

## Fábrica de células contra o câncer

USP de Ribeirão Preto produz e testa em pacientes linfócitos especializados em combater doenças do sangue

Universidades públicas usam emendas parlamentares para complementar orçamento

Vape se espalha entre jovens e rapidamente provoca dependência de nicotina

Pesquisadores buscam converter CO<sub>2</sub> em combustíveis sustentáveis para navios e caminhões

Com o Plano Nacional de Educação, aumenta acesso à escola, mas qualidade segue desigual

Profundezas marinhas revelam peixes que se acendem como estratégia de defesa

# acompanhe o site de pesquisa fapesp

REPORTAGENS EXCLUSIVAS

VÍDEOS, PODCASTS E GALERIAS DE IMAGENS

ATUALIZAÇÕES DIÁRIAS

NAVEGAÇÃO SIMPLES

COMPATÍVEL COM DISPOSITIVOS MÓVEIS



pesquisa fapesp

área de busca [atualizar](#) [notícias](#) [edição impressa](#) [busca](#)

Ciência

Política/C&T

Tecnologia

Humanidades

Ética

Saúde

Sustentabilidade

Cultos

Vídeos

Podcasts



MEDICINA

Combinação de marcadores de lipoproteínas pode avaliar com mais precisão o risco de doenças cardíacas

POR MARINA MACHADO

POSSIBILIDADE

População de veados nos EUA cresceu de 300 mil para 35 milhões após a redução da caça no século XX

INovação

FINANCIAMENTO

PRÊMIO FONDEDOCH



galeria de imagens



Cadastre-se  
e receba  
nossas newsletters  
gratuitas

e-metanol usa fonte  
renovável e  
CO<sub>2</sub> capturado  
(ENERGIA VERDE, P. 58)

revista **pesquisa** fapesp

**5 CARTA DA EDITORA**  
**6 NOTAS**

- CAPA**  
**12** Centro paulista fornece células modificadas para tratar cânceres sanguíneos em testes com pacientes
- 20** Pesquisadores brasileiros aprimoram terapia antitumoral que reduz risco de rejeição

- ENTREVISTA**  
**22** Engenheiro nuclear Renato Cotta defende que Brasil invista mais em energia atômica
- FINANCIAMENTO**  
**28** Emendas parlamentares complementam orçamento de universidades públicas

- ENTREVISTA**  
**32** Socióloga Eurídice Monteiro alerta para o risco de assimetrias em redes de pesquisa
- BOAS PRÁTICAS**  
**34** Novo ranking de universidades utiliza indicadores ligados à má conduta

- DADOS**  
**37** Escolaridade superior cresce no Brasil
- BOTÂNICA**  
**38** Ecólogos identificam espécies de árvores que favorecem o crescimento de outras

- ECOLOGIA**  
**42** Áreas urbanas repelem pássaros mais atraentes, empobrecendo a fauna das metrópoles
- BIOQUÍMICA**  
**44** Profundezas marinhas revelam proteínas emissoras de brilho e peixes que se acendem

- EPIDEMIOLOGIA**  
**48** Maioria dos adolescentes que experimentaram *vapes* mantém consumo
- SAÚDE PÚBLICA**  
**52** Alimentos aumentam ou diminuem anos de vida saudável

**CAPA**  
Amanda Mizukami,  
gerente de produção do  
Nutera-RP, segura  
bolsa usada no preparo  
de células CAR-T

**FOTO** LÉO RAMOS CHAVES

**4<sup>a</sup> CAPA**  
IMAGEM STEVE GSCHMEISSNER /  
SCIENCE PHOTO LIBRARY /  
GETTY IMAGES





Para a saíra-ferrugem (*Hemithraupis ruficapilla*), a cidade pode ser perigosa (ECOLOGIA, P. 42)

1

## ENERGIA VERDE

**58** Projetos de pesquisa buscam converter CO<sub>2</sub> em combustíveis sustentáveis

## ENGENHARIA QUÍMICA

**63** Planta-piloto testará processo para reciclar baterias de íons-lítio

## ENGENHARIA NAVAL

**66** Avança o desenvolvimento do submarino nuclear brasileiro

## POLÍTICAS PÚBLICAS

**70** Plano Nacional de Educação amplia acesso à escola, mas não cumpre a maioria de seus objetivos

## HISTÓRIA

**76** Segunda visita da Inquisição ao Brasil teve mais denúncias do que se conhecia

## LINGUÍSTICA

**80** Como a variação da língua influencia a percepção social e molda identidades

## OBITUÁRIOS

**84** Luiz Henrique Lopes dos Santos (1949-2025)  
**86** Jean-Claude Bernardet (1936-2025)  
**88** Mateus Paranhos da Costa (1957-2025)

## MEMÓRIA

**90** Lançada há 70 anos, vacina antipólio evitou milhares de mortes

## ITINERÁRIOS DE PESQUISA

**94** O geógrafo Jorge Morteau investiga como países do Sul global podem articular redes de cooperação

## RESENHA

**96** *Leite para os trópicos! Consumo, produção e políticas públicas no Brasil, 1889-1964*, de Sören Brinkmann. Por Alexandre Macchione Saes

## 97 COMENTÁRIOS

## 98 FOTOLAB

[WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR](http://WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR)



VÍDEOS

**CÂNCER DE MAMA**

**E DE COLO DO ÚTERO AVANÇAM**

**ENTRE JOVENS NO BRASIL**

Cresce a mortalidade por esses tumores no país, principalmente na faixa etária abaixo dos 40 anos



COMO PESQUISADORES

**BUSCAM NOVOS TIPOS DE COGUMELOS COMESTÍVEIS**

Estudo se apoia no conhecimento de povos originários e comunidades rurais para identificar espécies com potencial de consumo



PODCAST

**TRAÇOS SINGULARES DO DNA BRASILEIRO**

Os impactos de conhecer melhor a diversidade genômica da população do país. E mais: acervo musicográfico; cicatrizes nas encostas; colisão no espaço

Este conteúdo está disponível em acesso aberto no site [www.revistapesquisa.fapesp.br](http://www.revistapesquisa.fapesp.br), que contém, além de edições anteriores, versões em inglês e espanhol e material exclusivo

Veículo submersível pronto para mergulhar: exploração das profundezas marinhas (BIOQUÍMICA, P. 44)



# Termos genéricos e rigor

ALEXANDRA OZORIO DE ALMEIDA — diretora de redação

**C**âncer é um termo guarda-chuva usado para agrupar mais de 100 doenças, todas caracterizadas pelo crescimento descontrolado de células. Fruto de erro no processo normal de reprodução celular, pode ocorrer em qualquer órgão e tecido, por diferentes mecanismos, o que dificulta o desenvolvimento de um tratamento abrangente.

Terapias convencionais incluem quimioterapia, radioterapia e cirurgia, com variados graus de eficácia e efeitos colaterais. Uma rota mais recente são as imunoterapias, que almejam o aumento ou o restabelecimento do sistema de defesa do corpo humano. Enquanto os tratamentos convencionais eliminam o câncer, o objetivo dessas terapias é ajudar o próprio sistema imunológico a fazê-lo. Exemplos incluem os anticorpos monoclonais, elaborados em laboratório, e as vacinas contra determinados tipos de câncer, como HPV.

A descoberta nos anos 1980 de que era possível manipular os linfócitos T, uma família de células que coordena a resposta imunológica, destrói células infectadas ou cancerosas e age como memória viva desses alvos, levou a uma nova área de pesquisa. Hoje, as células CAR-T se consolidam como tratamento de certos cânceres do próprio sangue. Os linfócitos T de um dado paciente são extraídos e, em laboratório, são acrescentados receptores sintéticos programados para identificar o antígeno específico do câncer que o acomete, criando-se um medicamento vivo, feito sob medida.

O Hemocentro de Ribeirão Preto, ligado à USP, foi pioneiro no Brasil em oferecer essa terapia, em 2019. Lá funciona o maior centro da América Latina especializado na produção de linfócitos T geneticamente modificados. Nossa editor de Ciências Biomédicas, Ricardo Zorzetto, passou dois dias no Núcleo de Terapia Avançada de Ribeirão Preto e relata o estado da arte das pesquisas e tratamentos nessa área, que tiveram início nos

anos 2000 com o Centro de Terapia Celular, financiado pela FAPESP (*página 12*). Torná-la mais acessível é um dos objetivos de instituições brasileiras empenhadas em criar versões próprias das CAR-T, por meio de diferentes mecanismos, como alternativa aos produtos comerciais existentes, de custo proibitivo e indisponíveis no SUS.

Outra viagem da equipe, que também contou com o registro fotográfico de Léo Ramos Chaves, nasceu da entrevista com o engenheiro Renato Cotta (*página 22*). Atuante no Programa Nuclear da Marinha, Cotta participou do desenvolvimento das ultracentrífugas de enriquecimento de urânio que produzem combustível para as usinas de Angra, RJ. Por seu intermédio, nosso editor de Tecnologia, Yuri Vasconcelos, visitou as instalações do Centro Industrial Nuclear de Aramar, em Iperó, SP (*página 66*). Ele relata o andamento do programa, que, entre altos e baixos de orçamento, avança há 40 anos. Nessa temática, outra reportagem mostra que as universidades públicas brasileiras têm recorrido crescentemente a emendas parlamentares para financiar desde sua infraestrutura e manutenção até projetos de pesquisa (*página 28*).

\*

Enquanto fechávamos esta edição, chegou a notícia da morte do filósofo Luiz Henrique Lopes dos Santos, coordenador científico desta revista por 21 anos. É difícil sintetizar a sua importância na construção da identidade da publicação. Deixa como legado a defesa da precisão e da qualidade do texto e a busca pelo equilíbrio entre o rigor científico e a comunicação jornalística para o público mais amplo. Além do obituário (*página 84*), convido-os a ler (ou reler) a entrevista publicada em maio (ver *Pesquisa FAPESP* nº 351), concedida antes do diagnóstico de câncer. Expressava-se com o rigor da lógica e fina ironia.



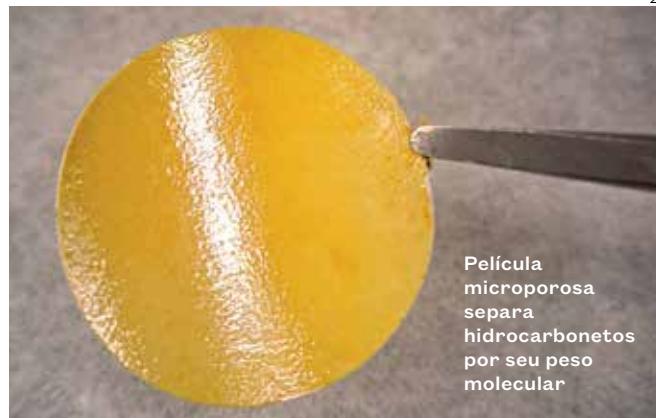
Baixa capacidade de regulação da temperatura corporal desfavorece essa espécie em épocas mais quentes

# Preguiças morrem com o calor na Amazônia

As ondas de calor e a seca extrema no fim de 2023 e início de 2024 não deixaram apenas peixes, golfinhos (*Sotalia fluviatilis*) e botoes (*Inia geoffrensis*) mortos às margens dos rios da Amazônia. De outubro a dezembro de 2023, biólogos do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e da Universidade Federal do Amazonas (Ufam) encontraram 19 animais mortos em um fragmento florestal próximo a Manaus, monitorado desde 1998, sem nunca ter registrado um total tão alto de mortes em apenas três meses. Dez eram preguiças-de-três-dedos (*Bradypus variegatus*), quatro cutias (*Dasyprocta* sp.), duas jiboias (*Boa constrictor*), dois araçaris (*Pteroglossus* sp.) e um tamanduaí (*Cyclopes* sp.). A alta mortalidade das preguiças se explica pela lentidão dos movimentos, dificultando a busca por lugares com temperaturas mais amenas, e pela baixa capacidade de regulação da temperatura corporal, mais alta que a do ambiente. A mortalidade foi estimada em 1,3 preguiça por hectare (ha), mais da metade da densidade de animais vivos registrada na mesma área, de 2,2 indivíduos por ha. Episódios similares podem voltar a ocorrer, já que as ondas de calor tendem a se tornar mais intensas e frequentes (*Acta Amazonica*, 9 de junho).

## Uma membrana para filtrar petróleo

Engenheiros do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), dos Estados Unidos, desenvolveram uma membrana que filtra os componentes do petróleo bruto por seu tamanho molecular. A película é feita com uma molécula chamada MPD, dissolvida em água, que reage com outra, TMC, dissolvida em hexano. Ao se unirem, as duas formam uma fina película de poliamida. Os pesquisadores alteraram a ligação química que conecta as moléculas e acrescentaram triptícano, que ajuda a formar poros com o tamanho certo para a passagem de hidrocarbonetos. A película foi usada com bons resultados para separar uma mistura de tolueno e triisopropilbenzeno e outra de nafta, querosene e diesel. "Com uma membrana como essa, poderíamos ter um estágio inicial que substitua uma coluna de fracionamento de petróleo bruto, separando moléculas pesadas e leves, e, em seguida, usar membranas diferentes em cascata para purificar misturas complexas e isolar



Película microporosa separa hidrocarbonetos por seu peso molecular

os produtos químicos necessários", afirma Zachary Smith, coordenador do trabalho, em um comunicado do MIT. Caso se mostre viável em grande escala, a inovação poderia reduzir a quantidade de energia necessária para fracionar a mistura de hidrocarbonetos em produtos como gasolina e diesel (*Science*, 22 de maio).

## Uma explicação para a dengue grave

Pesquisadores da Universidade de Pittsburgh, dos Estados Unidos, e do Instituto Aggeu Magalhães, de Recife, encontraram uma explicação para um fenômeno intrigante: pessoas de ascendência africana tendem a ter casos mais leves de dengue e as de ascendência europeia a forma mais grave. Em amostras de pele doadas por indivíduos autoidentificados como descendentes de europeus ou africanos que haviam passado por cirurgias de redução de peso, os cientistas injetaram o vírus da dengue e observaram as respostas imunológicas. A reação foi muito maior na pele de pessoas com ascendência europeia: o vírus infecta células inflamatórias e as faz disseminar a infecção pelo corpo, em vez de combatê-la. Nas amostras de pessoas com maiores proporções de ascendência africana (confirmada geneticamente), a resposta inflamatória e a replicação viral foram menores, indicando uma adaptação de populações antigas expostas a vírus letais transmitidos por mosquitos. O efeito foi revertido com a adição de moléculas inflamatórias chamadas citocinas (*PNAS*, 30 de junho).

## Concreto com café, em vez de areia

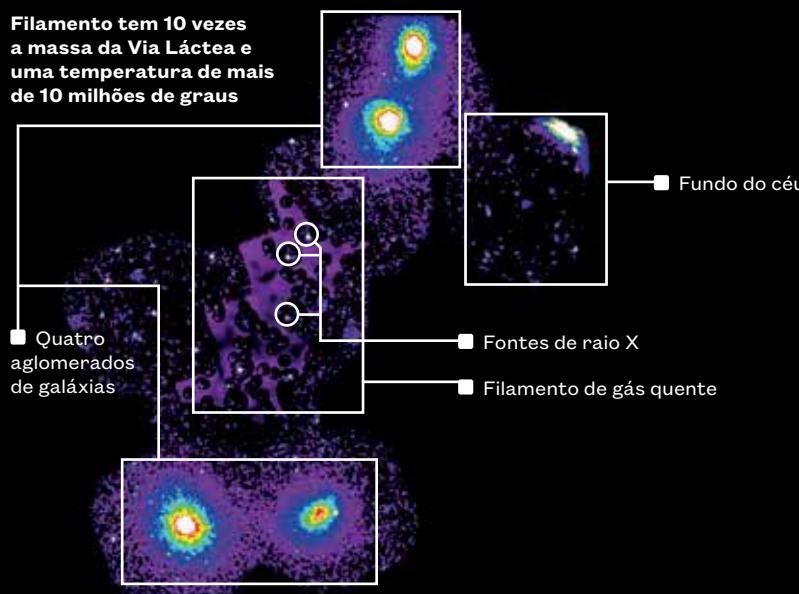
Os grãos moídos de café, uma vez usados, tornam-se um resíduo que vai para o lixo ou para a compostagem. Pesquisadores do Instituto Real de Tecnologia de Melbourne (RMIT), na Austrália, encontraram uma possível utilidade para as sobras do pó: usá-las para substituir parte da areia empregada para fazer concreto. Como não pode ser adicionada diretamente, por liberar compostos orgânicos que poderiam enfraquecer a resistência do concreto, a borra é submetida a uma pirólise (queima controlada, sem oxigênio) a 350 graus Celsius, resultando em um carvão poroso e rico em carbono. O concreto com esse aditivo apresentou uma resistência 30% maior que a do material tradicional, mas ainda será necessário avaliar a durabilidade e o desempenho da nova mistura à abrasão, à absorção de água e a ciclos alternados de congelamento e descongelamento. Se avançar, esse material híbrido poderia ajudar a resolver dois problemas ao mesmo tempo, a destinação dos resíduos de café e a escassez de areia natural, normalmente retirada de margens e leitos de rios, em todo o mundo (*Journal of Cleaner Production*, 20 de setembro).



Normalmente descartada, borra serve como aditivo que reforça a resistência da mistura com cimento

# Gases superquentes conectam galáxias

Astrônomos descobriram um filamento de gás conectando quatro aglomerados de galáxias. Com uma temperatura de mais de 10 milhões de graus, o filamento contém cerca de 10 vezes a massa da Via Láctea e conecta dois aglomerados de galáxias em uma extremidade e dois na outra. Todos fazem parte do Superaglomerado Shapley, conjunto de mais de 8 mil galáxias que forma uma das estruturas mais massivas conhecidas até agora. O filamento se estende por 23 milhões de anos-luz. Ele poderia conter parte da matéria ainda não detectada, principalmente a matéria escura, que compõe 27% do Universo, e, em menor grau, a matéria normal, com 15%. Os modelos teóricos sugerem que a matéria elusiva poderia existir em longas cadeias de gás, ou filamentos, conectando densos bolsões do espaço. Os astrônomos combinaram as observações de um telescópio espacial de raios X da ESA com as de outro da Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (Jaxa) para identificar o filamento (ESA e *Astronomy and Astrophysics*, 19 de junho).



## Vacina antirrábica em gel para morcegos

Um estudo da Universidade do Wisconsin, Estados Unidos, propôs a vacina antirrábica para combater a raiva, doença viral transmitida por morcegos para vacas, porcos, cavalos, cães e gatos. Em um teste, os pesquisadores aplicaram o gel com uma substância fluorescente em 24 morcegos-vampiros (*Desmodus rotundus*), que constituíam 20% de uma colônia no México. Como eles se lambem uns aos outros, capturas subsequentes detectaram o gel em 83% dos morcegos do grupo – praticamente todas as fêmeas e jovens. Na cidade de São Paulo há casos de detecção de raiva em morcegos frugívoros e insetívoros, que podem transmitir a doença caso sejam capturados por cães ou gatos ou manuseados por pessoas sem o treino adequado. É crucial manter os pets vacinados e, caso encontre um morcego no chão, chamar a vigilância sanitária (BioRxiv, 12 de junho).

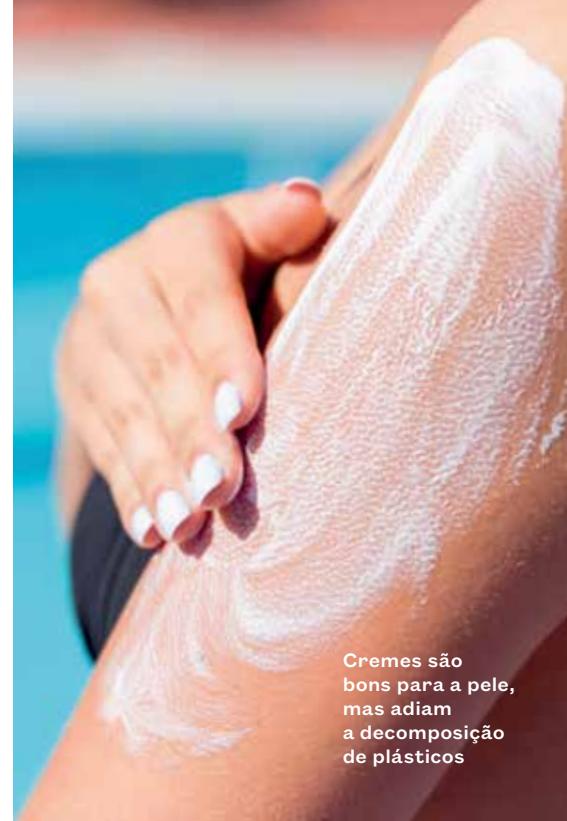


## Sobreviventes de uma Era do Gelo

Entre rochas finas intercaladas por blocos depositados pelo gelo antigo no atual município de Barra do Garças, leste de Mato Grosso, pesquisadores do Brasil e da Argentina encontraram dois exemplares de um artrópode marinho primitivo, uma trilobita do gênero *Mucronaspis*. Com 5 a 6 centímetros (cm) de comprimento e a forma aproximada de uma barata, é a mais antiga já encontrada no Brasil. Deve ter vivido há 443 milhões de anos, quando a Terra passou por um período de intensa glaciação que levou a quedas abruptas nas temperaturas e contribuiu para a primeira grande extinção em massa do período Paleozoico, que dizimou 85% das espécies da Terra. “Conseguimos identificar apenas o gênero, porque geralmente necessitamos da cabeça para chegar à espécie”, diz a paleontóloga Carolina Zabini, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). O trabalho fortalece a hipótese de *Mucronaspis* ser um gênero resistente a condições climáticas extremas. As trilobitas formam cerca de 1.500 gêneros, com milhares de espécies. Surgiram por volta de 521 milhões de anos e viveram até 250 milhões de anos atrás (*Journal of South American Earth Sciences*, 16 de junho de 2025).

## Os efeitos indesejados dos protetores solares

Um dos ingredientes de hidratantes, protetores solares e outros cremes para a pele, o etilhexil metoxicinamato (EHMC) absorve os raios ultravioleta do tipo B, os principais responsáveis pelas queimaduras solares, e evita o surgimento dos sinais externos de envelhecimento precoce, como as manchas. No entanto, de acordo com a Universidade de Stirling, no Reino Unido, pode prolongar a vida útil de embalagens plásticas que chegam ao oceano e, em contato com essa substância, tornam-se mais resistentes à degradação pela luz solar ou por microrganismos. O EHMC dificulta o crescimento de bactérias aeróbicas (com respiração dependente de oxigênio), que ajudam a decompôr plásticos, e favorece o das anaeróbicas (sem oxigênio), mais resistentes a condições ambientais desfavoráveis. Em plásticos imbebidos de EHMC, a quantidade de bactérias degradadoras de poluentes, como *Marinomonas*, diminuiu e aumentou a de outras, como *Pseudomonas*, capazes de causar infecções graves. As descobertas ressaltam a necessidade de levar em conta os compostos químicos nas estratégias de combate à poluição por plástico (*Journal of Hazardous Materials*, 5 de setembro).



Cremes são bons para a pele, mas adiam a decomposição de plásticos

3

## Elucidado o mistério do sexo dos mamíferos que põem ovo

Mais uma coisa esquisita dos ornitorrincos (*Ornithorhynchus anatinus*) e équidnas (*Tachyglossus aculeatus*), os únicos mamíferos que se reproduzem por meio de ovos. Neles, o sexo não é determinado pelo mesmo gene que cumpre essa função em outros animais. A maioria das espécies de mamíferos tem dois cromossomos sexuais (cada um com muitos genes), X e Y. Um embrião com um par XX será fêmea e, com um XY, macho. O processo que faz com que um embrião se desenvolva como macho é normalmente desencadeado por um gene chamado SRY no cromossomo Y masculino. No entanto, esse gene nunca foi encontrado em ornitorrincos e équidnas. Agora, pesquisadores das universidades de Adelaide, de Melbourne e de Monash,

da Austrália, viram que o gene de determinação sexual em monotremados consiste em uma versão adaptada do hormônio antimülleriano (AMH), envolvido na determinação e diferenciação sexual em mamíferos, aves, répteis, anfíbios e peixes. Chamada de AMHY por ser encontrada em um dos cromossomos Y dessas duas espécies, ela se expressa nos órgãos sexuais masculinos e inibe o desenvolvimento de estruturas que dariam origem aos órgãos reprodutores femininos. Alterações no gene AMH ocorridas há cerca de 100 milhões de anos, no início da evolução desses animais, poderiam explicar como o AMHY surgiu e assumiu um papel no desenvolvimento sexual masculino (*Genome Biology*, 27 de maio; *The Conversation*, 12 de junho).

Ornitorrinco na Austrália: sexo definido por um gene derivado de um hormônio



4

# 59 espécies de serpentes no Pampa

O Pampa traz à mente áreas descampadas, frequentemente usadas como pasto para gado bovino. Mas ali vive uma fauna especial, inclusive de serpentes. Agora elas estão listadas no livro *Serpentes do Pampa: Guia ilustrado* (Editora Ponto A) pelos herpetólogos Otávio Marques, do Instituto Butantan, André Eterovic, da Universidade Federal do ABC, Márcio Borges-Martins, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e Ivan Sazima, da Universidade Estadual de Campinas. São 59 espécies, a maior parte mais adaptada à vida no chão do que nas árvores, pouco comuns na maior parte do bioma. “O Pampa cobre apenas 2% do território brasileiro, em termos relativos é uma concentração monstruosa de espécies”, afirma Eterovic. “Temos uma legislação ineficiente e baixa cobertura de unidades de conservação, ao passo que vemos um acelerado processo de conversão das áreas naturais em pastagens manejadas e monoculturas diversas”, ressalta Borges-Martins. Conhecer a fauna rastejante e seu potencial peçonhento também tem importância de saúde pública nessa região onde são frequentes os encontros entre répteis e fazendeiros.

Uma das espécies descritas no Guia, a cobra-verde (*Philodryas estiva*)



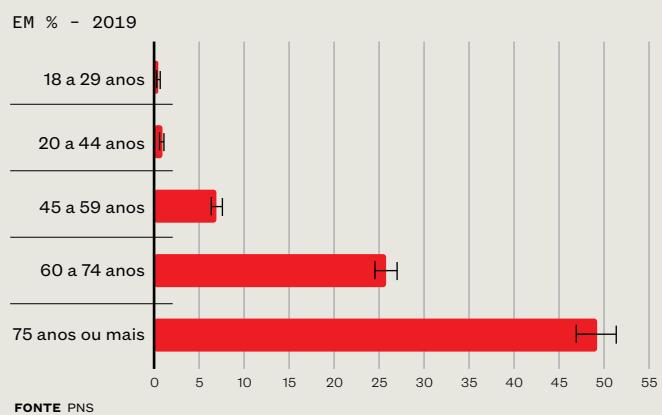
## Os hábitos que levam à perda de dentes

A perda dentária total, chamada edentulismo, tem diminuído na população mais jovem, mas continua alta em idosos. Em um estudo de base populacional, pesquisadores das universidades federais do Rio Grande do Norte (UFRN) e de Juiz de Fora (UFJF) buscaram as possíveis causas e verificaram que esse problema está associado a hábitos diários, ao nível educacional e ao perfil socioeconômico: é mais frequente entre as pessoas com mais de 60 anos que fumam, consomem refrigerantes com alto teor de açúcar e não praticam atividades físicas regulares. Em uma amostra de 22.728 indivíduos com idade média de 70 anos entrevistados na Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019, a mais recente, a perda total de dentes foi de 31,7%. Nesse grupo, 48% não escovavam os dentes todos os dias, 46% eram analfabetos, 37% fumavam, 36% não praticavam atividade física regular e 32% consumiam refrigerantes adoçados (a dieta rica em

## Micro-ondas para detectar câncer

Pesquisadores da Índia, Malásia, Iraque, Paquistão e Brasil (da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) testaram o projeto de um dispositivo nanométrico que produz imagens por micro-ondas para detectar alterações causadas por células tumorais em vesículas do sangue chamadas exossomos. O aparato consiste em vários ressonadores (dispositivo capaz de amplificar ondas eletromagnéticas) feitos de prata e níquel sobre uma base de dióxido de silício. Operando na faixa de 0,1 a 50 tera-hertz (THz), apresentou uma eficiência de absorção de 97,5% na detecção de exossomos com moléculas alteradas pelo câncer. As vesículas já são usadas para avaliar a evolução de tumores, por meio de anticorpos ou corantes. Sensores nanométricos permitiriam uma detecção mais rápida e com maior precisão. O tamanho reduzido, no formato de um paralelepípedo com laterais de somente 100 nanômetros (nm) e espessura de 30 nm, possibilitaria sua integração em aparelhos portáteis de diagnóstico (*IEEE Photonics Journal*, 20 de maio).

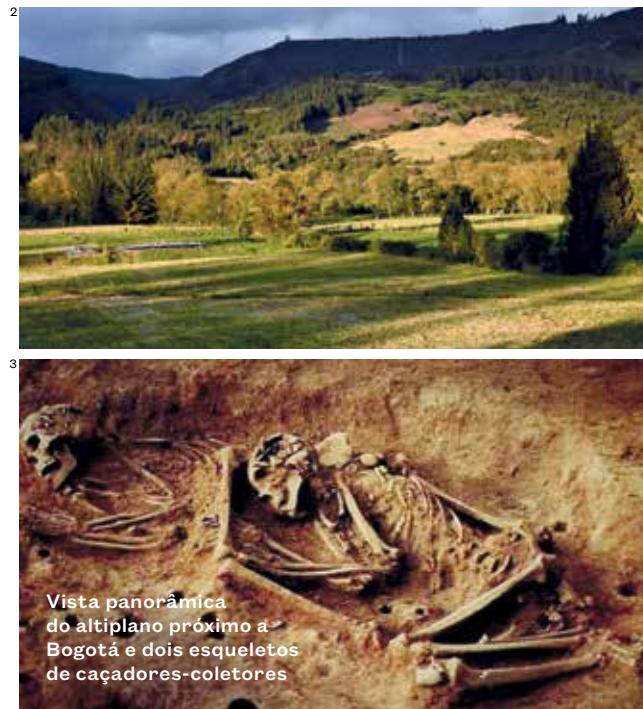
### EDENTULISMO AUMENTA COM A IDADE



açúcares contribui para a diminuição do pH bucal e para a perda de tecido dentário). Geralmente evitável, a perda total ou parcial dos dentes permanentes pode prejudicar a qualidade de vida, a mastigação, a fala e a estética (*Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 12 de maio; PNS 2019).

