma cooperação entre China e Brasil, com a Fiocruz, para desenvolver imunizantes para vírus transmitidos por mosquitos, como zika, chikungunya, mayaro. Na pandemia, minha equipe e eu desenvolvemos a primeira vacina de subunidade proteica contra o Sars-CoV-2: a ZF2001 [comercializada com o nome de Zifivax]. Nos ensaios clínicos, mostrou eficácia superior a 80% para evitar casos graves de Covid-19. Publicamos no *The New England Journal of Medicine*. No Uzbequistão, 66% das pessoas foram imunizadas com ela. [Mas perdeu eficácia porque] o vírus sofreu mutações muito rapidamente.

Como é sua cooperação com o Brasil?

Em 2023, foi assinado um acordo de cooperação entre a Fiocruz e o Centro de Excelência para Doenças Infecciosas Emergentes (CEEID) da CAS e da Academia Mundial de Ciências (TWAS) para a criação do Centro Sino-brasileiro de Pesquisa e Prevenção de Doenças Infecciosas (IDRPC). Ele terá duas sedes, uma em Pequim e outra no Rio de Janeiro. O objetivo é colaborar na prevenção e no controle de epidemias e desenvolver testes de diagnóstico, terapias e vacinas contra doenças tropicais que o Brasil e a China enfrentam. ●

“O próximo vírus a ameaçar a humanidade pode ser o da gripe ou um coronavírus, além do vírus da desinformação”

Na trilha do invisível

Um tipo raro de colisão que ocorre no acelerador LHC poderia produzir partícula candidata a ser matéria escura

IGOR ZOLNERKEVIC

Em artigo publicado no final de outubro na revista científica *Physical Review Letters* (PRL), uma equipe de físicos teóricos das universidades federais do ABC (UFABC) e do Rio Grande do Sul (UFRGS) propõe uma forma alternativa de usar o Grande Colisor de Hádrons (LHC) – o maior acelerador de partículas do planeta, situado em Genebra, na fronteira entre a Suíça e a França – para procurar pela natureza da misteriosa matéria escura. De acordo com o estudo, promover o choque entre feixes de prótons e núcleos do átomo de chumbo no acelerador operado pela Organização Europeia de Pesquisa Nuclear (Cern) poderia produzir evidências da existência de partículas tipo áxion (ALP).

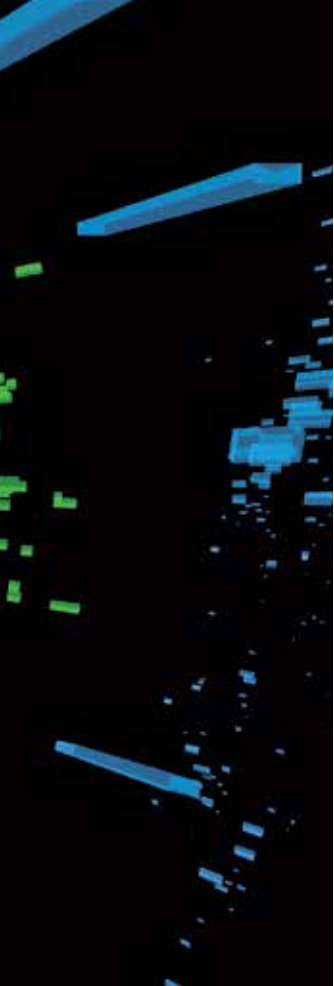
Variantes dos áxions, uma hipotética partícula proposta na década de 1970, as ALP (assim como os próprios áxions) são previstas por muitas teorias, como a das cordas, que vão além do Modelo Padrão da física de partículas. São também um dos vários candidatos a serem os constituintes da matéria escura, cuja presença fornece gravidade suficiente para manter a coesão das estruturas visíveis do Universo, como as galáxias e os sistemas planetários. A matéria escura é invisível e cinco vezes e meia mais abundante do que a matéria normal, de que são feitos os corpos celestes.

Mesmo que as ALP, se eventualmente existirem, não tenham relação com a matéria escura, elas podem fazer parte das chamadas “partículas escuras” porque interagem muito pouco com a luz.

As condições que, de acordo com o grupo brasileiro, poderiam produzir as ALP são uma raridade na história do LHC. Os experimentos feitos no acelerador trabalham normalmente com colisões entre dois feixes de prótons. Esse é seu regime padrão de funcionamento. Uma vez por ano, são produzidos choques entre prótons e feixes de partículas muito mais pesadas, como núcleos de chumbo ou outros íons.

Além de uma sessão de testes em 2013, o LHC promoveu colisões próton-chumbo apenas uma vez, no final de 2016. “Mas, na ocasião, ninguém procurou por ALP nesse experimento”, comenta o físico Sylvain Fichet, da UFABC, um dos autores do estudo. “Por isso, defendemos a ideia de que os dados produzidos quase 10 anos atrás no LHC deveriam ser reanalisados a partir da proposta que fizemos em nosso trabalho.” As pesquisas que resultaram no artigo foram financiadas pela FAPESP, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Segundo o trabalho, não seria possível detectar no interior do acelerador as próprias ALP eventual-



mente resultantes das colisões próton-chumbo, mas apenas indícios indiretos de sua presença, como a produção de um certo conjunto de partículas elementares, os quarks, que não apresentam subdivisões internas. As ALP poderiam ser emitidas por prótons que viajam a velocidades próximas à da luz no interior do acelerador e colidir com partículas de luz (fótons), emitidas por núcleos de chumbo acelerados na direção oposta.

Um dos produtos mais prováveis dessa trombada ALP-fótons, de acordo com o trabalho, seria a criação de duas partículas chamadas de quark top e quark charm, que deixariam sinais bem conhecidos em três dos principais instrumentos detectores de partículas do LHC: o Atlas, o CMS e o LHCb. A detecção simultânea das duas formas de quark seria a prova de que as ALP foram originadas pelas colisões próton-chumbo.

Cálculos e simulações feitos pelo grupo da UFABC e UFRGS indicam que a probabilidade de detectar ALP em colisões próton-chumbo seria muito maior do que nos choques habituais promovidos pelo LHC, do tipo próton-próton. Isso devido à própria natureza das partículas envolvidas no primeiro tipo de experimento.

Os prótons acelerados tenderiam a emitir partículas tipo áxion de forma abundante, enquanto os núcleos de chumbo, muito pesados, quase não produzem ALP, mas geram muitos fótons. Essa situação torna mais provável que ALP e fótons se choquem e produzam os dois tipos de quark que podem ser detectados pelos instrumentos do LHC.

Por meio de simulações computacionais, os autores do artigo dizem ter encontrado a situação perfeita para observar o resultado das colisões entre ALP e fótons no LHC. Seria quando um próton, que está emitindo muitas ALP, chega bem perto de um núcleo de chumbo, que, por sua vez, está irradiando muitos fótons. Nesse momento, as condições seriam ideais para produzir a dupla de partículas quark que funciona como uma assinatura do processo.

“A proposta do artigo é engenhosa, mas não acredito que essa abordagem seja competitiva em relação a outros métodos existentes”, disse a *Pesquisa FAPESP* o físico Simon Knapen, do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, nos Estados Unidos. Para ele, que estuda matéria escura e não participou do trabalho, limites impostos por experimentos anteriores tornam improvável detectar o processo descrito pelos brasileiros no LHC.

O grupo da UFABC-UFRGS discorda da avaliação e pretende analisar as informações produzidas pelas colisões próton-chumbo promovidas em 2016 no acelerador europeu. Até hoje, ninguém fez essa revisão. “Vai ser um esforço grande analisar esse conjunto enorme de dados, obtidos há quase 10 anos”, diz o físico Gustavo Gil da Silveira, da UFRGS, que faz parte da colaboração internacional que trabalha com o detector CMS.

A comunidade de físicos de partículas tem discutido a possibilidade de realizar novas colisões próton-chumbo no LHC em 2026. Mas, por ora, essa questão ainda não está definida. Silveira conta que os dados gerados por futuros experimentos desse tipo no acelerador europeu serão mais precisos do que os obtidos em 2016. O LHC conta atualmente com um espectrômetro de prótons de precisão (PPS), um instrumento que pode ajudar a identificar e medir as propriedades dos prótons relacionados às colisões entre ALP e fótons. Embora tenha sido instalado em 2016, o PPS só entrou em operação depois do término das colisões próton-chumbo produzidas naquele ano.

Os áxions e as ALP estão entre as partículas escuras mais investigadas por físicos e astrofísicos, que tentam detectá-las de maneiras muito diversas. A abordagem com o emprego do acelerador LHC proposta pelo novo trabalho adiciona um método a essa busca. ●




Calculado matematicamente sobre um aglomerado de galáxias, o anel azul-escuro indica a possível localização da matéria escura

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

A reação da televisão



Pesquisador realiza ensaios no laboratório de TV Digital da Escola de Engenharia do Mackenzie



Para se manter competitiva, TV brasileira adotará novo padrão tecnológico que agregará *streaming*, recursos de interatividade e som e imagem imersivos

SUZEL TUNES

A Copa do Mundo de 1970 não é lembrada apenas pelo talento da seleção que conquistou o tricampeonato de futebol. Ela marcou a história da TV brasileira como a primeira transmitida em cores, embora houvesse pouquíssimos aparelhos capazes de receber o sinal colorido, veiculado em caráter experimental. Foi só em 1974 que a população aderiu em massa à nova tecnologia e pôde assistir à seleção em seu uniforme canarinho. Em 2026, a transmissão da Copa do Mundo de Futebol entrará para a história como um novo marco tecnológico: será a primeira no Brasil feita pela TV 3.0.

Regulamentada por decreto presidencial em 27 de agosto de 2025, a inédita combinação da TV aberta com recursos característicos de *streaming* – a transmissão de conteúdo pela internet – promete mudar o jeito de assistir a uma partida de futebol. Graças ao sistema de áudio imersivo, por exemplo, o telespectador poderá se sentir no meio da cena, ouvindo com clareza sons como os gritos da torcida ou as orientações dos técnicos à beira do campo, exemplifica Sérgio Santoro, coordenador do Módulo de Mercado do Fórum do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD). Poderá, ainda, rever lances, escolher ângulos para visualizar as jogadas e até adquirir camisetas das seleções preferidas, graças à possibilidade de inserção de anúncios personalizados.

“Outra novidade da TV 3.0 na transmissão dos jogos é a opção de escolher diferentes narradores da mesma emissora, ou se decidir por não ter narrador nenhum”, conta Santoro. “São possibilidades que estão sendo avaliadas, e vão depender do modelo de negócio”, diz o especialista. O SBTVD é a entidade que articula o desenvolvimento e a implementação da nova tecnologia televisiva brasileira.

Do ponto de vista técnico, essas e outras funcionalidades já estão disponíveis para os fabricantes de aparelhos e emissoras de televisão. É o que afirma a engenheira de computação Débora Muchaluat-Saade, da Universidade Federal Fluminense (UFF) e integrante do Módulo Técnico do Fórum SBTVD. “O projeto vem sendo desen-

volvido há cinco anos e passou por testes que envolveram cerca de 90 pesquisadores de várias instituições. A etapa de consulta pública pela ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas] terminou há pouco tempo e as normas serão publicadas em breve”, declara.

O desenvolvimento de um novo padrão de TV aberta, destaca Santoro, apresenta inúmeros desafios, dentre eles a avaliação, a comparação e os testes das tecnologias mais recentes aplicáveis a essa área, bem como a interoperabilidade entre elas. “É preciso também atentar para a formulação das normas, a regulamentação governamental, a divulgação do novo padrão e seus recursos, tanto para o consumidor quanto para o mercado publicitário, entre outros”, afirma.

MODELO ÚNICO

Com a promessa de oferecer ao telespectador uma experiência que une o *broadcast* (transmissão via ar) e o *broadband* (via internet), a tecnologia denominada comercialmente DTV+ está sendo projetada para manter competitividade da TV aberta. Hoje, ela sofre com a concorrência de plataformas como Netflix e Disney+, que transmitem conteúdos digitais via internet, mediante uma mensalidade, e das TV Fast, acrônimo para *Free ad-supported streaming television*, com conteúdo financiado por publicidade e oferecido gratuitamente pelos fabricantes de smart TV – aparelhos com acesso à internet. A diferença é que a DTV+ incorporará o *streaming*, mas se manterá gratuita.

“A smart TV compete pelo mesmo mercado publicitário da TV aberta, tendo a curadoria dos fabricantes de televisores, por meio da oferta de plataformas operadas pelas big techs, que podem ser incorporadas ao receptor de TV”, explica Santoro. Hoje, ela oferece tantas opções, avalia Muchaluat-Saade, que o usuário mal consegue localizar onde está a TV aberta. “Na nova configuração, haverá uma mudança no design, de forma que bastará clicar no ícone da DTV+ para acessar os canais abertos rapidamente, ou no botão específico no controle remoto”, informa a pesquisadora.

O desenvolvimento da nova TV, segundo o Ministério das Comunicações, recebeu investimen-

O que há de novo

As tecnologias que constituem o diferencial da TV 3.0 brasileira, a DTV+

Transmissão



ATSC 3.0

Substituirá o Sistema Brasileiro de Televisão Digital, adaptado do modelo japonês. Une o sistema atual de transmissão de sons e imagens com serviços de internet de banda larga. Similar ao padrão adotado nos EUA e na Coreia do Sul, mas com a adição de outras tecnologias

LDM

Permite a transmissão de múltiplos sinais em um mesmo canal, dividindo-o em camadas de informação. Com isso, um único canal pode ter diferentes programações ao mesmo tempo



TxID

Esse recurso (ID do transmissor) é uma marca-d'água que identifica e localiza o transmissor. Pode ser utilizado na segmentação geográfica do conteúdo, incluindo a transmissão de alertas de emergência



MIMO

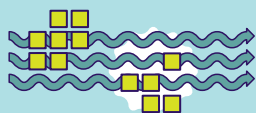
Essa tecnologia pode usar diversas antenas para enviar e receber dados. A DTV+ terá duas antenas para recepção e duas para transmissão, conferindo maior força ao sinal



EWS

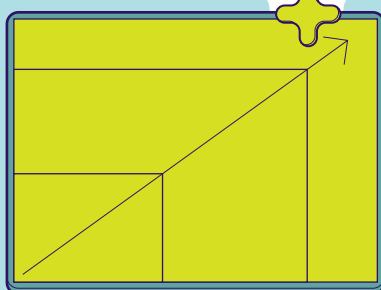
O sistema de alerta de emergência envia mensagens urgentes em tempo real e permite a ativação remota de televisores para a exibição delas

Imagem



VVC

A codificação versátil de vídeo comprime o sinal de vídeo para que use menos bits, garantindo a qualidade da imagem. Pode ser usada para diferentes resoluções, das mais baixas a 4K (8,3 milhões de pixels) e 8K (33 milhões de pixels)

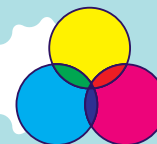


HDR

Alto alcance dinâmico é uma técnica que melhora o contraste e o brilho da imagem, possibilitando ver detalhes mesmo em cenas muito escuras ou claras

UHD

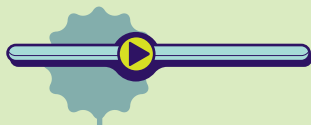
O recurso de ultra-alta definição permite a transmissão de sinais com resolução superior ao atual Full HD, alcançando 4K e podendo chegar a 8K. Mais pixels proporcionam melhor nitidez e riqueza de detalhes



Maior profundidade de cor

Número de bits para cada canal de cor passa de 8 para 10, resultando em aumento da quantidade de cores, de 16 milhões para 1 bilhão, e escala de gradação mais precisa

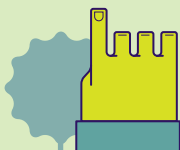
Som



MPEG-H Audio

Conjunto de padrões internacionais que oferece som imersivo (experiência tridimensional) e interativo. Permite usar até 10 canais de áudio personalizáveis. O usuário poderá mudar de idioma ou escolher uma entre as diferentes opções de áudio oferecidas pela emissora

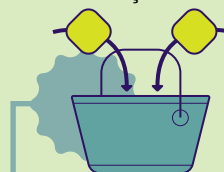
Acessibilidade



Cardápio

Audiodescrição, legendas personalizáveis (com possibilidade de alteração de posição, cor, tamanho e fonte), gerador de libras (com intérprete virtual) ou vídeo de intérprete simultâneo farão parte da TV 3.0

Personalização



NCL 4.0

É a evolução da linguagem de programação NCL 3.0 desenvolvida pela PUC-Rio para a criação de conteúdos multimídia interativos e incorporada à TV digital brasileira desde 2007. A nova versão, criada pela UFF, permite a personalização de conteúdos e de publicidade, além de interatividade avançada em tempo real, incluindo votações e compras pela TV

Catálogo de aplicativos



Menu com ícones

A seleção de canais será feita por uma lista de aplicativos. No lugar dos números, o telespectador navegará pelos ícones das emissoras, de modo semelhante às plataformas de streaming

tos de R\$ 7,5 milhões do governo federal na fase preparatória, direcionados a testes conduzidos pelo Fórum SBTVD. Também foram alocados R\$ 87 milhões oriundos de recursos remanescentes do leilão do 4G, realizado pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), em 2014. Esse volume também foi destinado à coordenação de testes de implantação da TV 3.0 no país.