# Um antigo povo da Colômbia, sem descendentes

Uma população indígena caçadora-coletora misteriosa deve ter vivido no centro da atual Colômbia há 6 mil anos, indicaram análises de DNA de 21 conjuntos de ossos e dentes coletados em cinco locais no planalto do altiplano de Bogotá. Liderada por instituições da Alemanha e Colômbia e aprovada por indígenas descendentes das populações Muisca, que ocupam a região atualmente, a pesquisa revelou que esse grupo não deixou nenhum descendente e não tinha afinidade genética com os habitantes da América do Norte. Não se sabe de onde esse povo veio nem o que exatamente ocorreu com ele. Essa linhagem genética foi substituída há 2 mil anos por uma migração em massa de populações agrícolas vindas da América Central, fabricantes de cerâmica Herrera, falantes da língua chibcha e relacionados geneticamente com povos do Panamá e Venezuela, que deram origem ao povo Muisca. A descoberta dá sustentação à hipótese de que o idioma chibcha surgiu na parte central do continente americano, e só depois chegou ao sul por meio do istmo do Panamá e da Colômbia (*Science Advances*, 28 de maio).



# Roupas de segunda mão poluem ar e rios na África

Em 30 de março, no Dia Internacional do Lixo Zero das Nações Unidas, Inger Andersen, diretora do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), sediado em Nairóbi, no Quênia, afirmou que os resíduos da indústria têxtil estão criando uma crise ambiental nos países africanos. Por causa de uma infraestrutura limitada de gerenciamento de resíduos, roupas usadas, enviadas dos Estados Unidos, Europa e China para a África sob o pretexto de caridade, ocupam cada vez mais espaço em aterros sanitários, são queimadas a céu aberto ou despejadas em rios. "A cada segundo, um caminhão de lixo cheio de roupas é jogado fora ou queimado", disse Andersen.

"Terras, rios e oceanos estão se tornando mais poluídos por itens baratos e facilmente descartáveis." De acordo com o Greenpeace, um mercado de Accra, capital de Gana, recebe por semana 1.500 toneladas de roupas de segunda mão, quase todas com fibras sintéticas que se decompõem em microplásticos. O Pnuma alerta que toda a cadeia têxtil, da produção da fibra até o uso, contribui para a degradação ambiental. Sobras da fabricação em países produtores de roupas como o Quênia têm o mesmo destino. Andersen pediu aos consumidores que reutilizassem roupas e reduzissem o consumo excessivo (*Nature Africa*, 4 de julho).

Mercado de roupas de segunda mão em Kigali, em Ruanda



Made  
in Brazil

NUTERA - NÚCLEO DE TERAPIA  
AVANÇADA

IDENTIFICAÇÃO DE ITEM

CÓDIGO	<i>células CAR-T</i>		
DESCRIÇÃO	<i>paciente 2</i>		
Nº BOLSA/LOTE	<i>AA</i>		
QUANTIDADE	<i>100 mL</i>		
OF/CÓDIGO RESERVA	<i>AA</i>		
DATA	<i>05</i>	<i>06</i>	<i>25</i>
VALIDADE	<i>AA</i>	<i>AA</i>	<i>AA</i>
REALIZADO POR	<i>LC</i>		
VERIFICADO POR			

## Centro paulista fornece células modificadas para tratar cânceres sanguíneos no maior teste em pacientes em andamento no país

**RICARDO ZORZETTO**, de Ribeirão Preto (SP)

**D**e tempos em tempos, a biomédica Renata Nacasaki Silvestre olhava para as bolsas plásticas suspensas no alto de uma coluna – uma com um líquido vermelho-vivo, outra contendo uma solução âmbar e uma terceira preenchida por um fluido incolor. Em seguida, aferia valores no aparelho a sua frente e tomava notas em um prontuário. A seu lado, a farmacêutica Elaine Zayas Marcelino permanecia atenta às condições de pureza do ar da sala. A cada medição, elas seguiam um roteiro estrito de procedimentos que conheciam de cor, mas, mesmo assim, era conferido passo a passo. Passava um pouco das 14h daquela quinta-feira, dia 5 de junho, e a dupla finalizava a tarefa iniciada bem cedo naquela manhã: separar de uma mistura de células sanguíneas um tipo especial de célula de defesa, os linfócitos T, que, depois, seriam modificados para funcionar como um medicamento vivo contra o câncer no maior teste em pacientes em curso no Brasil.

A bolsa vermelha, a mais importante e delicada, havia chegado a Ribeirão Preto na noite anterior. Seus 400 mililitros concentravam células do sangue de um paciente com linfoma, um tipo de câncer hematológico, atendido no hospital BP, a Beneficência Portuguesa de São Paulo. O material coletado na capital viajou 350 quilômetros até o Hemocentro de Ribeirão Preto, ligado à Universidade de São Paulo (USP), por uma razão especial. Ali, funciona há pouco mais de três anos no *campus* da USP o Núcleo de Terapia Avançada de Ribeirão Preto (Nutera-RP), o maior centro na América Latina especializado na produção de linfócitos T geneticamente modificados para ter como alvo células tumorais – são as células CAR-T (linfócitos T com receptor químérico de antígeno).

Naquela tarde, em um dos laboratórios da “fábrica”, como o Nutera é chamado, Silvestre e

Marcelino concluíam a primeira das quatro fases principais de produção das células CAR-T (*ver infográfico na página 15*). À medida que fluía da bolsa para o aparelho, o líquido vermelho se misturava com anticorpos contendo uma partícula magnética projetados para aderir aos linfócitos T, uma família variada de células de defesa – algumas atuam diretamente e destroem células doentes ou infectadas por patógenos; outras encaminham a ordem de ataque para as demais células imunológicas; e há as que funcionam como uma memória viva do alvo a ser eliminado.

Uma vez marcados, os linfócitos atravessavam um campo magnético que os atraía e separava das demais células do sangue. Armazenados em uma bolsa menor, seriam mais tarde levados para outra sala, na qual seriam ativados, antes de serem modificados geneticamente. Na última e mais longa etapa, já transformados em CAR-T, os linfócitos permaneceriam cerca de 10 dias em um meio de cultura rico em nutrientes e com temperatura controlada para que se multiplicassem até atingir a concentração necessária para o tratamento. “Os linfócitos T duplicam a cada 30 horas”, explicou a química Amanda Mizukami, gerente de produção do Nutera. “A concentração usada nos tratamentos varia de centenas de milhares a centenas de milhões a depender da doença e do peso do paciente.”

Depois de prontos e na dose adequada, os linfócitos T modificados ainda passariam por testes para avaliar se estavam saudáveis e sem contaminação e se eram capazes de identificar e eliminar as células-alvo. Só, então, quase 45 dias após serem coletados, os linfócitos T, agora munidos de um radar que os guia até as células tumorais, retornariam para o seu doador em São Paulo.

O paciente da BP que em junho aguardava a manipulação de suas células é o sexto a ser incluído no maior ensaio clínico nacional destinado a avaliar a segurança e a eficácia de células CAR-T desenvolvi-

Bolsa utilizada em uma das etapas do preparo das células CAR-T



das integralmente no país, com apoio da FAPESP: o Carthedrall. Iniciado em 2024, o estudo recebeu R\$ 100 milhões do Ministério da Saúde para tratar 81 pessoas com leucemia linfoblástica aguda ou com linfoma não Hodgkin que não responderam a terapias anteriores. Os participantes estão sendo selecionados na BP e em outros quatro hospitais: o Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto da USP, coordenador do estudo, o Hospital de Clínicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e, na capital, o Sírio-Libanês e o Hospital das Clínicas da USP. Quem entrar no estudo receberá os linfócitos T reprogramados e será acompanhado por ao menos cinco anos. “Até junho estávamos aprimorando os procedimentos e progredindo a uma velocidade menor do que gostaríamos”, conta o hematologista Rodrigo Calado, diretor do Hemocentro de Ribeirão Preto, pró-reitor de Pós-graduação da USP e um dos idealizadores do estudo. “Agora conseguimos decolar.”

Os dois tipos de câncer tratados no estudo decorrem da proliferação anormal de linfócitos B, células do sistema imunológico responsáveis pela produção de anticorpos. A diferença entre um câncer e outro está no estágio de maturação das células afetadas. Na leucemia linfoblástica aguda, o câncer mais comum em crianças e ado-

lescentes, alterações genéticas levam as células precursoras dos linfócitos B a se multiplicarem descontroladamente na medula dos ossos, causando dores intensas e destruindo as células sanguíneas saudáveis. Já no linfoma, o que se prolifera são os linfócitos B que se concentram nos gânglios e nos vasos linfáticos distribuídos pelo corpo, que se tornam doloridos e inchados. Nos dois casos, os linfócitos B perdem a capacidade de desempenhar seu papel normal.

**N**essa situação, o mesmo tipo de célula CAR-T é usado para tratar a leucemia e o linfoma: linfócitos T reprogramados para exibir em sua superfície uma molécula com atração química pelos linfócitos B. As células reprogramadas no Nutera apresentam um pedaço de anticorpo que se liga à proteína CD19, exclusiva dos linfócitos B. Ao encontrar esses linfócitos, as células CAR-T lançam sobre eles compostos que os matam.

A equipe de Ribeirão Preto foi pioneira na América Latina em oferecer o tratamento com as células CAR-T, inicialmente no chamado modo compassivo, quando se esgotam as alternativas terapêuticas. Em agosto de 2019, depois de cinco

Renata Silvestre  
(à esq.) e Elaine  
Marcelino  
acompanham  
a separação dos  
linfócitos T  
de um paciente

anos de trabalho para dominar a tecnologia, o grupo então coordenado pelo hematologista Dimas Tadeu Covas, à época diretor do Instituto Butantan, realizou a infusão de células reprogramadas em Vamberto Luiz de Castro, um funcionário público aposentado com um linfoma resistente aos tratamentos usuais (ver Pesquisa FAPESP nº 286). Em semanas, as células CAR-T eliminaram o câncer e Castro retornou para casa, mas morreu meses mais tarde após cair e bater a cabeça.

O trabalho que levou à promissora terapia com as células CAR-T, na realidade, resulta de um esforço iniciado bem antes. Nos anos 2000, o hematologista Marco Antonio Zago e equipe criaram no Hemocentro de Ribeirão Preto o Centro de Terapia Celular (CTC), um dos primeiros Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid), financiados pela FAPESP. Lá, foram desenvolvidas e testadas, inclusive em pacientes, estratégias de transplante de medula óssea e uso de células-tronco para tratar algumas formas de anemia grave e diabetes tipo 1 (ver Pesquisa FAPESP nº 135). “Foi preciso investir muito tempo e dinheiro para se chegar ao estágio tecnológico atual, que permitiu dominar a produção e o uso das células CAR-T”, lembra Zago, que coordenou o CTC de 2001 a 2015

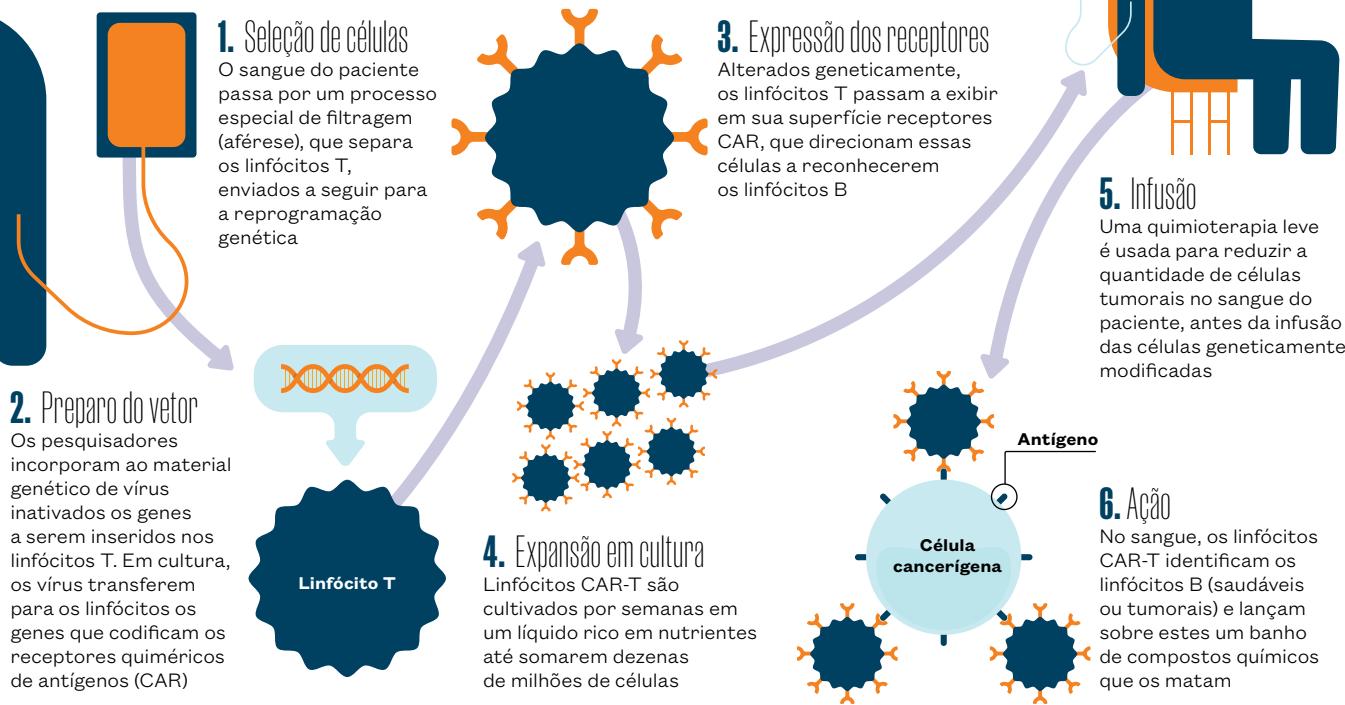
e é o atual presidente da FAPESP. “É assim que a ciência produz resultados impactantes.”

Antes de partir para o Carthedral, a equipe de Ribeirão ainda tratou outras 6 pessoas com linfoma e 13 com leucemia de maneira compassiva. Publicado em 2024 na *Bone Marrow Transplantation*, o resultado desses 20 primeiros tratamentos ajudou a embasar o pedido de autorização para o ensaio clínico encaminhado à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), responsável pela aprovação da comercialização de medicamentos no país. Dos 13 pacientes com leucemia, 12 haviam apresentado redução da doença um mês depois da infusão. Dois morreram e quatro continuavam livres da leucemia 10 meses mais tarde – fazia poucos meses que os outros seis haviam sido tratados quando o artigo foi publicado. No grupo com linfoma, seis haviam mostrado forte regressão no final do primeiro mês e dois permaneciam bem no sexto mês de acompanhamento. Nesse grupo, quatro morreram.

Setenta e cinco por cento dos 20 participantes apresentaram grau leve ou moderado da síndrome de liberação de citocinas, um efeito colateral da terapia, de certo modo esperado. Citocinas são moléculas que fazem a comunicação entre as células do sistema imunológico. Algumas podem matar diretamente as células tumorais. Outras atraem células de defesa para agir sobre o tumor.

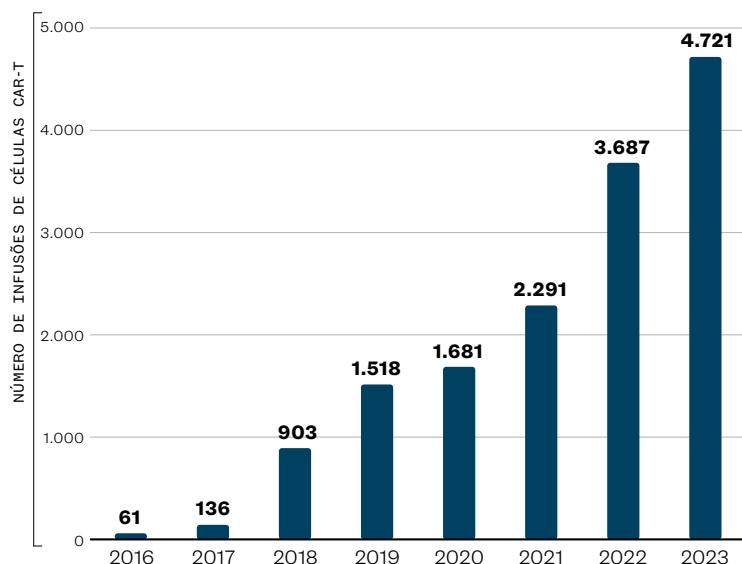
## Reprogramação em laboratório

Manipulação genética direciona linfócitos T a atacarem células tumorais



# Evolução do uso nos Estados Unidos

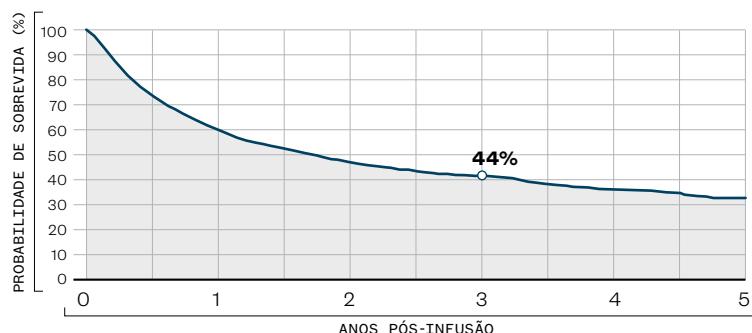
Infusões de células CAR-T para tratar diferentes cânceres hematológicos cresceram 77 vezes em oito anos



FONTE CIBMTR

## Sobrevida de pessoas com linfoma

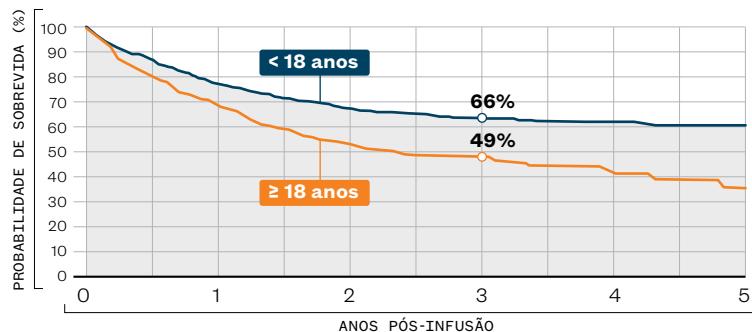
De 6.119 pessoas com linfoma tratadas com células CAR-T de 2017 a 2022, 44% continuavam vivas três anos mais tarde



FONTE CIBMTR

## Sobrevida de pessoas com leucemia

De 2017 a 2022, 1.148 pessoas com leucemia receberam células CAR-T; metade ou mais estavam vivas três anos depois



FONTE CIBMTR

Em níveis baixos, são sinal de que o tratamento está surtindo efeito, mas, em grande quantidade, caracterizam a síndrome e podem causar danos graves ao corpo.

## A FÁBRICA

O material usado nos 10 primeiros casos foi produzido em um pequeno laboratório, oculto no labirinto de salas no prédio principal do Hemocentro de Ribeirão Preto. Com o avanço do projeto, a elaboração das células ganhou uma sede própria: o Nutera, um edifício de três andares erguido ao custo de R\$ 200 milhões, financiados pelo governo estadual e pelo Instituto Butantan.

No Nutera, 16 salas limpas foram preparadas para os diferentes estágios da fabricação das células CAR-T. São laboratórios com nível de biossegurança 2, apropriados para lidar com agentes biológicos de risco moderado para pessoas e ambiente (é usado um vírus inativado para reprogramar as células). O acesso é restrito e só se entra no setor de produção após passar por uma sequência rígida de limpeza e paramentação. Em um primeiro vestiário, lavam-se as mãos e trocam-se as roupas por um par de calças, blusa, sapatos limpos e um primeiro par de luvas. No seguinte, coloca-se um macacão esterilizado, que cobre o corpo da cabeça aos pés, e um novo par de luvas, também esterilizadas. Só então se pode chegar à área em que ficam os laboratórios. A cada avanço, não se volta para trás para evitar contaminação.

“A terapia com células CAR-T não é para todas as pessoas com leucemia ou linfoma”, explica o hematologista Diego Clé, coordenador do Nutera e do Carthedrall. Tratamentos à base de medicação antitumoral (quimioterapia), radiação (radioterapia) ou compostos que estimulam o sistema de defesa (imunoterapia) resolvem de 50% a 70% dos casos das duas doenças. Quando não funcionam, existe ainda a possibilidade de um transplante de medula óssea, tecido fundamental para a produção das células do sistema imunológico. Se nada disso der certo, hoje se indica – no Brasil e em outros países – partir para as CAR-T.

Desde 2010, quando começaram a ser testadas em seres humanos, as células CAR-T já foram usadas em milhares de casos no mundo, com resultados promissores – no Brasil, havia pouco mais de 100 registrados, a maioria com produtos comerciais, até abril deste ano (ver gráfico na página 18). É difícil conhecer com precisão o total de tratamentos, uma vez que o registro não é obrigatório.

Nos Estados Unidos, o Centro Internacional de Pesquisa em Transplante de Sangue e Medula Óssea (CIBMTR) contabilizou 14.998 infusões de células CAR-T de 2016 a 2022 para diferentes tipos de leucemia, linfoma e mieloma. De 6.119 pessoas com linfoma tratadas de 2017 a 2022, 44% estavam

vivas três anos após o procedimento, segundo o relatório de 2024 da entidade. No mesmo intervalo, 1.148 com leucemia linfóide aguda receberam CAR-T, e metade ou mais seguiam vivas três anos depois (*ver gráficos na página ao lado*). Um dos casos mais conhecidos e bem-sucedidos no mundo é o da norte-americana Emily Whitehead, a primeira paciente pediátrica a receber esse tipo de terapia, que está há 13 anos livre da leucemia.

Uma busca no site clinicaltrials.gov, dos Estados Unidos, enumera 2,1 mil ensaios clínicos com células CAR-T para diferentes finalidades no mundo. Desses, 190 já foram concluídos e 185 estão em andamento. Em um artigo de revisão publicado em 2023 na revista *Nature Reviews Clinical Oncology*, pesquisadores do Instituto Nacional do Câncer dos Estados Unidos avaliaram o desempenho de longo prazo registrado em ensaios clínicos com células CAR-T para tratar linfoma e leucemia. No caso dos linfomas, variou de 28% a 68% a taxa de participantes em que a doença se tornou indetectável dois anos após o tratamento. No da leucemia, entre 62% e 86% não tinham sinais da doença um ano após a infusão.

**M**ais recentemente, a farmacêutica Eloah Suarez, da Universidade Federal do ABC (UFABC), analisou os resultados de 46 estudos, com um total de 3.421 participantes. Usando uma técnica estatística (metanálise) que permite combinar os dados dos diferentes trabalhos, ela verificou que, em média, 56% das pessoas tratadas com células CAR-T com alvo na CD19 ficaram livres da doença por um tempo e quase 60% permaneceram vivas um ano após o tratamento. “Em geral, essas pessoas tinham leucemias e linfomas muito avançados e refratários a terapias anteriores. Nem sempre o tratamento resultou em benefício clínico grande, mas prolongou a sobrevida de muitos pacientes”, conta a pesquisadora, que desenvolve células CAR-T para tratar tumores sólidos, mais comuns que os hematológicos.

“No início, usavam-se estratégias mais básicas para reprogramar os linfócitos. Nos últimos anos, essas técnicas vêm sendo refinadas e os resultados melhoraram”, conta Mizukami. Parte do aprimoramento se deve ao manejo do tratamento. “Os médicos aprenderam a controlar melhor os efeitos indesejados”, explica a pesquisadora, responsável por garantir as células CAR-T aos pacientes do Carthedrall.

Liderado por Clé e Calado, o Carthedrall é um ensaio clínico de fase 1 e 2. Ele vai avaliar a segurança e a eficácia das células CAR-T concebidas no Nutera e desenvolvidas com o apoio do Instituto

Butantan. Ao final do estudo, previsto para terminar em meados de 2026, os dados serão submetidos à Anvisa. Se forem semelhantes aos de tratamentos com células CAR-T comercialmente disponíveis e o produto for aprovado, o passo seguinte será submetê-lo à avaliação da Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no Sistema Único de Saúde (Conitec), do ministério. “Esperamos oferecer nosso tratamento no SUS”, relata Clé.

Atualmente, quatro produtos à base de células CAR-T podem ser comercializados no país. Dois são para leucemia linfoblástica aguda e alguns tipos de linfoma: o Kymriah, da empresa farmacêutica suíça Novartis, e o Tecartus, da biofarmacêutica norte-americana Gilead Sciences. Também da Gilead, há o Yescarta, para linfomas. A quarta medicação, o Carvykti, da belga Janssen, é destinado a combater o mieloma múltiplo, um câncer hematológico que atinge idosos e leva à multiplicação de plasmócitos, células derivadas dos linfócitos B. Assim como as CAR-T do Nuteira, são medicamentos de uso único – quando não funcionam, o paciente não se beneficia de uma segunda aplicação – e custo elevado.

Cada tratamento sai por algo entre R\$ 2 milhões e R\$ 2,7 milhões. Nesses valores, não estão inclusos os gastos com a internação hospitalar, que dura ao menos duas semanas, nem com outros medicamentos. Antes de receber as células CAR-T, o paciente passa por uma quimioterapia para eliminar parte das células de defesa e facilitar o trabalho das células reprogramadas. O Kymriah, o Yescarta e o Tecartus, porém, não estão disponíveis no SUS. Quem precisa só tem acesso a eles por meio de planos privados de saúde ou por via judicial. “Na Nutera, trabalhamos para oferecer o tratamento por cerca de R\$ 350 mil”, afirma Calado.

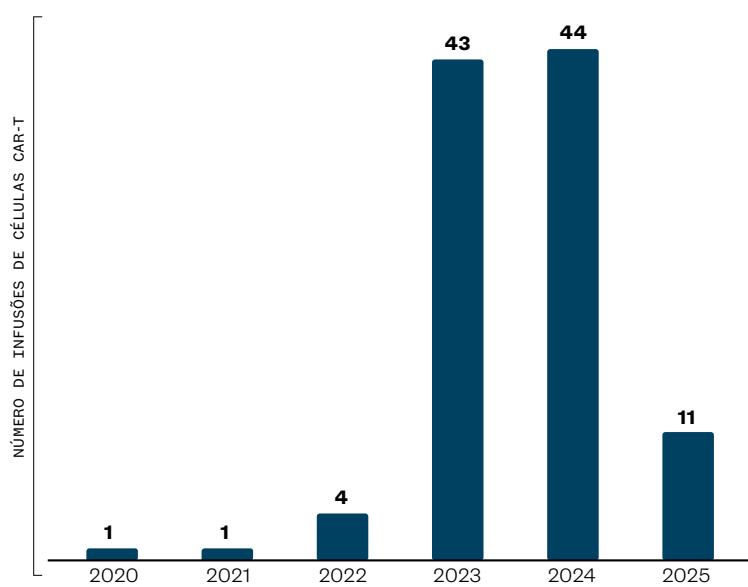
Tornar mais barato e aumentar o acesso a esse tipo de tratamento é justamente a intenção do grupo de Ribeirão Preto e de outras instituições



Recipientes com amostras congeladas do vírus usado para transformar linfócitos em células CAR

# As células CAR-T no Brasil

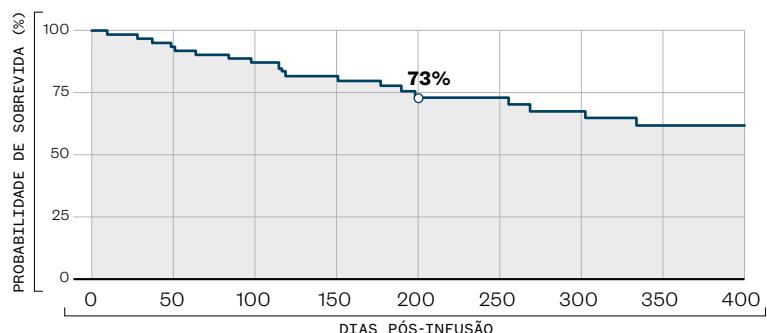
De 2020 a abril deste ano, 104 pessoas com leucemia, linfoma ou mieloma receberam a terapia, em 82% dos casos com produto de uso comercial



FONTE DA SILVA, C. C. ET AL. JOURNAL OF BONE MARROW TRANSPLANTATION AND CELULAR THERAPY. 2025

## Sobrevida no linfoma

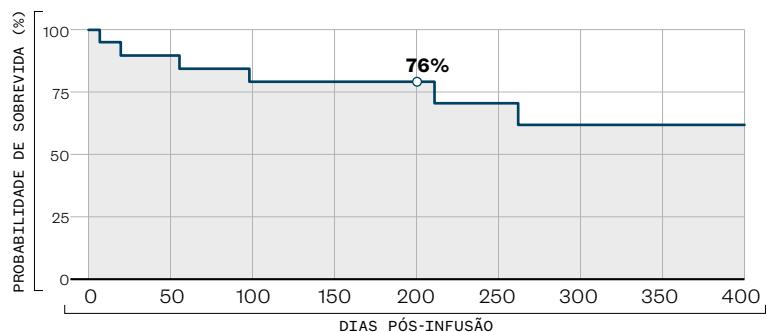
De 75 pessoas tratadas no período, 73% estavam vivas 200 dias após a infusão



FONTE DA SILVA, C. C. ET AL. JOURNAL OF BONE MARROW TRANSPLANTATION AND CELULAR THERAPY. 2025

## Sobrevida na leucemia

Das 25 pessoas que receberam infusão de células CAR-T, 19 permaneciam vivas 200 dias depois do tratamento



FONTE DA SILVA, C. C. ET AL. JOURNAL OF BONE MARROW TRANSPLANTATION AND CELULAR THERAPY. 2025

brasileiras que estão desenvolvendo suas próprias versões de células CAR-T como alternativa aos produtos comerciais.

**U**ma das iniciativas mais avançadas, além da do Nutera, é a coordenada pelo biomédico Martín Bonamino no Instituto Nacional do Câncer (Inca), no Rio de Janeiro, que desenvolveu uma alternativa de produção de células CAR-T que dispensa o uso de vírus. Como é caro produzir os vírus utilizados para introduzir nos linfócitos T o material genético que os leva a perseguir os linfócitos B, Bonamino e equipe optaram por trabalhar com um transponson, trecho de DNA que consegue se inserir no genoma das células. Os pesquisadores acoplam o gene da molécula que identifica a CD19 ao transponson, apelidado de Bela Adormecida. Depois aplicam uma descarga elétrica sutil que abre poros na membrana do linfócito T por meio dos quais penetra a combinação de gene e transponson.