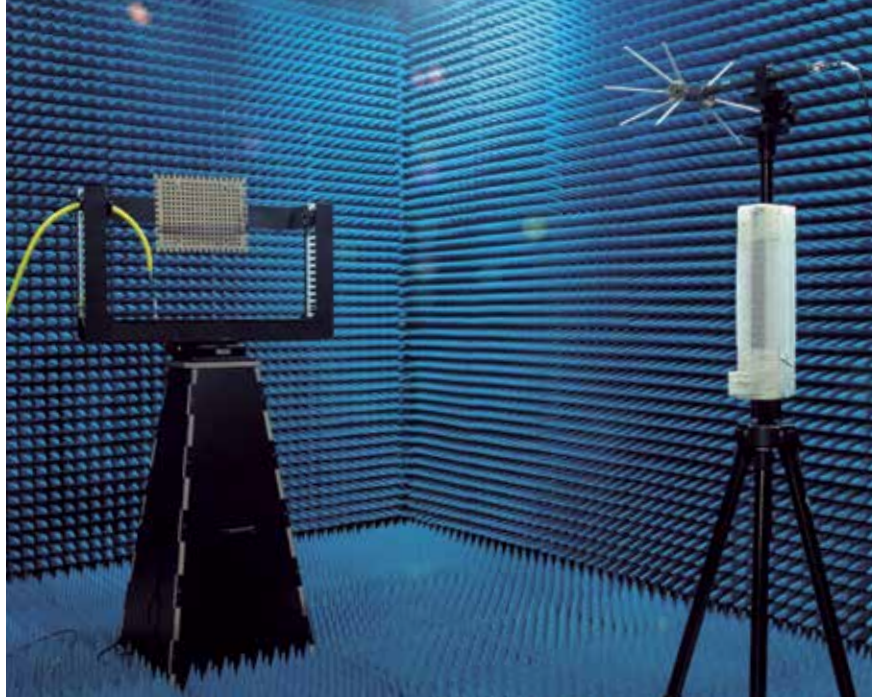
A tecnologia a ser adotada no Brasil parte de uma plataforma de transmissão em uso nos Estados Unidos e na Coreia do Sul, a ATSC 3.0, acrescida de tecnologias que já eram utilizadas na área de comunicação, resultando em um modelo único no mundo. “A Europa, por sua vez, está fazendo pesquisas para migrar para um sistema conhecido como 5G Broadcast, uma alternativa ao modelo ATSC”, explica o engenheiro eletricitista Cristiano Akamine, membro do conselho deliberativo do Fórum SBTVD e coordenador do Laboratório de TV Digital da Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo.

O padrão norte-americano, por exemplo, não traz o catálogo de aplicativos que permitirá ao telespectador navegar por ícones, no lugar dos números das emissoras, nem a antena acoplada no próprio televisor ou algumas das tecnologias que aprimoram a qualidade da transmissão, como os recursos Mimo (múltiplas entradas, múltiplas saídas) e LDM (multiplexação por divisão em camadas) (*ver infográfico na página ao lado*).

O novo modelo da TV brasileira é resultado de um trabalho colaborativo coordenado pelo Fórum SBTVD, que reúne representantes da sociedade civil e do setor de radiodifusão, entre eles emissoras e fabricantes de softwares embarcados nas TV, além de entidades de ensino e pesquisa. Esse grupo tem assessorado o governo em políticas e assuntos técnicos referentes à aprovação de inovações tecnológicas do sistema brasileiro de TV desde 2006.

O primeiro desafio foi a transição do sistema analógico para o digital: a substituição da TV 1.5, com transmissão em cores, criada a partir da pioneira TV 1.0, em preto e branco, pela TV 2.0, a primeira versão da TV digital, em 2007. Seguiu-se a TV 2.5, em 2021, que trouxe uma evolução na qualidade do som e da imagem (*ver infográfico na página 66*). Mas o plano era ir além: em 2020 o Fórum SBTVD já havia feito uma chamada de propostas para o projeto da TV 3.0. Recebeu 36 respostas de 21 diferentes entidades de tecnologia de áudio e vídeo do mundo todo.

Essa foi a primeira fase do novo projeto. Na fase 2, realizou-se a avaliação e a escolha das diferentes tecnologias, em um processo de testes que



durou cerca de dois anos. Finalmente, os testes de campo da fase 3, entre dezembro de 2023 e maio de 2024, consolidaram a escolha das tecnologias que foram, então, recomendadas pelo Fórum ao Ministério das Comunicações.

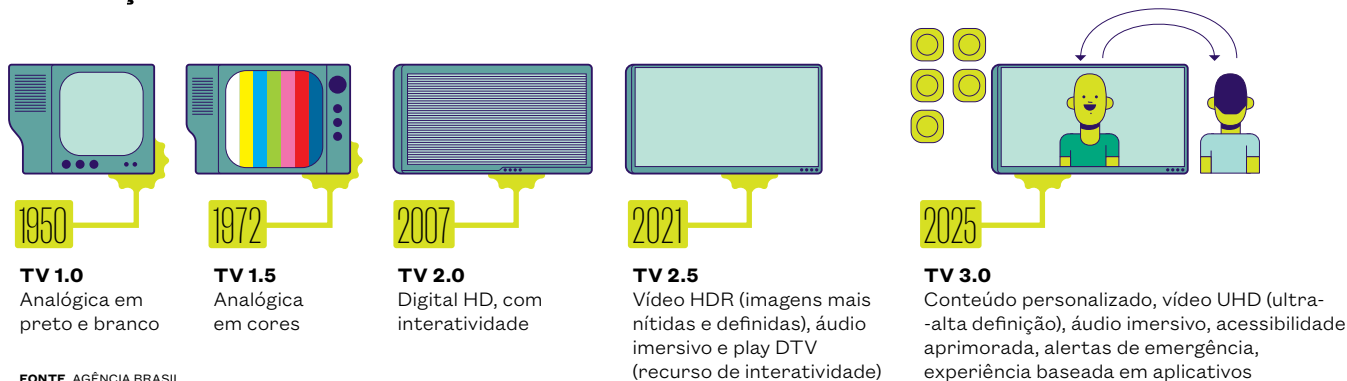
Nesse processo estiveram envolvidos cerca de 12 universidades e centros de pesquisa, com diferentes atribuições. “Nós, do Mackenzie, ficamos responsáveis pela camada física e de transporte, ou seja, as tecnologias de transmissão e recepção dos sinais da TV”, exemplifica Akamine. “A camada de aplicações teve a Universidade Federal de Juiz de Fora como líder. A Universidade de Brasília trabalhou mais na parte de vídeo, e o áudio ficou a cargo da USP [Universidade de São Paulo].”

Em sua área de especialização, Akamine destaca como uma das principais inovações do modelo brasileiro o uso da antena interna no receptor de TV. Segundo o pesquisador, hoje muita gente deixa de acessar a TV aberta por falta do acessório, recorrendo à TV a cabo ou à internet. “O decreto da TV 3.0 estipula que o fabricante forneça uma antena interna, integrada ao aparelho ou como acessório; não há nenhum país do mundo onde exista essa exigência”, destaca.

Outra novidade foi a adoção da tecnologia Mimo, que emprega antenas de polarização dupla, horizontal e vertical. “O Mimo é uma grande inovação e que impõe o desafio da recepção com a antena interna ou integrada ao televisor. Com a polarização dupla posso transmitir o dobro da taxa de bits. E, com mais bits sendo transmitidos, melhora a qualidade do sinal”, resume o pesquisador. O resultado é uma recepção mais estável e com maior resolução de imagem. A tecnologia Mimo, explica Akamine, já era conhecida. “É utilizada em telefones celulares há anos, mas não na TV”, destaca.

Câmara anecoica (sem eco) do Mackenzie onde são feitos testes com as antenas da TV 3.0

A evolução da TV brasileira



Essa não é a única similaridade da nova TV com os celulares. A navegação baseada em aplicativos a aproxima do smartphone. O pesquisador do Mackenzie explica que mesmo pessoas que não tenham internet vão poder manusear a TV como se fosse um celular. Ainda que sem a conexão de internet não seja possível ter acesso a todos os conteúdos, os usuários poderão acessar os canais abertos e algumas funcionalidades clicando nos ícones da tela.

Um serviço de utilidade pública que independe de conexão com internet será possível graças à tecnologia EWS (sistema de alerta de emergência). Trata-se de um alerta de desastres semelhante ao que os celulares recebem da Defesa Civil, mas com capacidade para atingir um público mais amplo, pois enquanto os celulares utilizam a rede 4G ou 5G, o alerta na TV contará com a capilaridade do sistema de radiodifusão. “Será possível até mandar alertas específicos para uma microrregião, que pode ser uma cidade ou um bairro. A televisão liga automaticamente e emite um alerta sonoro, podendo trazer orientações da Defesa Civil”, diz Akamine.

A DTV+ já conta com estações-piloto de transmissão no Rio de Janeiro, da TV Globo, e em São Paulo, a partir das torres da TV Record e do SBT. São transmissões restritas aos profissionais do setor, mas o público já teve a oportunidade de assistir a uma demonstração da tecnologia na SET Expo 2025, congresso da Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET) que ocorreu em agosto, em São Paulo.

Essas iniciativas integram o Projeto de Aceleração da DTV+, conduzido pela organização Seja Digital, em parceria com o Fórum SBTVD. Entidade não governamental criada por determinação da Anatel em 2014 com o propósito de coordenar o processo de transição do sinal analógico para o digital no Brasil, a Seja Digital

também está na linha de frente do processo de implantação da DTV+ – a organização é formada pelas operadoras de telecomunicações que adquiriram a licença na faixa de 700 megahertz (MHz), no caso, Algar Telecom, Claro, Tim e Vivo. “O nosso trabalho é acelerar o desenvolvimento e construir o ecossistema experimental”, relata o engenheiro elétrico Gunnar Bedicks, diretor-técnico da instituição.

Além da realização das transmissões experimentais, os técnicos da Seja Digital vêm colaborando com os fabricantes de aparelhos de TV no desenvolvimento de receptores do novo sistema. “Os televisores atuais não estão aptos para a TV 3.0, pois a estrutura física deles é diferente”, explica Bedicks. Assim, para assistir à DTV+, o público precisará se adaptar, adquirindo novos aparelhos ou instalando conversores. A estimativa do Ministério das Comunicações é de que os conversores custarão em torno de R\$ 300 a R\$ 400, mas já se discute a possibilidade de distribuição gratuita para famílias de baixa renda, tal como ocorreu na transição do sinal analógico para o digital.

Segundo Bedicks, as primeiras transmissões devem ser iniciadas em São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília ainda no primeiro semestre de 2026 – a tempo da Copa do Mundo, que começa em 11 de junho. Mas, assim como ocorreu na Copa de 1970, ainda não chegarão à sala de todos os brasileiros. “Vários equipamentos serão disponibilizados em locais de destaque, como shopping centers, e talvez já existam alguns disponíveis para venda. Os novos televisores deverão chegar efetivamente ao mercado entre o fim de 2026 e o início de 2027”, calcula. E, a exemplo do que ocorreu na transição do sinal analógico para o digital, o processo de implementação da nova tecnologia será gradativo: o Ministério das Comunicações estima que a expansão para todo o território nacional poderá levar até 15 anos. ●

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

Imagem com longa exposição mostra o rastro no céu deixado pelo deslocamento de satélites

Para prevenir colisões no espaço

Sistema criado por startup brasileira poderá ajudar a evitar o choque de detritos espaciais com satélites ao redor do planeta

YURI VASCONCELOS

Ao olharmos para o céu não percebemos, mas a órbita terrestre está congestionada por resíduos e artefatos espaciais. Cerca de 12 mil satélites giram em torno do planeta, posicionados entre 500 quilômetros (km) e 36 mil km acima da superfície, segundo dados do Escritório das Nações Unidas para Assuntos do Espaço Exterior. Há, ainda, o lixo espacial: estimativa da Agência Espacial Europeia (ESA) aponta por volta de 54 mil detritos maiores que 10 centímetros (cm), resultantes do choque entre satélites ou de fragmentos espaciais com esses equipamentos, vagando ao redor da Terra a velocidades superiores a 28 mil km por hora. Além de provocarem grandes prejuízos, as colisões

multiplicam o volume de resíduos e geram um efeito cascata, levando mais risco a satélites, espaçonaves e estações orbitais.

Com a finalidade de preservar a integridade dos satélites que orbitam em torno do globo, uma startup brasileira desenvolveu um sistema que em tempo real gera alertas de risco de colisão dessas estruturas com detritos espaciais. Batizada de Cosmos, de Collision Safety Management Orbital System, a tecnologia criada pela Safe on Orbit, de Brasília, está em fase final de validação. “Em ambiente simulado, nosso sistema foi capaz de detectar e calcular com 96% de acerto a probabilidade de colisões independentemente da altitude e do tipo de órbita do satélite”, afirma o engenheiro aeroespacial, Luis Fellipe Alves de Oliveira, um dos sócios-fundadores da Safe on Orbit.

Durante os 18 meses de desenvolvimento da nova tecnologia, a primeira do gênero criada por uma empresa brasileira, os engenheiros da startup realizaram simulações computacionais usando dados reais de catálogos orbitais públicos e privados internacionais, comparando os resultados com bases de referência.

O Cosmos combina modelagem orbital e análise preditiva para identificar possíveis eventos de risco com até cinco dias de antecedência. As informações sobre a posição e a trajetória dos satélites e dos detritos têm como base dois bancos de dados públicos sobre objetos espaciais, Two-Line Elements (TLE) e Special Perturbations (SP), que trazem informações de todos os satélites em órbita e de cerca de 20 mil fragmentos espaciais – menos da metade dos identificados pela ESA.

“A acurácia no nosso serviço é primordial. Fornecemos ferramentas seguras e precisas para ajudar o cliente no momento da tomada de decisão. Além do alerta antecipado de uma possível colisão, o Cosmos sugere manobras para evitar o choque – nenhuma empresa hoje oferece essa ferramenta”, esclarece o engenheiro aeronáutico Guilherme Marcos Neves, sócio de Oliveira na startup.

Quando estiver finalizado e operacional, o Cosmos poderá ser usado por operadoras nacionais e estrangeiras de satélites. “Queremos atender todas as empresas que possuem e operam satélites. Mas o nosso foco é o mercado emergente do setor espacial, formado por países latino-americanos, africanos e do Sudeste Asiático”, diz Oliveira.

Não há no mundo um organismo que coordene ou controle as atividades espaciais. “Cada país tem sua autoridade ou agência reguladora que é responsável por emitir a licença para o lançamento de satélites. No Brasil, essa atribuição

Brasil está montando uma rede nacional de informações sobre lixo espacial

cabe à Agência Nacional de Aviação Civil [Anac]”, esclarece o engenheiro aeroespacial Antonio Bertachini, chefe da Divisão de Pós-graduação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), em São José dos Campos (SP). Após o lançamento, os satélites devem ser registrados nas Nações Unidas, que têm um cadastro de todos os objetos colocados em órbita.

Agências espaciais ou organizações governamentais, como o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, disponibilizam dados do banco TLE. Com isso, permitem que grandes operadores de satélites acessem informações sobre seus artefatos e o lixo espacial. Mas, para ter uma visão mais precisa dos riscos de colisão, os operadores de satélites precisam fazer simulações numéricas com computadores. Isso pode ser feito pelo operador diretamente ou contratando um serviço comercial como o oferecido pela Safe on Orbit, ressalta Bertachini.

Ele destaca que, diferentemente dos satélites, cujas órbitas são rastreadas pelos seus operadores, os detritos são menos monitorados, em particular os de pequeno porte, o que dificulta a previsão de colisões. O Inpe usa os serviços da plataforma

Órbita mais segura

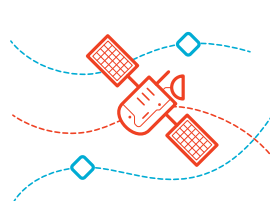
Como a nova tecnologia atua para prevenir a colisão de satélites com detritos espaciais



1. Coleta e processamento de dados

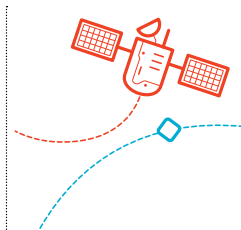
O Cosmos usa catálogos internacionais de elementos orbitais para mapear a posição e a trajetória de **satélites e detritos** na órbita terrestre

FONTE: SAFE ON ORBIT



2. Simulação e previsão

Algoritmos de mecânica orbital calculam a trajetória e velocidade de deslocamento de detritos, detectando risco de colisão com base em parâmetros como distância mínima, probabilidade de impacto e incerteza da trajetória



3. Sugestão de manobras

Em caso de risco, o sistema dá aos operadores recomendações de manobras de desvio baseadas em eficiência de combustível e segurança

Space Track, operada pelo Departamento de Defesa norte-americano, para monitorar os seus satélites, mas pequenos operadores de satélites não têm acesso a esses sistemas. Nesse ponto, abre-se espaço para empresas atuarem nesse mercado.

Nos últimos anos, as atividades de exploração espacial passaram a ser executadas por um número maior de participantes, boa parte deles oriunda da iniciativa privada, o que deu origem a uma nova era na indústria batizada de *new space* (ver Pesquisa FAPESP nº 278). A redução dos custos de fabricação de satélites de pequeno porte – muitos deles projetados por universidades e startups – aumentou exponencialmente a presença desses dispositivos na órbita do planeta. Apenas em 2024 foram colocados em órbita 2,8 mil novos satélites. “É muito difícil para os novos participantes da indústria espacial terem estrutura técnica para efetuar cálculos de probabilidade de colisão que permitam efetuar manobras para evitar o choque”, ressalta o pesquisador do Inpe.