Em um dos experimentos, os pesquisadores deixaram os linfócitos CAR-T modificados por meio dessa estratégia se multiplicarem por oito dias e os usaram para combater células tumorais cultivadas *in vitro* e as de dois modelos de leucemia humana em camundongos. Publicados em 2020 na revista *Gene Therapy*, os resultados indicam que a estratégia pode funcionar: as CAR-T mataram tanto as células de leucemia humana cultivadas em laboratório quanto as enxertadas nos roedores, aumentando a proporção de animais que sobreviveram.

O grupo do Inca deu ainda um passo além. Em vez de aguardar por dias a multiplicação em laboratório dos linfócitos, injetou-os nos camundongos algumas horas depois de serem produzidos. Essa é a chamada expansão *in vivo*, quando a proliferação ocorre no interior do organismo, e foi testada recentemente em seres humanos na China e nos Estados Unidos. A nova estratégia deu certo e o tratamento foi tão ou mais potente que o anterior, segundo os dados publicados na *OncoImmunology*. Uma vantagem dessa opção seria reduzir o risco de exaustão das CAR-T, que, depois de se multiplicarem muitas vezes em laboratório, podem perder a capacidade de agir no paciente.

“Até o final do ano, devemos enviar para a Anvisa o pedido de autorização para realizar um ensaio clínico com oito pacientes e demonstrar a viabilidade da primeira estratégia”, afirmou Bonamino no início de julho. “Já escalonamos a produção seguindo as exigências da agência reguladora e conseguimos gerar as doses necessárias.”

Na Itália, células CAR geradas com transponson já alcançaram a fase de testes em pessoas. A equipe do pediatra Andrea Biondi, da Universidade de



Livia Sant'Ana  
prepara células  
CAR-T em  
laboratório do Inca

Milão-Bicocca, usou-as para tratar 4 crianças e 32 adultos com um tipo de leucemia. Segundo os resultados, publicados em abril no *Blood Cancer Journal*, as células CAR se multiplicaram rapidamente após a infusão e continuaram ativas por até dois anos. Com a terapia, a doença regrediu em 30 dos 36 pacientes (83%) um mês após o tratamento. A leucemia retornou em parte deles, mas 20 continuavam vivos um ano depois da infusão. “Com os transposons, conseguimos modificar as células em um dia. Estamos propondo usá-los como uma plataforma rápida para testar diferentes formulações de células CAR”, conta Bonamino.

Além de pesquisador do Inca, o biomédico participa de uma iniciativa na Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) que busca tratamentos inovadores para a leucemia e deve se beneficiar de um acordo recente com a Caring Cross, organização não governamental sediada nos Estados Unidos que desenvolveu células CAR-T direcionadas contra três alvos. Assinado em março de 2024, o acordo prevê que a Caring Cross transfira para o Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos da Fiocruz (Bio-Manguinhos) materiais e tecnologia para a fabricação de células CAR-T usando vírus, com autorização para comercializar no Brasil e em outros países da América Latina. O treinamento da equipe brasileira já começou e a ideia é instalar a produção em laboratórios-contêineres, o que permitiria fabricar as células CAR-T em diferentes regiões. Ao Inca e à Fiocruz caberá a realização dos testes clínicos e a obtenção de aprovação na Anvisa. “Se a produção funcionar, imaginamos que seja possível ter tratamentos por cerca de R\$ 200 mil”, conta Bonamino.

Uma parceria com o Hospital Infantil da Filadélfia (Chop), onde Emily Whitehead foi tratada,

também está transferindo para o Inca a tecnologia de produção de células CAR-T usando vírus em um sistema semiautomatizado. O instituto já iniciou a fabricação dos lotes que planeja usar para tratar crianças com leucemia linfoblástica aguda em um ensaio clínico de fase 1, cujo pedido está para ser submetido à Anvisa.

#### A DEMANDA

Em São Paulo, no Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE), os hematologistas Nelson Hamerschlak e Lucila Kerbauy, em parceria com outros grupos, testam em animais vírus e sequências de DNA construídas pela própria equipe para direcionar os linfócitos T contra os B, além de trabalharem na modificação de outro tipo de célula de defesa (ver *reportagem* na página 20).

Enquanto aguardam os resultados, eles iniciaram a avaliação em seres humanos de uma tecnologia de CAR-T desenvolvida pela empresa norte-americana Miltenyi Biomedicine que mira dois alvos na superfície dos linfócitos B: a proteína CD19 e a CD20. Em vez de montar uma estrutura complexa como a de Ribeirão Preto, o grupo do Einstein optou por adquirir um equipamento da Miltenyi que produz essas células modificadas de modo semiautomatizado, em 12 dias. Em 2023, Hamerschlak e Kerbauy iniciaram um ensaio clínico de fase 1 aprovado pela Anvisa e financiado pelo Ministério da Saúde. O objetivo é tratar 30 pacientes com linfoma, leucemia linfoide aguda ou leucemia linfoide crônica para determinar a dose mais adequada a ser usada em cada terapia.

“Trabalhamos de 2019 a 2022 para conseguir atender todos os critérios de segurança exigidos pela Anvisa para fazer as células seguindo o protocolo de boas práticas de fabricação”, conta Hamerschlak. “De 2023 ao início de julho deste ano, tratamos os 13 primeiros pacientes. Só agora estamos a pleno vapor”, explica o hematologista, que planeja usar a plataforma da Miltenyi para testar as CAR-T reprogramadas pelo grupo.

Talvez seja preciso que mais de um desses empreendimentos dê certo para que se torne possível atender a demanda nacional. Dados do Inca estimam que, a cada ano, surjam 12 mil novos casos de linfoma e 11,5 mil de leucemia no país. Descontando os tratáveis pelas terapias convencionais, sobrariam, nas contas dos especialistas, 3,5 mil pessoas que poderiam se beneficiar das células CAR-T. “Imaginamos que o esforço colaborativo dessas instituições ajude as CAR-T a chegar ao SUS”, diz Hamerschlak. “Hoje o Nutera consegue tratar 100 por ano”, diz Clé. “Com ajustes, temos capacidade de chegar a 600.” ●

# Exterminadoras treinadas

Equipes de São Paulo e Ribeirão Preto aprimoram o desenvolvimento de célula de defesa com ação antitumoral que reduz o risco de rejeição

RICARDO ZORZETTO

**H**á quase 40 anos, o imunologista Yoshikazu Kurosawa e sua equipe em uma universidade privada perto de Nagoya, no Japão, revelaram ao mundo que era possível manipular os linfócitos T, os soldados do sistema de defesa, para combaterem células cancerígenas. Os primeiros testes em laboratório com esses linfócitos modificados, mais tarde chamados de linfócitos ou células CAR-T, foram reportados em 1987 na revista *Biochemical and Biophysical Research Communications*, na véspera do ano-novo. Seriam necessárias mais de duas décadas, porém, para que fossem usadas pela primeira vez em uma pessoa – em 2010 no norte-americano William Paul Ludwig (1945-2021), que ficou livre de uma leucemia e morreu vítima da Covid-19 – e outros tantos anos para que começassem a ser adotadas em maior escala (ver reportagem na página 12).

Os linfócitos T, no entanto, não são perfeitos. Eles podem ser bastante tó-

xicos e causar uma forma grave da síndrome de liberação de citocinas. Além disso, para evitar rejeição, precisam ser extraídos do próprio paciente e nem sempre estão em sua melhor forma por causa dos tratamentos anteriores contra o câncer. Esses e outros motivos levaram os pesquisadores, inclusive no Brasil, a buscar alternativas. A mais promissora, em fase inicial de testes em pessoas, é substituir os linfócitos T por outro tipo de linfócito que espontaneamente combate as células tumorais: os linfócitos *natural killers* (NK), ou exterminadores naturais.

Os linfócitos NK existem no sangue em uma proporção menor do que os T – os primeiros representam de 5% a 15% do total de linfócitos, enquanto os últimos podem chegar a 60%. Eles reconhecem moléculas da superfície das células tumorais e, como o T, as eliminam lançando um banho de compostos químicos tóxicos. Uma vantagem do uso dos NK é que podem ser extraídos de uma pessoa saudável, modificados em laboratório (transformados em CAR-NK) e

infundidos em quem tem câncer. Como esses linfócitos não reconhecem como estranhas as células do organismo de quem os recebe, é possível produzi-los em maior escala e armazená-los, para, depois, serem administrados a diferentes pessoas conforme a necessidade.

Os pesquisadores, no entanto, precisam manipulá-los para estimular sua multiplicação antes da infusão. É que eles se proliferam pouco no organismo de quem os recebe. Para superar a limitação, é comum usar vetores virais para inserir genes que codificam moléculas estimuladoras – como a interleucina 15 (IL-15) – que promovem a sobrevivência, ativação e expansão dos linfócitos CAR-NK.

“A manufatura de células CAR-NK tem custo semelhante ao das células CAR-T. A diferença está no aproveitamento. Com um preparo de CAR-NK, é possível obter material para tratar de 10 a 100 pacientes, enquanto o de CAR-T é destinado a um só indivíduo”, conta a hematologista Lucila Kerbaly, do Hospital Israelita Albert Einstein (HIAE), em São Paulo. “Não usamos as NK do próprio paciente porque, devido aos tratamentos anteriores, elas podem se tornar exaustas e disfuncionais”, explica a pesquisadora, líder de um dos grupos brasileiros que investiga o aprimoramento dessas células para tratar diferentes tipos de câncer.

No pós-doutorado, realizado no M.D. Anderson Cancer Center, nos Estados Unidos, Kerbaly participou do desenvolvimento das células CAR-NK usadas

em um dos raros ensaios clínicos já concluídos – segundo o site clinicaltrials.gov, apenas três chegaram ao fim. Nele, a equipe da hematologista Katy Rezvani usou linfócitos CAR-NK modificados para produzir a IL-15 em 11 pessoas com linfoma ou leucemia linfoblástica crônica que haviam passado sem sucesso por diversas terapias. Era um estudo de fase 1 e 2, destinado a avaliar diferentes doses e toxicidade do tratamento. Segundo os resultados, publicados em 2020 na revista *The New England Journal of Medicine*, não foram identificados efeitos tóxicos graves e, das 11 pessoas tratadas, ao menos seis ficaram livres da doença por alguns meses. O câncer reapareceu em pelo menos uma delas, e outras passaram por novas terapias.

De volta ao Brasil, Kerbaly e equipe no HIAE trabalham, com apoio da FAPESP, no desenvolvimento de dois tipos de células CAR-NK, personalizadas para tipos distintos de câncer: um expressa a proteína CD70, contra os linfócitos B de leucemias e linfomas; e outro expressa a proteína BCMA, típica de linfócitos B do mieloma, um câncer hematológico que atinge idosos e leva à multiplicação desenfreada de plasmócitos. “Já conseguimos modificar mais de 50% das células na fase de produção. Agora, estamos começando os testes em animais”, conta a pesquisadora.

No Hemocentro de Ribeirão Preto, ligado à Universidade de São Paulo (USP), o grupo coordenado pela bióloga Virgínia Picanço e Castro está um passo à frente. Depois de ajudar a de-

senvolver a terapia com células CAR-T em teste no Núcleo de Terapia Avançada (Nutera-RP), a pesquisadora e colaboradores passaram a se dedicar nos últimos anos, também com financiamento da Fundação, à produção de células CAR-NK para tratar leucemia e linfoma.

**N**os últimos anos, a equipe já produziu e testou dois tipos de células CAR-NK. Uma foi modificada para produzir uma versão artificial da proteína interleucina 15 ligada ao seu receptor, o que favorece a multiplicação em cultura, e a outra com a interleucina 27, que aumenta o poder aniquilador dessas células.

As primeiras foram testadas com sucesso contra células de leucemia humana cultivadas em laboratório e implantadas em camundongos, segundo os resultados publicados em 2023 na *Frontiers in Immunology*. O segundo tipo se mostrou eficaz contra o linfoma humano em experimentos com células e com camundongos, descritos em 2024 na revista *Cytotherapy*.

Atualmente o grupo investe em levar para a próxima fase as CAR-NK com interleucina 15 e seu receptor. “Já dominamos a fase de expansão e estamos adaptando a produção para o sistema fechado, sem contato com o ambiente e seguindo as boas práticas de produção, como ocorre no Nutera”, contou a biotecnóloga Heloísa Brand, que faz doutorado sob a orientação de Picanço e Castro, quando recebeu *Pesquisa FAPESP* no laboratório, no início de junho.

“Assim que essa fase for concluída, vamos repetir os estudos pré-clínicos seguindo as boas práticas de laboratório. Esses dados vão compor o dossier que devemos submeter à Anvisa pedindo autorização para um teste de fase 1 contra cânceres hematológicos causados por linfócitos B”, conta Picanço e Castro. “Ter células CAR-NK ‘na prateleira’, prontas para o uso, pode reduzir o tempo para iniciar o tratamento”, lembra. Os linfócitos T, por atacarem células de outro organismo, são de uso individual e exigem extração e preparo de dias antes da infusão. ●

## Versatilidades distintas

Vantagens e desvantagens de cada tipo de linfócito

	Linfócito T	Linfócito NK
Proporção entre o total de linfócitos	30 a 60%	5 a 15%
Facilidade de se multiplicar (em laboratório e no organismo)	Alta	Baixa
Flexibilidade para se transformar em CAR	Alta	Moderada
Tempo de permanência no organismo	Anos	Semanas
Proporção de casos em que ocorrem efeitos tóxicos (por liberação de citocinas)	De 40% a 90%	De 5% a 20%
Risco de rejeição	Alto	Baixo

FONTE VIRGÍNIA PICANÇO E CASTRO (USP-RP)

# Em defesa da energia nuclear

Engenheiro participou do desenvolvimento da tecnologia nacional das ultracentrífugas para enriquecimento de urânio

**YURI VASCONCELOS** retrato **ANA CAROLINA FERNANDES**

**Q**uando tinha 15 anos, uma visita ao Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro foi decisiva para que o jovem secundarista Renato Machado Cotta decidisse seu futuro profissional. Ele imaginava seguir a carreira diplomática, mas ao percorrer a Exposição Brasil Nuclear, em 1975, sentiu-se atraído pela tecnologia nuclear. “Fiquei fascinado pela vida do Almirante Álvaro Alberto [1889-1976], pioneiro do Programa Nuclear Brasileiro, e pela participação da Marinha nesse setor”, recorda.

Após graduar-se em engenharia com ênfase na área nuclear na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), cursou o doutorado na Universidade Estadual da Carolina do Norte (NCSU), nos Estados Unidos. A instituição foi pioneira no mundo na oferta do curso de engenharia nuclear.

Cotta concluiu o doutorado em 1985 e, em seguida, foi chamado para atuar como consultor do Programa Nuclear da Marinha em paralelo à atividade de docência no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em São José dos Campos (SP). Na Marinha, participou de projetos como o das ultracentrífugas para enriquecimento de urânio, equipamento fundamental para que esse mineral possa ser usado como combustível em reatores nucleares.

Recentemente, Cotta, de 65 anos, recebeu o mais prestigiado prêmio global da área de ciências térmicas, a Medalha Luikov. Foi o primeiro pesquisador do hemisfério Sul agraciado com a honraria. “Durante a premiação, proferi a palestra mais importante da minha carreira para uma plateia de 800 cientistas da área”, afirma.

Cotta é casado com a engenheira mecânica Carolina Cotta, professora, como ele, do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe) da UFRJ. O casal tem três filhos: Victor, 22, Clara, 15, Gabriel, 13. Bianca, sua primogênita, filha do casamento anterior, morreu aos 25 anos em um acidente aéreo ocorrido em 2009.

#### ESPECIALIDADE

Engenharia mecânica e nuclear

#### INSTITUIÇÃO

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Marinha do Brasil

#### FORMAÇÃO

Graduação pela UFRJ (1981) e doutorado pela Universidade Estadual da Carolina do Norte (NCSU, 1985)



RIACHUELO

## Como avalia os investimentos do Brasil no setor nuclear?

Poderíamos investir mais por vários motivos. Em primeiro lugar, dominamos tecnologicamente o ciclo do combustível nuclear e temos reservas significativas de urânio. No atual cenário de reaquecimento da geração nuclear de potência e tensões geopolíticas envolvendo produtores e consumidores do minério, poderíamos nos beneficiar como exportadores de urânio enriquecido, com alto valor agregado. Para tanto, precisaríamos investir na expansão da planta da INB [Indústrias Nucleares do Brasil] em Resende, no Rio de Janeiro, além da própria capacidade de produção das ultracentrífugas pela Marinha – lembrando que há espaço para pesquisa e otimização do projeto das ultracentrífugas. A tecnologia para fabricação desse equipamento é restrita a poucos países, como Estados Unidos, China, Rússia, França, Alemanha, Holanda, Reino Unido e Japão. Antes disso, teríamos que intensificar a mineração de urânio e produção do *yellow cake*, o concentrado de urânio, iniciando o projeto de extração do minério em Santa Quitéria, no Ceará. Temos também de concluir a planta-piloto de conversão de hexafluoreto de urânio [UF6] em Iperó, em São Paulo, que será referência para uma unidade de maior porte quando tivermos escala econômica para a conversão de todo o UF6 necessário ao país. Na forma gasosa, o hexafluoreto de urânio é enriquecido nas ultracentrífugas e dá origem ao combustível nuclear.

## Qual o outro motivo para investir nessa área?

Após projetar e construir a primeira unidade crítica [reator de pesquisa sem geração de potência] totalmente desenvolvida no país, o Ipen-MB-01, em 1988, finalmente estamos mais próximos de comissionar o nosso primeiro reator de potência nacional, que gera energia térmica e elétrica, o Labgene [Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica]. Esse equipamento é o protótipo em terra do reator nuclear de propulsão do futuro submarino nuclear Álvaro Alberto [ver reportagem na página 68]. Além disso, o Reator Multipropósito Brasileiro [RMB], voltado à produção de radioisótopos, a base para os radiofármacos usados em medicina nuclear, recebeu verba suficiente

para iniciar a sua construção em Iperó. Ele será, nos próximos anos, o principal projeto em implantação na área nuclear no país, enquanto as obras da usina de Angra 3 não forem retomadas. Angra 3 não é mais uma dúvida, é uma obviedade. Os sucessivos adiamentos do projeto, entretanto, demonstram resistência política à sua conclusão. O dogma da transição energética é a melhor defesa para sua retomada.

## Como as usinas nucleares, consideradas por anos vilãs do ambiente, podem ajudar na transição energética?

A energia nuclear para geração de eletricidade sempre sofreu com o estigma das armas nucleares, apesar de todos os esforços dos serviços de comunicação das entidades da área em distinguir os dois usos. Os três acidentes com usinas nucleares, em particular Chernobyl, na antiga União Soviética, em 1986, e Fukushima, no Japão, em 2011, também afetaram a confiança da sociedade e magnificaram essa “radiofobia”. O terceiro acidente foi em Three Miles Island, nos Estados Unidos, em 1979. Países que investiram de forma relevante em energia nuclear, como a França,

desativando termoelétricas a carvão e a óleo, conseguiram reduções significativas nas emissões de CO<sub>2</sub> [dióxido de carbono], apesar do contínuo crescimento populacional e econômico. A pressão internacional para redução de emissões leva naturalmente à escolha da energia nuclear como geração de base para as matrizes energéticas com fontes renováveis intermitentes dos principais países industrializados. Além disso, a cogeração nuclear, em particular empregando-se o calor produzido nos diferentes tipos de reatores, para redução de emissões em diferentes setores industriais, como siderurgia, geração de hidrogênio, óleo e gás, é um forte atrativo para a implantação de novos projetos de reatores avançados, de geração IV, e pequenos reatores modulares [SMR].

## O que são e para que servem reatores nucleares de menor porte?

Os dois maiores argumentos contrários às usinas nucleares sempre foram o alto custo de implantação, apesar do baixo custo operacional, e os temores relativos à segurança nuclear, mesmo com os baixíssimos índices de acidentes e de vidas perdidas. Na virada do século passado, houve um movimento de introdução de um novo conceito de reatores, os chamados SMR. A ideia de modularidade e menor porte visa tanto a redução de custos para início da produção de eletricidade quanto vantagens em segurança e controle de módulos de tamanho reduzido. Há também os chamados microrreatores nucleares [MNR], que não carregam o conceito intrínseco de modularidade [ver Pesquisa FAPESP nº 353]. São pensados para funções específicas, como cogeração em setores que demandam independência da rede ou em regiões isoladas e *off grid*. Hoje há mais de 100 projetos propostos e em andamento de SMR e MNR no mundo, revisados a cada dois anos pela Agência Internacional de Energia Atômica [Aiea]. Esse novo paradigma, que coincide com o renascimento da energia nuclear, gerou um número exagerado de novas concepções, mas nem todas serão levadas até o fim. Ainda existem obstáculos para implementação dessas tecnologias. O SMR NuScale, dos Estados Unidos, por exemplo, apesar de licenciado, encontrou dificuldades de financiamento.

“

**Apesar da resistência geopolítica, a Marinha segue em sua missão de desenvolver um submarino de propulsão nuclear**



Cotta dividiu com o almirante de esquadra Liseo Zampronio (à esq.) e com o capitão de mar e guerra Rogerdson da Silva prêmio por pesquisa sobre o acidente com o voo AF447

#### O Brasil tem iniciativas nessa área?

O país pode ter no Labgene seu primeiro projeto de microrreator nuclear. Construído para o submarino nuclear, ele tem uma dualidade natural, podendo ser utilizado em versão modificada para geração de base em microgrids com energias renováveis intermitentes, em particular eólica e solar. Embora seja tipicamente um reator de água pressurizada [PWR] de geração II, típico dos anos 1970 e 1980, muitos reatores dessa época continuam em funcionamento no mundo. A pesquisa e o desenvolvimento não podem ser interrompidos. Temos que pensar em um próximo reator, começando pela sua concepção em consonância com sua missão. As demandas para cogeração de água dessalinizada e hidrogênio, bem como para uso no setor de petróleo e gás, são exemplos de aplicação imediatas e evidentes de reatores de menor porte. Uma opção é o emprego de uma versão reprojetada do Labgene, para atendimento de requisitos de perfil de utilização e de segurança adicionais. Outra seria desenvolver uma nova família de microrreatores mais alinhada às novas concepções de geração IV hoje existentes. Os dois caminhos podem ser trilhados simultaneamente numa fase conceitual.

#### Como anda o projeto do submarino nuclear brasileiro?

Apesar da resistência geopolítica e do cerceamento tecnológico, a Marinha prossegue em sua missão de prover o país com seu primeiro submarino convencionalmente armado de propulsão nuclear [SNCA]. O submarino nuclear é o principal meio naval de dissuasão

em qualquer cenário. Com nossa imensa Amazônia Azul, com riquezas minerais e de biodiversidade, não podemos desistir de obter essa plataforma. A percepção geopolítica do Brasil no cenário internacional será redesenhada. De um lado, o Programa de Desenvolvimento de Submarinos, o Prosub, segue a passos largos, já montando o seu quarto e último submarino convencional no acordo com a França e iniciando os testes de fabricação dos anéis do SNCA. Do outro lado, o Programa Nuclear da Marinha entra na fase final de montagem eletromecânica do bloco do reator do Labgene. Os atrasos ocorridos têm diversas origens, desde a interrupção de repasses de recursos até quebras de contrato e negativas de importação, em um quadro geopolítico desfavorável em que os detentores das tecnologias não têm interesse em que tenhamos sucesso neste que é o maior projeto tecnológico já realizado no país. A conclusão do submarino de propulsão nuclear depende diretamente do sucesso na montagem e dos testes do Labgene. Esses testes devem ser concluídos até 2030. A finalização do submarino está prevista para a próxima década.

#### Com quais projetos está envolvido no momento?

Estou cedido pela UFRJ à empresa estatal Amazul – Amazônia Azul Tecnologias de Defesa, ligada à Marinha do Brasil. Desde 2019 sou consultor técnico da Direção-geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha [DGDNTM], em São Paulo, atualmente liderada pelo Almirante de Esquadra Alexandre Rabbelo de Faria. Atuo como coordenador

ou colaborador em projetos de interesse do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo [CTMSP], mais ligados à área nuclear, e do Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro e seus institutos, associados a temas não nucleares. As áreas de atuação estão dentro da minha expertise em transferência de calor e massa e mecânica dos fluidos, disciplinas fundamentais da grande área conhecida como ciências térmicas. Os temas incluem dessalinização nuclear, destilação por membranas com recuperação de calor, metamateriais térmicos para concentração de calor, captura e remoção de gases por zeólitas [grupo de minerais com estrutura porosa] e membranas, colheita de energia de correntes com materiais piezoeletricos, entre outros.

#### Do que trata exatamente a área de ciências térmicas?

Termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor e massa são as três disciplinas fundamentais da física clássica que compõem a base teórica do que conhecemos como ciências térmicas e, no contexto das aplicações, como engenharia térmica. Dediquei minha vida ao estudo dos fenômenos de transferência de calor e massa e sua presença em desafios da engenharia moderna, sempre buscando inovar nas metodologias de análise. Essa grande área apresenta desafios científicos e tecnológicos em diferentes setores, como nas engenharias nuclear, aeroespacial, mecânica, ambiental, química, biomédica. Basta olhar à nossa volta e perceber que as ciências térmicas estão presentes em quase tudo que nos cerca e com que interagimos, desde o nosso próprio corpo a tudo o que acontece no mundo, seja por ação do homem ou naturalmente. Para exemplificar essa abrangência, já trabalhei com a proteção térmica de foguetes para resistir à reentrada na atmosfera até a análise dos efeitos térmicos nos tecidos humanos de fisioterapias com ultrassom.

#### Quais foram suas principais contribuições na área de ciências térmicas?

Com o advento do computador digital, em particular a partir da década de 1970, o desenvolvimento da simulação computacional na engenharia e ciências afins ganhou grande destaque em todo o mundo. Essa nova onda científica caracteri-

zou-se pelo acelerado desenvolvimento de métodos ditos numéricos ou discretos para as equações que governam os problemas de engenharia. Esse progresso levou praticamente ao abandono dos métodos analíticos clássicos surgidos no século XIX e na primeira metade do século XX, que erigiram o arcabouço teórico das ciências da engenharia, antes da existência do computador. Preguei durante minha carreira a combinação sinérgica dessas duas correntes, visando o desenvolvimento de métodos híbridos numérico-analíticos com maior precisão e menor custo computacional. Assim, inovei na proposição e no desenvolvimento das chamadas técnicas da Transformada Integral Generalizada [GIT] e das Equações Integrais Acopladas [CIEA]. Elas se notabilizaram inicialmente na área de transferência de calor e massa e depois foram estendidas para outros campos da ciência. Os ganhos em precisão, robustez e custo computacional em relação aos métodos numéricos clássicos se provaram significativos e as técnicas têm reconhecimento internacional. O Brasil está associado como sua principal fonte de desenvolvimento.

**O senhor já participou de projetos nacionais estratégicos, como o das ultracentrífugas para enriquecimento isotópico de urânio. Qual a importância dele para sua carreira?**

Ao fim do meu doutorado na NCSU, em 1985, tive a oportunidade de conhecer na Coordenadoria de Projetos Especiais [Copesp] o Almirante Othon Luiz Pinheiro da Silva, que coordenava o Programa Nuclear da Marinha. A Copesp funcionava naquela época ao lado do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares [Ipen], no campus da Universidade de São Paulo, onde hoje funciona o CTMSP. Fui convidado para me juntar àquele órgão para trabalhar no projeto das ultracentrífugas, mas eu já havia me comprometido a retornar ao ITA a convite do professor Pedro Carajilescov. Surgiu, contudo, a oportunidade de atuar em paralelo ao meu vínculo com o ITA como consultor no projeto das ultracentrífugas. Comecei em 1986 e atuei nele até 2001. Acompanhei o desenvolvimento das primeiras gerações de ultracentrífugas, sempre trabalhando na modelagem matemática e simulação computacional. A metodologia

empregada foi uma extensão do que havia desenvolvido no meu doutorado. No fim de 1986, conseguimos uma simulação completa do processo de ultracentrifugação, com baixo custo computacional. No ano seguinte, para acelerar esse desenvolvimento, passei quatro meses em São Paulo totalmente dedicado às simulações da ultracentrífuga. Somente em 2000 pude publicar um artigo sobre essa metodologia aplicada a ultracentrífugas.

**Quando começou seu interesse pela área nuclear?**

Em 1975, aos 15 anos, quando cursava o ensino médio, visitei a Exposição Brasil Nuclear, organizada no Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro. Naquela época, pensava em seguir a carreira diplomática, com viés científico na área de energia, influenciado pela crise do petróleo de 1973 e pelos conflitos que dela derivaram. Na exposição, montada a partir de maquetes e painéis, conheci a vida do Almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva, pioneiro do Programa Nuclear Brasileiro, e a participação da Marinha nesse setor. Convencido do futuro promissor desta tecnologia, decidi fazer engenharia nuclear. Naquela época

não havia esse curso no país e a saída era fazer pós-graduação na área. Em 1976, iniciei a graduação em engenharia na Universidade Federal Fluminense, mesmo antes de concluir o ensino médio, mas decidi me preparar para outro vestibular, da UFRJ, que inaugurara o curso de engenharia com ênfase nuclear. Após monitorias e iniciações científicas na área nuclear, estagiei no Instituto de Engenharia Nuclear [IEN], quando fui treinado no reator Argonauta e nos circuitos termohidráulicos de sódio e água. No último ano da graduação, fiz em paralelo as disciplinas do mestrado em engenharia nuclear – embora não tenha escrito e defendido uma dissertação – e realizei um projeto de final de curso tratando da análise térmica do combustível nuclear para reatores PWR.

**Como continuou sua formação acadêmica?**

Estimulado pelos professores da UFRJ e com financiamento da Comissão Nacional de Energia Nuclear [Cnen], a decisão de ir para o exterior cursar o doutorado, sem ter feito o mestrado, foi quase natural. Aos 21 anos de idade, cheguei à NCSU, onde foi construído o primeiro reator nuclear de uma universidade e oferecido o primeiro curso de engenharia nuclear no mundo. Curiosamente, também foi lá que se formou o primeiro PhD em engenharia nuclear no mundo, o cientista brasileiro Hervásio de Carvalho [1916-1999], presidente da Cnen à época em que fui aceito para o doutorado. No retorno ao Brasil, nunca deixei de trabalhar na área nuclear, berço da minha formação. Além de integrar o projeto das ultracentrífugas para enriquecimento de urânio, que nos deu autonomia no ciclo do combustível nuclear, participei da análise de segurança do repositório de rejeitos radioativos do acidente com césio-137 em Goiânia, em 1987, e da análise de impacto ambiental e radiológico da mineração de urânio em Caetité, na Bahia, na primeira década desse século, entre outros projetos relevantes.

**O que significou ter sido agraciado em 2022 com a Medalha Luikov?**

Talvez tenha sido o ponto alto da minha vida profissional. Promovido pela instituição não governamental Centro Internacional de Transferência de Calor e

“

**As ciências térmicas estão presentes em quase tudo que nos cerca, desde nosso próprio corpo a tudo o que ocorre no mundo**

Massa [ICHMT], o prêmio é concedido a pesquisadores com contribuições excepcionais à ciência e à arte da transferência de calor e massa e por atividades de cooperação científica internacional em conjunto com os programas do ICHMT. Na lista de agraciados, temos nove estadunidenses, sete europeus, dois russos e dois japoneses, portanto, nenhum cientista do hemisfério Sul. Durante a cerimônia proferi a palestra mais importante da minha carreira, para uma plateia estimada em 800 cientistas da área.

**Em que estágio está o seu projeto que envolve a modelagem de um processo de dessalinização da água do mar com uso de membranas para cogeração de eletricidade, água destilada e hidrogênio verde?**

A dessalinização é, em essência, um processo de separação soluto-solvente com o objetivo de remover o sal existente na água salobra ou do mar. Este processo demanda elevado consumo de energia térmica ou elétrica. Uma das alternativas para aumentar a eficiência energética global é aplicar métodos de dessalinização que possam aproveitar a recuperação de calor rejeitado de outros processos. Nesse sentido, o emprego de reatores nucleares para dessalinização faz parte de um conceito mais amplo do uso da energia nuclear em que se considera a cogeração de eletricidade com outros produtos de interesse econômico e social. Hoje, entende-se que competitividade econômica, sustentabilidade e aceitação pública da tecnologia nuclear não dependem apenas de seu uso para a geração elétrica, mas também da abertura de novos mercados e oferta de produtos. Com o progresso da montagem do nosso primeiro reator nuclear de potência, o Labgene, a disponibilidade de um reator desse tipo para pesquisas no país também estimula a proposição de alternativas para cogeração e aumento de eficiência energética.

**Pode dar um exemplo?**

Sim, o desenvolvimento nacional de um pequeno reator modular PWR para cogeração de água e eletricidade ajuda a enfrentar a escassez de água, enquanto a cogeração de eletricidade e hidrogênio abre uma avenida de oportunidades à produção desse novo e estratégico

“

## Desenvolver um pequeno reator modular para cogeração de água e eletricidade ajudará a enfrentar a escassez hídrica

combustível. Em 2016, quando presidia a Cnen, iniciei estudos de um novo reator modular, o projeto Dossal. Nos últimos anos, como contribuição a esse projeto de maior envergadura, foram propostas inovações no sistema de recuperação térmica, bem como no processo de dessalinização via destilação por membranas, para o melhor acoplamento entre o circuito secundário do reator e a unidade de dessalinização.

**Em que outros projetos de dessalinização está envolvido?**

Trabalho também no projeto EnerGente, no contexto de uma Ilha de Policogeração Sustentável, coordenado pela engenheira mecânica e professora Carolina Cotta, também da UFRJ, minha esposa e colaboradora mais próxima. Financiado pela Petrogal Brasil, por meio da Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis [ANP], o projeto envolve a cogeração de eletricidade a partir de painéis fotovoltaicos de alta concentração e recuperação de calor dos painéis para reutilização em processo de destilação por membranas para dessalinização de água. Essa iniciativa venceu o Prêmio

ANP de Inovação Tecnológica em 2024 e encontra-se em análise pelo governo federal para incorporação em comunidades isoladas do semiárido nordestino.

**O senhor também participa de projetos aeroespaciais?**

O início de minha carreira no ITA e a forte interação com o IAE [Instituto de Aeronáutica e Espaço] e o Inpe [Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais] foram determinantes para o foco em pesquisas nessa área. Entre outros projetos, trabalhei na análise térmica da plataforma de lançamento do Veículo Lançador de Satélites, o VLS [foguete brasileiro que explodiu em solo, em 2003, vitimando 23 técnicos], na análise de superisólatas para controle térmico de satélites, no desenvolvimento do sistema de proteção térmica do Sara, o Satélite de Reentrada Atmosférica, do IAE. Recentemente coordenei pesquisas na análise teórico-experimental de sistemas antigelo de sondas pitot, dispositivo que fornece dados para determinar a velocidade e a altitude de aviões. Nesse estudo, feito em colaboração com a Marinha e a empresa ATS4i, foi projetado e construído na Coppe o primeiro túnel de vento de formação de gelo. Combinado a ensaios em voo com o jato Skyhawk A4 da Marinha, foi explicado o fenômeno de formação de gelo em sondas pitot que levou à tragédia do voo 447 da Air France, em 2009 [o avião fazia a rota Rio de Janeiro-Paris e caiu no oceano Atlântico, vitimando seus 228 ocupantes]. O trabalho final dessa pesquisa ganhou um importante prêmio do ICHMT em 2015. A dedicação ao estudo das causas do acidente do AF447 tem uma raiz emocional e pessoal muito forte, pois foi o caminho que trilhei para superar a trágica perda de minha filha Bianca e de meu genro Carlos Eduardo, que voavam para sua lua-de-mel naquele avião. Esse foi o trabalho mais importante da minha vida, não apenas por demonstrar o processo de congelamento das sondas, mas também pela proposição de alternativas para evitar que isso ocorra novamente. Foi a forma que encontrei para abrandar a dor, me dedicando a um estudo que chamou a atenção para um problema de engenharia que afeta a segurança na aviação, na esperança de que vidas sejam poupad as em situações similares no futuro. ●

FINANCIAMENTO

# Caminho alternativo





Emendas parlamentares vêm sendo usadas como recurso para complementar o orçamento de universidades públicas

SARAH SCHMIDT — ilustração DANIEL ALMEIDA

**A**s emendas parlamentares, mecanismo pelo qual deputados e senadores direcionam parte do orçamento público de acordo com compromissos assumidos com estados, municípios e instituições, têm se tornado um recurso complementar cada vez mais frequente para as universidades públicas brasileiras. Seus usos variam do financiamento de projetos de pesquisa à manutenção de prédios e obras de infraestrutura, como a construção de laboratórios. O fenômeno se insere no contexto de crescimento geral no volume de emendas parlamentares federais e tem provocado debates entre especialistas da área: se, por um lado, esse tipo de recurso pode ajudar a compor o orçamento dessas instituições, por outro, são repasses incertos, que podem cessar de um ano para outro, e seu uso não deve ofuscar a necessidade de políticas públicas orçamentárias com previsibilidade de longo prazo.

Entre 2014 e 2025, as emendas passaram de 0,8% para aproximadamente 7,2% do orçamento das universidades federais. Dos R\$ 7,89 bilhões previstos neste ano na Lei Orçamentária Anual (LOA) para as 69 universidades federais brasileiras, R\$ 571 milhões devem vir de emendas parlamentares. Apesar de ligeira queda em relação a 2024, os valores têm crescido nos últimos anos – em 2014 foi de R\$ 148,42 milhões, quando o orçamento discricionário da LOA para essas instituições foi de aproximadamente R\$ 17 bilhões, mais que o dobro do atual.

Os dados são de um levantamento publicado em agosto pelo Observatório do Conhecimento, instituição ligada a sindicatos de docentes de universidades públicas, com valores extraídos do Sistema Integrado de Planejamento e Orçamento (Siop) do Ministério do Planejamento. É importante ressaltar, no entanto, que esses valores correspondem à chamada dotação inicial, que se refere ao montante aprovado na LOA – sem

garantia de que, de fato, esses recursos tenham sido repassados e executados em sua totalidade.

“Com a queda do orçamento transferido pelo Ministério da Educação [MEC], as instituições acabaram usando as emendas como um dispositivo compensatório. Mas elas nem de longe resolvem os problemas das universidades, que expandiram suas matrículas nos últimos anos e incluíram alunos pelas ações afirmativas”, avalia a cientista política Mayra Goulart da Silva, coordenadora do Observatório e professora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). “Além disso, as emendas estão sujeitas aos humores políticos e não há garantia de continuidade.”

“Ao mesmo tempo, há um montante cada vez maior de dinheiro público destinado às emendas parlamentares no país”, ressalta a economista Letícia Inácio, coordenadora de estudos técnicos do Observatório. Ela é autora de dois levantamentos sobre o tema – o primeiro, de 2023, já apontava uma dependência crescente desse tipo de financiamento. No total, R\$ 50,4 bilhões estão destinados pelo governo para pagamento de emendas em 2025, em geral, diante de R\$ 9,6 bilhões em 2014. “Esse tipo de financiamento coloca uma responsabilidade nos gestores das instituições e de grupos de pesquisa que não existia antes, de ter que fazer articulações com parlamentares”, pondera Inácio.

Para as universidades federais, neste ano, a previsão é de que R\$ 302 milhões venham das chamadas emendas de bancada (quando parlamentares de um estado se unem para direcionar um recurso para uma instituição) e R\$ 269 milhões via emendas individuais, destinadas por um único deputado ou senador.

“As emendas parlamentares, que antes eram usadas para ações pontuais, como equipar museus, agora são utilizadas para suprir necessidades fundamentais”, avalia a biomédica Helena Nader, presidente da Academia Brasileira de Ciências (ABC). “O problema é que essas emendas, que deveriam ser complementares ao orçamento, estão

sendo usadas para substituir o que teria de estar garantido por lei”, pondera.

Em 2024, o Supremo Tribunal Federal (STF) bloqueou a execução dos recursos dessas indicações orçamentárias do Legislativo para avaliar e discutir critérios de transparência, e o escrutínio chegou às universidades públicas. Em janeiro de 2025, o STF deu prazo de 30 dias para que o governo federal e os estaduais publicassem normas e orientações sobre prestação de contas de emendas parlamentares por universidades públicas e suas fundações de apoio, que em muitos casos administram o dinheiro vindo de emendas.

“Uma das requisições do STF foi que as fundações de apoio divulgassem com clareza os projetos de emendas”, explica Inácio. Como um dos resultados, em fevereiro, o MEC publicou uma portaria que estabelece orientações para o uso desses recursos e à prestação de contas pelas instituições federais de ensino e suas fundações de apoio. Inácio também levantou as 10 universidades federais com o maior volume de recursos previstos para este ano. A Fundação Universidade de Brasília, ligada à UnB, ocupa a primeira posição, com R\$ 65,08 milhões, seguida pela Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), com R\$ 63,8 milhões, e pela Fundação de Apoio à Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio), com R\$ 56 milhões (ver infográfico).

#### FINALIDADES

Em um artigo publicado na revista *Práticas em Gestão Pública Universitária* em julho de 2023, pesquisadores da UFRJ e da Universidade Federal Fluminense (UFF) apontam que, entre 2019 e 2022, R\$ 132,72 milhões foram destinados à UFF, entre emendas individuais e de bancada. A

universidade está entre as 10 que devem receber mais verbas de emendas em 2025.

Desse montante, a maior parte (76,8%) foi usada para reestruturar e modernizar a instituição, como obras e readequações estruturais. Outros 12,4% foram para ações de fomento à graduação, pesquisa, extensão e pós-graduação, e 10,8% para a ação classificada como funcionamento de instituições federais, como compra de mobiliários e equipamentos, pagamento de serviços de terceiros, entre outros. Os dados foram levantados pelos autores a partir do Tesouro Gerencial, sistema do governo federal com informações orçamentárias.

“Na UFF, foi um desafio dar continuidade às obras iniciadas durante o Reuni [Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais], que estavam paralisadas desde 2013”, conta a especialista em gestão universitária Gisele Fernandes, servidora da Pró-reitoria de Planejamento da UFF e primeira autora do estudo. “Por meio das emendas – especialmente as de bancada – conseguimos reunir um volume maior de recursos, finalizar obras inacabadas e equipar laboratórios”, complementa. Fernandes está temporariamente cedida para o Instituto Benjamin Constant, onde trabalha como diretora de Planejamento e Administração.

**E**ntre as medidas concretas que puderam ser realizadas, destacadas no trabalho, está a retomada, em 2019, da construção da nova sede da Faculdade de Medicina por meio de uma emenda de bancada de aproximadamente R\$ 25 milhões, fruto de uma articulação da Gestão Superior da instituição. A obra, que estava paralisada devido à falta de recursos, foi finalizada em dezembro de 2024.

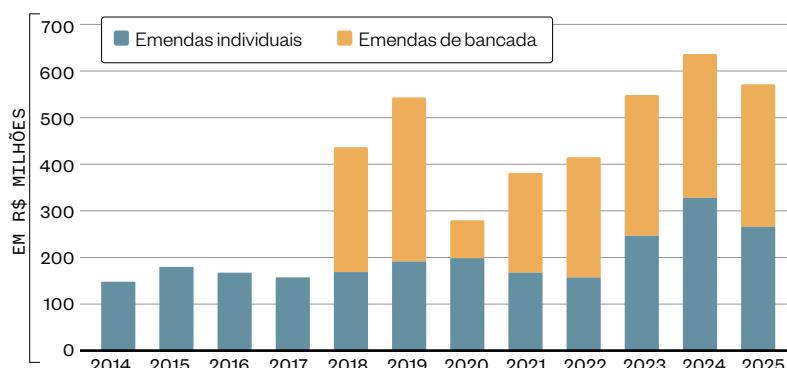
“Diante dos sucessivos cortes, as emendas passaram a ocupar um papel estratégico como ferramenta de resistência institucional e de continuidade de projetos e de infraestrutura universitária”, avalia Fernandes. Em 2024, ela organizou um encontro sobre orçamento na UFF para discutir com a comunidade acadêmica boas práticas no uso de emendas parlamentares. Em junho de 2025, um conjunto de normativas, uma cartilha prática e um painel interativo, que mostra como as emendas são executadas pela universidade, foram apresentados ao público interno da instituição.

Entre 2016 e 2023, as quatro universidades federais rurais do país tiveram a maioria dos recursos oriundos de emendas individuais usados na reestruturação e na manutenção das instituições. Uma parte menor foi aplicada ao ensino, à pesquisa e extensão e assistência estudantil, como bolsas de permanência, segundo um artigo publicado na *Revista Jurídica da Ufersa* em julho de 2024.

## Emendas parlamentares nas universidades federais

Entre 2014 e 2025, esses recursos passaram de 0,8% para aproximadamente 7,2% do orçamento das instituições

EM MILHÕES, DEFLACIONADOS PELO IPCA



FONTE: OBSERVATÓRIO DO CONHECIMENTO, COM BASE EM DADOS DO SISTEMA INTEGRADO DE ORÇAMENTO E PLANEJAMENTO (SIOP), DEFLACIONADOS PELO IPCA

# As 10 mais

Universidades federais com o maior volume de recursos vindos de emendas parlamentares previsto para 2025

Instituição	Total, em R\$
Fundação Universidade de Brasília	 65.080.888
Universidade Federal do Espírito Santo	 63.800.000
Fundação Univ. do Estado do Rio de Janeiro (Unirio)	 56.028.330
Universidade Federal do Rio de Janeiro	 49.306.619
Fundação Universidade Federal de Rondônia	 37.380.000
Universidade Federal Fluminense	 33.336.910
Fundação Universidade Federal do Tocantins	 26.362.696
Universidade Federal da Paraíba	 23.310.000
Fundação Universidade Federal do Acre	 23.200.000
Fundação Universidade Federal de Roraima	 21.962.488

**FONTE** OBSERVATÓRIO DO CONHECIMENTO, COM BASE EM DADOS DO SISTEMA INTEGRADO DE ORÇAMENTO E PLANEJAMENTO (SIOP), DEFLACIONADOS PELO IPCA

O estudo focou apenas nas emendas individuais e nos valores de fato executados. A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRJ) usou o maior montante no período, R\$ 37,6 milhões, seguida pela Rural da Amazônia (Ufra), com R\$ 11,3 milhões. A Rural do Semi-árido (Ufersa), no Rio Grande do Norte, com R\$ 9 milhões em emendas individuais executadas, ficou em terceiro lugar, e, por último, a Rural de Pernambuco (UFRPE), com R\$ 5 milhões.

O trabalho destaca que a atenção principal dos parlamentares foi direcionada para ações de reestruturação, expansão e modernização das instituições, categorias que corresponderam a 48% das emendas na Ufersa e 39% na Ufra. O funcionamento das instituições ficou em segundo lugar em termos de verbas. Apenas a Ufersa recebeu emendas para assistência aos estudantes (11%). “Hoje, conseguir emendas parlamentares se tornou uma questão de sobrevivência”, avalia o especialista em orçamento público Adailson Pinho de Araújo, professor de direito da Ufersa e primeiro autor do estudo.

**E**m dados preliminares de outra pesquisa, ele avaliou emendas individuais destinadas às 69 universidades federais entre 2015 e 2024, cruzando dados do Siop, Portal da Transparência, Sistema Integrado de Administração Financeira e Siga Brasil. Segundo sua análise, quase 39% foram para funcionamento e gestão administrativa, 31,1% para infraestrutura e expansão e 26,3% para ensino, pesquisa e extensão. Do restante, 2,6% foram destinados para infraestrutura e implantação de hospitais universitários federais; 0,4% para assistência estudantil e 0,3% para o que Araú-

jo classificou como projetos especiais e ações emergenciais, como a reconstrução do Museu Nacional, da UFRJ.

A Universidade Federal do Tocantins (UFT), que está entre as instituições federais que devem receber mais recursos de emendas em 2025, com previsão de R\$ 26,3 milhões, também tem investido em obras, principalmente. “Houve uma queda drástica nos recursos de capital a partir de 2014, que passaram de mais de R\$ 10 milhões para cerca de R\$ 1 milhão”, explica Marcelo Leineker, vice-reitor da UFT. De acordo com ele, após os cortes recorrentes de orçamento do MEC, a universidade passou a buscar emendas parlamentares para concluir obras, apoiar projetos de pesquisa e extensão e mais recentemente para construir um hospital universitário, com R\$ 5 milhões captados em 2024 e R\$ 25 milhões previstos para este ano. A obra total é orçada em cerca de R\$ 300 milhões.

Leineker conta que a universidade tem desenvolvido um portfólio de ações para apresentar aos parlamentares. “Como o estado tem poucos habitantes, há um diálogo próximo entre parlamentares e órgãos federais. Todo fim de ano, participamos de reuniões com a bancada, e apresentamos nossas demandas.”

Entre as universidades estaduais, a busca de recursos entre os parlamentares também ocorre. Ao enfrentar dificuldades para financiar seu grupo de pesquisa, o diretor Juarez Xavier, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da Universidade Estadual Paulista (Faac-Unesp), *campus* de Bauru, conseguiu recursos para dois projetos via emendas parlamentares individuais de deputadas estaduais. Ele lidera o grupo de pesquisa Núcleo de Estudos e Observação em Economia Criativa – NeoCriativa e conseguiu cerca de R\$ 250 mil para um projeto de atenção psicosocial voltado a estudantes negros e R\$ 150 mil para a criação de um laboratório de podcasts sobre relações étnico-raciais, que contemplaram bolsas para alunos que ingressaram via reserva de vagas. Ambos terminaram no ano passado. Como ele já conhecia as deputadas, que apoiam causas raciais, foi convidado a apresentar projetos relacionados à temática.

Neste ano, um novo projeto em parceria com a TV Unesp, financiado por emendas estaduais, está em andamento. “Esses recursos, embora não substituam uma política pública estruturada, têm funcionado como um caminho para fortalecer pesquisadores negros e criar base para futuros financiamentos institucionais, contribuindo para superar uma desigualdade histórica no campo científico”, explica Xavier. ●

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

# Ninguém é uma ilha

Socióloga cabo-verdiana alerta para o risco de assimetrias em redes de pesquisa

FABRÍCIO MARQUES

**A** ciência aberta, um conjunto de práticas que incentivam a construção do conhecimento em redes de colaboração e preconizam o acesso livre ao resultado de pesquisas, não é isenta de efeitos colaterais. Embora ela busque democratizar processos e aplicações da ciência, sua dinâmica colaborativa pode realçar desigualdades, quando engaja em grandes consórcios internacionais científicos de países onde há baixo investimento em pesquisa e elevada dependência de cooperação, como muitos do continente africano.

Para a socióloga e cientista política Eurídice Monteiro, da Universidade de Cabo Verde, a ciência aberta traz oportunidades preciosas a nações em que o desenvolvimento científico é incipiente ao impulsionar a internacionalização de sua pesquisa, mas também embute riscos, como o de tratar a contribuição de seus pesquisadores de forma subalterna. “A África precisa ser reconhecida como uma produtora legítima de saberes e interpretações sobre o mundo”, afirmou Monteiro em 27 de junho, ao abordar os desafios da ciência aberta em uma conferência no auditório da FAPESP, em São Paulo.

A pesquisadora falou do assunto com a experiência de quem recorreu ao suporte internacional para sua formação – fez graduação e doutorado na Universidade de Coimbra, em Portugal – e conhece bem a realidade da ciência na África. Entre maio de 2021 e fevereiro de 2025, foi secretária de Estado do Ensino Superior do governo de Cabo Verde. Pouco antes de deixar o Brasil rumo a Lisboa, ela concedeu a *Pesquisa FAPESP* a entrevista a seguir.



**A pesquisadora em São Paulo: “A cooperação científica não tem sido a mais justa”**

**Na sua conferência, a senhora afirmou que a ciência aberta, embora possa ajudar a democratizar o acesso ao conhecimento, pode reforçar desigualdades. Como isso ocorre?**

Há dimensões importantes da ciência aberta, como disponibilizar a produção científica para todos e partilhar infraestruturas que ajudam a comunidade acadêmica global a ter conhecimento dos trabalhos que cada comunidade regional produz. Mas é preciso questionar as condições em que a ciência é produzida para garantir que todos os países sejam reconhecidos como produtores legítimos de saberes e interpretações sobre o mundo. Se as práticas da ciência aberta não forem questionadas, podemos incorrer no risco de reforçar a hegemonia de países ou comunidades com melhores condições de se posicionarem. Queremos aceder ao conhecimento e não só importar conhecimento produzido por outros.

**Como vê a questão em que um pesquisador de um país central coleta os dados de uma localidade com o apoio de parceiros locais e vai embora, sem estabelecer colaborações respeitosas e muitas vezes privando os colaboradores de serem coautores de publicações e de patentes?**

Não faltam questionamentos sobre práticas dessa natureza, que, nos contextos africanos, transformam os parceiros locais apenas em informantes privilegiados. Na relação Norte-Sul, verificamos essas disparidades, mas mesmo dentro da África as comunidades acadêmicas não são homogêneas. Se partirmos da África do Sul e formos até Cabo Verde ou Guiné-Bissau, vamos perceber como existe uma disparidade nas condições de produção e partilha do conhecimento. O que nos preocupa é essa relação com polos hegemônicos de produção científica – e a cooperação científica não tem sido a mais justa. Precisamos que a cooperação contribua para que haja dignidade do pesquisador local que participe na dinâmica global de produção de conhecimento.

**O que deveria mudar?**

Qualquer pesquisador na África sente a necessidade de produzir conhecimento em colaboração, por causa da dimensão da internacionalização, que se tornou um elemento fundamental na avaliação de instituições e dos próprios cientistas. O que se coloca é a condição de colaboração. Quanto mais acolhedor e integrador for o ambiente em que se produz o conhecimento, os resultados da pesquisa e o processo de produção e partilha serão melhores para todos.

**O que a ciência perde quando as colaborações são assimétricas?**

Imagine se as comunidades científicas se fecharem em si mesmas, como se fossem ilhas. Isso significa que vão conhecer apenas a sua produção. Estamos a reivindicar essa condição de sujeitos de produção do conhecimento, não objetos da observação alheia.

**Como a produção científica africana tem se ampliado?**

Temos registrado uma transformação nas condições de investigação no contexto africano, em nível tecnológico e

científico e na formação de novos pesquisadores, embora uma grande parte deles tenha saído do continente e permanecido sobretudo na diáspora euro-americana. Cabo Verde, por exemplo, é um pequeno país insular. Temos uma comunidade acadêmica pequena e uma comunidade científica maior vivendo fora. Nossas universidades foram criadas recentemente e têm se dinamizado em torno do ensino. Estamos em uma fase de criar uma dinâmica interna de investigação, que tem sido relegada a um plano secundário por ausência de financiamento. A estratégia que temos utilizado é fomentar parcerias internacionais.

**Como Cabo Verde financia a ciência?**

Buscamos estruturar um mecanismo nacional de financiamento à ciência, mas o que existe nesse momento são formas fragmentadas. Há mecanismos isolados que ajudam de alguma maneira na formação científica, por meio de bolsas de estudo. O financiamento que se faz nesse momento em Cabo Verde está muito atrelado à cooperação científica. Temos quase 2 mil pessoas a se dedicarem à investigação e ao ensino superior, com o grau de mestre e de doutor. Nossa comunidade é muito aberta às redes internacionais. Sem elas, nós não conseguimos fazer muita coisa.

“

Se as práticas da ciência aberta não forem questionadas, podemos incorrer no risco de reforçar a hegemonia de países

**Como se envolveu com questões de política científica e tecnológica?**

A minha formação até terminar o ensino secundário foi em Cabo Verde. Depois disso, ganhei uma bolsa do governo português que me permitiu estudar na Universidade de Coimbra. Lá, continuei a minha formação, com o apoio de bolsas da Fundação para Ciência e Tecnologia de Portugal. Fui para os Estados Unidos e para outros países me beneficiando de iniciativas para a cooperação científica. O meu país não financia o deslocamento de investigadores dentro ou fora de Cabo Verde. As preocupações com as políticas científicas entraram na minha vida quando participava de eventos internacionais, via a minha condição e a comparava com a de outros pesquisadores. Fui despertando para a necessidade de criar na África mecanismos que permitam melhores condições para os investigadores.

**Como foi possível tratar essas estratégias no tempo em que a senhora esteve no governo?**

Há muito por fazer. No meu caso, não me deixaram fazer muita coisa, porque os recursos são limitados e os conflitos de interesse, relativos à disputa de recursos e às formas de posicionamentos, são muitos. Vou continuar a dar o meu contributo, por outras vias, para o progresso científico em Cabo Verde. Levei para a administração pública muito da experiência acadêmica que eu tinha e das redes de que participava e isso me ajudou a formular questões importantes. Durante quase quatro anos, eu tive uma agenda voltada a melhorar as condições da produção científica e a qualidade do ensino superior e os meus colegas acadêmicos foram solidários.

**Suas colaborações de pesquisa se relacionam com o Brasil?**

Tenho colaboração na área da educação, da democracia e participação política, estudos sobre gênero e questões raciais. Cabo Verde também foi colonizado por Portugal e teve a dimensão da escravidão na sua base de formação social. Há muito debate no Brasil sobre ações afirmativas, inclusão social, luta contra o racismo, que são questões hoje globais. Isso nos atrai, porque nós somos fruto desse trânsito transatlântico de escravizados que produziu o racismo que hoje existe no mundo. ●



# Progresso em terreno movediço

Ranking de universidades  
utiliza indicadores  
ligados à má conduta  
científica para classificar  
as instituições

Um inusitado ranking de universidades apresentou uma lista de 1.500 instituições classificadas não por sua excelência do ensino e da produção acadêmica, mas pelo desempenho em indicadores que são impulsionados por desvios éticos. O Índice de Risco de Integridade em Pesquisa, descrito em um trabalho ainda não revisado por pares divulgado no repositório de *preprints* ArXiv, pondera dois parâmetros negativos da produção dos pesquisadores de uma universidade: a proporção de artigos científicos que sofreram retratação, ou seja, que foram cancelados por conterem erros ou indícios de má conduta, e a parcela de *papers* publicados em revistas que foram excluídas das bases de dados Scopus e Web of Science por adotarem práticas de publicação anômalas ou cometerem violações éticas em seus processos editoriais.

“As universidades querem ser vistas como estrelas em ascensão, mas nem sempre fica claro se elas estão prosperando em terreno sólido ou em areia movediça estatística”, explicou à revista *Nature* o

criador do índice, o cientista da informação libanês Lokman Meho, bibliotecário-chefe da Universidade Americana de Beirute. Ele ressalta que sua classificação, embora utilize dados objetivos, não serve para estimar a extensão dos desvios éticos cometidos nas universidades, mas pode ser útil para revelar as instituições com vulnerabilidades estruturais não captadas por rankings tradicionais, como as que pressionam os próprios pesquisadores a inflar de modo artificial suas métricas de desempenho e as que são lenientes com práticas de publicação questionáveis.

O índice ordena as instituições em cinco categorias: 1) sinal de alerta; 2) alto risco; 3) em observação; 4) variação normal; 5) baixo risco. A inclusão de uma universidade em cada uma delas depende da proporção de artigos publicados nos anos 2022 e 2023 que acabaram sendo retratados e da fração de sua produção científica publicada entre 2023 e 2024 em periódicos que posteriormente foram desindexados da Scopus e da Web of Science. Na categoria sinal de alerta, que agrupa cerca de 124 instituições com “anomalias extremas e risco sistêmico de integridade”, um quarto das universidades é da Índia, 17% da Arábia Saudita e 15% da China. Universidades indianas dominam os nove primeiros lugares da lista.

Um dos destaques é a Universidade Anna, em Chennai. Instituição pública com foco em engenharia, tecnologia e arquitetura, ela teve 372 artigos retratados entre os que foram publicados por seus pesquisadores em 2022 e 2023. Também aparecem no topo instituições que protagonizaram escândalos recentes, como a Faculdade de Odontologia do Instituto Saveetha de Ciências Médicas e Técnicas, em Chennai, que se valia de um truque para ampliar indicadores de impacto científico: estimulava os alunos a produzir ensaios de 1.500 palavras descrevendo atividades científicas que realizaram no ano anterior (ver Pesquisa FAPESP nº 329) e a submeter esses textos para publicação em periódicos e anais de conferências. Vários desses trabalhos acabavam sendo aceitos para publicação em seções de resumos (*short communications*) ou de correspondência e, como citavam em suas referências muitos artigos de docentes da própria faculdade, conseguiam inflar artificialmente os índices de impacto da instituição. Dos artigos publicados em 2022 e 2023, 177 artigos foram retratados por violações éticas.