O astrofísico Rodrigo Leonardi, diretor de Gestão de Portfólio da Agência Espacial Brasileira (AEB), estima que o Cosmos poderá representar um avanço para a autonomia do país no domínio da segurança orbital. “Não sei quão madura está a tecnologia da Safe on Orbit, mas vemos com bons olhos as iniciativas de empreendedores nacionais que tentam criar subsistemas desse tipo”, diz. “Procuramos sempre ter independência no desenvolvimento dos nossos sistemas espaciais.”

Para validar o Cosmos em ambiente real, a Safe on Orbit assinou um memorando de entendimento com a Universidade Federal do Maranhão (UFMA). “Eles nos procuraram para propor um teste do sistema com dois cubesats [satélites de pequeno porte] desenvolvidos pelo Laboratório de Eletrônica e Sistemas Embarcados Espaciais”, informa o engenheiro mecânico Carlos Alberto Brito Rios Junior, coordenador da missão desses nanossatélites. Os dois aparelhos devem ser lançados até o final deste ano. “Nossa participação deve durar de dois a três anos, que é o tempo previsto para ocorrer a reentrada dos nanossatélites na atmosfera.”

DE OLHO NO LIXO

O rastreamento de lixo espacial é feito hoje com radares terrestres de alta potência, telescópios e sensores infravermelhos capazes de detectar a radiação térmica emitida por objetos em órbita. Além dos mais de 50 mil detritos espaciais maiores de 10 cm, a ESA estima que outros 140 milhões de fragmentos menores – a maioria deles milimétricos – giram em torno da Terra.




“A Rede de Vigilância Espacial da Força Aérea dos Estados Unidos recorre a radares para rastrear lixo espacial, enquanto o Observatório de Lixo Espacial da ESA utiliza telescópios para monitorar detritos na chamada órbita baixa, até 2 mil km da superfície”, conta Bertachini. Pelo menos 10 empresas estrangeiras oferecem serviços privados de monitoramento de lixo espacial, entre elas a francesa Aldoria, a indiana Digantara e a norte-americana LeoLabs. Esta última opera uma rede de radares para acompanhar objetos em órbita baixa.

Desde o lançamento do pioneiro Brasilsat A1 em fevereiro de 1985, mais de 30 satélites brasileiros de todos os portes, voltados a serviços de comunicação, monitoramento ambiental, meteorologia e observação da Terra, foram colocados em órbita. A quase totalidade dos satélites nacionais está posicionada em órbitas baixas.

O país está montando uma rede nacional de informações sobre lixo espacial. O projeto prevê a aquisição de um sistema de monitoramento de riscos e de novos telescópios (ver Pesquisa FAPESP nº 346), que deverá colaborar com as redes internacionais de vigilância de detritos espaciais. Além de estabelecer o monitoramento dos fragmentos e gerenciar o risco de choque com satélites brasileiros, a rede deverá ampliar a segurança de lançamentos de foguetes 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. ●

Radar para monitoramento de detritos espaciais da Nasa, na Flórida



Pé de
mandioca
com
vassoura-
-de-bruxa

A luta contra a nova praga da mandioca

Fungo encontrado no Amapá e na Guiana Francesa veio do Sudeste Asiático e pode ser ainda mais devastador na Amazônia, por causa do clima mais úmido

MARIANA CECI

Encontrado pela primeira vez em março de 2023 em uma comunidade indígena do município de Oiapoque, no Amapá, o fungo *Ceratobasidium theobromae*, também conhecido como *Rhizoctonia theobromae*, espalha-se com rapidez entre as plantações de mandioca (*Manihot esculenta*) da região Norte. Mobilizados, especialistas de instituições de pesquisa do Brasil, da Guiana Francesa, onde o problema foi detectado na mesma época, e da França trabalham no campo e no laboratório para conhecer e combater o agente causador da vassoura-de-bruxa da mandioca. A doença é assim chamada por induzir a formação de brotos finos, que depois secam e lembram o formato de uma vassoura, e se soma a outras, causadas por bactérias, vírus e outras espécies de fungos.

Os estudos preliminares indicaram que a espécie de fungo que chegou à Amazônia é a mesma que nos últimos anos arruinou de 40% a 60% das plantações de mandioca no Vietnã, Filipinas, Tailândia e Laos. No Sudeste da Ásia, a planta é usada principalmente para a produção de ração animal e de biocombustíveis, enquanto na região Norte do Brasil a também chamada macaxeira ou aipim é a base da alimentação diária. Os esporos – estruturas semelhantes a sementes – do fungo chegaram à América do Sul possivelmente em ferramentas ou plantas infectadas. Muito leves, espalham-se levados pelo vento.

RAPIDEZ

“A dispersão é muito rápida”, observa a bióloga Cristiane Ramos de Jesus, da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Amapá, que tem visitado as plantações atingidas. “Em apenas dois anos, o fungo foi do norte do Amapá ao norte do Pará, ainda que as plantações estejam cercadas pela mata e separadas por rios.”

O biólogo peruano Wilmer Cuellar, com sua equipe do Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat), na Colômbia, e colegas da Alemanha e do Laos, coordenou o primeiro mapeamento do genoma (o conjunto de genes) de *C. theobromae*, coletado de folhas e caules de plantas infectadas no Laos. Como detalhado em um artigo publicado

em agosto de 2024 na *Scientific Reports*, o genoma desse microrganismo é formado por 33 milhões de pares de bases (mpb) nitrogenadas, elementos básicos do DNA, e contém 8.247 genes expressos. É um tamanho médio entre os fungos causadores de doenças em plantas, cujo genoma varia de 30 a 80 mpb, com 10 mil a 20 mil genes. Nas bactérias, o genoma varia de 3 a 5 mpb e o número de genes de 3 mil a 5 mil. Os seres humanos têm um genoma com 3 bilhões de pares de bases e cerca de 45 mil genes.

SIMILARIDADES

As análises registraram várias enzimas associadas à infecção nos tecidos vegetais. Chamou a atenção a alta similaridade genética, de até 99,7%, com o genoma de uma variedade da mesma espécie que infecta cacauzeiros na Ásia – veio daí um dos nomes da espécie, *C. theobromae* (o nome científico do cacauzeiro é *Theobroma cacao*). Essa descoberta indica que o fungo poderia colonizar espécies diferentes de plantas, o que, no Brasil, colocaria em risco as mandiocas silvestres e o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), do mesmo gênero que o cacau.

Com especialistas de outros grupos de pesquisa da Ásia e das Américas, Cuellar investiga agora as diferenças entre as populações do fungo em cada país onde já chegou. “Queremos saber se uma população que evoluiu em ilhas das Filipinas, por exemplo, se desenvolve de forma diferente na parte continental do Sudeste Asiático ou nas Américas”, disse ele em entrevista a *Pesquisa FAPESP*.

Uma equipe da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, na Bahia, completou o trabalho ao identificar fungos coletados no Amapá. Os resultados, publicados em fevereiro como *preprint* na plataforma bioRxiv, indicaram se tratar do mesmo microrganismo da Guiana Francesa e da Ásia, capaz de invadir os vasos condutores de água e sais minerais, os chamados xilemas, e bloquear a passagem de água e nutrientes, o que leva os ramos a murchar e morrer. O fungo pode também ocupar o exterior da planta, formando uma fina camada branca de micélio nas gemas (estruturas que podem originar ramos) e na base das folhas.

O engenheiro-agrônomo da Embrapa Mandioca e Fruticultura Saulo Alves San-

tos de Oliveira, coordenador do sequenciamento, teme que o fungo que chegou ao norte da América do Sul, por causa do clima na região, possa se mostrar mais agressivo que na Ásia. “No Sudeste Asiático, as chuvas se concentram no verão, trazidas pelos ventos úmidos, as monções, enquanto na Amazônia o clima é constantemente úmido e quente, o que pode favorecer mais ainda a dispersão e crescimento do fungo”, diz.

A Embrapa e o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) recomendam aos agricultores uma série de medidas emergenciais para conter a doença. Entre elas estão a remoção e a queima das plantas infectadas, a limpeza rigorosa das ferramentas e a aplicação de fungicidas específicos. Também é indicada a higienização cuidadosa de roupas, calçados, chapéus e bonés usados em áreas afetadas, com o ensacamento e a lavagem imediata desses itens para evitar a disseminação dos esporos para outras regiões do país.

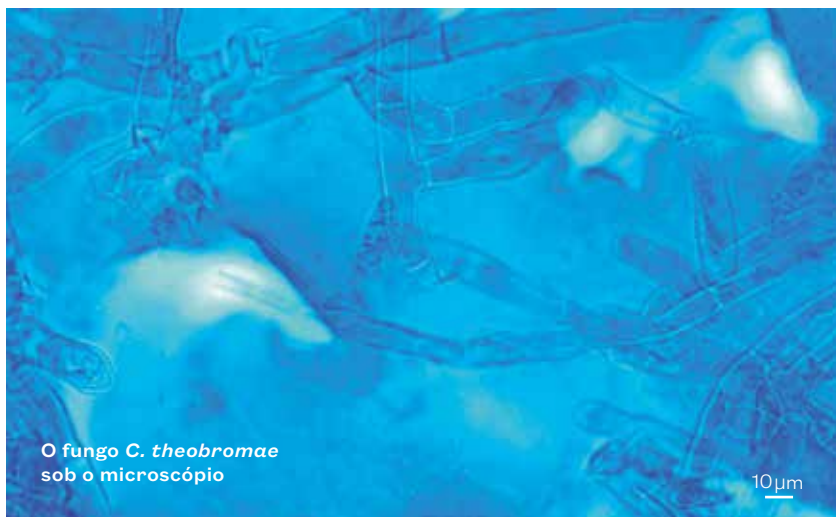
Para reduzir as perdas econômicas causadas pela nova doença, uma das alternativas sugeridas é substituir temporariamente os mandiocaes por outras culturas, como a banana. “Estamos muito preocupados com a possibilidade de faltar renda e comida para as comunidades atingidas por esse problema”, comenta Ramos de Jesus, da Embrapa Amapá.

Em janeiro de 2025, o Mapa decretou estado de emergência fitossanitária no Amapá e no Pará, indicando o alto risco

de disseminação de uma praga capaz de causar grandes prejuízos. Até outubro de 2025, mandiocaes infectados já haviam sido registrados em 48 localidades do Amapá e no município paraense de Almeirim.

O biólogo Marcelo Simon, da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, em Brasília, pesquisa a diversidade genética em variedades de mandioca. Das 160 espécies do gênero *Manihot* nas Américas, o Brasil abriga 116 (*ver Pesquisa FAPESP nº 311*). “Estamos em uma posição boa em termos de variabilidade genética da mandioca. Mas há também grande preocupação em relação à conservação dessas espécies, que já correm o risco de desaparecer por causa da perda de habitat e não sabemos se são resistentes ao fungo”, comenta. Segundo ele, não basta encontrar uma variedade de mandioca tolerante ao fungo: é preciso também atender às exigências de gosto e sabor de quem as consumirá.

Há anos, a identificação de espécies resistentes, além do aprimoramento das técnicas agrícolas, foi o que evitou uma tragédia maior com outra vassoura-de-bruxa, a causada pelo fungo *Monilophthora perniciosa*, que atacou as plantações de cacau. Antes das mudanças, a praga fez a produção nacional, então ainda liderada pela Bahia, cair de 400 mil toneladas anuais (t/a) em 1980 para cerca de 100 mil t/a em 2000. Hoje o estado do Pará é o maior produtor nacional (*ver Pesquisa FAPESP nº 128*). ●



O fungo *C. theobromae* sob o microscópio

10µm

Crimes articulados

Aumento da violência letal no Norte do Brasil está associado à expansão do narcotráfico em conexão com delitos como garimpo ilegal e contrabando de animais

CHRISTINA QUEIROZ



FOTO MICHAEL DANTAS/AFP VIA GETTY IMAGES

Dragas de mineração ilegal são destruídas durante operação da Polícia Federal no rio Negro, em Manaus, em 2023

A violência explodiu no Norte do país nas últimas décadas. Entre 1980 e 2019, o número de homicídios na região cresceu 260%, mais do que o triplo da média nacional, que aumentou 85% no mesmo período. Os dados fazem parte do estudo “Dinâmicas da violência e da criminalidade na região Norte do Brasil”, publicado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) no ano passado. Lançado em 2025 também pelo Ipea, a nova edição do *Atlas da violência* mostra que essa porção do território brasileiro registrou uma taxa média de homicídios de 34,7 por 100 mil habitantes em 2023. O Amapá foi o estado com o patamar mais elevado (57,7) e três capitais da região (Macapá, Porto Velho e Palmas) tiveram os piores números de todo o país. As pesquisas apontam a atuação de facções criminosas, a expansão do garimpo ilegal, os conflitos fundiários e o enfraquecimento de políticas socioambientais como os principais fatores para explicar esse cenário.

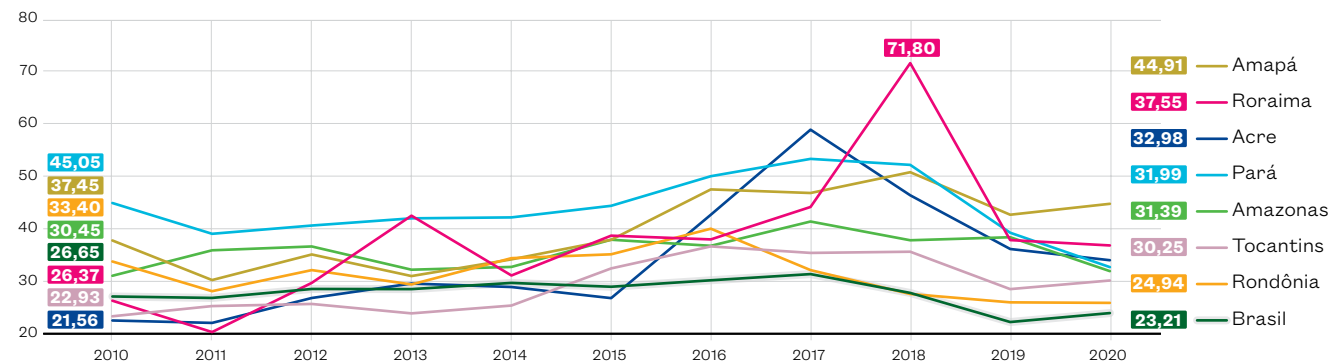
Com foco específico na Amazônia Legal, território que compreende 772 cidades do Brasil e faz fronteira com sete países, a quarta edição do estudo “Cartografias da violência na Amazônia”, divulgada em 2025 pelo Fórum Brasileiro de Segurança Pública (FBSP), em parceria com o Instituto Mãe Crioula (IMC), também captou aumento nos conflitos naquele território. De acordo com o documento, a taxa de violência letal na Amazônia Legal em 2024 foi de 27,3 por 100 mil habitantes, número 31% acima da média nacional. O levantamento indica que naquele ano 8 mil pessoas foram vítimas de mortes violentas intencionais na região, o que inclui homicídios dolosos, feminicídios, latrocínios, lesões corporais seguidas de óbito e falecimentos decorrentes de intervenção policial.

Ao analisar esse panorama, a cientista política Maria Paula Gomes dos Santos, do Ipea, explica que os conflitos no Norte do país são históricos e decorrem de disputas que se tornaram mais complexas com o passar dos anos. “No século XX,

Homicídios no Norte

Quase todos os estados da região apresentaram números superiores à média nacional a partir de 2015

TAXA DE HOMICÍDIOS POR 100 MIL HABITANTES



FONTES IBGE/IPEA

a região foi considerada um vazio demográfico por diferentes governos nacionais, pois não se levavam em conta as populações tradicionais nem os migrantes que chegaram em ondas diferentes e sucessivas. Entretanto, era tida também como a terra da superabundância, capaz de alavancar o desenvolvimento econômico brasileiro”, pontua Santos, coordenadora da pesquisa do Ipea de 2024.

Como exemplo, ela menciona o ciclo da borracha ocorrido no final do século XIX, quando o país investiu em políticas para incentivar a extração de látex, matéria-prima para produção do insumo. Naquele momento, populações empobrecidas, especialmente do Nordeste, deslocaram-se para a Amazônia para trabalhar em condições precárias e com baixos salários. “Quando o mercado da borracha entrou em colapso entre 1912 e 1914, essas pessoas foram abandonadas à própria sorte e tiveram de buscar alternativas de subsistência. Em muitas situações, essas possibilidades envolviam a extração predatória de recursos da floresta”, afirma a cientista política.

Além disso, durante a ditadura militar (1964-1985), o governo investiu na ampliação de rodovias para estimular o avanço da fronteira agropecuária e em projetos de extração mineral na região. “As intervenções não respeitaram o meio ambiente e as populações tradicionais amazônicas. Esse processo gerou um acúmulo de conflitos entre múltiplos atores, incluindo produtores rurais, camponeses, indígenas e garimpeiros. A colisão de interesses vem sendo agravada pela ausência de políticas capazes de mediá-los de forma efetiva e pacífica”, diz Santos.

Outro fato que ajuda a compreender o panorama atual de violência no Norte foi a promul-

gação do Decreto-lei nº 1.164, de 1º de abril de 1971. Com a medida, certas regiões amazônicas foram declaradas de interesse nacional e sua jurisdição passou dos estados à União, que se tornou responsável por sua administração. “Porém a ausência de políticas públicas na região gerou um vazio de governabilidade que transformou os territórios em alvo de disputa”, afirma o jurista Aiala Colares de Oliveira Couto, da Universidade do Estado do Pará (Uepa). Como reflexo do decreto, 50% da área do estado pertence hoje à União e grande parte dessa fatia abarca unidades de conservação, terras indígenas e quilombolas. “É justamente nesses lugares que atividades como garimpo ilegal e desmatamento são mais intensas”, destaca o pesquisador.