Grande parte das universidades brasileiras aparecem nos estratos mais baixos do ranking – variação normal e baixo risco –, a exemplo das três universidades estaduais paulistas, a de São Paulo (USP), a Estadual de Campinas (Unicamp) e a Estadual Paulista (Unesp). Mas duas universidades federais se destacaram nas duas piores categorias do ranking, a de Uberlândia (UFU), em Minas Gerais, na 115<sup>a</sup> posição, e a de Goiás (UFG), na 151<sup>a</sup> posição, cada uma com 27 artigos retratados. Os *papers* cancelados atribuídos às duas instituições estão

relacionados a um caso controverso protagonizado pelo biólogo Guilherme Malafaia Pinto, do Instituto Federal Goiano (IF-Goiano), o autor correspondente de 45 *papers* retratados por manipulação da revisão por pares publicados na revista *Science of the Total Environment (Stoten)*. Ao submeter os *papers* para publicação, Malafaia sugeriu à *Stoten* nomes de pesquisadores que estariam habilitados a avaliá-los, mas forneceu endereços falsos de e-mail, que não pertenciam a três dos cientistas indicados. Os editores da *Stoten* encaminharam dezenas de artigos submetidos pelo biólogo para esses e-mails falsos e receberam de volta pareceres bem elaborados, mas não se sabe quem os produziu (ver Pesquisa FAPESP nº 349).

“Boa parte desses artigos retratados tinha entre os coautores pesquisadores das federais de Goiás e de Uberlândia, o que explica a inclusão das instituições na lista”, analisa Edilson Damasio, bibliotecário da Universidade Estadual de Maringá e um estudioso das retratações de artigos de autores nacionais. Como o ranking avaliou apenas instituições com produção científica extensa, o IF-Goiano não foi incluído, ao contrário do que aconteceu com grandes universidades onde atuam coautores.

 diretor de pesquisa da Universidade Federal de Uberlândia, Carlos Ueira Vieira, informou que não reconhece o número de artigos retratados atribuídos à instituição e que pediu explicações a Meho. Segundo Vieira, três pesquisadores da UFU colaboraram com Malafaia, mas assinaram, segundo a sua contabilidade, apenas um dos artigos retratados na *Stoten*. Em alguns casos, o autor ligado à UFU nos artigos retratados era o próprio Malafaia, que declarava afiliação também ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade da instituição. De acordo com Vieira, ele foi descredenciado do programa e não possui mais nenhum vínculo com a universidade.

Fabíola Souza Fiaccadori, docente e diretora de pesquisa da Pró-reitoria de Pesquisa e Inovação da Federal de Goiás, explica que Malafaia fez doutorado na instituição e, com isso, manteve colaborações com alguns pesquisadores da universidade com quem publicou artigos. Ela ressalta que os coautores dos artigos cancelados não tiveram participação nas irregularidades e as retratações não questionaram o conteúdo dos trabalhos, mas apenas a lisura do processo de avaliação. “A nossa posição nesse ranking é fruto da fotografia pontual de um momento, uma vez que, historicamente, o volume de retratações de nossos pesquisadores sempre foi muito baixo”, afirma. Fiaccadori afirma que a UFG tem buscado promover uma cultura de integridade: criou, por exemplo, um guia de boas práticas acadêmicas para sua comunidade e oferece uma disciplina de integridade para estudantes de pós-graduação. ●

FABRÍCIO MARQUES

# A extensão do uso de programas de inteligência artificial na escrita de artigos da área biomédica

Estudo divulgado na revista *Science Advances* estimou que um em cada sete artigos científicos da área biomédica publicados em 2024 foi escrito ou editado com a ajuda de programas de inteligência artificial generativa, como o ChatGPT. O grupo liderado pelo cientista de dados Dmitry Kobak, da Universidade de Tübingen, na Alemanha, analisou mais de 15 milhões de resumos de artigos indexados na base de dados Pubmed desde 2010 e observou uma mudança brusca no vocabulário utilizado em 2024, logo após o surgimento de sistemas avançados de inteligência artificial que compreendem

e geram textos semelhantes aos produzidos por seres humanos.

O estudo mostra que o léxico adotado nos artigos científicos sofre variações e transformações ao longo do tempo. Em 2015, houve um aumento no uso da palavra ebola e, em 2017, de zika, como resultado da eclosão de surtos dessas doenças vírais e do consequente crescimento do número de estudos sobre elas. Na pandemia, cerca de 190 palavras, na maioria substantivos, entre eles Covid, lockdown e máscara, tornaram-se mais frequentes no corpo de artigos científicos. Mas nenhum desses casos, segundo os autores, envolveu um conjunto tão grande de termos quanto o que se viu a partir de 2023. Os pesquisadores identificaram 454 palavras que aparecem com muito mais frequência nos artigos de 2024 – após o lançamento do ChatGPT – do que em qualquer outro ano desde 2010. Na maioria das vezes, são verbos e adjetivos relacionados a um certo estilo de escrita e não têm relação com o conteúdo da pesquisa. Em alguns casos, tratava-se de palavras de uso comum, como “descobertas”, “aprofundamento” e “poten-

cial”, mas há exemplos até de adjetivos hiperbólicos, como “incomparável” e “inestimável”.

Nos artigos de pesquisadores de alguns países, como China e Coreia do Sul, e de certas áreas, como computação e bioinformática, o uso dessas palavras era ainda mais frequente – os indícios de uso de programas de inteligência artificial aparecem em um em cada cinco *papers*. Kobak e seus colaboradores afirmam que o uso excessivo de certas palavras permite usá-las como marcadores da utilização desses softwares e algoritmos na escrita científica. Mas talvez isso não funcione por muito tempo, como mostra um trabalho publicado no repositório de *preprints* ArXiv em fevereiro. Assinado por Mingmeng Geng, da École Normale Supérieure, em Paris, e Roberto Trotta, do Imperial College London, o trabalho demonstrou que palavras reveladoras do uso de inteligência artificial, como “aprofundamento”, começaram a ser usadas em artigos com menos frequência no final de 2024, possivelmente porque os autores pediram aos programas para evitar o uso desse tipo de clichê.

## Revista interrompe publicação de *papers* enquanto promove investigação sobre suspeitas de má conduta

A editora Taylor & Francis anunciou que um de seus periódicos, a revista *Bioengineered*, deixará temporariamente de receber e avaliar artigos para publicação. Durante a pausa, a empresa vai investigar denúncias de que mais de mil trabalhos divulgados pela publicação contêm resultados falsos ou imagens manipuladas. Evidências de que um grande volume de artigos da revista tem problemas foram apresentadas em março pelo especialista em integridade científica René Aquarius, pesquisador do Centro Médico da Universidade Radboud, nos Países Baixos,

em um estudo disponibilizado em um repositório de *preprints*.

Ele analisou uma amostra de quase 900 artigos publicados pela *Bioengineered* entre 2010 e 2023 e encontrou sinais de manipulação ou duplicação de imagens em um quarto dos trabalhos. Os artigos problemáticos parecem ter sido produzidos por “fábricas de *papers*”, serviços ilegais que comercializam estudos sob encomenda, frequentemente com dados falsos. Em abril, a revista foi removida da lista de publicações indexadas na base de dados Web of Science por não preencher seus padrões de qualidade.

A Taylor & Francis informou ter publicado alertas nos artigos suspeitos relatando que eles estão sob investigação. Em alguns, houve pedidos sucessivos para incluir novos autores ao longo da revisão por pares, o que sinaliza a possibilidade de venda de autoria. Aquarius elogiou a pausa da revista no recebimento de artigos. “É um problema que pode ser resolvido e é bom ver pessoas e organizações assumindo a responsabilidade quando as coisas correm mal”, disse à revista *Science*.

## CONTEÚDO EXTRA

Conhece a nossa newsletter de integridade científica?



Acesse o QR Code para assinar nossas newsletters

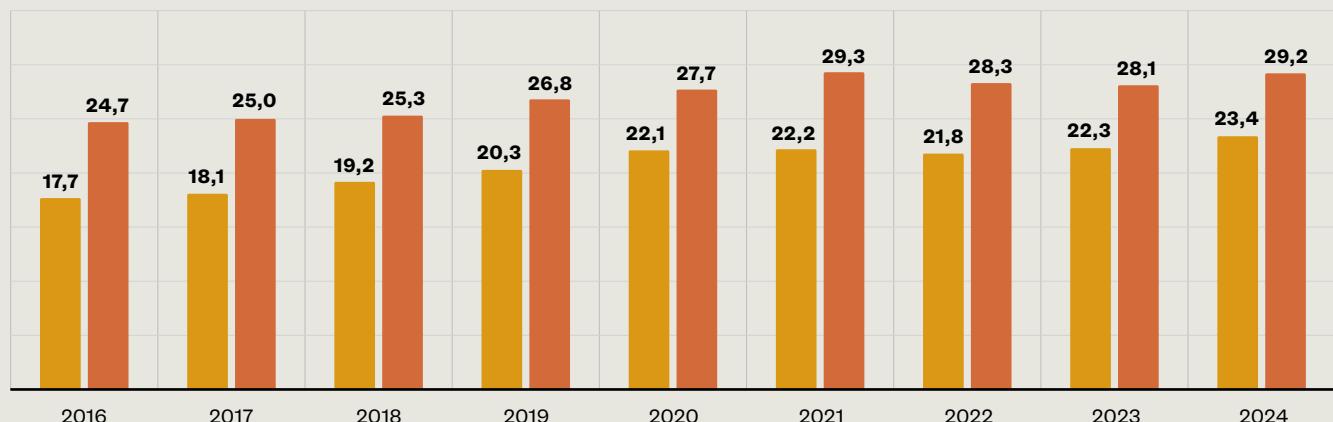


# dados Escolaridade superior cresce no Brasil

## Pessoas de 25 a 64 anos que completaram o ensino superior

EM % - BRASIL E SÃO PAULO - 2016-2024

Brasil São Paulo

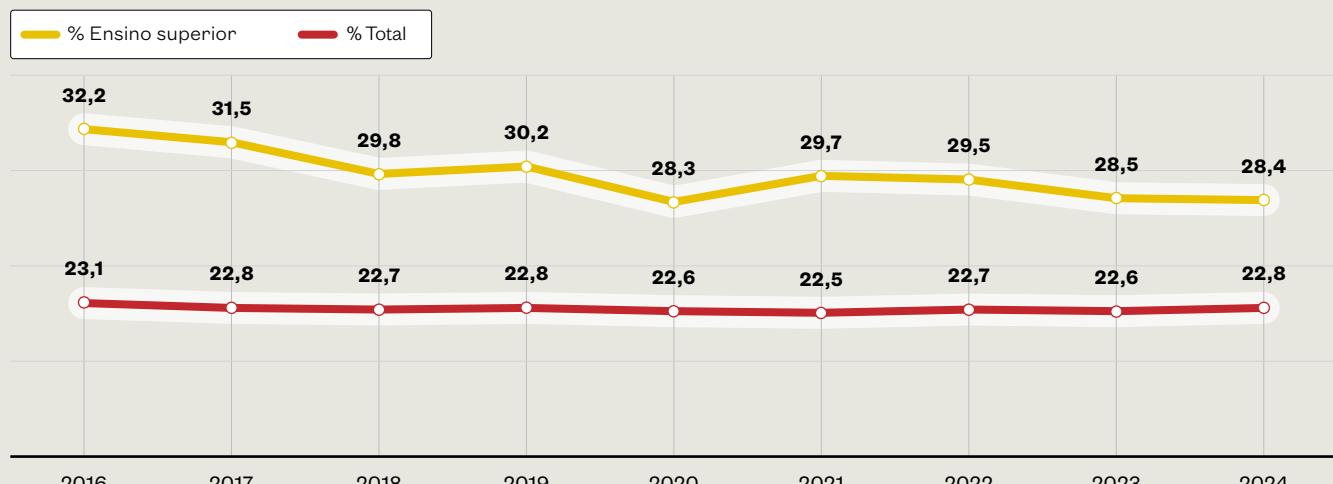


→ Os brasileiros têm ampliado seu ingresso e a titulação no ensino superior. Em 2016, das 107,8 milhões de pessoas com idade entre 25 e 64 anos, 17,7% haviam completado o ensino superior. Em 2024, esse contingente chegou a 117,5 milhões e a proporção de titulados atingiu 23,4%. A população residente em São Paulo, na mesma faixa etária, passou de 24,9 milhões para 26,8 milhões, no período, e sua parcela com ensino superior completo variou de 24,7% para 29,2%

→ Essa evolução só não foi mais intensa em razão dos efeitos negativos da pandemia de Covid-19 sobre os fluxos de ingresso e titulação nesse nível educacional. Tais efeitos foram defasados no tempo, pois só se refletiram nos dados aqui apresentados a partir de 2022, quando os percentuais se retraíram pela primeira vez no período

## Participação no Brasil das pessoas de 25 a 64 anos residentes em São Paulo

TOTAL E PARCELA COM ENSINO SUPERIOR COMPLETO



→ A linha vermelha do gráfico acima expressa a parcela de pessoas de 25 a 64 anos que residem em São Paulo em relação ao total das pessoas da mesma faixa etária residentes no Brasil. A amarela mostra a parcela desse contingente que completou o ensino superior e reside em São Paulo em relação às pessoas da mesma faixa etária que completaram o ensino superior e residem no Brasil

→ O gráfico reflete a clara, embora lenta, tendência à redução da disparidade educacional entre São Paulo e a média do Brasil. Em 2016, 32,2% das pessoas na faixa etária indicada com ensino superior residiam em São Paulo, mas, em 2024, tal percentual se reduziu para 28,4%. Como o peso de São Paulo na população brasileira de 25 a 64 anos tem se mantido relativamente estável (em torno de 22,7%), pode-se afirmar que a retração daquele percentual se deveu ao crescimento mais intenso do ingresso e da titulação no ensino superior dos residentes nas demais UF do que em São Paulo

# Árvores que protegem outras árvores

Capororoca, pixirica, catingueira  
e faveleiro criam ambientes  
favoráveis para o crescimento  
de dezenas de outras espécies

CARLOS FIORAVANTI





2

3

FOTOS 1 VINÍCIUS DOMINGUES / INATURALIST 2 RENATO BANDEIRA / INATURALIST 3 ENRÍQUE SALAZAR / INATURALIST

Uma catingueira (ao lado) de Canudos (BA) e um faveleiro (acima, à esq.) de Curaçá (BA): as principais espécies facilitadoras da Caatinga. Uma capororoca (acima à dir.) de Capão do Leão (RS), principal recrutadora de outras espécies de árvores da Mata Atlântica

**O**ecólogo paulista Gustavo Paterno chegou pela primeira vez a Sumatra, na Indonésia, em 2021, como coordenador de um projeto de restauração florestal da Universidade de Göttingen, na Alemanha, naquele país. Observou as ilhas de árvores plantadas em meio a uma vasta plantação de dendê e se lembrou de um experimento que havia conduzido na Caatinga 10 anos antes.

Em uma área ocupada por pastagens em Petrolina, Pernambuco, quando estava na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Paterno plantou árvores embaixo de outras árvores para ver como elas estabeleciam a chamada interação ecológica de facilitação, quando uma planta beneficia outra, protegendo-a de condições ambientais desfavoráveis. Algumas, como a catingueira-rasteira (*Poincianella microphylla*) e o faveleiro (*Cnidoscolus quercifolius*), ajudavam outras a crescer ao criarem sombra com suas copas, que soltam folhas que mantêm a umidade do solo e o abastecem com nutrientes para as plantas.

Com sua orientadora de mestrado, Gislene Ganade, e o coordenador do experimento em Petrolina, José Alves Siqueira Filho, ele formulou as hipóteses de que a interação deveria se dar entre espécies, a maior diversidade inicial de árvores poderia promover uma maior diversidade de plantas beneficiadas, e o efeito poderia variar, favorecendo a germinação, por exemplo, mas depois barrando o crescimento de outras plantas. Pensou que esses fenômenos poderiam ser mais abrangentes e não apenas locais, mas não tinha ainda como verificar. Descrito em novembro de 2024 na *Science*, o experimento em Sumatra confirmou suas ideias ao expor relações similares mesmo em um ambiente diferente, com árvores de até 40 metros (m) de altura.

Paterno logo veria interações entre pares de árvores em uma escala muito maior, influenciadas pela luminosidade ou por compostos químicos que podem beneficiar ou prejudicar o crescimento das plantas. A convite do ecólogo Miguel Verdú, da Universidade de Valência, na Espanha, que havia lido o trabalho sobre a Caatinga, publicado em janeiro de 2016 na *Journal of Vegetation Science*, o ecólogo brasileiro ingressou na RecruitNet, uma rede mundial criada em 2018 pelo espanhol, que aplicou o conceito de redes de recrutamento de árvores. Ele separou as espécies em dois grupos: as recrutadoras ou facilitadoras, que são as primeiras a chegarem a novos ambientes e criar condições favoráveis para outras espécies; e as recrutadas, que inicialmente crescem sob a copa das recrutadoras.

Detalhada em fevereiro de 2023 na revista *Ecology*, a RecruitNet reúne informações sobre 143 locais, com 2.355 plots (ou pontos de amostragem), em 23 países de regiões desérticas, temperadas e tropicais de cinco continentes. A planilha que acompanha o artigo, com 135.211 linhas, detalha os lugares de amostragem das 118.411 interações pareadas, com as recrutadoras e as recrutadas, entre 3.318 espécies de árvores. Os pesquisadores estudaram florestas tropicais e subtropicais úmidas similares à Amazônia no Panamá, Peru, China, Papua Nova Guiné e Filipinas. Com elevada biodiversidade, Papua Nova Guiné se destacou como o país com mais interações: 557 espécies e 40.365 interações.

Os dados sobre o Brasil que detalham as interações entre árvores da Caatinga foram reunidos por Paterno, e os de duas áreas da Mata Atlântica no Paraná foram coletados pelo biólogo paranaense Vinícius Marcílio-Silva, atualmente na Universidade do Estado de Dakota do Norte (NDSU), nos Estados Unidos. O trabalho é resul-

tado de seu mestrado na Universidade Federal do Paraná (UFPR), publicado em maio de 2015 na *Austral Ecology*.

**N**a Caatinga e na Mata Atlântica, Paterno e Marcílio-Silva registraram 258 interações, 29 espécies recrutadoras e 56 recrutadas. A que se mostrou mais protetora foi uma árvore da Mata Atlântica encontrada de Minas Gerais até o Rio Grande do Sul, a capororoca (*Myrsine umbellata*), que formava 57 pares com as espécies recrutadas, inclusive com ela própria. A segunda, a pixirica (*Miconia sellowiana*), encontrada na Mata Atlântica e no Cerrado, favoreceu o crescimento de 43 outras espécies, incluindo ela própria. Nem sempre plantas da mesma espécie se ajudam, porque podem competir pelos mesmos nutrientes ou atrair insetos herbívoros que atacam tanto as adultas quanto as ainda em crescimento.

Em 2013, ao contar as plantas que cresciam sob a sombra de outras nos parques estaduais de Guartelá e Vila Velha, distantes entre si 150 km,

Marcílio-Silva admirou-se da capacidade da capororoca de crescer em ambientes distintos – em meio a matas de araucária, descampados ou sobre rochas com pouco solo. “Essa espécie consegue vencer a competição com as gramíneas, produz flores simples, que podem ser polinizadas por muitas espécies de insetos, e tem uma grande dispersão de sementes”, observa.

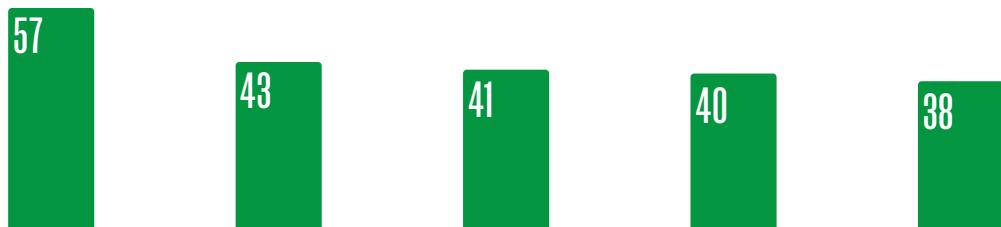
Curiosamente, a capororoca predominava em Guartelá, mas não em Vila Velha, onde aparecia em terceiro lugar entre as principais recrutadoras. “A espécie mais abundante não é necessariamente a que chega primeiro, mas a mais agressiva, capaz de ocupar os espaços de outras”, reflete Marcílio-Silva. Ele teve a mesma dúvida que Paterno: que outros lugares poderiam apresentar os mesmos fenômenos? A dúvida durou anos, até ele também ser convidado por Verdú para integrar a RecruitNet.

Na Caatinga, as principais recrutadoras foram a catingueira-rasteira, comum em áreas degradadas, com 41 interações, e o faveleiro, com 40. O total de espécies recrutadas pelas principais recrutadoras da Caatinga é menor que o da Mata Atlântica, mas a capacidade de recrutamento é três vezes maior, considerando a diversidade

## Formando pares

As espécies recrutadas se beneficiam das recrutadoras, mas depois podem competir com elas

Os números nas colunas verdes indicam o total de interações com espécies do outro grupo



Nome popular	Capororoca	Pixirica	Catingueira-rasteira	Faveleiro	Carne-de-vaca
Nome científico	<i>Myrsine umbellata</i>	<i>Miconia sellowiana</i>	<i>Poincianella microphylla</i>	<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	<i>Clethra scabra</i>
Bioma	Mata Atlântica	Mata Atlântica e Cerrado	Caatinga	Caatinga	Mata Atlântica
Características gerais	Até 20 m de altura e tronco de 50 cm de diâmetro	Até 11 m de altura e tronco com 30 cm de diâmetro	Até 5 m de altura, comum em áreas degradadas	Até 5 m de altura, espinhos e flores brancas	Até 30 m, madeira avermelhada, comum em áreas degradadas



Nome popular	Fruta-do-pombo	Capororoca	Pixirica	Pinhão-de-seda	Malva-branca
Nome científico	<i>Rhamnus sphaerocarpa</i>	<i>Myrsine umbellata</i>	<i>Leandra sp.</i>	<i>Jatropha mutabilis</i>	<i>Walteria sp.</i>
Bioma	Mata Atlântica e Cerrado	Mata Atlântica	Mata Atlântica e Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica
Características gerais	Até 6 m de altura e frutos comestíveis	Até 20 m de altura e tronco de 50 cm de diâmetro	Arbustos e pequenas árvores, de difícil identificação	Até 3 m de altura e flores vermelhas	Até 2 m de altura, cresce em pastagens e áreas desocupadas

FONTE: VERDÚ, M. ET AL. ECOLOGY. 2023

**Obs.:** os nomes comuns variam regionalmente e podem ser iguais para espécies diferentes

de espécies de cada bioma. O mesmo efeito foi observado em áreas semiáridas da costa oeste dos Estados Unidos, no México, na Argentina e na Arábia Saudita. De modo geral, como detalhado na edição de junho da *Biological Review*, o número de interações entre as árvores cresce nas áreas mais secas, em comparação com as úmidas, porque as plantas dependem mais de outras em ambientes mais inóspitos.

**A**s generalizações nem sempre funcionam: “Dependendo de quem está em cima, fornecendo sombra, e quem está embaixo, o resultado pode variar”, previne Paterno. Em campo, ele notou que a catingueira favorece a germinação e o crescimento da aroeira (*Myracrodroon urundeava*), mas com o pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) o efeito não é favorável em todas as fases de crescimento. A jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) ajudou apenas na germinação da aroeira, que, como se observou, cresceu pouco. Algumas relações são bastante curiosas: por mais que goste de sol, o cacto coroa-de-frade (*Melocactus zehntneri*) aprecia a sombra da catingueira.

As espécies que formam as estruturas das matas podem variar de um lugar para outro. “A catingueira mostrou um efeito mais positivo que a jurema-preta na colonização de ambientes degradados, mas pode não ser a mais indicada para todas as áreas de Caatinga”, alerta Paterno. Em experimentos na Floresta Nacional de Açu, na região central do Rio Grande do Norte, as principais recrutadoras foram o pereiro, a jurema-branca (*Piptadenia stipulacea*) e a jurema-preta (ver Pesquisa FAPESP nº 346).

“Como a diversidade de espécies pode variar dentro de um mesmo bioma, precisamos estudar as típicas de cada lugar para conhecer as interações”, acentua a botânica Aretha Guimarães, em estágio de pós-doutorado no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), que não participou do estudo. “Em ambientes de alta diversidade como a Amazônia, é bastante difícil fazer essa distinção entre os grupos de espécies, além de encontrar as que atraem as espécies que interessam e vençam a competição com as invasoras, como as gramíneas, bambus e outras espécies de ampla dispersão.”

Para o engenheiro-agrônomo Pedro Brancalion, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP), que também não participou desse levantamento, a identificação das interações entre as espécies reforça a tendência dos especialistas de sair de um enfoque antigo dos projetos de restauração de paisagens – misturando o maior núme-



ro de espécies, ainda que muitas possam não se desenvolver – para uma visão mais clara sobre a função ecológica das árvores.

Ele próprio adota uma abordagem similar, com dois grupos: o das recobridoras, como mutambo (*Guazuma ulmifolia*), algodoeira (*Helicocarpus popayanensis*) e capixingui (*Croton floribundus*), que crescem rápido e formam uma copa frondosa, cuja sombra dificulta o crescimento de gramíneas invasoras; e o da diversidade, com dezenas de outras espécies, que não crescem tão rápido. “Em cinco anos várias espécies já cresceram bastante e em 10 anos parte da cobertura vem das outras espécies, com a morte natural e gradual das espécies de recobrimento”, relata. “As abordagens precisam ser validadas em campo, porque o ambiente de restauração, por ter um solo geralmente degradado, é diferente de um ambiente natural.”

Paterno pretende se mudar de volta para o Brasil no início de 2026 e criar ilhas de restauração em paisagens agrícolas dominadas por monoculturas de eucalipto, café, soja ou cana-de-açúcar, com base nos experimentos feitos na Indonésia. “Precisamos ir além das plantas e avaliar como as redes de recrutamento influenciam outros níveis ecológicos, como as redes de polinizadores, dispersores de sementes e as interações abaixo do solo com fungos e bactérias”, afirma. ●

Exemplo de ilha de restauração em meio a plantação de dendê pode ser vista em Sumatra, na Indonésia

# Cores urbanas

Cidades grandes atraem aves vorazes e de cores monótonas e repelem as pequenas e mais atraentes, empobrecendo a fauna das metrópoles

GILBERTO STAM



**C**om 13 centímetros (cm) de comprimento e plumagem multicolorida, variando do amarelo-alaranjado ao azul-turquesa, a saíra-sete-cores (*Tangara seledon*) dificilmente sobrevive na cidade grande. Em geral, as árvores urbanas não produzem os frutos silvestres dos quais ela se alimenta e suas cores vibrantes se destacam da paisagem acinzentada, chamando a atenção de predadores como cães, gatos e seres humanos, segundo estudo publicado em junho na revista científica *Global Change Biology*. Os pássaros que mais proliferam nas metrópoles são vorazes e de cores monótonas, como o sabiá-laranjeira (*Turdus rufiventris*), com 25 cm de comprimento, ventre cor de ferrugem e dorso marrom-acinzentado. Sua dieta variada inclui insetos, minhocas, frutas cultivadas e restos de comida.

“Quanto mais avançada a urbanização, mais homogênea será a comunidade de aves”, nota o biólogo Lucas Ferreira do Nascimento, pesquisador em estágio de pós-doutorado na Universidade de São Paulo (USP) e autor principal do artigo. Ele explica que os pássaros multicoloridos obtêm seus pigmentos de frutos silvestres ricos em carotenoides, que conferem às penas cores vibrantes

que variam do amarelo ao vermelho, ou ao consumirem animais pequenos que ingerem plantas com a substância. “Os flamingos-africanos-rosados [*Phoenicopterus roseus*] se alimentam de crustáceos que contêm o pigmento vermelho”, exemplifica. “No cativeiro, ficam brancos se comerem só ração.”

Os pássaros representam o maior grupo de aves, os passeriformes, com mais da metade das espécies. Nascimento integrou diversas fontes de dados sobre coloração, tamanho do corpo e dieta, obteve informações sobre distribuição geográfica no portal de ciência cidadã eBird, um banco de dados com informações de todo o país fornecidas por observadores de aves, e localizou as espécies nos mapas da iniciativa MapBiomass. Com isso, fez uma amostragem do país inteiro, separou as áreas entre urbanas, rurais e de vegetação natural e mapeou a distribuição dos pássaros de acordo com o ambiente. Ficaram de fora aves de outros grupos, como a pomba (*Columba livia*) e o pica-pau-de-cabeça-amarela (*Celeus flavescens*).

“É um trabalho amplo, que analisa comunidades de pássaros de diversos tipos, em vez de acompanhar uma única espécie, que é o mais comum nos estudos de aves urbanas”, comenta a bióloga Erika Hingst-Zaher, diretora do Museu

Bandeirinha  
(*Clorophonia cyanea*,  
à esq.) e saíra-militar  
(*Tangara cyanoptera*):  
cores são desvantagem  
na selva de pedra



Fim-fim (à esq.), com  
apenas duas cores  
chamativas, e o discreto  
sabiá-laranjeira  
são mais adaptados  
ao meio urbano



Biológico do Instituto Butantan, que não participou do estudo. “Seria interessante complementar o trabalho com dados de coleções de museus e verificar como a fauna de aves muda ao longo das décadas”, sugere. Segundo ela, algumas instituições de São Paulo guardam amostras de mais de um século coletadas em bairros paulistanos.

**N**ascimento se surpreendeu ao identificar canários-da-terra (*Sicalis flaveola*) vivendo nas cidades. Segundo o biólogo, os machos, de um vibrante amarelo que atrai as discretas fêmeas, precisam gastar energia buscando alimentos que mantêm sua coloração chamativa. Para aves que lidam com o ambiente desafiador das cidades, esperava-se que esse desgaste dificultasse sua sobrevivência.

“Pássaros mais vistosos podem até viver em cidades grandes, mas em geral têm duas ou três cores”, observa Hingst-Zaher, que cita como exemplo o fim-fim (*Euphonia chlorotica*), com 10 cm de comprimento, dorso preto a azulado e ventre amarelo, e o cardeal-de-topete-vermelho (*Paroaria coronata*), com 18 cm de comprimento, cabeça de um vermelho intenso, ventre branco e asas cinzentas.

A bióloga e sua equipe estão estudando as andorinhas-azuis (*Progne subis*), com cerca de 20 cm de comprimento, que migram da América do Norte em setembro e permanecem até maio na América do Sul, onde formam dormitórios com milhares de aves em áreas rurais e urbanas. A bióloga relata que, embora admiradas pela cor negra de brilho azul-metálico e voo matinal em bandos que podem chegar a milhares de animais, elas incomodam por causa das fezes e do barulho. Por isso, a prefeitura de cidades como Campinas e Ribeirão Preto removeu os ninhos e elas desapareceram. “Verificamos que esses pássaros estão contaminados por mercúrio, provável causa do declínio de suas populações na América do Norte”, relata Hingst-Zaher.

“Uma fauna urbana variada e colorida proporciona contato com a natureza e uma experiência estética prazerosa”, defende Nascimento. Segundo ele, a beleza dos pássaros pode estimular as pessoas a se envolver na preservação da natureza e a valorizar espaços ver-

des. “Aumentar o número de árvores frutíferas silvestres poderia atrair aves mais coloridas e tornar o ambiente mais atraente”, sugere o pesquisador.

“Tire os olhos do celular e olhe para o alto dos prédios nas cidades grandes. Talvez você identifique o falcão-peregrino (*Falco peregrinus*), a ave mais rápida do mundo”, recomenda Hingst-Zaher, que também é organizadora do Avistar, evento anual de observação de aves em São Paulo. Com 50 cm de comprimento, o falcão-peregrino, uma ave migratória que passa alguns meses do ano no Brasil, mergulha a velocidades de até 320 quilômetros por hora e mata pombos e outras aves em pleno voo. “Acostumados a viver no topo de desfiladeiros na América do Norte e em outras regiões do planeta, hoje eles se empoleiram também no topo dos prédios ou em aparelhos de ar-condicionado, de onde partem para caçar suas presas”, descreve a bióloga. ●

# Illuminação submarina

Descobertas em águas profundas  
abrem caminhos biotecnológicos  
e aprofundam compreensão  
das formas de bioluminescência

GUILHERME COSTA

*Velamen parallelum*  
produz brilho  
em resposta a  
contatos físicos

# A

600 metros de profundidade, durante uma expedição científica realizada em 2017 perto do arquipélago de Alcatrazes, no litoral de São Paulo, um organismo gelatinoso surpreendeu pesquisadores ao colidir com um veículo submersível e emitir um flash de luz verde, fenômeno incomum entre animais bioluminescentes. Quase uma década se passou até ser descrito um conjunto de fotoproteínas verdes naturais descoberto no marinho, *Velamen parallelum*. O achado foi publicado em abril na revista científica *The FEBS Journal* e abre caminho para avanços nas áreas biomédica e biotecnológica.

“A descoberta do mecanismo químico partiu do acaso”, conta o biólogo Douglas Soares, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus de Araraquara, primeiro autor do artigo. Na época, ele era pesquisador em estágio de pós-doutorado no Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP). “Meu projeto era com fungos, mas, por curiosidade, abri o freezer -80 °C no laboratório e olha no que deu.” Entre os tubos armazenados, ele encontrou uma amostra do organismo coletado anos antes e decidiu analisá-la.

Utilizando métodos de biologia molecular, clonagem e expressão gênica em sistemas bacterianos, Soares descobriu um conjunto de proteínas bioluminescentes (fotoproteínas) sensíveis ao cálcio, nomeadas velaminas, capazes de emitir

luz verde naturalmente. A característica não tem precedentes entre proteínas desse tipo, que costumam emitir luz azul. Para estudá-las, o biólogo extraiu RNA do organismo e o converteu em DNA complementar (cDNA), que inseriu em bactérias para produção dessas proteínas em laboratório.

Depois de purificadas, as proteínas foram ativadas com celenterazina, uma molécula que funciona como uma espécie de combustível para bioluminescência, e testadas quanto à sua sensibilidade aos íons de cálcio, confirmando que eram fotoproteínas reguladas por esse elemento. “A reação que provocamos libera energia na forma de luz, não de calor; ter um sistema que emite naturalmente luz verde é raro e muito vantajoso para estudos *in vivo*”, ressalta o químico Cassius Stevani, do IQ-USP, um dos autores do artigo.

Os cientistas também analisaram o espectro da luz emitida e testaram a estabilidade das proteínas em diferentes temperaturas. Com isso, identificaram três tipos principais, chamados alfa, beta e gama, sendo que o último se destacou por resistir melhor ao calor e emitir luz em um comprimento de onda mais longo. Isso aumenta a chance de esse tipo de molécula atravessar os tecidos biológicos sem ser absorvido por pigmentos contidos na hemoglobina, o que pode permitir a visualização de processos fisiológicos em tempo real.

Para o biólogo molecular e bioquímico Vadim Viviani, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e ex-presidente da Sociedade Interna-

cional de Bioluminescência e Quimioluminescência (ISBC), essa característica torna as velaminas potencialmente promissoras para aplicações biomédicas, depois de modificadas. “Compreender o funcionamento dessas proteínas pode permitir ajustes estruturais para que emitam luz cada vez mais no espectro do vermelho, o que ampliaria significativamente sua utilidade em modelos animais e, futuramente, em diagnósticos clínicos”, comentou Viviani, que não participou do estudo publicado.

Apenas dois indivíduos de *Velamen parallelum*, também conhecido como cinturão-de-vênus, foram coletados para o trabalho. O organismo é um ctenóforo, distinto das águas-vivas (cnidários), e se destaca por emitir luz em breves flashes quando estimulado por contato físico. Por viver em ambientes marinhos profundos e ter um corpo extremamente gelatinoso, que se desfaz facilmente ao toque, sua coleta representou um desafio técnico.

A oportunidade de capturá-lo surgiu durante a expedição organizada pela OceanX, iniciativa privada voltada à exploração e pesquisa no oceano, que utiliza embarcações equipadas com tecnologia de ponta. A convite da empresa, pesquisadores brasileiros mapearam a costa do país, entre eles o químico Anderson Oliveira, então pesquisador do Instituto Oceanográfico (IO) da USP e um dos autores do artigo da *The FEBS Journal*. “O submersível era como uma esfera de acrílico, onde passamos cerca de 10 horas no fundo do mar. Quando o organismo bateu no acrílico e emitiu uma luz verde, usamos o aspirador do braço robótico para sugá-lo, armazenamos em uma garrafa com água do mar e o congelamos.”

Atualmente, Oliveira é professor da Universidade Yeshiva, nos Estados Unidos, e segue em



1

Flutuando perto do fundo, cinturão-de-vênus é quase invisível

colaboração com a equipe brasileira em novas etapas da pesquisa. Uma delas, conduzida por Soares no campus de Araraquara da Unesp, busca ampliar o comprimento de onda da emissão luminosa para o vermelho e aumentar a estabilidade térmica das proteínas, tornando-as mais eficientes para aplicações *in vivo*.

O grupo também investiga o uso dessas fotoproteínas como sondas moleculares para detecção de cálcio em ambientes com alta concentração iônica, como no interior das hemácias. Nessas condições, sensores fluorescentes tradicionais, que dependem de luz externa para funcionar, costumam perder sensibilidade, pois operam no limite da detecção e não conseguem registrar pequenas variações na concentração de cálcio. Uma das estratégias em desenvolvimento é o uso combinado de fotoproteínas com diferentes comprimentos de emissão luminosa (azul e verde, por exemplo) para criar sistemas duplos de identificação.

Essa abordagem permitiria monitorar, de forma simultânea e em tempo real, regiões celulares com diferentes níveis de cálcio, o que pode oferecer uma visualização mais precisa de processos fisiológicos complexos, como o mecanismo pelo qual as células se comunicam e coordenam suas funções, e a homeostase iônica, que é o equilíbrio das concentrações de íons essenciais ao funcionamento celular. Com isso, seria possível avançar no diagnóstico de doenças relacionadas ao metabolismo de cálcio, por exemplo, e no estudo de distúrbios cardíacos, neurológicos e musculares.

Viviani ressalta que essa foi a primeira clonagem de uma fotoproteína de organismo marinho realizada no país, o que abre novas perspectivas para a pesquisa em bioluminescência aplicada a espécies marinhas da fauna local. Ele lembra ainda que, embora o Brasil seja reconhecido pela grande diversidade de organismos bioluminescentes terrestres, como besouros e fungos, a biodiversidade marinha continua pouco explorada nesse campo.

Dentro desse veículo submersível, pesquisadores enxergaram brilho quando organismo colidiu contra o acrílico



2



O biólogo marinho português José Paitio, pesquisador de pós-doutorado no IO-USP, também tem ampliado o conhecimento da bioluminescência em organismos marinhos. Em parceria com pesquisadores de instituições japonesas, o grupo descreveu pela primeira vez a estrutura e a função do mecanismo biológico dos fotóforos de peixes do gênero *Neoscopelus*, habitantes das profundezas do oceano Pacífico, conforme artigos publicados nas revistas científicas *Journal of Fish Biology*, em abril, e *Zoomorphology*, em junho.

Os fotóforos são órgãos especializados na emissão de luz, compostos por células fotogênicas, refletores internos, filtros de pigmento e escamas modificadas. Juntos, esses componentes não apenas permitem que os peixes produzam bioluminescência por meio de um estímulo químico, mas também modulem a direção, a intensidade e o espectro da luz emitida, fatores cruciais para a camuflagem por contrailuminação, uma estratégia que os torna praticamente invisíveis quando observados de baixo.

“Nesses peixes, descobrimos que as células fotogênicas são controladas por meio de nervos. E, por mais impressionante que pareça, cada fotóforo está ligado a nervos específicos e o peixe consegue controlá-los individualmente”, destaca Paitio. Isso faz com que o animal ajuste a emissão luminosa conforme a profundidade, um mecanismo sofisticado de adaptação ecológica.

Para Stevani, do IQ-USP, que não participou do estudo, os resultados são importantes por trazerem informações inéditas sobre os fotóforos e por se basearem em uma amostra considerada robusta, algo difícil de obter nesse tipo de pesquisa – foram 28 indivíduos para os dois artigos. Ele também avalia que o trabalho abre margem para investigações semelhantes em outras espécies de águas profundas. “Tem um outro peixe interessante, *Malacosteus niger*, com dois fotóforos perto dos olhos que emitem luzes de cores diferentes. Queremos estudá-lo porque ainda não se conhece nada sobre esse mecanismo.”

A amostra do trabalho de Paitio e colaboradores foi possível graças a uma parceria com o Ministério da Pesca do Japão, além da compra de exemplares diretamente de pescadores na costa de Shizuoka, província localizada na região central do país. O material coletado garantiu volume e qualidade suficientes para as análises morfológicas e funcionais do estudo.

Os pesquisadores combinaram técnicas de laboratório, incluindo cortes criogênicos e marcações químicas, que permitiram localizar os nervos conectados aos órgãos emissores de luz, e o uso de



3

Peixes da família Myctophidae vivem em águas profundas e podem emitir luminosidade

microscopia eletrônica para analisar a estrutura detalhada das células pigmentares e refletores.

Outra técnica utilizada foi a microspectrometria, adaptada em laboratório pelo próprio Paitio, que tornou possível medir, em escala micrométrica, o espectro da luz transmitida e absorvida por cada componente dos fotóforos. “Fizemos uma adaptação de um espectrômetro a um microscópio convencional e, com essa estrutura, conseguimos analisar áreas de apenas 40 micrômetros e identificar o que acontece com a luz naquele ponto: qual parte é transmitida, qual é absorvida e qual é refletida. Isso foi fundamental para entender o funcionamento do filtro pigmentado e do refletor interior”, explica.

Atualmente, o pesquisador investiga os aspectos genéticos e evolutivos desses sistemas emissores de luz, com ênfase na comparação entre espécies com estratégias distintas de camuflagem luminosa. O objetivo é rastrear a origem de estruturas como filtros pigmentares e refletores, identificando se surgiram independentemente em diferentes linhagens ou se derivam de um ancestral comum. A expectativa é de que esses estudos contribuam para reconstituir a história evolutiva da bioluminescência em ambientes marinhos profundos e revelem padrões adaptativos ainda pouco compreendidos na fauna de águas profundas. ●

# Armadilha para jovens

Adolescentes são a maioria dos usuários de *vapes*, que rapidamente geram dependência de nicotina

MARIANA CECI

**H**á três décadas, a cardiologista Jaqueline Scholz lida diariamente com os impactos negativos do tabagismo sobre a saúde das pessoas. Diretora do programa de tratamento ao tabagismo do Instituto do Coração (InCor) da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FM-USP), ela já acompanhou milhares de pessoas em busca de ajuda para romper com a dependência do cigarro.

Nos últimos anos, porém, um novo perfil de paciente se tornou mais comum: jovens e adultos que tentam se livrar do vício resultante do uso contínuo dos dispositivos eletrônicos para fumar (DEF), os cigarros eletrônicos, também conhecidos como *vapes*. “Sintomas que levavam anos para surgir em fumantes tradicionais, como acordar no meio da madrugada com vontade de fumar, aparecem nos consumidores de *vapes* apenas alguns meses após o início do uso”, inquieta-se Scholz.

A situação é preocupante porque o uso do *vape* tem se espalhado principalmente entre os jovens. Segundo a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019, cerca de 1 milhão de brasileiros eram usuários atuais de cigarros eletrônicos,

com maior prevalência entre jovens de 15 a 24 anos, que representavam 70% dos consumidores do produto.

De acordo com a terceira versão do Levantamento Nacional de Álcool e Drogas (Lenad), divulgada em junho, mais de um em cada 10 adolescentes (11,4%) já experimentou o cigarro eletrônico, uma proporção acima da verificada entre os adultos (8,8%). A prevalência é ainda maior entre jovens de 18 a 24 anos: 25% afirmaram ter usado o dispositivo alguma vez e 16,7% relataram tê-lo utilizado no último ano. Além disso, 76,3% dos adolescentes que experimentaram continuam a utilizar os dispositivos, revelando altas taxas de continuidade do uso. O inquérito incluiu dados sobre o uso dos DEF com uma amostra representativa (16.608 pessoas) da população brasileira com 14 anos ou mais.

Do total de pessoas que já utilizaram cigarros eletrônicos (*vapes*), 26% relataram uso no mês anterior à pesquisa – entre os adolescentes, 31,8% –, indicador considerado pelos especialistas como o mais adequado para identificar o uso contínuo ou recorrente desses dispositivos. Esse número é semelhante ao registrado pela pesquisa Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças

*Vape* é a única droga com mais usuários do sexo feminino, entre os adolescentes

# CIGARETTES



PING  
NOT  
RIMI

VA  
AND

IT'S  
SM  
I  
VA

E  
VA



S NOT  
MOKE  
T'S  
APES

IGA

LL I  
D IS  
APE

PE  
A  
E

MR.  
WAPES

WAPES

DO YOU  
EVEN

Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel), que desde 2019 monitora o uso de *vapes* na população brasileira. Segundo o Vigitel, 2,1% dos adultos nas capitais do país utilizam cigarro eletrônico diariamente ou ocasionalmente.

Embora tenham se espalhado pelo mundo, os *vapes* ainda não se popularizaram amplamente no Brasil. De acordo com o Lenad, 91,2% dos brasileiros nunca experimentaram os dispositivos e 17,6% sequer sabem o que são *vapes*. Uma das razões de seu uso limitado é a proibição de venda no Brasil, imposta pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Proporcionalmente, 15% dos moradores do país, o equivalente a 26,8 milhões de pessoas, fumam algo com nicotina – dois adeptos do *vape* para cada 8 do cigarro comum.

“Muita gente minimiza a questão da legalidade, mas os dados mostram que manter esses dispositivos fora do mercado legal tem sido fundamental para proteger a população brasileira, especialmente os mais jovens”, afirma a psicóloga Clarice Madruga, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), responsável pelo Lenad.

O epidemiologista André Szklo, do Instituto Nacional do Câncer (Inca), que não participou dessa pesquisa, observa uma mudança no perfil de fumantes. “A epidemia do tabaco no Brasil sempre esteve concentrada na população de baixa renda e escolaridade, mas o *vape* trouxe para esse cenário jovens de classes sociais mais altas e com maior nível de escolaridade, que dificilmente teriam aderido ao cigarro comum”, analisa o pesquisador.

Vendas on-line agora predominam, já que a fiscalização atua sobre bancas e lojas

Entre os novos usuários dos *vapes* constam grupos da população que apresentavam proporções mais baixas de consumo de tabaco, como as gestantes. Em um estudo publicado em junho de 2024 na revista *Nicotine & Tobacco Research*, com base na PNS, Szklo, com pesquisadores da Universidade Johns Hopkins, nos Estados Unidos, verificou que o uso de tabaco entre mulheres grávidas passou de 4,7% em 2013 para 8,5% em 2019, praticamente a mesma proporção registrada entre mulheres não grávidas em 2019.

“Algumas mulheres fumantes começam a usar o cigarro eletrônico durante a gestação por acreditarem que ele causa menos danos à saúde, mas depois acabam voltando para o cigarro convencional, de menor preço”, diz. Segundo ele, esse cenário é preocupante, porque as mulheres, que sempre foram minoria entre os fumantes, hoje são maioria entre os usuários mais jovens de *vape*.

De acordo com o Lenad, essa é a única droga com maior proporção de usuários do sexo feminino no grupo de adolescentes. A prevalência de uso no mês anterior à pesquisa foi de 4,6% entre meninas e 2,6% entre meninos. Entre as meninas, 12,3% já consumiram o *vape* em algum momento da vida, em comparação a 10,6% dos meninos.

**A**diferença de preços favorece os *vapes*. Um pod (cápsula recarregável ou descartável) custa em média R\$ 150 e rende 15 mil puffs (tragadas), enquanto um maço com 20 cigarros comuns custa de R\$ 6,50 a R\$ 15,00. A variação de preços dos dispositivos eletrônicos completos, no entanto, é grande, dependendo das funcionalidades, potência e personalização. Os modelos mais simples ou descartáveis custam entre R\$ 50 e R\$ 200, enquanto os mais avançados podem chegar a R\$ 700.

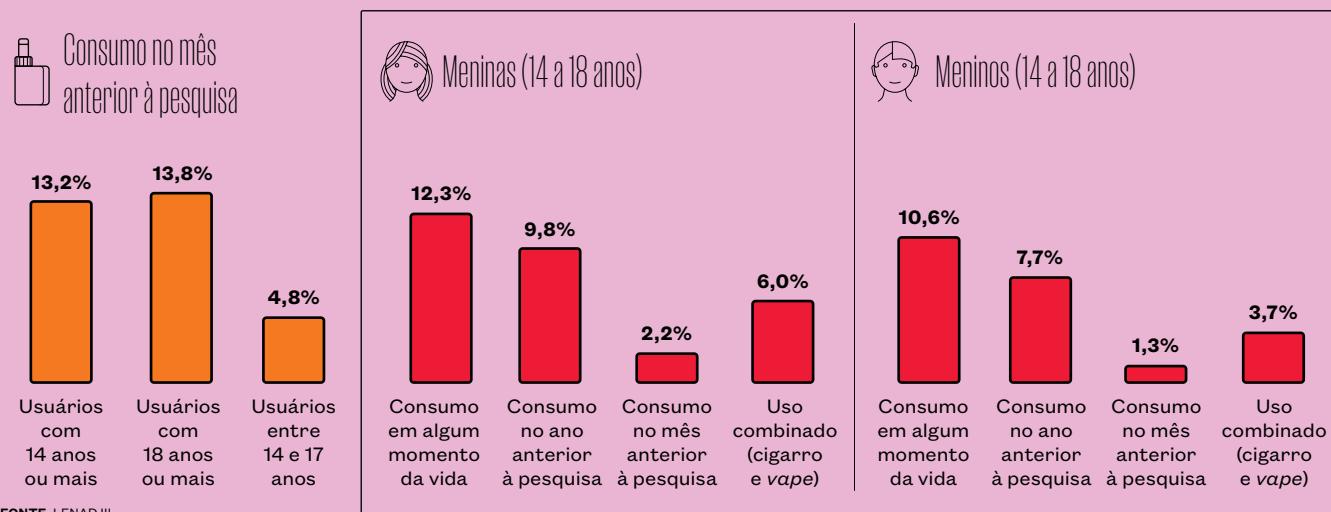
Vendidos a partir de 2004, inicialmente na China, os *vapes* chamaram a atenção por serem pequenos, coloridos, com um design tecnológico, que lembra um brinquedo, por oferecer sabores frutados e aromas agradáveis e representar uma alternativa supostamente mais saudável que os cigarros convencionais. A promessa de menor dano não se sustentou, à medida que as pesquisas revelam riscos até então pouco conhecidos e cada vez mais pessoas descobrem na prática os efeitos adversos do uso prolongado.

Além da dependência, cujo tratamento combina apoio psicológico, mudanças de comportamento e medicamentos, doenças cardiovasculares e pulmonares despontam de forma precoce entre os usuários de *vapes*. Um exemplo é a EVALI (E-cigarette or Vaping Product Use-associated Lung Injury), uma lesão pulmonar aguda liga-



# Perfil dos usuários de vapes no Brasil

Entre adolescentes, o predomínio é feminino



da ao uso de cigarros eletrônicos, que emergiu nos Estados Unidos em 2019 e atingiu principalmente jovens na casa dos 20 anos sem histórico prévio de problemas respiratórios (ver Pesquisa FAPESP nº 319).

## ALTA CONCENTRAÇÃO DE NICOTINA

A alta concentração de nicotina dos vapes é uma das principais causas dos danos à saúde. A absorção da nicotina, a substância que provoca a dependência do tabaco, é rápida: em 6 a 10 segundos após a inalação, chega ao cérebro, onde estimula a liberação de neurotransmissores responsáveis pela sensação de prazer associada ao ato de fumar.

Scholz, do InCor, participou de um estudo publicado em junho de 2025 na *International Journal of Environmental Research and Public Health* que detectou concentrações elevadas de nicotina na saliva de usuários exclusivos de *vape*, independentemente do tempo de uso, do histórico de tabagismo ou da idade. Entre os 417 participantes desse estudo que fumavam exclusivamente vapes, 49 apresentaram níveis acima de 400 nanogramas por mililitro (ng/ml), valor equivalente ao de quem fuma cerca de 20 cigarros por dia. Outros 15 atingiram concentrações médias de 2.400 ng/ml, níveis considerados alarmantes pelos especialistas.

Os vapes suavizam a ardência na garganta, um efeito indesejado comum dos cigarros tradicionais. A razão do menor desconforto dos cigarros eletrônicos é o sal de nicotina, obtido pela combinação da nicotina com um ou mais ácidos. A formulação usada no cigarro eletrônico permite que os fabricantes produzam líquidos com concentrações muito mais altas de nicotina sem causar a irritação típica da fumaça do cigarro. Scholz e

Szklo destacam que essa característica facilita o consumo repetido e pode acelerar o desenvolvimento da dependência, já que doses elevadas são inaladas sem arranhar a garganta.

**S**egundo Scholz, o vício dos vapes decorre exatamente dos níveis mais elevados de nicotina, aos quais se soma a possibilidade de fumar escondido em lugares públicos, onde o cigarro comum não seria permitido. “O *vape* permite que a pessoa fume sem deixar vestígios, como o odor, o que se torna um convite ao uso contínuo”, constata. “Uma pessoa leva de dois a três anos para passar do uso ocasional do cigarro tradicional para o consumo de um maço por dia. Com os usuários de vapes, essa progressão é muito mais rápida.”

Para Madruga, a coordenadora do Lenad, é fundamental adotar estratégias específicas para atingir os diferentes perfis de usuários e níveis de risco de dependência. Isso inclui dificultar o acesso dos adolescentes, combater a percepção equivocada de que o *vape* oferece menos riscos à saúde e, sobretudo, intensificar e modernizar as maneiras de fiscalização de venda ilícita, que pode ser tanto virtual como física. “Canais altamente acessados por adolescentes, como Instagram e TikTok, precisam ser monitorados com mais rigor, porque são hoje as principais portas de exposição e promoção dos dispositivos eletrônicos para fumar”, recomenda. “A venda desses dispositivos é ilegal e deve ser denunciada.” ●

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

# Novos critérios para comer bem

Estudos recentes mostram como os alimentos aumentam ou diminuem anos de vida saudável e oferecem diretrizes para uma dieta ambientalmente amigável

GILBERTO STAM

**D**e 2010 a 2012, durante o mestrado, a nutricionista Aline Martins Carvalho aproveitou para conversar com quem estava na fila do restaurante da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP-USP) sobre os possíveis efeitos negativos do consumo excessivo de carne vermelha. Por meio de formulários aplicados entre os frequentadores do restaurante, ela verificou que uma em cada quatro pessoas com quem conversava conseguiu diminuir o consumo de carne, dentro e fora da universidade.

Anos depois, durante o pós-doutorado na Universidade de Michigan (UM), nos Estados Unidos, Carvalho conheceu uma metodologia que poderia calcular de forma precisa o impacto dos alimentos na saúde: o Índice Nutricional de Saúde (HENI), que associa o consumo frequente e prolongado de determinados alimentos à redução ou ao aumento, em minutos, do tempo de vida saudável, definido como bem-estar físico, mental e social.

Nos últimos cinco anos, agora como professora da FSP-USP, ela somou essa abordagem, já aplicada nos Estados Unidos, na Suíça, Dinamarca e Holanda, a outra, da organização não gover-

namental World Wide Fund for Nature (WWF), que avalia o impacto ambiental da produção de alimentos, por meio da emissão de gases do efeito estufa (GEE), uso da terra e consumo de água, como detalhado em estudo publicado em maio na revista *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Esse estudo propõe que, além do preço, das calorias e da proporção de gorduras, proteínas e açúcar, é preciso pensar nos eventuais danos dos alimentos ao ambiente. Aplicando o índice HENI à alimentação brasileira, a equipe da USP calculou o impacto de uma determinada quantidade de diferentes alimentos no tempo de vida saudável. O biscoito salgado, por causa do excesso de gordura trans e cloreto de sódio, é o alimento mais prejudicial da lista: porções de 100 gramas (g) podem subtrair 55,2 minutos (min) por dia de vida saudável se o consumo for contínuo ao longo de cinco anos. No outro extremo, a mesma quantidade de peixe de água doce poderia acrescentar 9,1 min por dia.

“O HENI calcula a composição dos alimentos considerando 15 categorias ou ingredientes, como leguminosas, carne vermelha, sódio e ômega 3”, comenta a Pesquisa FAPESP o especialista em saúde pública Olivier Jolliet, da Universidade





Cabem aos grãos e sementes os valores mais altos no Índice Nutricional de Saúde (Heni)

Técnica da Dinamarca (UTD), criador do índice e um dos autores do artigo. “A partir de estudos populacionais, estimamos o impacto na saúde de cada alimento, atribuindo valores positivos a alimentos associados a ganho de tempo de vida saudável e negativos para a perda.” Em um artigo de 21 de agosto de 2021, no site The Conversation, Jolliet reconheceu que, no dia a dia, é difícil saber como a escolha entre uma salada ou uma porção de asa de frango frito no bar se traduz no impacto geral na saúde e no meio ambiente. Segundo ele, essa metodologia mostra, justamente, o que seria mais benéfico.

Os resultados podem ajudar a selecionar os melhores alimentos para montar a dieta do dia a dia, mas não devem ser aplicados individualmente para calcular ganhos ou perdas no tempo de vida saudável ou o impacto ambiental. “O índice é calculado em médias populacionais”, justifica Carvalho. Ela explica que o impacto dos alimentos na saúde de cada pessoa depende também de fatores genéticos, ambientais e de doenças preexistentes.

Carvalho e sua equipe selecionaram os 33 alimentos que mais fornecem energia no país, a partir de uma lista com os 1.141 itens mais consumidos, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geo-

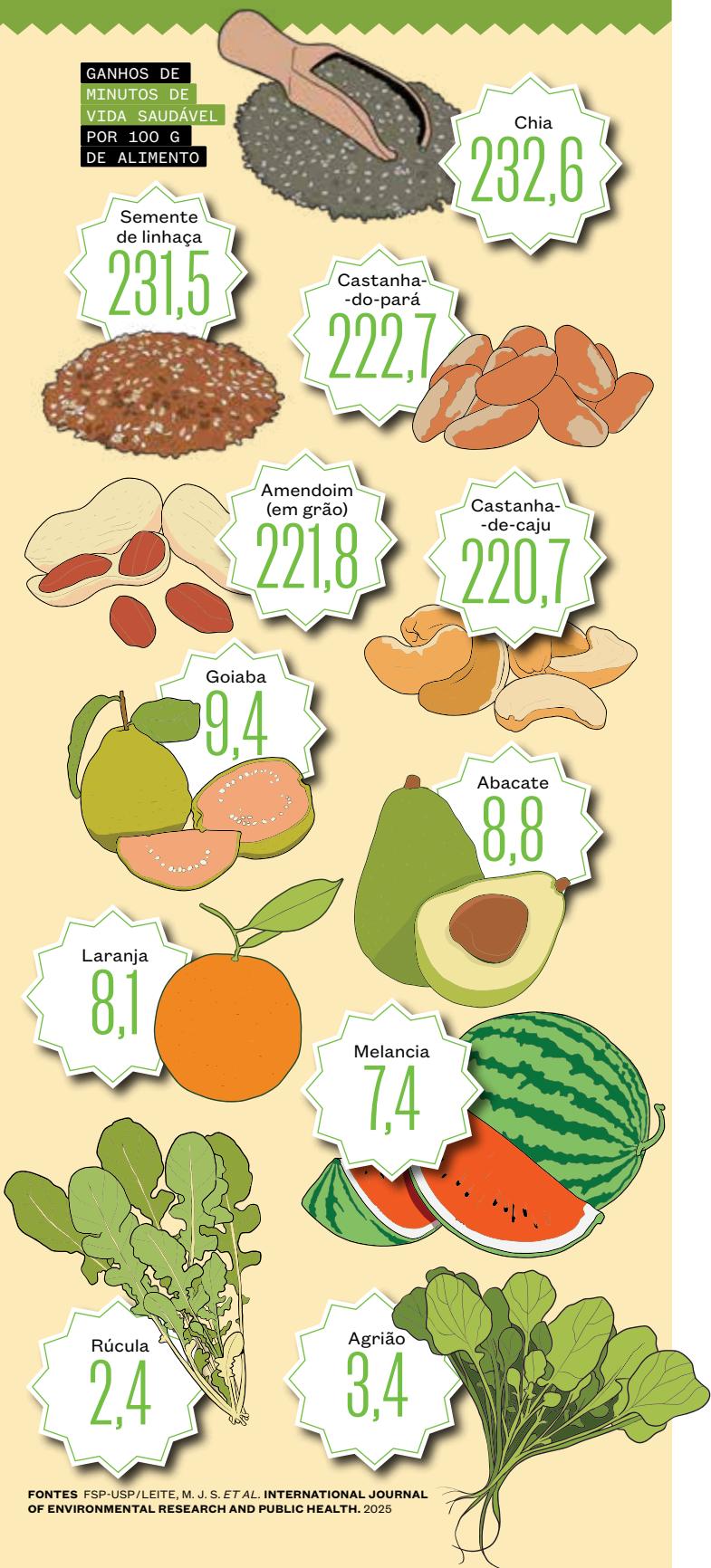
grafia e Estatística (IBGE). Em seguida, aplicaram o HENI a cada item. Nesse estudo, 100g de arroz com feijão, base da dieta brasileira, acrescentam 1,4 min por dia de vida saudável se consumidos com frequência ao longo da vida. No entanto, os dados do IBGE indicam que a dieta típica do país inclui carne, biscoito recheado e refrigerante, itens que reduzem o tempo de vida saudável, respectivamente, em 24 min, 31,6 min e 1,9 min, para cada 100 g, o que torna negativo o impacto do prato típico.