Dados do estudo de 2024 do FBSP e do IMC corroboram essa afirmação. O levantamento identificou a existência de 8,4 mil imóveis rurais registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR), que se sobrepõem ilegalmente a áreas legalmente protegidas, como Terras Indígenas e Unidades de Conservação. Couto nasceu no quilombo de Pitimandeuá, no Pará, e pesquisa o narcotráfico na região desde 2010. Seu livro *Geopolítica do narcotráfico na Amazônia* (Appris Editora, 2023) foi finalista do Prêmio Jabuti Acadêmico, no ano passado.

Nesse território marcado por conflitos fundiários, o avanço da presença de facções criminosas agravou o cenário de violência. De acordo com o *Atlas da violência* deste ano, o Comando Vermelho (CV), do Rio de Janeiro, e o Primeiro Comando da Capital (PCC), de São Paulo, estão hoje presentes em todos os estados da região, articulando-se com organizações locais. Essa dinâmica envolve a disputa pela chamada Rota do Solimões, que escoia a cocaína vinda da Colômbia e do Peru, além da utilização de pontos

Políciais no Complexo Penitenciário Anísio Jobim, em Manaus, semanas após rebelião que resultou na morte de 56 pessoas, em 2017; ao lado, pichações do Comando Vermelho em prédios históricos no centro da capital amazonense



estratégicos como o porto de Santana (AP) para exportar drogas e importar armas.

Pesquisador do assunto há mais de 10 anos, o sociólogo Pedro Henrique Coelho Rapozo, da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), identificou que a chegada de organizações criminosas brasileiras à região coincide com a desmobilização de grupos colombianos envolvidos com o tráfico, como as Forças Armadas Revolucionárias da Colômbia (Farc) e o Exército de Libertação Nacional (ELN). Em 2016, essas duas organizações assinaram um acordo de paz com o governo daquele país e sua presença na Amazônia colombiana e em áreas de fronteira, que incluem o Brasil, perdeu força. “A mudança gerou um vácuo de poder que, nos anos seguintes, foi preenchido por facções do Sudeste brasileiro, sobretudo o CV e o PCC”, observa.

“O Brasil vem despontando como um país central no trânsito de cocaína para mercados internacionais”, diz a socióloga Isabela Vianna Pinho. Em 2025, ela defendeu doutorado na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com financiamento da FAPESP, sobre o mercado transnacional da droga. De acordo com a pesquisadora, o porto de Santos, no estado de São Paulo, constitui o maior e mais antigo ponto de escoamento do narcótico no país, com forte atuação do PCC. “No entanto, com o endurecimento da fiscalização do trânsito marítimo em Santos desde 2016, o grupo expandiu sua atuação para portos do Norte e Nordeste, onde o controle policial é menos intenso”, afirma a socióloga, que entrevistou agentes da

alfândega, policiais, estivadores, funcionários do porto e pessoas que atuaram no tráfico. Também o estudo do FBSP e do IMC captou um aumento na circulação de drogas na Amazônia Legal. Entre outros dados, o documento mostra que, em relação à cocaína, as secretarias estaduais de segurança pública registraram um crescimento de 574,4% no volume apreendido na Amazônia Legal entre 2019 e 2024.

Para a socióloga Camila Nunes Dias, da Universidade Federal do ABC (UFABC), a atual onda de violência no Norte começou a ser observada em 2010 e se intensificou a partir de 2014. De acordo com a pesquisadora, esse processo coincide com a expansão territorial do PCC e do CV, ocorrida principalmente a partir do sistema prisional. Levantamento de 2024 da Secretaria Nacional de Políticas Penais, do Ministério da Justiça e Segurança Pública (Senappen-MJSP), mapeou a existência de 88 organizações criminosas no sistema penitenciário brasileiro.

Além disso, como observa a antropóloga Karina Biondi, da Universidade Estadual do Maranhão (Uema), parte dos encarcerados costuma aderir às facções como estratégia de sobrevivência. “Quando o detento quer ser transferido para um pavilhão onde tem conhecidos e estará mais seguro, a administração da unidade prisional o obriga a assinar um termo para afirmar que pertence a determinada facção. Muitas vezes, ele



nem é de fato integrante do grupo, mas passa a ser definido assim em documentos oficiais”, conta. De acordo com a pesquisadora, o documento assinado é solicitado ao detento para justificar a mudança de pavilhão.

O sociólogo Fábio Candotti, da Universidade Federal do Amazonas (Ufam), explica que um dos casos mais emblemáticos do crescimento da violência dentro do sistema prisional foi o massacre em 2017, no Complexo Penitenciário Anísio Jobim, em Manaus. Na ocasião, 56 presidiários, muitos deles ligados ao PCC, foram assassinados por internos de grupos rivais. Após o episódio, a disciplina no presídio ficou mais rígida, passando a incluir o confinamento diário de presos em celas trancadas, o controle da correspondência e a proibição da entrega de mantimentos por familiares.

As medidas, contudo, não intimidaram o crime na região Norte. “Naquele mesmo momento, os homicídios explodiram e mercados ilegais como o garimpo aumentaram em toda a região”, informa o pesquisador. Ele considera que o episódio evidencia que o controle sobre o sistema carcerário não resulta na redução de mercados ilegais e violências. “É preciso, também, levar em consideração a hipótese do crescimento da participação de agentes do Estado, da segurança pública inclusive, nesses mercados”, sugere.

Nesse sentido, a edição de 2025 do *Atlas da violência* aponta como um dos fatores para o agravamento da situação a violência estatal. Segundo o estudo, o Amapá teve a maior taxa de mortes por intervenção policial do Brasil em 2023. Na cidade de Santana, uma das mais violentas do estado, 27% dos homicídios foram causados pela polícia. Outros motivos também contribuem para piorar o cenário no estado, como a localização estratégica de seus portos, a desigualdade social e os confrontos entre facções criminosas locais, a exemplo da Família Terror do Amapá, alinhada ao PCC, e da União Criminosa Amapaense, parceira do CV.

Na visão do sociólogo Fernando de Jesus Rodrigues, da Universidade Federal de Alagoas (Ufal), a atenção excessiva dirigida às facções oriundas do Sudeste pode ocultar fatores que ajudam a compreender a violência na região. “Muitos homicídios têm origem em disputas por terras, ouro ou pesca e envolvem milícias, jagunços, empresas de segurança privada e outros grupos armados que não têm relação direta com as facções”, explica.

Rodrigues, Candotti e Biondi integram o projeto de pesquisa “Políticas e fluxos prisionais: Experiências de vida em torno dos cárceres no Norte e Nordeste do Brasil”, que analisa o sistema penitenciário e suas conexões com mercados ilegais. O estudo é financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e resultou na publicação

de um dossiê na *Tomo*, revista do Programa de Pós-graduação em Sociologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS), em 2022.

Dias, da UFABC, relata que redes criminosas nacionais com ênfase no tráfico de drogas juntaram forças com grupos locais que já atuavam em mercados ilícitos na Amazônia, como garimpo e extração de madeira ilegais, além da grilagem de terras. “Com isso, o crime se diversificou”, constata a socióloga, integrante de projeto de pesquisa do Ipea que desde 2022 analisa as estatísticas oficiais de violência no país.

Segundo Rapozo, no Amazonas há rotas consolidadas para o tráfico de peixes ornamentais retirados de áreas protegidas, incluindo, por exemplo, espécies como acarás-disco e alevinos de Aruanã, cujos valores individuais podem chegar a mais de US\$ 1 mil em mercados internacionais. “Essas atividades aumentam os lucros das facções e incentivam a estruturação de redes de serviços, que contemplam desde casas de prostituição até restaurantes em acampamentos para alimentar os criminosos”, afirma o pesquisador, coordenador do Núcleo de Estudos Socioambientais da Amazônia (Nesam) da Ufam.

Nessas situações, o ouro funciona como moeda paralela na economia informal das fronteiras da Amazônia. Por exemplo: uma garrafa de cerveja pode ser vendida por 1 grama (g) de ouro, ou cerca de R\$ 250; já um programa com uma profissional do sexo pode custar 4g de ouro, ou R\$ 1,2 mil. “Isso representa a injeção direta de recursos extraídos de atividades ilícitas na economia local, sem nenhuma intermediação bancária ou regulação fiscal”, enfatiza Rapozo. O pesquisador realiza trabalhos de campo com organizações sociais, lideranças indígenas e moradores de comunidades e acompanha operações de desobstrução de garimpos ilegais conduzidas pela Agência Brasileira de Inteligência (Abin). Além disso, desde 2017, o Nesan mantém um acordo de cooperação com a Polícia Federal, com o objetivo de compreender o fluxo da cocaína que circula no Brasil.

Nessa dinâmica de articulação entre facções, narcotráfico e crimes ambientais, Rapozo relata que, no vale do Javari, região no oeste do estado do Amazonas com alta densidade de povos indígenas isolados, o cenário é alarmante. “Há pessoas dessas comunidades indígenas sendo pagas por grupos criminosos para pescar em áreas protegidas e operar balsas de garimpo ilegal”, alerta. De acordo com o pesquisador, em algumas aldeias indígenas a presença de facções se consolidou e o consumo de crack está disseminado, especialmente entre os mais jovens.



Laboratório de produção de pasta base de cocaína na Colômbia: Brasil tornou-se rota do tráfico internacional; à direita, apreensão de toras extraídas ilegalmente da Terra Indígena Pirititi, em Roraima, em 2018



2

Estudo publicado em 2025 pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef) e pela Hutukara Associação Yanomami indica que a operação de garimpo ilegal se tornou mais complexa a partir de 2016 e se agravou após 2018. A pesquisa mostra que a área impactada pela atividade cresceu 300% na Terra Indígena Yanomami entre outubro de 2018 e dezembro de 2022, especialmente com a atuação do PCC na região. De acordo com o documento, jovens Yanomami passaram a ser cooptados pelas facções, recebendo em troca alimentos industrializados, celulares, bebidas alcoólicas, acesso à internet, dinheiro e armas de fogo. O levantamento informa, ainda, que o aliciamento confere *status* a esses jovens em suas comunidades, tensionando as relações intergeracionais e, em alguns casos, levando-os a ameaçar líderes contrários ao garimpo.

O outro fator que, segundo Raposo, vem contribuindo para o agravamento da violência na região é o enfraquecimento da fiscalização de crimes ambientais desde 2016. Naquele ano, a Base Anzol, por exemplo, instalada em uma balsa no rio Solimões, em Tabatinga (AM), foi desativada. Sua função era controlar crimes ambientais e interceptar a entrada de cocaína pelo rio. Com a retirada, novas rotas fluviais foram abertas, tornando-se corredores ativos para o narcotráfico. Nesse processo, o conhecimento geográfico de populações locais, sobretudo de povos indígenas,

é frequentemente mobilizado. “Indígenas são contratados para ajudar a driblar barreiras de controle. No Solimões, o Brasil tem bases da Polícia Federal em apenas metade do rio e eles conhecem os pontos cegos”, assegura o pesquisador.

Para Couto, da Uepa, transformar esse cenário demanda a criação de medidas para garantir a titulação de territórios quilombolas e a demarcação de terras indígenas, incluindo iniciativas para assegurar a presença efetiva do Estado na região. “É preciso contar com estruturas de segurança pública aliadas a políticas sociais. A violência na Amazônia é a expressão de um projeto de ocupação que sempre tratou a floresta como fronteira a ser conquistada, e não como território a proteger”, sustenta o pesquisador.

Segundo Couto, há regiões do Norte em que a mineração legal e ilegal é o carro-chefe da economia, de forma que é necessário oferecer outras opções de renda para as comunidades. Nesse sentido, Raposo conta que a UEA está criando um polo universitário na Terra Indígena de Belém do Solimões, em Tabatinga, com o objetivo de expandir o acesso da população local ao ensino superior. “No vestibular para o curso de pedagogia que será oferecido na unidade a partir de 2026, registramos 560 inscritos para somente 40 vagas. As comunidades querem e precisam de alternativas de sobrevivência ao garimpo e a outras atividades ilícitas”, afirma o pesquisador. ●

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

Vida em conjunto



Estereótipos e desigualdade de gênero pautaram o lugar das mulheres nas moradias sociais erguidas no Brasil

MÁRCIA CARINI

“Tinha o fogão [...]. Tinha um fogão ali, entendeu? Já colocavam em cada unidade um fogão. Olha que coisa!”, conta o bancário aposentado Lismar Fonseca, morador do Conjunto Habitacional Santa Cruz, na Vila Mariana, bairro de São Paulo. No depoimento concedido em 2015 à historiadora e arquiteta Flávia Brito do Nascimento, ele relembra o maravilhamento da mãe ao chegar na década de 1940 ao imóvel recém-construído e deparar-se com o eletrodoméstico, oferecido como parte integrante da nova casa.

A entrevista é uma das mais de 50 realizadas na década de 2010 por Nascimento, professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP), com moradores de quatro conjuntos habitacionais paulistas: Residencial da Mooca, Várzea do Carmo e Santa Cruz, situados na capital, e Vila Guiomar, em Santo André, na região metropolitana. A história oral foi parte fundamental de sua pesquisa de livre-docência apresentada em 2022 na USP, que deu origem ao livro *Cotidiano conjunto: Domesticidade e patrimonialização da habitação social moderna*, lançado em 2025 pela Edusp, com apoio da FAPESP.

Entre outros pontos, Nascimento analisa a moradia popular erguida entre os anos 1940 e 1960 nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo. O período é conhecido como o auge da arquitetura moderna no país. “Os conjuntos habitacionais se tornaram agenda de Estado com a ascensão de Getúlio Vargas [1882-1954] ao poder em 1930 e essa política ganhou força a partir do Estado Novo [1937-1945]”, conta Nascimento. “Na concepção varguista, a organização do trabalho passava também pela estruturação de uma moradia. Os arquitetos modernos brasileiros vão encontrar nessa política de moradia social um lugar para

colocar suas ideias em prática, muito pautadas pela racionalização dos espaços.”

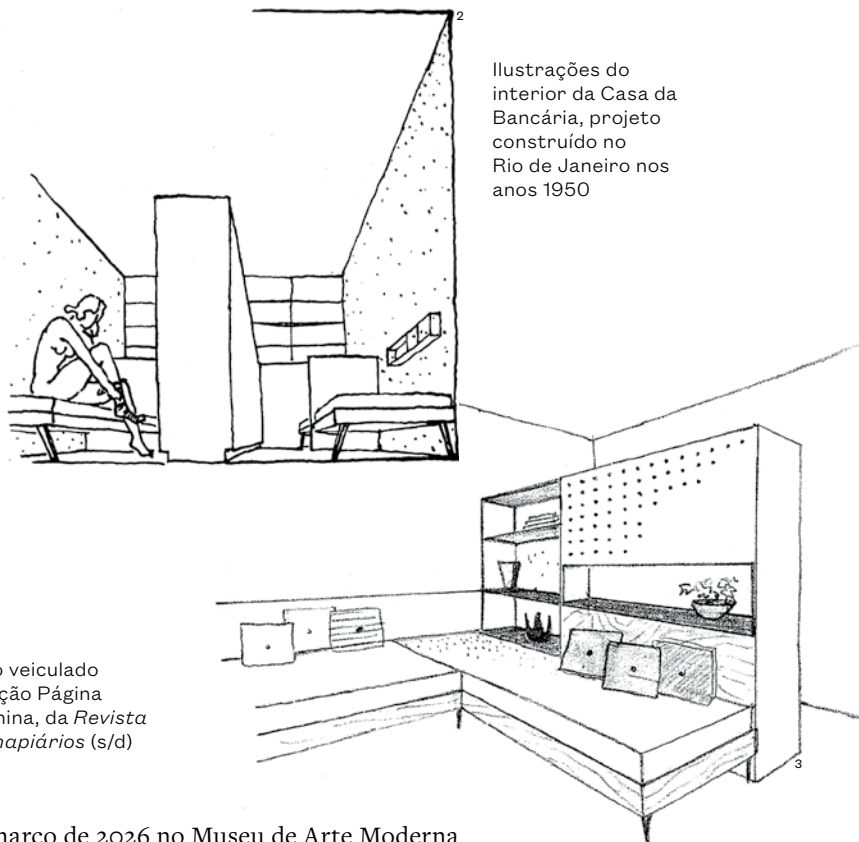
Segundo a pesquisadora, até o início da ditadura militar (1964-1985) o ciclo de construção de moradias sociais no país foi conduzido, em grande parte, pelos institutos de aposentadorias e pensões de diversas categorias profissionais, que estavam sob a tutela do governo federal. “Os institutos disponibilizavam unidades de moradia aos afiliados, que eram apenas alugadas e não vendidas, mediante desconto em folha de pagamento”, esclarece Nascimento. “Esses conjuntos habitacionais foram construídos em várias partes do Brasil.”

Os conjuntos habitacionais visitados em São Paulo pela arquiteta durante a pesquisa foram iniciativas do Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Industriários (IAPI) e do Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Bancários (IAPB). “Em geral, os trabalhadores sindicalizados inscritos eram pessoas de baixa renda e precisavam ter uma família ou serem casados para poder morar no apartamento”, diz a arquiteta.

Um dos focos do livro é discutir o lugar da mulher nesse tipo de moradia. “Algumas das moradoras dos conjuntos eram donas de casa que também trabalhavam fora, como operárias, por exemplo. Os arquitetos ensaiaram uma série de experimentações com o espaço doméstico e a organização da casa até chegar a um modelo comum com a meta de facilitar a vida dessas pessoas”, prossegue Nascimento.

As mulheres solteiras eram exceção no universo habitacional promovido pelo Estado, como lembra a pesquisadora. “Para os solteiros e solteiras, houve projetos de conjuntos específicos, embora em número reduzido, a exemplo da Casa da Bancária, projeto do escritório Irmãos Roberto Arquitetos construído no final dos anos 1950 pelo IAPB, no Rio de Janeiro”, relata. “O imaginário das mulheres

Desenhos feitos pelo arquiteto Eduardo Kneese de Mello, na década de 1940, para o projeto do edifício Japurá, em São Paulo



Ilustrações do interior da Casa da Bancária, projeto construído no Rio de Janeiro nos anos 1950

Texto veiculado na seção Página Feminina, da Revista dos Inapiários (s/d)

moradoras da Casa da Bancária representado pelo arquiteto e artista visual Carlos Leão [1906-1983] nos desenhos do projeto era libertário e sedutor.”

Isso não era visto no conteúdo veiculado em revistas publicadas entre os anos 1930 e 1960 pelas entidades de classe e enviadas para seus associados no Brasil. Nas páginas desses periódicos, que tratavam de assuntos variados, as mulheres apareciam trabalhando fora de casa, mas, como defende um artigo da seção Página Feminina, na *Revista dos Inapiários*, “sem abrir mão de suas habilidades inatas para o ambiente doméstico”. “Esses projetos habitacionais tinham ambição formativa e as revistas ajudavam a divulgar a conduta que era esperada das mulheres dentro da moral cristã e dos valores trabalhistas”, informa a arquiteta.

Segundo a pesquisadora, o Estado promoveu essa política habitacional a partir dos anos 1930 visando não apenas o bem-estar social. “Era também uma forma de interferir na vida privada dos trabalhadores”, constata.

Nesse sentido, o livro busca entender quem eram as mulheres que ajudaram a elaborar essa política habitacional no Brasil e não apenas em âmbito federal. O caso mais emblemático é o da engenheira Carmen Portinho (1903-2001), diretora entre 1948 e 1960 do Departamento de Habitação Popular (DHP), órgão da Prefeitura do Rio de Janeiro (ver Pesquisa FAPESP nº 134). No momento, sua trajetória é revisitada pela exposição *Carmen Portinho: Modernidade em construção*, que fica em cartaz

até março de 2026 no Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-RJ).

Portinho é uma das profissionais ligadas ao universo da construção perfiladas no livro *Mulheres, casas e cidades*, da arquiteta argentina Zaida Muxí Martínez, professora da Escola Técnica Superior de Arquitetura de Barcelona, na Espanha. A obra foi lançada no Brasil em 2024 pela editora Olhares. “Antes de se formar em engenharia em 1925, Carmen já era ativa nos movimentos feministas e questionava a suposta vocação natural da mulher para tarefas domésticas”, disse a arquiteta, em entrevista a *Pesquisa FAPESP*. “Ao ganhar uma bolsa de estudo e ir para a Grã-Bretanha em 1945 participar da reconstrução de cidades inglesas no pós-guerra, ela passa a ter a certeza de que a igualdade de direitos também estava ligada à arquitetura e ao urbanismo.”

A cientista social Silvana Rubino, do Departamento de História da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), conta que Portinho teve a ideia de fazer o Conjunto Residencial Prefeito Mendes de Moraes, conhecido como Pedregulho, após essa temporada na Europa. Inaugurada em 1950, no bairro São Cristóvão, a construção foi desenhada pelo arquiteto Affonso Eduardo Reidy (1909-1964), companheiro da engenheira e então diretor do Departamento de Urbanismo da prefeitura carioca. “O projeto teve grande participação de Carmen, embora não leve sua assinatura”, afirma Rubino.

A engenheira buscava nos projetos de moradia do DHP simplificar os espaços das casas para as moradoras. Exemplo disso é a lavanderia coletiva do Pedregulho. “Em consonância com o pensa-

Nos projetos do DHP, Carmen Portinho buscava facilitar a vida das moradoras

Vista externa de edificação com mercado e lavanderia coletiva do conjunto residencial Pedregulho, no Rio de Janeiro, nos anos 1950; à direita, Carmen Portinho, em registro sem data

mento moderno, ela propunha que a ‘mão cansada’ da mulher trabalhadora que habitaria o conjunto não deveria encontrar um tanque em cada unidade, e sim uma lavanderia para todos, eventualmente ocupada por trabalhadoras remuneradas para fazer aquele serviço”, conta Rubino, que em sua tese de livre-docência apresentada em 2017 analisou, entre outras, a trajetória de Portinho.

Entretanto, a lavanderia coletiva logo se tornou motivo de polêmica. Isso porque o equipamento, que contava com máquinas de lavar importadas dos Estados Unidos, situava-se em uma edificação à parte, onde ficava também

o mercado. Segundo Nascimento, a exposição das roupas surradas e o trabalho de levá-las para lavar fora encontraram resistência entre uma significativa parcela dos moradores do Pedregulho. “As pessoas passaram a improvisar a lavagem da roupa da família em baldes e bacias dentro dos apartamentos”, acrescenta Rubino.

Portinho não estava sozinha no DHP. Uma de suas colaboradoras era a arquiteta alagoana Lygia Fernandes (1919-2011), que atuou no órgão entre as décadas de 1940 e 1960. “Lygia foi uma das mais importantes representantes da geração de arquitetas brasileiras formadas nos anos 1940”,

afirma Nascimento. “Em relação a outras colegas, alcançou maior autonomia profissional, tendo elaborado projetos para clientes particulares em Alagoas e também publicado seus projetos em veículos de reconhecimento e legitimação profissional, como no livro *Arquitetura moderna no Brasil* [1956], de Henrique Mindlin [1911-1971].”

No DHP, contudo, Fernandes não assinou o projeto de nenhum conjunto residencial. “Sua atuação na repartição se dava, principalmente, na autorização de projetos de casas individuais e na elaboração de desenhos”, diz Nascimento. “As mulheres não são autoras de conjuntos habitacionais daquele período, embora o Brasil já tivesse arquitetas e engenheiras formadas naquela ocasião. Isso evidencia a desigualdade de gênero nessas profissões.”

Ainda em relação ao DHP, Nascimento chama a atenção para a atuação das assistentes sociais nos conjuntos habitacionais construídos pela prefeitura carioca. A princípio esse serviço foi coordenado por Portinho e a partir de 1948 passou para as mãos da assistente social Anna Augusta Almeida. Ela ocupou o cargo por 12 anos e comandava uma equipe de estagiárias, da qual faziam parte as irmãs Zulmira e Diva Martins. A missão dessas profissionais, cujo ofício começou a se constituir no país nos anos 1930, era atender os moradores, ouvir suas queixas e identificar eventuais quebras de regulamento por parte deles, entre outros afazeres.

No caso do Pedregulho, os inquilinos naqueles primórdios eram funcionários da prefeitura, como vigilantes e garagistas, que vinham de habitações precárias ou casas simples em vilas operárias. “As



assistentes sociais do DHP buscavam estabelecer um vínculo entre os moradores e aqueles espaços construídos dentro dos preceitos da arquitetura moderna. Em suma, elas ensinavam a maneira ‘correta’ de essas pessoas interagirem com suas casas”, comenta Rubino. Segundo a pesquisadora, a estratégia incluía um apartamento modelo no próprio Pedregulho, ocupado por mobiliário moderno. “Foi essa a imagem que circulou o mundo em periódicos, mas ela não correspondia nem de longe à apropriação do espaço pelos moradores”, observa.

Na avaliação de Rubino, a orientação oferecida pelas assistentes sociais às moradoras era permeada por contradições. “Os conselhos podiam de fato ajudar a dinamizar o trabalho doméstico. Porém essas assistentes sociais, bem como as arquitetas, eram, em geral, mulheres da elite que buscavam formar o novo padrão de gosto moderno a partir de suas próprias vivências, não levando em conta a história de vida daquelas pessoas”, sustenta a pesquisadora.

A presença das assistentes sociais não estava circunscrita ao DHP, como assinala Nascimento. Em diversos conjuntos dos institutos de aposentadoria e pensões no Rio de Janeiro, como o Realengo, do IAPI, uma equipe de profissionais promovia atividades como recreação e acompanhamento escolar. “Nos conjuntos habitacionais de São Paulo, não havia interferência tão presente das assistentes sociais no cotidiano dos moradores, embora existisse um serviço de seguridade social em alguns dos institutos que prestavam atendimento aos associados”, pontua a arquiteta.

Varais coletivos no conjunto habitacional do IAPI, na Vila Guiomar, em Santo André (SP), nos anos 1950



Entre as construções idealizadas na década de 1940 em São Paulo pelo IAPI, figura o Conjunto Residencial Armando de Arruda Pereira, conhecido como edifício Japurá. Desenhado em 1945 pelo arquiteto Eduardo Kneese de Mello (1909-1964), o complexo foi inaugurado na primeira metade da década de 1950 e ocupou a área de um antigo cortiço no centro paulistano. Em *Modos de morar nos apartamentos duplex: Rastros de modernidade* (Ateliê Editorial, 2021), a arquiteta Sabrina Fontenele analisa o projeto da edificação. O livro resulta de pesquisa de pós-doutorado realizada entre 2016 e 2019 na Unicamp, com apoio da FAPESP.

No Japurá, a primeira torre, mais baixa, foi concebida para abrigar estabelecimentos comerciais e também quitinetes destinadas a jovens solteiros. “Apenas os homens podiam morar sozinhos ali na época”, comenta Fontenele, professora da Escola da Cidade, faculdade de arquitetura em São Paulo. Com 14 pavimentos, a outra torre abriga 288 unidades habitacionais duplex, que distribuem a área social (sala, cozinha, despensa e hall da escada) no andar inferior do apartamento, enquanto o andar superior reúne dois quartos e banheiro.

O projeto arquitetônico bebeu na fonte do conceito de habitação unificada do arquiteto franco-suíço Le Corbusier (1887-1965). Este, por sua vez, inspirou-se no conjunto habitacional soviético Narkomfin, inaugurado em 1930, em Moscou, com apartamentos duplex e máxima racionalização dos espaços. “O projeto do Narkomfin tinha como intenção libertar as mulheres do trabalho doméstico a partir dos equipamentos coletivos”, explica a arquiteta.

Em sua pesquisa, Fontenele avaliou, entre outros aspectos, a representação da mulher no projeto arquitetônico do Japurá. “As moradoras que estão nas imagens de divulgação do edifício Narkomfin apareciam, por exemplo, estudando em suas escrivaninhas”, diz a arquiteta. “Entretanto, o conceito de mulher visto nas pranchas desenhadas por Kneese para o Japurá é diferente disso.”

Como observa a pesquisadora, na prancha do pavimento superior, dois balões referem-se às atividades desempenhadas pelas mulheres no interior dos apartamentos: lavar roupa e costurar. Além disso, essas mesmas mulheres demonstram as possibilidades de uso das áreas comuns, como o salão de beleza. “As ilustrações revelam dois estereótipos femininos: a mulher responsável pelos cuidados da casa e também preocupada com a própria estética”, diz. “É uma contradição, visto que os apartamentos duplex se associavam a uma ideia moderna de moradia.” ●

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



Instante decisivo

Público que pratica avistamento de baleias no litoral brasileiro contribui para a produção de pesquisa ao fotografar os animais

ARTHUR MARCHETTO

FOTO ENRICO MARCOVALDI/PROJETO BALEIA JUBARTE

Há quatro décadas, avistar uma baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) no litoral do sudeste brasileiro era algo raro. Quando a proibição da caça comercial de baleias entrou em vigor no país, em 1º de janeiro de 1986, a população dessa espécie que frequentava a costa do Brasil era de aproximadamente 2 mil indivíduos. Hoje, segundo o censo aéreo realizado em 2023 pela organização não governamental (ONG) Projeto Baleia Jubarte, a estimativa é de que esse número seja por volta de 35 mil indivíduos. “Se há alguns anos alguém me dissesse para ir até o litoral de São Paulo ver baleias-jubarte, eu acharia que essa pessoa estava louca”, brinca o biólogo Salvatore Siciliano, pesquisador da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), no Rio de Janeiro, e coordenador do Grupo de Estudos de Mamíferos Marinhos da Região dos Lagos (GEMM-Lagos) daquela instituição.

Segundo o pesquisador, além da legislação protetiva, a expansão do número de baleias-jubarte

se deve ao ciclo relativamente rápido de reprodução desses mamíferos. Cada gravidez dura entre 11 e 12 meses, que é também o período necessário para os filhotes se tornarem independentes dos cuidados da mãe. As jubartes estão biologicamente preparadas para engravidar uma semana após o parto. Isso faz com que, a cada ano, elas possam dar à luz um filhote e ficar prenhe em seguida. “Hoje é possível encontrar baleias-jubarte desde o litoral de São Paulo até as regiões Norte e Nordeste. Elas podem chegar ao Maranhão e Pará”, afirma Siciliano, que é também professor do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Estadual do Norte Fluminense (Uenf).

O fenômeno impulsiona o *whale watching*, termo em inglês para o turismo de avistamento de baleias. Segundo o Projeto Baleia Jubarte, essa atividade movimenta atualmente cerca de US\$ 2 bilhões no mundo. Na região da praia do Forte (BA), as operadoras que oferecem passeios de barco com essa finalidade geraram uma receita de cerca de R\$ 4,5 milhões em 2023, de acordo com a mesma fonte.

Todos os anos, as baleias migram das regiões subantárticas para as tropicais em busca de melhores áreas para reproduzir. A movimentação começa a partir de maio quando os animais vêm para o litoral brasileiro, passando pelo Sudeste rumo à costa do Nordeste. Em novembro, retornam para as regiões subantárticas.

A região do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, situado em Caravelas, no sul da Bahia, é a que concentra o maior número de jubartes na costa brasileira. No município fica também a

sede do Projeto Baleia Jubarte, criado em 1988, que hoje tem bases na praia do Forte, bem como em Ilhabela (SP) e Vitória (ES). A iniciativa conta com patrocínio da Petrobras desde 1996. “O cerne de nosso projeto é a pesquisa científica”, afirma o biólogo Sérgio Cipolotti, coordenador operacional da ONG.

Segundo ele, o avistamento de baleias começou a atrair turistas para o litoral baiano no fim da década de 1990. “Na época, o projeto já possuía barcos voltados à pesquisa científica e resolvemos combinar, de maneira informal, as viagens para coleta de dados com o transporte de turistas interessados em ver esses animais e também levar junto os moradores da região”, conta. “A ideia era mostrar para esses moradores que havia uma demanda pela atividade, que poderia ser explorada comercialmente e incrementar o turismo local.”

Desde 2002, o Projeto Baleia Jubarte mantém parcerias com operadoras de turismo de avistamento que atuam no litoral baiano. Por meio do acordo, a ONG capacita as equipes dessas empresas. No país, a prática precisa seguir as normas da Portaria nº 117, de 26 de dezembro de 1996, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), que prevê, por exemplo, distanciamento mínimo do barco em relação aos animais. “Em contrapartida pedimos que haja uma vaga disponível para nossos pesquisadores nas embarcações. Antes da partida, esses monitores fazem uma palestra e, entre outras coisas, informam aos turistas que eles podem colaborar com a pesquisa por meio das fotografias que fizerem durante o passeio”, relata o biólogo.

No ano passado, as operadoras de turismo que atuam na região de Abrolhos e da praia do Forte realizaram mais de 500 viagens para avistamento de baleias, com a participação do Projeto Baleia Jubarte. As saídas renderam 422 fotoidentificações, como são chamadas as imagens que permitem a identificação das baleias e estão aptas a auxiliar na produção científica. De acordo com Cipolotti, 75 delas foram doadas por turistas. O restante está a cargo dos pesquisadores do projeto, que fizeram os registros ao longo desses passeios.

Segundo o biólogo, a ONG possui cerca de 9 mil imagens de caudas. “A cauda é a impressão digital da jubarte. Cada uma delas tem um desenho de pigmentação único”, explica Cipolotti, coautor de artigo publicado em 2023 na revista *Scientific Reports*, que constata o fluxo de jubartes entre os oceanos Atlântico e Índico por meio de fotoidentificações realizadas na Bahia e na África do Sul. “Isso possibilita que a baleia seja identificada, acompanhada e rastreada por meio dos diversos registros ao longo da costa.” As fotos vêm sendo depositadas há cerca de cinco anos na conta do

Turistas durante passeio acompanhado pelo projeto Amigos da Jubarte, em Guarapari (ES), em 2023





Jubarte fotografada na região de Ilhabela (SP), em 2024, por Julio Cardoso, do Projeto Baleia à Vista, e batizada de Saruê

projeto na plataforma colaborativa Happywhale, que pode ser acessada por pesquisadores e demais interessados do mundo todo.

Como lembra o oceanógrafo Agnaldo Silva Martins, da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), as imagens feitas por turistas são exemplo de ciência cidadã, conceito que envolve a participação de leigos sem formação científica na coleta de dados de campo em projetos de pesquisa (ver Pesquisa FAPESP nº 323). “As fotos têm se tornado uma ferramenta cada vez mais essencial na produção de ciência e na sensibilização para a preservação ambiental”, observa Martins, coordenador científico do projeto Amigos da Jubarte, sediado em Vitória (ES).