“Infelizmente, a alimentação de muitos brasileiros, mesmo para os que consomem arroz e feijão, não tem acompanhado as recomendações da segunda edição do *Guia alimentar para a população brasileira*, lançada em 2014 pelo Ministério da Saúde”, reforça a nutricionista Helen Hermana Hermsdorff, da Universidade Federal de Viçosa, que não participou do estudo. Em uma pesquisa com 7.560 participantes, publicada em maio no *International Journal of Environmental Research and Public Health*, ela detalha as limitações e as consequências de variar pouco o prato de todo dia, com uma ingestão insuficiente de vitaminas B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, C, E e minerais, como magnésio, selênio, cobre e zinco. A seu ver, esse padrão alimentar pobre em micronutrientes pode enfraquecer as

# Para viver mais

Castanhas, frutas e verduras são os alimentos que mais **acrescentam tempo de vida saudável**

GANHOS DE  
MINUTOS DE  
VIDA SAUDÁVEL  
POR 100 G  
DE ALIMENTO



FONTES: FSP-USP/LEITE, M. J. S. ET AL. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH. 2025

defesas do organismo contra microrganismos causadores de doenças, aumentar o risco de inflamações e reduzir a resistência dos ossos.

“A dieta pouco muda em diferentes regiões do país, algo que chamamos de monotonia nutricional”, adverte Carvalho. A única fruta consumida com frequência – e que entrou na lista – é a banana, rica em carboidratos, mas pobre em outros nutrientes. Mesmo assim, adiciona 8,2 min a cada porção de 100 g. Os legumes não entraram na lista porque representam uma parcela ínfima da alimentação comum da população.

# A

nutricionista Larissa Loures Mendes, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), que não participou do estudo, conta que ficou surpresa ao ver que o resultado do estudo indicava baixa diversidade regional da dieta: “Esperava que pelo menos no Norte houvesse uma variedade maior, que fosse além do peixe e do açaí”.

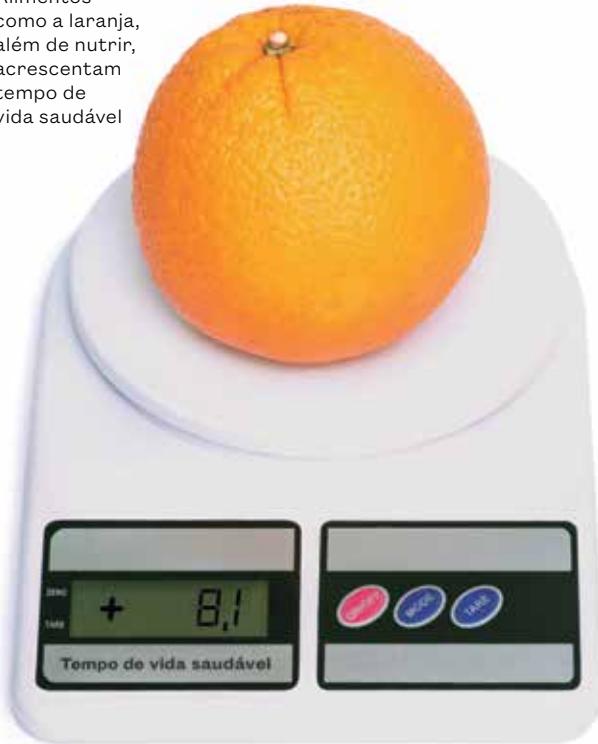
O HENI classifica a carne vermelha, com índice negativo de 23,9, como um dos alimentos mais prejudiciais à saúde, atrás apenas dos ultraprocessados, e o mais nocivo ao ambiente (*ver quadro na página 55*), um resultado que pode incomodar, já que a maioria dos brasileiros consome esse produto com frequência. Os vegetarianos são apenas 14% da população, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para Hermsdorff, esse resultado deve ser visto com cautela: “A carne é uma fonte de aminoácidos essenciais, que o corpo não produz, e o leite [com índice negativo de 0,1] é fonte de cálcio, que contribui para a formação dos ossos”. Segundo ela, no caso da carne, o problema está no consumo excessivo, que aumenta o risco de doenças cardíacas e metabólicas e as taxas de colesterol de baixa densidade, conhecido como colesterol ruim.

“Mais do que eliminar o consumo de carne, precisamos estimular o consumo consciente, que considere os danos ambientais”, sugere a pesquisadora da UFV. Uma das possibilidades seria trocar a carne bovina por outra, menos prejudicial: 100 g de carne de porco subtrai 16,7 min, a de frango, 3,3 min.

A melhor forma de alimentação seria então o vegetarianismo? “Quando praticada sem cuidados, a dieta baseada apenas em vegetais também pode ser prejudicial, principalmente se abusar dos alimentos ultraprocessados vegetarianos, como barrinhas de cereal, bebidas vegetais, biscoitos, salgados e comidas prontas, como almôndegas, lasanhas e tortas. Esses alimentos, apesar de isentos de fontes de origem animal, podem conter altos níveis de aditivos, corantes e gordura saturada”, alerta Hermsdorff. “Muitos usam óleo de palma,

Alimentos como a laranja, além de nutrir, aumentam tempo de vida saudável



mais barato que o de soja, mas com maior teor de gordura saturada.”

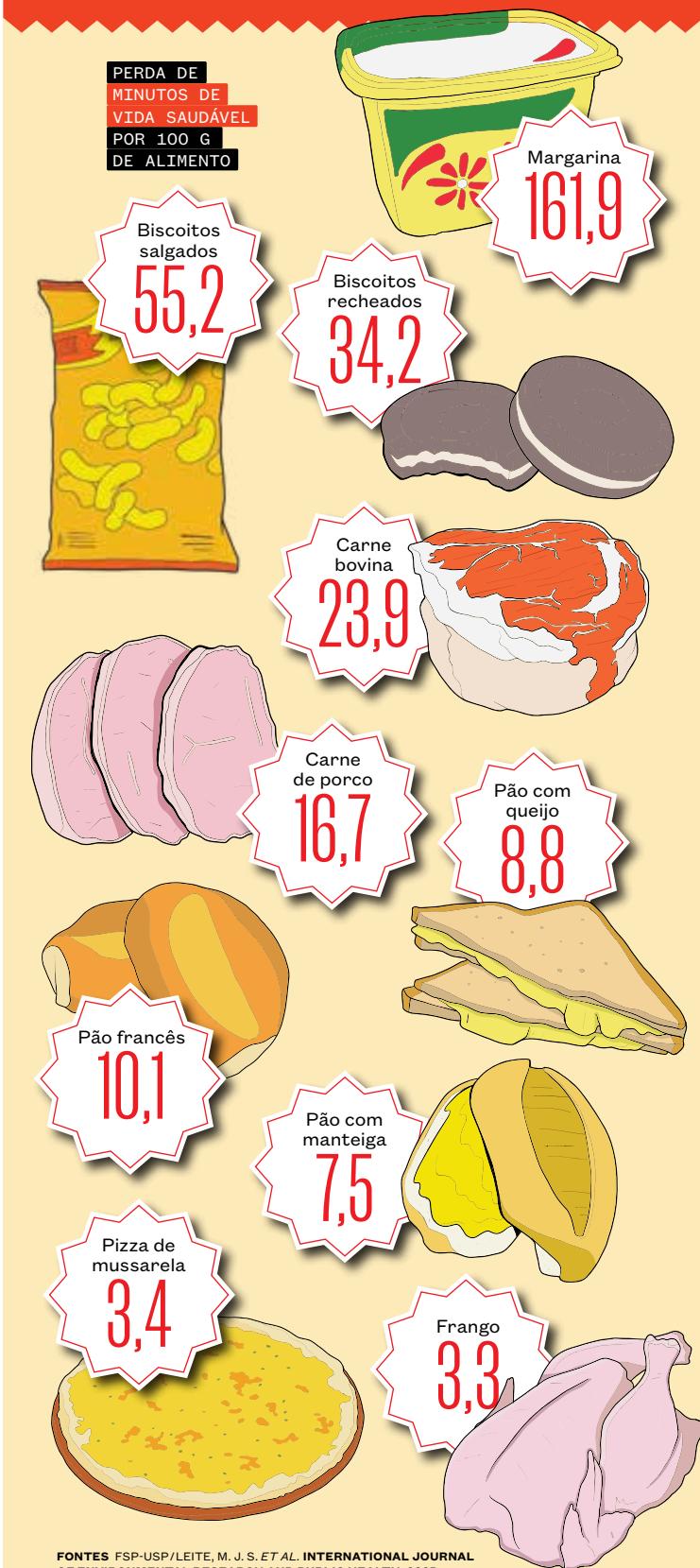
Os pesquisadores são unânimes em indicar a importância de diversificar a dieta, incluindo legumes, frutas e cereais integrais e reduzindo o consumo de carne e alimentos ultraprocessados, que responderam por quase 20% das calorias obtidas pela população brasileira em 2017 e 2018, de acordo com um estudo publicado na *Revista de Saúde Pública* em abril de 2023 (ver Pesquisa FAPESP nº 325).

Entre os alimentos mais saudáveis estão as sementes de plantas oleaginosas, incluindo chia e pinhão: uma porção de 20 g acrescenta 46,5 min e 44,7 min de vida saudável, respectivamente. A mesma quantidade de amendoim (44,4 min) ou de castanha de caju (44,6 min) é igualmente benéfica. As frutas também ajudam: uma porção de 100 g de manga acrescenta 8,2 min de vida saudável.

O índice do azeite, por outro lado, pode desapontar aqueles que o consideram um produto saudável: seu HENI é zero, ou seja, não tem impacto no tempo de vida saudável. Hermsdorff salienta que os benefícios do azeite foram observados em populações que consomem a chamada dieta mediterrânea, com peixes, queijos, grãos integrais, frutas, castanhas e pouca carne vermelha, duas a três vezes por semana. Portanto, o benefício se deve mais à dieta variada do que ao consumo isolado de óleo de oliva.

# Saborosos, mas perigosos

Produtos industrializados e carnes são os **alimentos que mais retiram tempo de vida saudável**



“Os óleos de soja ou canola também são de origem vegetal e ricos em ácidos graxos essenciais”, observa Hermsdorff. “Todos devem ser usados com moderação, como ingrediente culinário.” Por isso, ela recomenda evitar frituras e priorizar outros modos de preparo dos alimentos, como grelhados, cozidos e assados.

As recomendações reforçam o desejo por comer melhor: uma pesquisa do Datafolha de 2017 mostrou que 63% dos brasileiros querem reduzir o consumo de carne, que poderia ser substituída, ainda que parcialmente, por outras fontes de proteína vegetal, como feijão, lentilha e grão-de-bico.

“Restringir a 40 g por dia o consumo de carne vermelha ou processada, como presunto, salame e salsicha, poderia reduzir o preço de cada refeição em 10% e evitar cerca de 14 mil mortes por ano por doenças crônicas, ainda que o efeito demore alguns anos para ser detectado”, comenta o nutricionista Eliseu Verly Júnior, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj), coautor do estudo coordenado pela USP, que fez pós-doutorado sob a supervisão de Jolliet. Segundo ele, a redução simultânea de carnes vermelhas e processadas e bebidas adoçadas e o aumento de frutas, hortaliças e arroz integral tornariam o prato 3% mais barato e evitariam em torno de 50 mil mortes por ano.

Pequenas alterações de dieta podem ser mais eficientes do que mudanças bruscas e trazer mais benefícios para a saúde, diz o pesquisador, citando dados do artigo publicado em abril de 2024 na *European Journal of Nutrition*, que contou com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj). “A mera substituição do arroz branco pelo integral por 30% da população evitaria cerca de 2 mil mortes por doenças crônicas por ano”, afirma Verly. Para ele, se toda a população incluísse na dieta 125 g de hortaliças e uma fruta pequena por dia, o custo da comida aumentaria cerca de 8%, mas a mudança evitaria cerca de 16 mil mortes.

### MUDANÇA DE HÁBITOS

“A mudança de hábito na alimentação é um processo para toda a vida”, constata Verly. “Mas isso não impede a pessoa de comer churrasco de vez em quando”, reconhece, ao se definir como um carnívoro de final de semana e vegetariano nos outros dias. Mendes, da UFMG, enfatiza que o importante é o balanço geral da alimentação. “Geralmente, as pessoas não consideram que comer algo que dá prazer todos os dias, como os doces, pode não fazer bem”, diz ela. “Mas o consumo contínuo é um fator clássico de risco

## Entre o feijão e o bife

Em razão dos impactos ambientais, especialistas recomendam a redução do consumo de carne

O feijão, o azeite e a farinha de mandioca são os alimentos com impacto ambiental nulo ou quase nulo, já que produzem pouco gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e consomem pouca água. No outro extremo, a carne vermelha é o que gera mais gases do efeito estufa (GEE) e tem o maior impacto ambiental. “A produção de um bife de 100 gramas [g] gera 18 quilos [kg] de CO<sub>2</sub>, o equivalente a 7,8 litros [L] de gasolina usados como combustível”, explica Aline Carvalho, da Universidade de São Paulo (USP).

Decorrentes principalmente da derrubada da vegetação nativa para a abertura de pastos, as emissões da carne bovina são 11 vezes maiores que as do porco, que contribui menos para o desmatamento e produz 1,6 kg de CO<sub>2</sub> para cada 100 g. “O cálculo inclui todas as etapas da cadeia de produção dos alimentos”, explica Carvalho.

Larissa Mendes, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), notou um cuidado pouco comum nesse tipo de pesquisa: o cálculo do consumo de água na produção de alimentos. O maior consumo de água ocorre na criação de peixe de água doce em cativeiros: são 123,8 L para cada 100 g. Em segundo lugar vem a pizza, que consome 109,4 L para cada 100 g – a maior parte resultante da produção do queijo.

Segundo Olivier Jolliet, da Universidade Técnica da Dinamarca, vegetais produzidos em estufas e frutas exóticas transportadas por avião de carga resultam na emissão de grande quantidade de CO<sub>2</sub> e deveriam ser evitados. Inversamente, alimentos saudáveis e produzidos nas proximidades dos locais de consumo poderiam reduzir os impactos ambientais. “Precisamos adotar mais

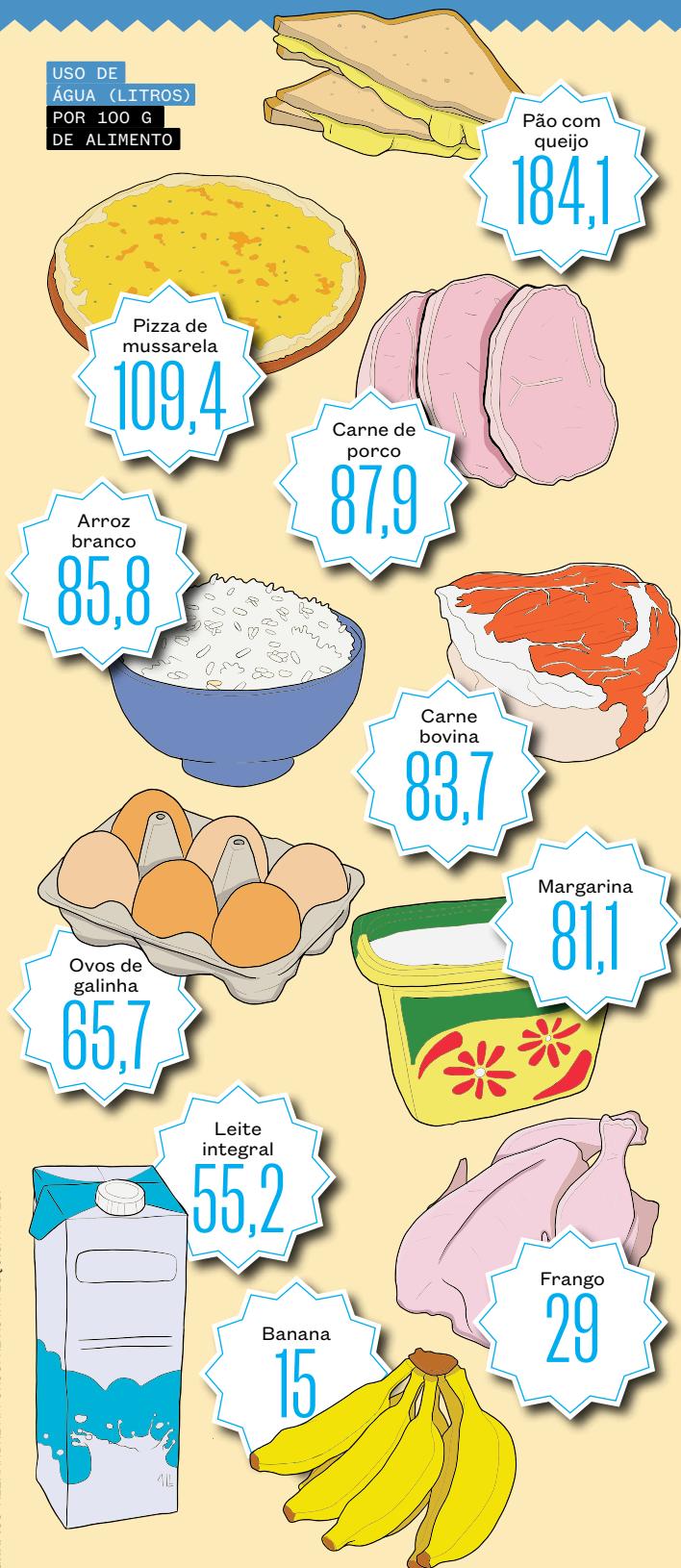
alimentos vegetarianos e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto ambiental dos métodos de produção”, enfatiza. “Para que isso seja possível, precisamos de mais opções de alimentos saudáveis e de baixo impacto ambiental.”

Em um estudo publicado em março na revista *Nature Food*, Jolliet e outros pesquisadores da Dinamarca e dos Estados Unidos, com outra metodologia de avaliação dos impactos ambientais, recomendaram limitar o consumo de carne a 255 g (equivalente a dois peitos de frango) por semana ou 36 g por dia, o equivalente a duas colheres de sopa – e apenas de aves e porco, sem incluir a bovina, considerada nociva demais para fazer parte de uma dieta ambientalmente amigável. Norte-americanos e europeus comem de seis a 10 vezes mais do que o valor proposto.

# A água dos alimentos

A produção de alimentos com queijo e carnes demanda um **elevado consumo hídrico**

USO DE  
ÁGUA (LITROS)  
POR 100 G  
DE ALIMENTO



INFOGRÁFICO ALEXANDRE AFFONSO/REVISTA PESQUISA FAPESP

FONTES FSP-USP/LEITE, M. J. S. ET AL. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH. 2025

para a saúde, assim como o tabagismo, o álcool e o sedentarismo.”

Há, porém, limites no efeito positivo dos alimentos. Uma pessoa que consome 400 g de frutas por dia, por exemplo, não ficará mais saudável se adicionar 100 g. Mas se não comer nenhuma fruta, 100 g pode fazer a diferença, ainda que não seja recomendável comer muito de apenas um tipo de alimento.

Segundo Hermisdorff, diferentemente da carne e de ultraprocessados, o consumo de frutas em grande quantidade dificilmente traz prejuízos à saúde, exceto em grandes excessos, como com qualquer outro alimento. “As frutas têm pouca frutose comparada a uma colher de açúcar ou ao refrigerante. Elas contêm compostos com potencial antioxidante e anti-inflamatório, que diminuem o risco de doenças, e fibras, que podem modular a microbiota”, assinala.

**E**m 2012, Carvalho fundou o Sustentarea, núcleo de pesquisa e extensão sobre alimentação sustentável da USP. Pelo site, o núcleo oferece gratuitamente jogos, receitas, orientações alimentares, material didático, cursos on-line e oficina culinária. Em um dos jogos, o Susten-Trunfo, ganha quem fica com a receita de menor pegada ambiental, mais barata e mais fácil de fazer. “Temos 60 voluntários pelo Brasil disseminando nosso material e promovendo discussões sobre nutrição e sustentabilidade”, diz.

Os especialistas dessa área reconhecem que, para que a maioria da população adote hábitos alimentares mais saudáveis e ambientalmente corretos, são necessárias políticas públicas que apoiem e incentivem uma mudança de padrão alimentar. Caberiam também ajustes no sistema agroalimentar, direcionando mais recursos para alimentos saudáveis e sustentáveis. Para o Brasil, um dos maiores produtores de carne do mundo, com um rebanho bovino de 210 milhões de cabeças, seria um desafio e tanto.

A Austrália é um dos primeiros países a dar um passo nesse sentido, ao fazer uma avaliação de seu sistema alimentar. A Agência Nacional de Ciência (CSIRO) do país avaliou em US\$ 247 bilhões o custo oculto do impacto da produção de alimentos no ambiente e na saúde. Em um comunicado da agência, seu diretor, Michael Robertson, ressaltou que esse tipo de avaliação é o primeiro passo para transformar o sistema alimentar, melhorar a saúde da população e preservar o meio ambiente. ●

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



**Quando  
o carbono  
vira  
combustível**



Dois projetos nacionais buscam converter  
o dióxido de carbono em insumo  
para mover navios, carros e caminhões

DOMINGOS ZAPAROLLI

O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é o principal gás gerador do efeito estufa (GEE), fenômeno associado ao aquecimento global e às mudanças climáticas. Nos últimos anos, pesquisadores mostraram que o  $\text{CO}_2$  pode ser capturado de processos industriais ou diretamente da atmosfera e usado como insumo de combustíveis renováveis. No mundo, soluções tecnológicas capazes de realizar esse processo já fazem a transição dos laboratórios de pesquisa para a produção em escala industrial. No Brasil, dois projetos têm o potencial de colocar o país entre os detentores de tecnologias capazes de usar o gás carbônico como insumo para o abastecimento de diferentes tipos de veículos.

Uma das iniciativas foi concebida no Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP) no âmbito do Centro de Pesquisa para Inovação em Gases de Efeito Estufa (RCGI), uma parceria entre a FAPESP e a empresa energética anglo-holandesa Shell. Seu objetivo é produzir uma versão sustentável do metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), conhecida como e-metanol, utilizando energia renovável no processo e  $\text{CO}_2$  capturado de usinas de etanol. A meta é empregar o combustível na propulsão de navios, uma aposta do setor marítimo para a transição energética.

O outro projeto, da empresa energética sino-espanhola Repsol Sinopec Brasil, é realizado em parceria com a Hytron, startup brasileira incorporada em 2020 ao grupo alemão Neuman &

Esser, com o Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai-CETIQT) e a USP. A tecnologia em desenvolvimento tem apoio laboratorial do RCGI e visa à produção de gasolina e diesel sustentáveis para veículos automotores, aéreos e marítimos, reutilizando  $\text{CO}_2$ .

“Queremos apresentar uma alternativa tecnológica nacional aos investidores interessados em produzir e-metanol no Brasil”, diz o engenheiro químico Pedro Vidinha, do IQ-USP e cofundador da Carbonic, startup criada em 2022 para viabilizar comercialmente o projeto. O processo desenvolvido pela equipe da USP foi concebido para capturar  $\text{CO}_2$  proveniente da fermentação da cana-de-açúcar em usinas de etanol, mas também pode ter como insumo outras fontes de gás carbônico. Segundo Vidinha, as usinas sucroalcooleiras reúnem em um mesmo local três recursos que, juntos, as tornam competitivas para a produção de e-metanol.

Um deles é a elevada disponibilidade de  $\text{CO}_2$  com alto grau de pureza, acima de 90%, gerado no processo fermentativo da cana. De acordo com o pesquisador, o Brasil produz por volta de 37 bilhões de litros de etanol por ano e o processo produtivo emite 28 milhões de toneladas (t) de  $\text{CO}_2$ . “Essa quantidade de gás é suficiente para servir de insumo para mais de um terço da produção atual de metanol no mundo, de cerca de 98 milhões de toneladas anuais”, compara Vidinha. O peso é a unidade de medida comercial do metanol.

A queima do bagaço de cana, prática comum na maioria das usinas, fornece os outros dois recursos. O primeiro é a energia elétrica que resulta da incineração da biomassa. Como os insumos do e-metanol são o CO<sub>2</sub> e o hidrogênio (H<sub>2</sub>), os pesquisadores cogitam usar a eletricidade gerada para instalar uma unidade de produção de H<sub>2</sub>. A planta, abastecida com energia gerada por fonte renovável, fará a produção do H<sub>2</sub> via eletrólise da água, um processo que consiste na quebra desta molécula (H<sub>2</sub>O) para se obter o hidrogênio (ver Pesquisa FAPESP nº 333).

O outro recurso que resulta da queima do bagaço é o vapor, que poderá ser usado como gás de processo e para aquecer o reator químico onde as moléculas de H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> serão misturadas para a produção do e-metanol (ver infográfico abaixo). Nesse processo, o reator deverá trabalhar em temperaturas entre 200 e 250 graus Celsius (°C).

#### PLANTA-PILOTO

A captura de CO<sub>2</sub> na fermentação de cana tem uma rota tecnológica consolidada e já bastante empregada pela indústria do etanol, que revende o gás retido para fabricantes de alimentos e bebidas. A tecnologia de produção de hidrogênio sustentável também está disponível.

O método comercial prevalente para a produção de metanol convencional usa como insumo o gás de síntese e não costuma empregar fontes sustentáveis de energia. O gás de síntese é obtido

a partir da gaseificação por meio da combustão de materiais de origem fóssil, como carvão mineral ou gás natural, misturados com hidrogênio e monóxido de carbono. Na sequência, o gás passa por uma reação catalítica, ou seja, uma reação acelerada por um catalisador – substância que promove a reação entre reagentes químicos sem ser consumida no processo. O padrão da indústria de metanol é o catalisador metálico obtido de cobre, zinco e alumínio, conhecido como CZA.

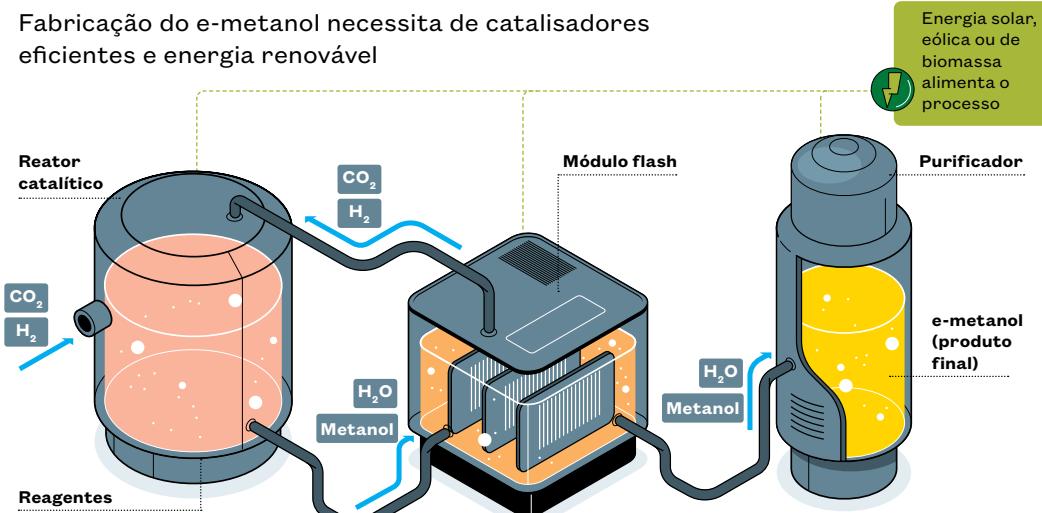
**N**o projeto do IQ-USP, o gás de síntese de origem fóssil é substituído por CO<sub>2</sub>. O processo emprega uma reação de hidrogenação, na qual o hidrogênio converte diretamente o CO<sub>2</sub> em metanol por meio de uma reação catalítica. O principal desafio tecnológico da equipe paulista foi criar um catalisador eficiente para fazer essa conversão. A solução veio com o trabalho de doutorado da química Maitê Lippel Gothe, sob orientação de Vidinha, que resultou no desenvolvimento de um catalisador com base em dois componentes, os óxidos de titânio e de rênio. O novo catalisador teve sua patente depositada no Brasil e foi foco de um artigo publicado no *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, em 2020.

Em testes laboratoriais com o reator a 200 °C, relata Vidinha, o novo catalisador é capaz de converter cerca de 18% de CO<sub>2</sub> em produtos como



## A reação química que gera o combustível

Fabricação do e-metanol necessita de catalisadores eficientes e energia renovável



FONTE PEDRO VIDINHA (IQ-USP)

## Quase iguais



### Metanol

Combustível de origem fóssil produzido a partir de carvão mineral ou gás natural, empregando fonte energética não necessariamente renovável



### e-metanol

Combustível sustentável gerado a partir de CO<sub>2</sub> capturado de processos industriais ou do ar e de hidrogênio verde, com uso de energia renovável (solar, eólica, biomassa)



1

2

metanol, metano e monóxido de carbono, apresentando uma seletividade de 98% para o metanol – ou seja, o metano corresponde a 98% do produto final. No entanto, os testes em bancada utilizam o catalisador em pó, inadequado para a produção em escala industrial, pois o pó entope o reator. No momento, o catalisador está sendo estruturado para ser usado em forma de *pellet*, pequenos aglomerados cilíndricos de poucos milímetros de diâmetro.