A iniciativa, criada em 2014 pela ONG Instituto O Canal, trabalha em três frentes. Além de pesquisar cetáceos, busca promover a educação ambiental em espaços como escolas e também incentivar o turismo sustentável de avistamento desses animais. Em 2019, uma parcela do trabalho passou a ser financiada pela mineradora Vale, como parte condicionante de licenciamento exigida pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente para que a empresa possa exportar minério de ferro via porto de Tubarão, em Vitória.

Atualmente, o projeto realiza eventos anuais de capacitação com 10 operadoras de turismo do litoral fluminense, capixaba e baiano. Os passeios no Espírito Santo são acompanhados por monitores do Amigos da Jubarte, parte deles estudantes da graduação e da pós-graduação em biologia e oceanografia da Ufes. Nessas ocasiões, os turistas recebem uma cartilha com orientações de como fotografar os animais e encaminhar as imagens para a ONG, que deposita o material em sua conta

do Happywhale. “Além de fornecer informações científicas por meio de fotografias, as saídas turísticas contribuem para os trabalhos de pesquisa desses estudantes”, diz Martins.

O conceito de ciência cidadã norteia o Projeto Baleia à Vista (ProBaV), grupo de voluntários voltado à fotoidentificação de cetáceos na região de Ilhabela (SP). “Temos na plataforma Happywhale um catálogo com cerca de 800 jubartes identificadas, além de dezenas de outros cetáceos, como baleias-de-bryde”, informa Julio Cardoso, um dos fundadores do ProBaV e autor de boa parte das imagens. Em 2004, ele, que se aposentou como executivo de empresas privadas, fez no litoral paulista seu primeiro registro de uma baleia e com assessoria da bióloga Shirley Pacheco começou a organizar um catálogo de fotos.

Mais tarde, em 2016, criou o ProBaV com a bióloga e fotógrafa Arlaine Francisco. Desde então, o grupo colabora com pesquisadores, a exemplo de Siciliano, da Fiocruz. “Como a prática de navegação é cara, realizamos saídas de campo em nosso barco para os registros fotográficos e também gravações de bioacústica”, diz Cardoso, coautor de 10 artigos publicados por Siciliano em parceria com outros pesquisadores, entre 2019 e 2025. Entre eles, está um texto sobre fotoidentificação de jubarte, que saiu neste ano na revista *Conservation Biology*.

As imagens são enviadas ainda por 20 operadoras de turismo de avistamento. A cada ano, elas passam por treinamento ministrado pela equipe do Projeto Baleia Jubarte em parceria com as prefeituras de Ilhabela e São Sebastião. “Em geral, são operadoras de pequeno porte, comandadas por caiçaras da região”, conta Cardoso. “Os condutores dos barcos recebem nossas dicas de como fotografar as baleias e estão fazendo um grande trabalho.” ●

Artesão científico

O físico e divulgador de ciência Aníbal Fonseca de Figueiredo Neto construiu e forneceu experimentos para museus de ciência interativos do país

SARAH SCHMIDT



Fonseca cuidava de todos os processos de criação dos equipamentos

Um artesão científico. Foi assim que o físico e divulgador de ciência Aníbal Fonseca de Figueiredo Neto se definiu quando foi convidado a contar sobre sua trajetória em uma palestra on-line durante a pandemia de Covid-19. Seu trabalho juntava ciência, arte e diversão, dando vida a experimentos interativos criados para museus de ciência espalhados pelo país. Se você frequenta esses espaços, é provável que tenha interagido com alguma instalação ou equipamento construído por ele, como o gerador de Van de Graaff do Museu Catavento, um dos itens mais disputados da instituição paulistana – ao ser tocado, deixa os visitantes de cabelos em pé graças à energia eletrostática que produz. Outros exemplos são a bicicleta equilibrista, suspensa no ar por cabos de aço, que integrava o Parque Viva Ciência, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ou a réplica do plano inclinado, aparato por meio do qual Galileu Galilei demonstrou que a aceleração de um objeto não depende de sua massa, mas sim da gravidade e do

ângulo de inclinação, disponível no Museu Interativo da Física, na Universidade Federal do Pará (UFPA). Fonseca morreu atropelado no dia 24 de outubro, aos 67 anos, na capital paulista. O motociclista responsável pelo atropelamento também morreu no acidente.

“Aníbal era por excelência o fornecedor de experimentos de física nos museus de ciência do país”, observa Sergio Freitas, presidente do Conselho de Administração da Catavento Cultural e Educacional, que administra o Museu Catavento. “Começamos do zero com a ideia de fazer um museu interativo de ciência com experimentos simples e divertidos. O Catavento tem quatro seções e uma delas, a engenho, apresenta o que o homem desenvolveu com sua engenhosidade, e foi totalmente criada por ele”, completa. Freitas procurou Fonseca por indicação do físico nuclear Ernst Hamburger (1933-2018), da Universidade de São Paulo (USP), conhecido por seu trabalho como incentivador da divulgação científica, especialmente em museus como o centro interativo Estação Ciência, que

fechou em 2013. Ali, Fonseca trabalhou com Hamburger, construindo experimentos que hoje são replicados em outras instituições, como a locomotiva de inércia, que tinha uma bolinha na chaminé. A bolinha é lançada para o alto antes de a locomotiva entrar no túnel e volta a cair na chaminé na saída. Foi um modo de mostrar, na prática, o princípio da inércia.

Após a inauguração do Catavento, em 2009, Fonseca seguiu trabalhando como consultor da instituição. “Há seis meses, criamos uma carreta da ciência que está circulando pelo interior de São Paulo. Aníbal teve uma participação decisiva no desenvolvimento dela, produzindo a maioria dos experimentos e cuidando de praticamente toda sua montagem”, diz Freitas.

Apesar de ter nascido em Belém, no Pará, Fonseca se considerava macapaense por ter se mudado para a capital do Amapá ainda criança. Ele retornou à cidade natal para cursar a graduação em engenharia mecânica na UFPA e acabou migrando para o curso de física.

Por incentivo de seu professor José Maria Filardo Bassalo, transferiu-se para a USP em 1979.

Depois de concluir a graduação, Fonseca ingressou no mestrado em ensino de ciências, também na USP. Defendeu sua dissertação em 1991 com o tema “A física, o lúdico e a ciência no primeiro grau”, sob orientação da física Yassuko Hosoume. Naquela ocasião, seu trabalho já trazia sugestões de experimentos de baixo custo, com sucatas, que professores de física poderiam criar para envolver seus alunos durante as aulas. No mesmo ano, criou a empresa Atelier de Brinquedos Científicos, na capital paulista, com o objetivo de produzir material educativo tanto para escolas como para o consumidor final. Como não houve muita demanda, a empresa foi renomeada para Ciência Prima e se especializou em produzir equipamentos e prestar consultorias para museus e centros de ciência do país. O empreendimento chegou a ter mais de 30 funcionários, entre torneiros mecânicos e projetistas.

O físico cuidava de todos os processos de criação dos equipamentos: planejamento, desenho e produção. “Ele polia metal, cortava acrílico, trocava material e não terceirizava nenhuma etapa. A empresa passava sempre por instabilidade financeira, em parte porque se ele vendesse um projeto com um tipo de material mais barato, mas depois testasse e não gostasse do resultado, trocava por um melhor e pagava do próprio bolso”, conta o publicitário Lucas Dini, de 27 anos, único filho de Fonseca. “Ele sempre dizia que o museu não era um lugar só para mostrar como um experimento funcionava, mas para encantar as pessoas com a ciência do cotidiano.” Nos últimos anos, Dini trabalhou com o pai. “Recentemente, ficamos no Museu da Imaginação, em São Paulo, madrugada adentro, fazendo os ajustes finais dos equipamentos que fornecemos para sua reestruturação.”

Um dos diferenciais de seu trabalho, destaca o físico Luís Carlos Crispino, coordenador do Centro Interativo de Ciência e Tecnologia da Amazônia, instalado no *campus* da UFPA, era a preocupação com a beleza plástica das criações. Todos os equipamentos iniciais do Museu Interativo da Física, criado em 2008 e que integra o centro, foram desenvolvi-

dos por Fonseca, além de equipamentos para o Laboratório de Demonstrações e Núcleo de Astronomia da instituição paraense. “Neste ano, ele finalizou nossa mais recente aquisição para o museu interativo, uma réplica do plano inclinado de Galileu Galilei”, disse Crispino. “Aníbal fez uma adaptação com uma rampa de 3 metros, cerca de metade da original, para facilitar seu transporte de São Paulo a Belém. Foi um ano de trabalho.” O experimento ajuda os visitantes a entenderem a física por trás do movimento (e queda) dos corpos. Em homenagem ao legado do físico-artesão, o museu será rebatizado com seu nome. “Ele dizia que o aprendizado precisava se misturar com a emoção e que, para isso, as pessoas tinham que se sentir envolvidas”, conta.

A física Débora Menezes, diretora de Análise de Resultados e Soluções Digitais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), conheceu Fonseca quando ingressou na graduação na USP, em 1980. Em 2007, ela e o colega Nelson Canzian, da UFSC, procuraram Fonseca com o desafio de montar um museu a céu aberto na universidade, o Parque Viva Ciência, que funcionou de 2008 a 2013 e recebia cerca de 15 mil estudantes por ano. “Queríamos construir algo muito específico para um

local que era um morro. O mais desafiador dos experimentos foi uma bicicleta que andava em cima de um cabo de aço, em um local com um grande desnível”, conta a pesquisadora.

O experimento era usado para explicar os conceitos de centro de gravidade e centro de massa: colocava-se uma pessoa em cima, mas havia um grande peso embaixo para gerar equilíbrio. “Eu tinha visto um equipamento parecido em um museu de Lisboa, mas estava instalado em um lugar mais simples e reto. Pedi algo mais sofisticado, e ele fez”, diz Menezes. Ela destaca que, no Brasil, há poucos museus e espaços de ciência e, por isso, não existem empresas que produzam esses equipamentos em larga escala. “Aníbal acabou suprimindo essa lacuna com muito esforço, mesmo ganhando pouco dinheiro.” A pesquisadora avalia que, embora o físico tenha sido uma referência nessa área, seu reconhecimento ficou restrito a apenas uma parte da comunidade acadêmica que valorizava a divulgação científica.

Fonseca também se dedicou a gravar vídeos para professores de física demonstrando experimentos de baixo custo que poderiam ser reproduzidos pelas escolas do país, além de ter trabalhado como professor em escolas da capital paulista e de ter sido coautor de livros didáticos da área. Entre outros museus e espaços de ciência que ajudou a dar vida estão o Centro de Ciências da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), as Praças de Ciência da Bahia, o Museu da Água de Campinas (SP), instalações para unidades do Serviço Social do Comércio (Sesc) e o projeto Brinca Ciência, idealizado por ele para a Sabina Escola Parque do Conhecimento, em Santo André, no ABC paulista. O objetivo era ensinar conceitos científicos para crianças enquanto elas construíam brinquedos educativos, tanto em visitas ao parque quanto em suas escolas. Para isso, recebiam kits com os materiais necessários e um livro com o passo a passo para cada criação.

“O Brinca Ciência, para mim, é um dos projetos mais bonitos que a gente fez”, considera Dini, que pensa em retomar projetos semelhantes. “Cresci dentro do ateliê do meu pai e agora vou estudar como dar continuidade ao seu trabalho.” ●

Para ele,
o museu de ciência
não era só para
mostrar
experimentos,
mas para encantar



Sandroni em 2019, em frente à casa dos pais do sanfoneiro Luiz Gonzaga, na cidade de Exu (PE)

obituário

Navegador de ritmos

Defensor da tradição musical brasileira, o etnomusicólogo Carlos Sandroni ajudou a transformar o samba de roda e o forró em patrimônio cultural

EDUARDO MAGOSI

Ao criar no Recife, em 2000, a Associação Respeita Januário, com seus colegas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e outros pesquisadores, o etnomusicólogo carioca Carlos Sandroni sugeriu batizá-la com o título da canção de Luiz Gonzaga (1912-1989) e Humberto Teixeira (1915-1979). Para ele, o clássico do forró que celebra Januário, pai de Gonzaga, conhecido mestre sanfoneiro que nunca abandonou seu instrumento de oito baixos, nem o sertão onde nasceu, era uma metáfora do respeito à tradição musical brasileira. A letra pede que Gonzaga, mesmo famoso e com um acordeom de 120 baixos não menospreze os oito baixos do instrumento de seu progenitor. Baixos são os botões acionados pela mão esquerda que fazem o acompanhamento da melodia tocada pela mão direita.

A busca pela salvaguarda da tradição musical, principalmente nordestina, foi uma das missões que nortearam a trajetória de Sandroni, que faleceu no dia 28 de outubro, aos 66 anos, no Rio de Janeiro. Ele contribuiu, por exemplo, para que gêneros da música brasileira, caso do samba de roda e do forró, fossem reconhecidos como patrimônio cultural. Além disso, ajudou a criar as bases da etnomusicologia no Brasil e escreveu livros que se tornaram referência – um deles sobre a história do samba e outro a respeito do escritor modernista Mário de Andrade (1893-1945).

Formado em sociologia, em 1981, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Sandroni fez sua pesquisa de mestrado em ciência política no Instituto Universitário de Pesquisas do Rio de Janeiro (Iuperj), que hoje é o Instituto de Estudos Sociais e Políticos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Iesp-Uerj). A dissertação, defendida em 1987, serviu de base para o livro *Mário contra Macunaíma – Cultura e política em Mário de Andrade*, lançado um ano depois e reeditado pela Edições Sesc em 2024. Na obra, o pesquisador aborda a experiência do modernista como gestor cultural na cidade de São Paulo na década de 1930.

“Sandroni leu Mário de Andrade como intérprete do Brasil a partir das chaves da etnomusicologia e da sociologia. A palavra e o conceito ‘etnomusi-

cologia' datam da década de 1950, mas Mário já colocava em prática essa ideia desde os anos 1930", relata a musicóloga Flávia Toni, do Instituto de Estudos Brasileiros da Universidade de São Paulo (IEB-USP). "No livro, Sandroni joga luz naquilo que tempos depois seria entendido como gestão da cultura. Ele estuda o projeto de Mário de Andrade à frente do recém-fundado Departamento de Cultura de São Paulo, órgão da prefeitura paulistana, e na conjuntura política do Brasil na Era Vargas [1930-1945]."

Um dos aspectos abordados pelo pesquisador foi o papel da etnóloga francesa Dina Dreyfus [1911-1999] nesse processo. Ela teve participação fundamental na criação do curso Etnografia e Folclore, ministrado pela Discoteca Pública de São Paulo, que formou os pesquisadores que participaram da Missão de Pesquisas Folclóricas de 1938. A missão foi idealizada por Andrade, com o objetivo de percorrer os estados do Norte e do Nordeste do Brasil para registrar manifestações culturais e folclóricas. Toni lembra que o episódio era tema recorrente em suas conversas com Sandroni. "Quando ele voltou ao Brasil no final dos anos 1990, após o doutorado na França, uma das primeiras pesquisas que fez foi justamente em torno da memória da Missão de Pesquisas Folclóricas", conta a musicóloga.

O trabalho resultou na gravação de *Responde a roda outra vez* (2005), dois CD que reúnem músicas do interior paraibano e pernambucano. Em parceria com pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Sandroni percorreu entre 1999 e 2004 as mesmas comunidades visitadas pela missão de 1938 para registrar a música tradicional nordestina. "Trata-se de um trabalho espetacular do ponto de vista metodológico, que atualizou esse marco da musicologia brasileira", afirma a musicóloga Rosângela Pereira de Tugny, da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB).

A pesquisadora foi colega de Sandroni no doutorado em musicologia na Universidade de Tours, na França. Na pesquisa, defendida em 1997, o etnomusicólogo discute os padrões rítmicos formadores do samba e propõe o "paradigma do Estácio". "Sandroni mostra que a geração dos compositores da escola de samba Estácio de Sá, do Rio de Janeiro, na virada da

Sandroni teve papel importante na consolidação da etnomusicologia no Brasil

década de 1920 para 1930, como Ismael Silva [1905-1978] e Bide [1902-1975], trouxe um novo modelo de samba", explica o musicólogo Yuri Prado. "Esse modelo se diferenciava do samba da primeira geração, representado por composições de Sinhô [1888-1930] e Donga [1890-1974], que era mais próximo do maxixe."

A tese de doutorado virou o livro *Feitiço decente – Transformações do samba no Rio de Janeiro (1917-1933)*, lançado em 2001 pela editora Zahar. "É considerada uma obra essencial sobre o tema. Em sua análise, além da música, Sandroni levou em conta o panorama social e cultural da época", acrescenta Prado, autor da tese de doutorado "Estruturas musicais do samba-enredo". Defendida na Escola de Comunicações e Artes (ECA) da USP em 2018, com apoio da FAPESP, a pesquisa teve o livro de Sandroni como uma das principais referências bibliográficas.

Parceiro de Sandroni na vida acadêmica por mais de 20 anos, o etnomusicólogo Climério de Oliveira Santos, do Conservatório Pernambucano de Música e do Programa de Pós-graduação em Música da UFPE, enumera os inventários que o colega ajudou a produzir por meio da Associação Respeita Januário:

sobre samba de roda do Recôncavo Baiano, forró, capoeira, caboclinho, cavalo-marinho e ciranda, entre outras manifestações da cultura nordestina. Nesses documentos, fazia questão de incluir a participação dos integrantes das manifestações culturais. "Ele se debruçou sobre tradições musicais que não eram abordadas pela musicologia clássica ocidental", diz Santos.

Em plano de ação coordenado por Sandroni, a partir de pesquisa realizada no Recôncavo Baiano, o samba de roda da região foi declarado Patrimônio Cultural Imaterial do Brasil pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) em 2004. No ano seguinte, tornou-se Patrimônio Cultural Imaterial da Humanidade pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). "Em 2019 começamos a elaborar o inventário do forró em Pernambuco para transformá-lo em patrimônio imaterial pelo Iphan, o que ocorreu em 2021", completa Santos, um dos fundadores da Associação Respeita Januário.

A musicóloga Suzel Reily, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), destaca a atuação de Sandroni na consolidação do campo da etnomusicologia no Brasil. Em 2001, ele ajudou a fundar e foi o primeiro presidente da Associação Brasileira de Etnomusicologia (Abet). "É uma instituição muito importante para a formação de profissionais e no direcionamento da disciplina no Brasil", avalia a musicóloga.

O pesquisador era também músico e compositor, com obras gravadas por cantores como a irmã Clara Sandroni, Adriana Calcanhotto e Milton Nascimento. Professor titular de etnomusicologia no Departamento de Música da UFPE por mais de 25 anos, ele passou como visitante por instituições como a Universidade do Texas, nos Estados Unidos, onde lecionou em 2006, e foi pesquisador no Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS), na França, entre 2007 e 2008. Desde 2005, atuava ainda como docente no Programa de Pós-graduação em Música da UFPB. Ao saber que estava com câncer, em 2024 se transferiu da UFPE para a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), de modo a ficar perto da família. Deixa a mãe, Laura, e os irmãos Clara, Eduardo, Luciana e Paula. ●



Os filhos de *Xylella*

Há 25 anos, o sequenciamento genético da bactéria inaugurou a genômica no Brasil, formou especialistas e implementou métodos de trabalho usados até hoje

SUZEL TUNES

Parecia festa de premiação do Oscar, com tapete vermelho, troféus e aplausos efusivos de uma plateia de mais de mil pessoas reunidas na imponente Sala São Paulo, na capital paulista. A premiação aos 193 pesquisadores de 35 laboratórios paulistas que concluíram o pioneiro sequenciamento genético de um fitopatógeno, a bactéria *Xylella fastidiosa*, eternizou a noite de 21 de fevereiro de 2000.

O estudo brasileiro foi a capa da *Nature*, uma das mais importantes revistas científicas do mundo, em 13 de julho de 2000. O editorial destacava que o Brasil desmentia a concepção de que apenas os países mais industrializados teriam potencial e pessoal qualificado para realizar pesquisa de ponta. Depois, jornais e revistas do Reino Unido, Estados Unidos e França noticiaram o sequenciamento de *Xylella*.

“Ainda me lembro do barulho que o modem fazia”, brinca a bióloga Anamaria Aranha Camargo, do Centro de Oncologia

Molecular do Hospital Sírio-libanês. Para ela, o mais importante foram a dedicação e a união dos grupos de trabalho, superando dificuldades de logística, em tempos de internet discada, e falta de experiência.

“A maioria dos pesquisadores não trabalhava diretamente com doença de plantas e teve de conciliar esse projeto entre suas prioridades”, ela conta. O hematologista Marco Antonio Zago, presidente do Conselho Superior da FAPESP, rememora: “Aquele foi a primeira vez que se mostrou a vantagem e a eficiência do trabalho em rede. Todos os laboratórios funcionavam como se fossem um só”.

Sem essa integração, não teria dado certo o plano do biólogo Fernando Reinach, então no Instituto de Química da Universidade de São Paulo e coordenador de área de bioquímica da FAPESP, a quem coube idealizar as bases do projeto (ver Pesquisa FAPESP nº 100). Em maio de 1997, o então diretor científico da FAPESP, o físico-matemático José



Os pesquisadores que participaram do sequenciamento do genoma de *Xylella*, na Sala São Paulo, em fevereiro de 2000, e o troféu Árvore dos Enigmas, oferecido pelo governo do estado às instituições que coordenaram o trabalho



Capa da *Nature* de julho de 2000 com a descrição do genoma da bactéria causadora do amarelhinho

Fernando Perez, desafiou-o a criar um projeto de biotecnologia, alertando: “Estamos ficando para trás no campo da genética molecular”. Reinach pensou num objeto de pesquisa que desse a todos os laboratórios as mesmas oportunidades de capacitação. “Teria de ser um projeto no qual todo mundo pudesse aprender a mesma coisa, fazendo todas as etapas do trabalho. Daí surgiu a ideia de sequenciar um genoma, cada equipe sequenciando uma parte”, conta o biólogo. A conexão por meio da incipiente internet permitiria o trabalho de forma descentralizada, sem a necessidade de uma sede física.

Para a coordenação-geral do projeto decidiu-se convidar Andrew Simpson, bioquímico britânico naturalizado brasileiro e então chefe do Laboratório de Genética do Instituto Ludwig de Pesquisa sobre o Câncer em São Paulo. Os laboratórios de Reinach na USP e do também biólogo Paulo Arruda na Universidade

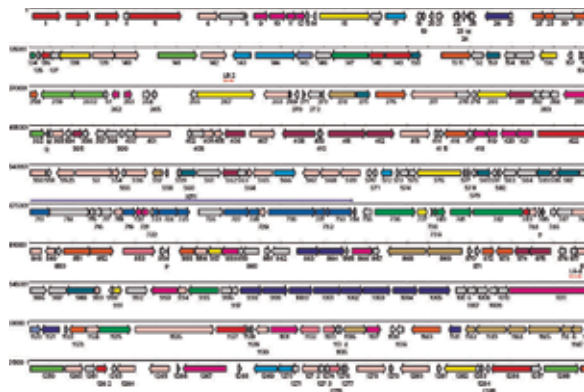
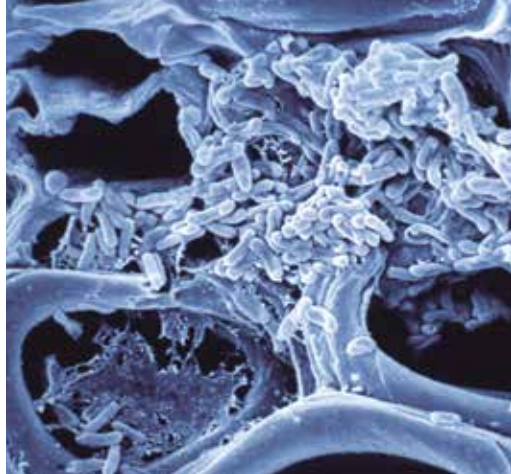
Estadual de Campinas (Unicamp) dariam apoio às equipes que enfrentassem alguma dificuldade. “Os laboratórios aprenderam fazendo”, diz Reinach.

NASCE A ONSA

A fim de conferir respaldo científico ao trabalho, para o qual a FAPESP destinara US\$ 12 milhões e o Fundo de Desenvolvimento da Citricultura (Fundecitrus) US\$ 650 mil, Reinach convidou especialistas da França e do Reino Unido para acompanhar o trabalho. Mesmo assim, o projeto de sequenciamento fora do eixo Nova York-Paris-Londres era ousado. Perez alimentava essa ousadia: “Nossa cultura científica não estimula o risco”.

Assim, com ousadia e um toque de bom humor, criou-se a rede virtual de laboratórios Onsa, sigla para Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis, ou Organização para Sequenciamento e Análise de Nucleotídeos. Foi uma brincadeira com The Institute

Imagem de microscopia dos biofilmes formados por *Xylella* no interior das plantas. À direita, detalhe do mapa genômico dos 2,7 milhões de pares de bases do cromossomo de *X. fastidiosa*. Abaixo, um dos efeitos do amarelhinho: frutos menores



Agrônomo de Campinas (IAC) em Cordeirópolis, e tinha um ótimo argumento em favor de *Xylella*: era a causadora da clorose variegada dos citros (CVC), também conhecida como amarelhinho, praga que atingia 34% dos laranjais paulistas.

“Não era uma bactéria fácil de trabalhar”, admite Machado. Dizia-se que o cientista francês Joseph-Marie Bové era o único que conseguia cultivar *Xylella* em laboratório – foi o grupo dele que provou a relação causal entre a bactéria e a CVC. Machado tinha o contato dele e um histórico de parceria com a Universidade de Bordeaux. “Cultivamos a bactéria original enviada pelo Bové e entregamos o equivalente a 1 litro e meio de cultura ao Simpson, que providenciou a purificação do DNA”, lembra.

Para Simpson, o Projeto Genoma teve sucesso devido à soma de muitos talentos individuais articulados no trabalho em equipe: “O projeto inteiro foi a soma de muitos momentos de brilhantismo individual trabalhando junto”. Um problema que apareceu no final do sequenciamento revelou a capacidade da equipe. “Havia ficado um ‘buraco’ que ninguém sabia como fechar. Foi a percepção da Anamaria Camargo que permitiu que fechássemos o genoma”, conta Simpson. “Ela levantou a hipótese de que a bactéria tivesse duas cópias de RNA ribossomal [RNA armazenado em ribossomos, uma das estruturas celulares]. E fechou, resolveu.”

“A sistematização das discussões de resultados científicos em grupo foi um grande aprendizado do projeto”, avalia a bióloga Marie-Anne Van Sluys, da Universidade de São Paulo. Ela conta que havia reuniões semanais e quinzenais nos grupos pequenos, reuniões de atualização a cada semestre e uma reunião anual com o comitê de avaliação. “Foi

for Genomic Research (TIGR, tigre, em inglês), a instituição norte-americana que, dois anos antes, sequenciara o primeiro genoma de uma bactéria de vida livre, *Haemophilus influenzae*.

O processamento dos dados gerados pelos laboratórios representou outro desafio – o genoma da bactéria era grande, com 2,7 milhões de pares de bases e 2.904 genes. “Os consultores do exterior alertaram que a bioinformática seria um gargalo no projeto. Aconselharam a contratação de um especialista europeu. Mas aí apareceram dois jovens, o matemático João Meidanis e o engenheiro mecânico João Setúbal, ambos da Unicamp, e disseram: ‘Vamos fazer a bioinformática, sabemos fazer’”, orgulha-se Perez.

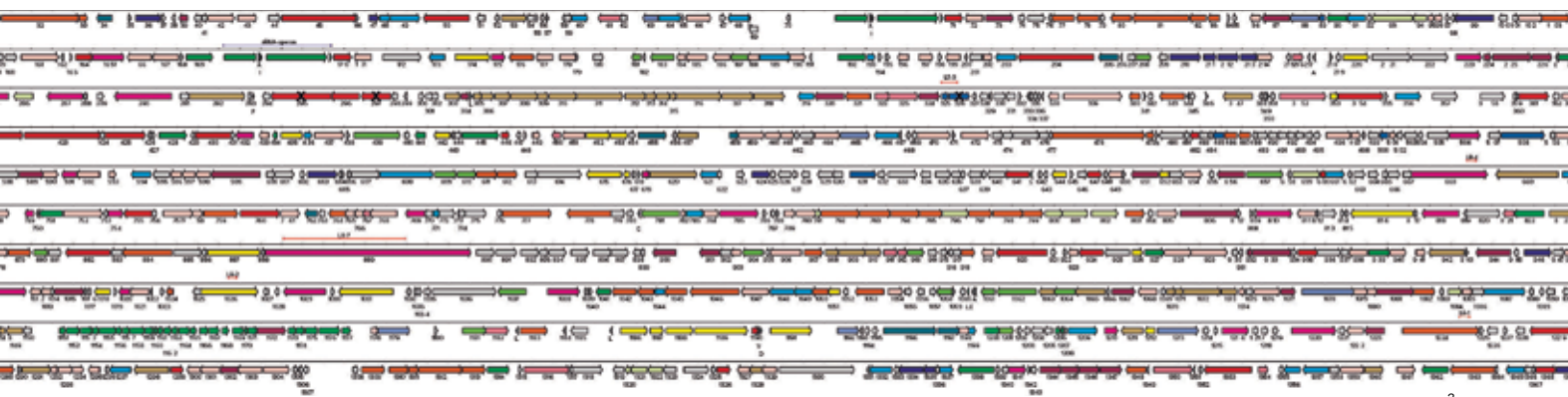
“Eu havia trabalhado com bioinformática no doutorado nos Estados Unidos, sonhava que chegasse logo ao Brasil, mas achava que ainda ia demorar anos ou décadas”, conta Meidanis. “Começou mais cedo do que eu imaginava, fiquei maravilhado.”

Houve, também, momentos de tensão. “Tínhamos um operador de TI [tecnologia da informação] que, como nós, era um experimentador”, conta Meidanis.

“No meio do projeto, ele resolveu atualizar o sistema operacional da máquina principal. Só que deu errado. Ele tinha feito backup de tudo antes de começar, mas até restaurar os dados foram três dias de agonia.”

Em dois anos, o sequenciamento estava concluído. Para Perez, o sequenciamento do genoma foi apenas um dos resultados do projeto. Igualmente importantes foram, segundo ele, a capacitação de pesquisadores e laboratórios e o nascimento da bioinformática no Brasil.

A bactéria escolhida para ser sequenciada poderia nem ter sido *Xylella fastidiosa*. A ideia inicial era apenas que a escolha deveria recair sobre algo que não competisse com o que já era feito no exterior. Na seleção das candidatas, sobressaiu a sugestão do agrônomo Marcos Machado. Na época ele coordenava o Laboratório de Biotecnologia do Centro de Citricultura Sylvio Moreira, do Instituto



3

uma dinâmica que acabou sendo replicada em outros programas da FAPESP, como o Biota”, diz ela.

HERDEIROS DE XYLELLA

Assim que terminou o sequenciamento, em 1999, começou o Projeto Genoma Funcional de *Xylella*, focado nos genes relacionados à sua capacidade de causar doença nas plantas. O projeto reuniu 21 laboratórios e revelou os mecanismos de ação da bactéria, permitindo a criação de estratégias de controle, como poda de ramos infectados e produção de mudas em ambiente protegido do inseto vetor, explica a bióloga Alessandra Alves de Souza, diretora de Pesquisa e Desenvolvimento do IAC, que trabalhou no projeto durante seu doutorado.

Já sabendo que a bactéria obstruía o xilema, os vasos que distribuem água e sais minerais para a planta, ela descobriu uma molécula eficaz contra o patógeno: a N-acetilcisteína (NAC), apresentada em um artigo publicado em agosto de 2013

na PLOS ONE. A molécula estimulou a criação de uma startup, a CiaCamp, incubada no Centro de Citricultura do IAC.

Mais recentemente Souza desenvolveu uma variedade de laranjeira transgênica resistente à bactéria *Xylella*. Ela introduziu no genoma da planta um gene do patógeno, o *rpfF*, responsável pela produção de uma proteína que reduz sua movimentação. Ao reduzir a mobilidade da bactéria, impede-se que ela se espalhe pela planta.

A lista de herdeiros diretos do Projeto Genoma inclui o Genoma Humano do Câncer e diversos outros voltados ao campo da agronomia, como o Genoma da Cana-de-açúcar e de *Xanthomonas citri*, bactéria causadora do cancro cítrico (*ver cronologia na versão on-line desta reportagem*). Mesmo depois de encerrado o Programa Genoma, em 2008, a genômica continuou a receber atenção da FAPESP, que apoiou 262 projetos de pesquisa nessa área até novembro de 2025. “A ciência genômica que existe no Brasil começou na FAPESP

com o projeto de *Xylella*”, reitera Zago. Ele destaca que o sequenciamento do vírus da Covid-19 – realizado em apenas dois dias após a confirmação do primeiro caso no Brasil, em fevereiro de 2020 – também é herdeiro desse projeto.

Vinte e cinco anos atrás, Zago não imaginava que uma nova vertente no campo da medicina estava se abrindo com pesquisas sobre um fitopatógeno. Em 1997, ele era professor do Departamento de Hematologia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP) da USP e havia sido um dos primeiros pesquisadores no país a realizar estudos com DNA humano. Recebeu com estranheza o convite para trabalhar com uma bactéria que atacava laranjas. Mas parou para ouvir um de seus jovens orientandos do programa de doutorado em genética, que estava animado com as potencialidades do projeto. “Vamos progredir tecnicamente”, argumentava o aluno. Convencido, participou do sequenciamento de *Xylella*, capacitando sua equipe e equipando seu laboratório, e logo em seguida participou do Genoma Humano do Câncer. O jovem orientando, Wilson Araújo da Silva Jr., hoje é chefe do Departamento de Genética da FMRP-USP.

Araújo é apenas um dos exemplos de pesquisadores que tiveram saltos na carreira – em universidades, institutos de pesquisa ou empresas – a partir dos aprendizados obtidos no decorrer do projeto. Ainda que valorize a experiência adquirida, Reinach é pragmático: “Está na hora de parar de comemorar o passado e pensar no presente”, diz. ●



Reunião de preparação do artigo científico com as conclusões do Projeto Genoma *Xylella*

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

Entre o Oriente e o Ocidente

Filha de decasségui, a socióloga Mariana Shinohara Roncato estudou a realidade dos trabalhadores brasileiros em fábricas no Japão



Nasci em São Paulo e sou descendente de japoneses por parte de mãe e de italiano com lituano pelo lado paterno. Em 1991, quando eu tinha 9 anos, meus pais decidiram imigrar para o Japão, engrossando a leva de decasségui que marcará aquela década no Brasil.

A palavra decasségui significa “sair de seu local de origem para ganhar dinheiro”. E, naquela época, passou a identificar descendentes de japoneses pelo mundo que se mudavam para o Japão em busca de melhores salários e executavam funções pouco qualificadas.

No Brasil, esse fluxo começou timidamente em meados dos anos 1980. No início da década seguinte, o governo japonês reformou sua lei imigratória e passou a conceder vistos para que descendentes de japoneses até a terceira geração, como era o caso da minha mãe, pudessem

trabalhar no país. Com isso, a onda imigratória aumentou.

Vivi com meus pais na cidade de Toyota, sede da montadora japonesa de mesmo nome, na província de Aichi. Meus tios e primos maternos já estavam lá, o que facilitou nossa integração. Fomos morar em um conjunto habitacional apelidado de Little Brazil, tamanha a quantidade de brasileiros que abrigava.

Mesmo não tendo ascendência japonesa, meu pai trabalhou como operário em uma fábrica automotiva subcontratada da Toyota. Minha mãe atuou na linha de montagem da mesma fábrica por um curto período. Depois, teve um problema de saúde e deixou o emprego.

Eu não falava japonês quando cheguei à terra natal do meu avô materno, mas rapidamente aprendi a língua e me adaptei muito bem à cultura local. Durante a adolescência, só me comunicava

em japonês e quase todas minhas amigas eram nativas.

No final da década de 1990, meu avô paterno ficou doente e meus pais decidiram retornar ao Brasil. Vim com eles, mas após um curto período, com dificuldade de adaptação, pedi para voltar. Minha mãe então me emancipou legalmente quando eu tinha 17 anos e morei no Japão até terminar o ensino médio.

Retornei ao Brasil no início dos anos 2000. Entre 2005 e 2009, fiz a graduação em ciências sociais na Universidade Estadual de Londrina [UEL], no Paraná. Ganhei uma bolsa de iniciação científica e realizei um estudo sobre o trabalho informal na cidade.

Para cursar o mestrado, voltei ao estado de São Paulo. Fiz minha pesquisa entre 2011 e 2013, na Unicamp [Universidade Estadual de Campinas], sob orientação do professor Ricardo Antunes, uma

À esquerda, Roncato na ponta dos Seixas, em João Pessoa (PB), considerado o ponto mais oriental da América do Sul; e em 2017, em Tóquio, no Japão, durante o doutorado

das principais referências no Brasil em estudos sobre sociologia do trabalho.

Na dissertação, busquei analisar o que estava acontecendo com os imigrantes brasileiros no Japão, mas sem deixar de levar em conta a situação da classe trabalhadora japonesa mais precarizada, a chamada *working poor*. Eu queria entender como esse tipo de trabalhador japonês e o imigrante são impactados por uma crise econômica.

Naquela época, o Japão vivia a ressaca da crise financeira mundial de 2008. No estudo, constatei que os trabalhadores imigrantes foram os primeiros a serem atingidos e muitos deles foram embora do país.

Ainda como parte da dissertação, investiguei a realidade dos chamados cyber refugiados. Eram japoneses em situação de rua que viviam de bicos e usavam os computadores de lan houses para procurar trabalho. Eles aproveitavam para dormir nesses estabelecimentos, que possuíam baias separadas, como se fossem pequenos quartos.

Em 2013, durante minha pesquisa, vivi seis meses em Paris para acompanhar meu companheiro na época, que foi fazer parte do mestrado na França. Ali conheci pessoalmente Helena Hirata, filósofa de formação e referência nos estudos sobre sociologia do trabalho e gênero.

Helena nasceu no Japão, cresceu no Brasil e se exilou na França na década de 1970, durante a ditadura militar [1964-1985]. Eu me aproximei das teorias feministas assistindo como ouvinte às suas palestras no CNRS [Centro Nacional de

Pesquisa Científica], onde atualmente ela é diretora de pesquisa emérita.

Entre seus temas de estudo, está o fenômeno das mulheres japonesas que possuem diploma universitário, mas abandonam o mercado profissional após o casamento e a maternidade. Essa divisão do trabalho por imposição de gênero é algo marcante no Japão. Até hoje as mulheres são responsáveis por quase todas as tarefas domésticas. Muitas amigas com quem cresci abriram mão da carreira depois que se casaram e tiveram filhos.

Isso influenciou meu doutorado, que iniciei em 2014 na Unicamp, também sob orientação de Ricardo Antunes. Na tese, busquei entender as condições de trabalho da imigrante decasségui. Para realizar a pesquisa de campo, voltei a morar por um ano no Japão, entre 2016 e 2017, com apoio da FAPESP. Fui aceita como pesquisadora visitante da Universidade de Sophia, em Tóquio, e ia frequentemente à cidade de Toyota.

Para mim, foi uma emoção muito grande voltar ao Japão 15 anos após ter deixado o país. Retornei ao lugar onde cresci em outra condição: a filha de decasségui havia se tornado socióloga. Meus pais não tiveram a oportunidade de fazer faculdade e eu estava ali fazendo pesquisa acadêmica em um ambiente que me era familiar.

Meus primos trabalhavam em fábricas e me ajudaram a marcar entrevistas com outros decasséguis. Para ampliar a lista, eu frequentava supermercados, lanchonetes, academias e lojas voltadas para a comunidade brasileira em Toyota. Na ocasião, essa comunidade reunia mais de 200 mil pessoas no Japão.

Na tese, mostro, por exemplo, que essas trabalhadoras têm remuneração 30% mais baixa e maior risco de serem demitidas em relação aos seus compatriotas imigrantes, além de serem vítimas de insultos de cunho sexista. Defendi minha pesquisa de doutorado em 2020. Agora, estou preparando a publicação da pesquisa em formato de livro, que deve sair no segundo semestre de 2026.

Em um pós-doutorado entre 2022 e 2024 na Unicamp, analisei a chamada plataforma do trabalho no Brasil e de que forma ela intensifica a precarização da vida dos trabalhadores. Isso ocorre, por exemplo, com o aumento das



jornadas de trabalhos e o aprofundamento das desigualdades de raça e gênero.

Mais uma vez minha pesquisa foi supervisionada pelo Ricardo. Hoje, integro um grupo de pesquisa sobre trabalho, tecnologia e impactos sociais que ele coordena na Unicamp. Recentemente, nosso grupo lançou em parceria com o Ministério Público do Trabalho (MPT) de Campinas a campanha “#direitos-deverdade”. Uma das metas é mostrar que hoje essa plataforma não se restringe a motoristas e entregadores de aplicativos, estendendo-se a diversos segmentos do mundo do trabalho.

Atualmente moro em João Pessoa. Desde o início de 2025 sou professora adjunta do Departamento de Ciências Sociais da Universidade Federal da Paraíba [UFPB] e do Programa de Pós-graduação em Sociologia da mesma universidade. Vivo um novo começo. ●

DEPOIMENTO CONCEDIDO A LIA HAMA



SAIBA MAIS
Campanha
#direitosdeverdade

As facetas de um pensador

MAURICIO CHALFIN COUTINHO



Celso Furtado – Trajetória, pensamento e método
Alexandre de Freitas Barbosa e Alexandre Macchione Saes
Autêntica Editora
320 páginas
R\$79,80

Celso Furtado – *Trajetória, pensamento e método*, de Alexandre de Freitas Barbosa e Alexandre Macchione Saes, apresenta ao leitor um relato completo da vida e da obra de um dos mais influentes economistas brasileiros. Embora a introdução informe que estudantes e jovens são o público especialmente visado pelos autores, o livro na certa se converterá em leitura obrigatória para todos os estudiosos de Furtado, por diversas razões.

A primeira delas é a cobertura abrangente e criteriosa da produção intelectual de Furtado. Como se sabe, além do celebrado *Formação econômica do Brasil* (1959), o economista publicou diversos livros, artigos, coletâneas, ensaios; alguns deles, reformulados pelo próprio autor e reapresentados em novas edições. Barbosa e Saes efetuaram uma exaustiva recuperação dessa produção intelectual, com atenção a títulos (e mudanças de títulos), anos de concepção e publicação dos textos.

Adicionalmente, o livro nos introduz aos “vários Furtados”: o intelectual, o funcionário internacional, o homem público. A sua produção intelectual é apresentada em seus contextos, com atenção ao ambiente em que foi formulada, bem como à repercussão e aos debates suscitados, em um período de imensas transformações na economia brasileira e internacional.

Para melhor empalmar a análise da obra de Furtado, os oito capítulos acompanham passagens significativas de sua trajetória. Começa com o período de 1920-1948 (“O jovem Furtado”), prossegue por 1948-1958 (sobre a “aventura” na Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe, a Cepal) e 1958-1964 (que trata das passagens pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, a Sudene, e pelo Ministério do Planejamento do governo João Goulart).

A linha temporal continua com dois capítulos dedicados ao período no exílio (1964-1980). Além disso, os autores narram o retorno do intelectual à cena nacional (1980-1988) e o período pós-Ministério da Cultura do governo José Sarney, compreendido entre 1988 e 2004, ano da morte de Furtado. Por fim, há um capítulo dedicado a *Formação econômica do Brasil* e ao “método histórico-estrutural”.

Todo intérprete do pensamento de Furtado depara-se com um aparato adicional, que é o pró-

prio memorialismo do autor. Isso está expresso na “obra autobiográfica” e em material apenas recentemente publicado, como *Diários intermitentes* e *Correspondência intelectual 1949-2004*, organizados por Rosa Freire d’Aguar. Nesses textos nos aproximamos da trajetória de Furtado por seu próprio relato, o que de um lado fornece ao comentador um aparato adicional e autorizado, e de outro coloca todos os intérpretes diante do obstáculo adicional de uma eventual colisão com os relatos ou interpretações emanadas de fonte autorizadíssima.

Acredito que Barbosa e Saes tenham se saído bem nesse cruzamento entre os relatos do próprio Furtado e suas particulares apreciações sobre a obra e seus contextos. Destaque-se que, além dos comentadores voltados aos diversos aspectos da obra de Furtado, há um certo número de memorialistas, ou autores que recuperam a biografia de Furtado. Barbosa e Saes se valem bastante – talvez excessivamente – de uma fonte específica, o sociólogo Francisco de Oliveira (1933-2019).

Tendo como referência o aparato analítico desenvolvido por Furtado, os autores se aventuram ainda em interpretações próprias a respeito dos horizontes da economia e da sociedade brasileiras, as quais procuram explorar, para além de Furtado, o “método histórico-estrutural”. Projetam-se para a contemporaneidade brasileira, ou para o pós-Furtado, com base em um método cuja discussão nos levaria muito longe. Barbosa e Saes sugerem ainda críticas à ciência econômica *mainstream*. Reafirmam a necessidade de, menos do que “prever”, “transformar o mundo em que vivemos”. Enfim, valem-se da recuperação da obra de Furtado e de seu método para sugerir uma crítica à ciência econômica dominante no pós-guerra.

Em seu conjunto, o livro combina recortes bem fundamentados do panorama brasileiro em diversas épocas com a apresentação minuciosa da obra de Furtado. A referência aos comentadores é igualmente ampla e atualizada. Como disse no início, apesar de ser dirigido a um público diverso, o trabalho representará uma referência indispensável aos pesquisadores de Furtado.

O economista **Maurício Chalfin Coutinho** é professor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

PRESIDENTE

Marco Antonio Zago

VICE-PRESIDENTE

Carmino Antonio de Souza

CONSELHO SUPERIOR

Antonio José de Almeida Meirelles, Carlos Gilberto Carlotti Junior, Felipe Ferreira Guimarães Figueiredo, Frankim Shunjiro Nishimura, Helena Bonciani Nader, Herman Jacobus Cornelis Voorwald, Marcilio Alves, Maria Arminda do Nascimento Arruda, Pedro Wongtschowski, Thelma Krug

CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO

DIRETOR-PRESIDENTE

Carlos Frederico de Oliveira Graeff

DIRETOR CIENTÍFICO

Marcio de Castro Silva Filho

DIRETOR ADMINISTRATIVO

Fernando Menezes de Almeida

pesquisa fapesp

ISSN 1519-8774

COMITÊ CIENTÍFICO

Luiz Roberto Giorgetti de Britto (*Presidente*), Ana Claudia Latronico, Ana Claudia Torrecilhas, Ana Cristina Gales, Ana Maria Fonseca de Almeida, Carlos Frederico de Oliveira Graeff, Daniel Scherer Moura, Dario Simões Zamboni, Deisy de Souza, Douglas Zampieri, Eduardo Magalhães Rego, Eduardo Zancul, Fabiana Cristina Komatsu, Fernando Menezes de Almeida, Flávio Henrique da Silva, Gustavo Dalpian, Helena Lage Ferreira, João Pereira Leite, José Roberto de França Arruda, Lício Augusto Velloso, Liliam Sanchez Carrete, Luiz Nunes de Oliveira, Luiz Vitor de Souza Filho, Marcio de Castro Silva Filho, Marco Antonio Zago, Mariana Cabral de Oliveira, Marta Annette, Michelle Ratton Sanchez Badin, Nina Stocco Ranieri, Paulo Schor, Richard Charles Garratt, Rodolfo Jardim Azevedo, Sergio Costa Oliveira, Sidney José Lima Ribeiro, Sylvio Canuto, Wilson Rosa de Almeida

COORDENADOR CIENTÍFICO

Luiz Roberto Giorgetti de Britto

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*) e Ricardo Zorzetto (*Ciências Biomédicas*), Yuri Vasconcelos (*Tecnologia*), Ana Paula Orlandi (*Humanidades*) e Christina Queiroz (*editora assistente*)

REPÓRTER Sarah Schmidt

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

FOTÓGRAFO Léo Ramos Chaves

BANCO DE IMAGENS Valtier 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*)

VIDEOS Christina Queiroz (*Coordenadora*)

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

REVISÃO Alexandre Oliveira e Margô Negro

REVISÃO TÉCNICA Ana Maria de Almeida, Célio Haddad, Gabriel Romero, Gabriela Pellegrino Soares, Helenice Mercier, José Eduardo Corá, José Roberto Arruda, Karl Heinz Kienitz, Klaus Hartfelder, Luiz Nunes de Oliveira, Nina Ranieri, William Wolf

COLABORADORES Arthur Marchetto, Eduardo Magossi, Fernanda Sandrini, Giselle Soares, Guilherme Costa, Igor Zomerkevich, Lia Hama, Marcia Cariri, Mariana Ceci, Mauricio Chalfin Coutinho, Paulo Rossi, Renata Fontanetto, Samuel Fernandes, Suzel Tunes

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 27.990 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

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

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

FLORESTA AMAZÔNICA

A presença humana, as queimadas criminosas, o desmatamento e o aquecimento global estão matando a maior floresta tropical do mundo (“Sufoco duplo”, edição 356). Sem a floresta amazônica, que funciona como um irrigador natural da atmosfera, o clima do Brasil vai mudar para sempre. E não será para melhor.

Gustavo Schmidt

PLANTA INVASORA

O tojo já está infestando os campos de altitude de Santa Catarina, em especial Lages e São Joaquim (“As estratégias de uma invasora”, edição 357). Infelizmente nada está sendo feito para controlar a espécie.

Rafael Barbizan Sühs

PERCURSO DE EDITORES

Foi uma experiência muito importante na minha formação a leitura da coleção Vaga-lume, idealizada pelo editor Jiro Takahashi (“Caminhos de papel”, edição 356).

Bruno Sipavicius

VIDEOS

Nos anos 1980-90 tivemos uma *vibe* “geração saúde” que parecia tender para

o fim do cigarro. Havia proibição de propagandas, de fumar em vários ambientes fechados... Inimaginável que o futuro reservaria um modelito eletrônico ainda mais tóxico (“Vape: a armadilha que atrai os jovens para o vício”).

Ana Claudia Lessinger

Lindíssimo (“O renascimento do Palácio Gustavo Capanema”). Pretendo voltar ao Rio de Janeiro em breve só para poder vê-lo reformado.

Nuno Brito



Incrível o enorme esforço, pesquisa e trabalho dessa equipe para tornar toda a documentação encontrada acessível ao público (“Pesquisa descobre tesouros em acervo musicográfico centenário”).

Isima Much

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: assinaturaspesquisa@fapesp.br

LICENCIAMENTO DE CONTEÚDO

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

CONTATOS

revistapesquisa.fapesp.br

redacao@fapesp.br



PesquisaFapesp



[pesquisa_fapesp](https://www.instagram.com/pesquisa_fapesp)



[@pesquisa_fapesp](https://twitter.com/pesquisa_fapesp)



[PesquisaFapesp](https://www.youtube.com/PesquisaFapesp)



[pesquisafapesp](https://plus.google.com/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.



Muito comum, nada banal

Ao longo de seus dois meses de vida, a água-viva *Lychnorhiza lucerna* desenvolve uma variedade de nematocistos, armas microscópicas usadas para capturar e imobilizar presas e que, em muitas espécies, causam queimaduras em banhistas de praia. Essas estruturas só podem ser caracterizadas ao microscópio e foram registradas em cada fase de desenvolvimento pela bióloga Fernanda Sandrini. Agrupamentos delas aparecem como pontos brancos na imagem. Na cavidade gastrovascular, onde o alimento é armazenado e processado, esses conjuntos se projetam na forma de dedos, chamados cirros gástricos. Abundante em todo o litoral brasileiro, o animal nesta imagem é visto por baixo.

Imagem enviada por **Fernanda Sandrini**, obtida durante a iniciação científica no Laboratório de Cultivo e Estudos de Cnidaria, no Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo

folheie **pesquisa**fapesp onde estiver



Faça o download
das edições e leia a revista
na plataforma ISSUU.
Para receber os avisos,
é só se cadastrar
issuu.com/pesquisafapesp

para assinar:



www.revistapesquisa.fapesp.br

revista **pesquisa** fapesp

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