**U**ma planta-piloto de produção de metanol deverá ser construída, até o início de 2026, na Cidade Universitária da USP, na capital paulista. A unidade experimental testará o catalisador no formato de *pellet*, caso seu desenvolvimento seja bem-sucedido. A meta é gerar até 3 litros de metanol por dia. “O passo seguinte será construir uma planta de demonstração industrial em uma usina de etanol. Já há interessados”, afirma Vidinha. Os pesquisadores estimam que uma unidade em escala industrial seria capaz de produzir pelo menos 100 mil t por ano de metanol. Estudos de viabilidade técnica e econômica estão sendo realizados. Para que o metanol seja sustentável, ou seja, possa ser classificado como e-metanol, é preciso que a energia usada no processo de produção venha de fontes renováveis, como eólica, solar ou biomassa.

Vários grupos de pesquisa no mundo se dedicam à fabricação de catalisadores adequados para a hidrogenação catalítica do CO<sub>2</sub> para a produção de combustíveis sustentáveis, como o e-metanol. Esse é um dos principais desafios do processo. A engenheira química Liane Marcia Rossi, do IQ-USP, diretora do RCGI, participante do projeto

e cofundadora da Carbonic, integrou um grupo internacional, que reuniu ainda pesquisadores da University College London, na Inglaterra, e das universidades de Lorraine, na França, Leiden, na Holanda, e Bolonha, na Itália, na elaboração de um artigo que apresentou um panorama global dos estudos nessa área. O trabalho, que também discutiu os desafios a serem superados, foi publicado na revista *Science* em fevereiro deste ano. Os cientistas sustentam que a “hidrogenação com CO<sub>2</sub> oferece uma solução de combustível limpo [e-combustíveis] para setores de difícil eletrificação, como a aviação e o transporte marítimo”.

#### GASOLINA E DIESEL RENOVÁVEIS

A Repsol Sinopec Brasil denomina de CO<sub>2</sub>CHEM seu projeto de produção de gasolina e diesel renováveis a partir de CO<sub>2</sub> e hidrogênio. O investimento é de R\$ 20 milhões. Uma unidade-piloto entrou em operação em março na sede da Hytron, em Campinas, e está em etapa de operação assistida. A previsão é de uma produção de até 20 litros de combustível renovável por dia, consumindo até 1 t de CO<sub>2</sub>. Segundo a engenheira civil Cassiane Nunes, gerente de portfólio de pesquisa da Repsol Sinopec, o CO<sub>2</sub>CHEM utiliza gás carbônico e água como matérias-primas para a produção de combustíveis renováveis.

“O CO<sub>2</sub> empregado pode ser proveniente de qualquer fonte. Por meio da eletrólise da água, é gerado o H<sub>2</sub>, que, combinado ao dióxido de carbono, produz combustíveis renováveis, garantindo um ciclo fechado de produção e consumo de CO<sub>2</sub>”, explica a engenheira. “O sistema pode ser alimentado por fontes de energia renovável, garantindo a sustentabilidade da cadeia.”

A companhia, segundo Nunes, tem a intenção de utilizar na planta-piloto o CO<sub>2</sub> capturado

Fábrica da European Energy, na Dinamarca, pioneira na produção de e-metanol no mundo, e o porta-contêiner Laura Maersk, que usa o combustível

através da tecnologia Direct Air Capture (DAC), implementada de maneira pioneira no Brasil por meio de um projeto elaborado com o Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (IPR-PUCRS). A tecnologia DAC permite a captura de CO<sub>2</sub> direto do ar, removendo carbono da atmosfera (ver Pesquisa FAPESP nº 340).

A Hytron, que surgiu como uma spin-off da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) em 2003, é responsável pelo desenvolvimento tecnológico da planta de produção de combustíveis renováveis. “Os próximos passos incluem testes para validar a eficiência do combustível produzido e seu desempenho em diferentes motores, além de estudos sobre o aumento de escala do processo produtivo e sua viabilidade econômica”, declara Nunes.

#### **PIONEIRISMO DINAMARQUÊS**

Apesar de a tecnologia para produção do e-metanol, como o que se encontra em desenvolvimento no IQ-USP, ainda demandar aprimoramentos, a fabricação desse combustível já é uma realidade comercial desde maio, quando entrou em operação em Kasso, na Dinamarca, a primeira fábrica do mundo, com capacidade para produzir 42 milhões de toneladas de e-metanol por ano. Abastecida por energia renovável, a unidade utiliza CO<sub>2</sub> capturado em usinas de biogás. A fábrica pertence à dinamarquesa European Energy e à japonesa Mitsui e recebeu investimentos de € 150 milhões.

O principal cliente do combustível renovável fabricado em Kasso é a companhia de navegação dinamarquesa Maersk, que opera 12 navios

Unidade-piloto do projeto CO2CHEM, em Campinas, para produção de gasolina e diesel renováveis



porta-contêineres que podem ser movidos a óleo combustível fóssil ou e-metanol. A multinacional do setor marítimo já contratou outras 20 embarcações com motor movido a biocombustível. Segundo a Maersk, os navios propelidos com e-metanol emitem 65% menos GEE do que os que usam combustíveis fósseis. A companhia comunicou a intenção de utilizar cada vez mais o e-metanol nas embarcações na medida em que esteja disponível em portos ao redor do mundo.

No Brasil, pelo menos três projetos de produção de e-metanol já foram anunciados, além dos citados nesta reportagem. Em 2024, a Petrobras divulgou um acordo de princípios com a European Energy para a implantação de uma unidade fabril de e-metanol em Pernambuco. Também no ano passado, a petroquímica Braskem firmou uma parceria com a Universidade da Columbia Britânica, no Canadá, para o financiamento de um projeto de desenvolvimento de tecnologia para produzir metanol a partir do CO<sub>2</sub>. O objetivo da companhia é fabricar e-metanol para ser usado como insumo petroquímico e combustível.

**P**rocuradas pela reportagem, as duas empresas declararam que os projetos estão em fase inicial e que não podem fornecer informações a respeito. Outra iniciativa anunciada é da HIF Global, empresa do grupo chileno de energia renovável AME, que fez uma reserva de área no Porto do Açu, em São João da Barra (RJ), para construir uma unidade de e-metanol. A companhia não forneceu detalhes do projeto.

O e-metanol ainda não é competitivo. De acordo com Vidinha, enquanto o combustível apresenta um custo na casa de US\$ 1.300 por t, valor que deve cair significativamente quando houver produção em maior escala, o bunker – o óleo combustível fóssil de uso em navios – sai por volta de US\$ 300 por t.

Responsável por 3% das emissões globais de GEE, o setor marítimo tem como meta zerar até 2050 suas emissões líquidas desses poluentes. Um acordo estabelecido em abril deste ano na Organização Marítima Internacional (IMO) regulamenta a descarbonização e estabelece um cronograma de metas de redução das emissões de CO<sub>2</sub> que variam conforme o porte do navio e evoluem gradualmente entre 2028 e 2050. O descumprimento das metas resultará em multas que começam em US\$ 380 por t de combustível fóssil acima do permitido e chegará em 2050 com penalidades que superam US\$ 1 mil por t. ●

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



# Reciclagem universal

Planta-piloto testará processo único para recuperar as substâncias químicas dos principais tipos de bateria de íons-lítio disponíveis no mercado

DOMINGOS ZAPAROLLI

**U**ma unidade-piloto de reciclagem de baterias de íons-lítio pioneira no país que utiliza uma técnica conhecida como hidrometalurgia flexível está prevista para entrar em operação ainda este ano. A tecnologia foi desenvolvida por pesquisadores do Laboratório de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Extração (Larex) do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) em parceria com a Tupy, multinacional de origem brasileira de componentes estruturais em ferro fundido.

A hidrometalurgia é um processo de separação de metais em meio aquoso, geralmente com

o emprego de soluções químicas, realizado em baixa temperatura. Trata-se de uma alternativa ao sistema tradicional usado para reciclagem de baterias baseado na pirometalurgia, técnica na qual os metais são aquecidos em temperaturas acima de mil graus Celsius (°C), o que demanda grande gasto de energia e gera mais gases tóxicos como resíduo.

O uso da técnica para reciclar baterias de íons-lítio é um procedimento recente. Encontra-se em aperfeiçoamento em vários centros de pesquisa no mundo e ainda tem poucas aplicações em escala industrial. A unidade-piloto brasileira será instalada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em São Paulo.

**Baterias de lítio usadas (ao centro) e os materiais recuperados após processo de reciclagem desenvolvido na USP**

“A importância da tecnologia que será testada está no fato de a hidrometalurgia ser flexível. É capaz de recuperar, em um único processo, diversas substâncias químicas que compõem as diferentes versões de baterias de íons-lítio disponíveis no mercado [ver infográfico na página 65]”, diz o engenheiro mecânico André Ferrarese, diretor de Pesquisa e Desenvolvimento Disruptivo da Tupy. As primeiras pesquisas realizadas na USP foram financiadas pela FAPESP. O projeto da Tupy recebeu apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii). As soluções tecnológicas conhecidas de hidrometalurgia para reciclagem de baterias não são universais, já que cada tipo de bateria tem composição química diferente, demandando um processo específico.

**A** metodologia de reciclagem tem início com a desmontagem do pacote de bateria, o *pack* no jargão dos especialistas. Ele é formado por um conjunto de pequenas pilhas, chamadas de células, onde estão os dois polos da bateria que estabelecem uma corrente elétrica, o ânodo (polo negativo) e o cátodo (polo positivo). Como as células apresentam desgaste desigual, as que estão em bom estado podem ser reaproveitadas em novos *packs* e comercializadas como baterias de segunda vida.

As células desgastadas, por sua vez, são encaimadas a um processo de moagem e separação mecânica ou magnética para a retirada do plástico e dos componentes eletrônicos e metálicos, como aço, alumínio, grafite e cobre contidos em seu invólucro. Esses materiais são enviados para as respectivas cadeias de reciclagem já estabelecidas.

Em artigo publicado em 2024 no periódico científico *Industrial & Engineering Chemistry Research*, a equipe do Larex, responsável pelo desenvolvimento do projeto, apresenta uma rota de processamento físico integrada para a etapa de desmontagem dos três diferentes formatos geométricos – cilíndrico, prismático e *pouch* (bolsa tipo pochete) – de baterias existentes no mercado.

Após a moagem e a separação de materiais básicos, o que sobra é um pó escuro, conhecido como *black mass*, formado pela mistura de óxidos metálicos de alto valor que integram o ânodo e o cátodo. Esse material, composto dos óxidos de lítio ( $Li_2O$ ), níquel ( $NiO$ ), cobalto ( $CoO$ ), manganês ( $MnO_2$ ), entre outras substâncias, é o alvo principal da reciclagem. A técnica de hidrometalurgia desenvolvida no Larex tem início com um processo de diluição do *black mass* por lixiviação com ácido sulfúrico, informa o engenheiro metalurgista e professor da Poli-USP Jorge Alberto

Soares Tenório, coordenador do Larex e do projeto com a professora Denise Espinosa. Lixiviação é o processo de extração de uma substância de um meio sólido por sua contínua dissolução em meio aquoso.

Na etapa seguinte, o material passa por uma sequência de diferentes tipos de reatores com um conjunto de reagentes químicos específicos para cada óxido metálico. Os reagentes orgânicos e inorgânicos selecionados, os parâmetros de cada etapa e a sequência de reatores tornam o processo hidrometalúrgico universal e capaz de lidar com os diferentes tipos de baterias de íons de lítio.

O nível de pureza dos materiais recuperados no processo gira em torno de 90%. Nesse patamar, os metais podem ser reutilizados em várias aplicações industriais. Como as baterias de íons-lítio demandam um grau de pureza superior a 99%, explica Ferrarese, o reaproveitamento do material reciclado em novos dispositivos torna-se viável por meio de sua mistura de pequenas dosagens com metais virgens.

Os testes que serão realizados na unidade-piloto têm dois objetivos. Um é o aumento da escala produtiva para a casa de 300 litros (L) por lote de reciclagem. Nas operações em bancada laboratorial, o patamar máximo foi de 50 L por lote. A outra meta é testar um fluxo contínuo do material em cada etapa do processo. Em laboratório, a transferência do material entre cada reator é feita de forma manual.

A planta experimental também será uma unidade de demonstração industrial. “Quando finalizada, pretendemos comercializar a solução no Brasil e no exterior”, diz Ferrarese. A Tupy relaciona entre seus clientes fabricantes globais de máquinas, veículos e equipamentos. O material reciclado na unidade do IPT deverá ser utilizado na primeira planta-piloto de produção de baterias de lítio do país, em fase de construção.

Pesquisador da Unesp segura bateria de lítio em processo de reciclagem



# Os principais tipos de bateria

Os dispositivos de íons-lítio são classificados segundo as substâncias contidas no cátodo, o polo positivo

Substâncias
Óxido de lítio - $\text{Li}_2\text{O}$
Óxido de níquel - $\text{NiO}$
Óxido de manganês - $\text{MnO}_2$
Óxido de cobalto - $\text{CoO}$
Óxido de alumínio - $\text{Al}_2\text{O}_3$
Fosfato de ferro - $\text{FePO}_4$

Substâncias	Tipos	Composição do cátodo
Óxido de lítio - $\text{Li}_2\text{O}$	NMC	$\text{Li}_2\text{O}$ $\text{NiO}$ $\text{MnO}_2$ $\text{CoO}$
Óxido de níquel - $\text{NiO}$	NCA	$\text{Li}_2\text{O}$ $\text{NiO}$ $\text{CoO}$ $\text{Al}_2\text{O}_3$
Óxido de manganês - $\text{MnO}_2$	LMO	$\text{Li}_2\text{O}$ $\text{MnO}_2$
Óxido de cobalto - $\text{CoO}$	LCO	$\text{Li}_2\text{O}$ $\text{CoO}$
Óxido de alumínio - $\text{Al}_2\text{O}_3$	LFP	$\text{Li}_2\text{O}$ $\text{FePO}_4$

FONTE HOLO BATTERY

Baterias de íons-lítio são utilizadas em veículos elétricos, smartphones, notebooks e outros equipamentos eletrônicos. Calcula-se que as baterias que empregam insumos reciclados por hidrometalurgia usando apenas reagentes inorgânicos, como é o caso do processo criado no Larex, apresentam uma pegada de carbono 30% menor em comparação com as que usam substâncias minerais virgens.

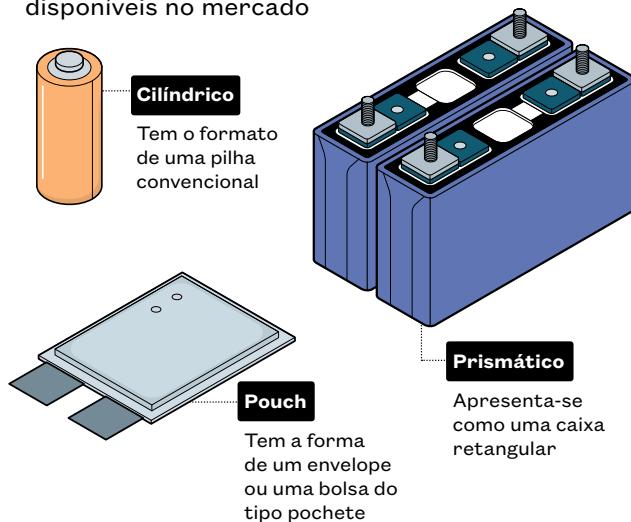
Outros dois projetos de reciclagem de baterias de íons-lítio são desenvolvidos pelo Center for Advanced and Sustainable Technologies (Cast), da Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus de São João da Boa Vista (ver Pesquisa FAPESP nº 332). Um deles adota a técnica de hidrometalurgia convencional voltada às baterias do tipo LCO (óxidos de lítio e cobalto) e NMC (óxidos de lítio, níquel, manganês e cobalto). Uma particularidade do trabalho é o emprego de apenas reagentes químicos orgânicos a fim de minimizar impactos ambientais. A pesquisa teve apoio da Embraer e do programa Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (Pite), da FAPESP.

Segundo o engenheiro ambiental José Augusto de Oliveira, coordenador do Cast, a pesquisa foi validada em unidade-piloto, proporcionando elevada taxa de recuperação dos metais, na casa de 90% para o óxido de lítio, com 98% de pureza. Gerou um depósito de patente no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 2020 e um artigo publicado em 2021 na revista *Resources, Conservation and Recycling*.

O outro processo do Cast adota uma técnica inovadora de hidrometalurgia que utiliza água

# Diferentes formatos

Conheça as três geometrias disponíveis no mercado



em condição supercrítica (ScW) como solvente para recuperar os óxidos metálicos. O estado supercrítico é alcançado quando a água é submetida a uma temperatura superior a 374 °C e a uma pressão de 240 atmosferas (atm).

De acordo com o engenheiro químico Lúcio Cardozo Filho, pesquisador do Cast responsável pelo projeto, os resultados preliminares apresentaram uma eficiência na recuperação de metais utilizados nas baterias tipo LCO e NMC acima de 90%, como demonstrado em artigos publicados em 2024 nas revistas *Chemosphere* e *Environmental Pollution*.

“A relevância dos resultados tem despertado o interesse da comunidade científica internacional, resultando em colaborações com vários grupos”, relata Cardozo. O Instituto Real de Tecnologia de Melbourne, da Austrália, e a Universidade de Cádiz, da Espanha, estabeleceram parcerias com a Unesp para desenvolver projetos na área. Há cooperação também com as universidades federais de Goiás (UFG) e Minas Gerais (UFMG) e a Estadual de Campinas (Unicamp).

Um reator semipiloto hidrotérmico que usa a água supercrítica para recuperar metais críticos está em testes finais no Laboratório de Tecnologia Supercrítica e Equilíbrio de Fases no Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM), no Paraná. Os testes preliminares, informa Cardozo, comprovam os resultados obtidos em escala de laboratório. Se tudo der certo, o desafio seguinte será escalar a produção para a escala industrial. ●

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

# Um sonho ainda distante

Avança o desenvolvimento do submarino nuclear brasileiro, mas sua conclusão não deverá ocorrer antes da segunda metade da próxima década

YURI VASCONCELOS, de Iperó (SP)

**A**

Marinha do Brasil está dando mais um passo para concretizar o objetivo de ter em sua esquadra um submarino movido a energia nuclear. Uma etapa crucial do projeto em desenvolvimento no país, a montagem electromecânica da seção denominada bloco 40, que abrigará o protótipo do reator responsável por gerar energia térmica para sua propulsão, está em estágio avançado, segundo a Força Naval. Para testar esse equipamento, um modelo em escala real das seções mediana e traseira do submarino, os blocos 10 a 40, encontra-se em fase final de construção em um dos laboratórios do Centro Industrial Nuclear de Aramar (Cina). Complexo militar voltado a pesquisas nucleares, o Cina, conhecido apenas como Aramar, fica em Iperó, a 115 quilômetros de São Paulo.

Uma unidade de pesquisa, o Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (Labgene), foi montada exclusivamente para testar o reator nuclear. O prédio principal, um galpão de grandes proporções, tem cerca de 30 metros (m) de altura. É nele que está sendo montado o protótipo do submarino. Inicialmente, informa a Marinha, a planta de propulsão será testada com vapor oriundo de uma caldeira tradicional, alimentada com combustível fóssil. Somente depois será carregado o combustível nuclear, também produzido em Aramar.

O propósito do Labgene é validar a operação do reator de propulsão naval e dos sistemas ele-

tromecânicos e de controle integrados a ele. A embarcação será construída a cerca de 550 quilômetros dali, no Complexo Naval de Itaguaí, no Rio de Janeiro.

“A construção de uma planta nuclear embarcada [PNE] é algo inédito no Brasil. Nunca fizemos isso. Precisaremos testá-la exaustivamente antes de colocá-la no submarino”, declarou o vice-almirante Celso Mizutani Koga, diretor do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), durante visita da reportagem de *Pesquisa FAPESP* ao Cina, em maio deste ano. “Teremos que garantir que todos os requisitos de segurança e performance sejam atingidos. Estimamos que deverá levar três anos para o Labgene começar a produzir energia por meio da fissão nuclear.”

O reator projetado pela Marinha é do tipo que funciona com água pressurizada (*pressurized water reactor* – PWR), o modelo mais usado em centrais nucleares no mundo todo, inclusive nas usinas brasileiras Angra 1 e 2, no litoral fluminense. O desenvolvimento dos componentes do bloco 40 está a cargo da estatal Nuclebrás Equipamentos Pesados (Nuclep), criada em 1975 para atender o Programa Nuclear Brasileiro (PNB).

“Estamos fazendo muita coisa do zero, pois os países que detêm a tecnologia de fabricação de submarinos nucleares não a compartilham, o que enseja inúmeros desafios por conta de seu ineditismo e necessidade de desenvolvimento autóctone”, afirma Koga.

Apesar da complexidade e dos desafios que envolvem a construção de uma planta nuclear, seja uma unidade embarcada em um submarino ou uma central para produção de eletricidade, seu funcionamento é similar a um gerador termoelétrico, em que o calor resultante da queima de combustível fóssil produz vapor, que leva ao acionamento de uma turbina acoplada a um gerador de potência.

No caso de uma unidade nuclear, o vapor é gerado não pela combustão de óleo diesel ou gás natural, mas pela energia térmica liberada na fissão (quebra) de átomos de urânio, mineral base da energia nuclear. Circuitos de condução de calor, contendo água aquecida e vapor, acionam a turbina que alimenta os geradores do sistema elétrico, produzindo eletricidade. A vantagem da energia nuclear diante de combustíveis fósseis é sua elevada densidade energética: 1 pastilha de urânio enriquecido de poucas gramas libera a mesma energia térmica que 1 tonelada de carvão.

#### **PROGRAMA MILITAR SECRETO**

A construção de um submarino nuclear convencionalmente armado (SNCA) com tecnologia nacional é um dos dois objetivos perseguidos pelo Programa Nuclear da Marinha (PNM), um dos braços do PNB. Executado hoje pelo CTMSP, o programa teve início em 1979, durante o regime militar (1964-1985), de forma sigilosa, sob o codinome Chalana. Apenas depois da redemocratização, foi tornado público.

Pastilhas fabricadas com urânio enriquecido no Centro Industrial Nuclear de Aramar, em Iperó (SP)

Desde então, enfrentou inúmeros desafios e contingenciamentos orçamentários que quase provocaram o fim do programa e levaram a seguidas revisões de seu cronograma. Especialistas ouvidos pela reportagem estimam que a embarcação só deverá ficar pronta em meados ou fim da próxima década.

A construção do SNCA, batizado de Álvaro Alberto (1889-1976), em homenagem ao cientista e oficial da Marinha que foi um dos idealizadores do programa nuclear brasileiro, também faz parte do Programa de Desenvolvimento de Submarinos (Prosul), uma parceria entre Brasil e França. O acordo prevê o desenvolvimento de quatro submarinos convencionais, com propulsão diesel-elétrica (ver Pesquisa FAPESP nº 274).

“Hoje, apenas seis nações conseguem fabricar submarinos nucleares: Estados Unidos, Rússia, China, Reino Unido, França e Índia”, afirma o contra-almirante Sérgio Luís de Carvalho Miranda, diretor de Desenvolvimento Nuclear da Marinha. “O Brasil é o primeiro país que, mesmo sem possuir armas nucleares, constrói um submarino desse tipo.” Entre as principais vantagens de um submarino nuclear sobre os modelos convencionais, esclarece o oficial, estão sua maior velocidade, seu poder de ocultação e sua elevada capacidade de permanecer em operação. “Ele pode ficar longos períodos submerso em missões de vigilância, defesa e reconhecimento, sem precisar emergir para a superfície nem retornar à base para reabastecer”, afirma.

Para o físico Claudio Geraldo Schön, coordenador do curso de engenharia nuclear da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Polis-USP), submarinos nucleares são um importante equipamento de dissuasão. “Por ser muito silencioso e veloz, pode se aproximar de outras embarcações sem ser notado”, conta. “Para o Brasil, dono de uma imensa área marítima, é importante ter uma embarcação com essas características para resguardar as riquezas nacionais e garantir nossa soberania no mar”, comenta.

**O**utro objetivo traçado pelo PNM era dominar a tecnologia de produção do combustível nuclear. Com a participação do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), resultados com foco nesse propósito começaram a ser alcançados ainda nos anos 1980. Para isso, o Brasil criou uma tecnologia própria de ultracentrifugação, a etapa do processo em que se faz enriquecimento isotópico do urânio.

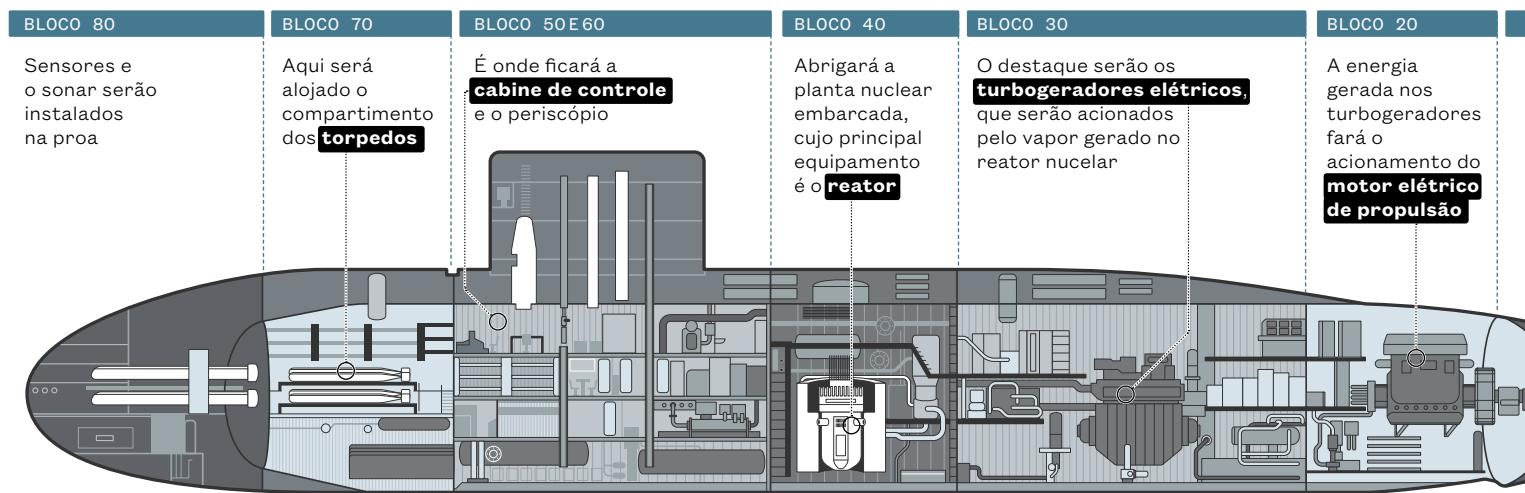
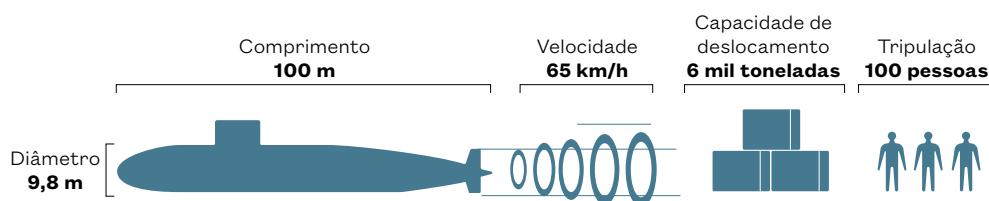
“Somente 13 países sabem como enriquecer o urânio. Esse é o gargalo do ciclo do combustível nuclear”, conta o engenheiro nuclear Renato Cotta, consultor do PNM e pesquisador do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe-UFRJ) (ver entrevista na página 22). “Quem domina essa tecnologia não a divide com ninguém.” Isso porque, expli-



Prédio em Aramar onde o concentrado de urânio é convertido no gás hexafluoreto de urânio, etapa da produção do combustível nuclear (acima); maquete do reator do submarino

## No interior do submarino

A planta nuclear será instalada no bloco 40, seção localizada no centro da embarcação



FONTE: MARINHA DO BRASIL



ca o pesquisador, quem é capaz de enriquecer o urânio para gerar energia elétrica também sabe produzir a matéria-prima necessária para fabricar bombas atômicas.

**P**ara entender como o urânio é enriquecido e transformado em combustível nuclear, é preciso saber que, na natureza, o mineral é formado por apenas 0,7% do isótopo U-235, o ideal para a fissão nuclear – isótopos são átomos do mesmo elemento químico com diferentes pesos moleculares. O isótopo prevalente na composição é o U-238, com mais de 99% do total. Para gerar energia elétrica em usinas nucleares, o urânio precisa ter, no mínimo, 5% de U-235; no caso do combustível para o submarino, o enriquecimento deverá chegar a 19%.

Para atingir o índice desejado, o urânio, depois de minerado, é convertido em um gás, que passa por um conjunto (ou cascata) de ultracentrífugas operando em série e em paralelo para concentração do U-235. Em seguida, o gás enriquecido é reconvertido em um pó, dando origem à matéria-prima para a fabricação das pastilhas usadas para produzir o combustível nuclear. Todo o processo ocorre em diferentes estruturas do Cina, onde trabalham mais de 1,2 mil pessoas.

“O ciclo do combustível nuclear não é secreto. Você encontra em qualquer livro a definição do processo, os materiais que precisam ser usados, as reações químicas necessárias. O complicado é ter a tecnologia para fazer isso”, diz Schon, da USP.

Na visita de Pesquisa FAPESP a Aramar, foi possível conhecer o Laboratório de Enriquecimento Isotópico (LEI), local onde ocorre a concentração do urânio, mas não as ultracentrífugas.

“É um segredo industrial. Nem mesmo os técnicos da Aiea [Agência Internacional de Energia Atômica] que realizam inspeções de salvaguardas regularmente em Aramar têm contato visual com elas”, explica Miranda. O acesso irrestrito às centrífugas é interditado para evitar que elas sofram um processo de engenharia reversa, ou seja, que por meio da análise visual de sua estrutura seja possível desvendar seu funcionamento e princípios tecnológicos.

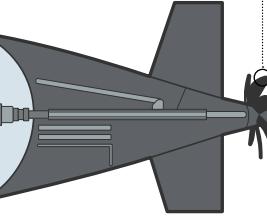
Durante as visitas, os inspetores da Aiea querem se certificar de que o Brasil não está enriquecendo urânio a patamares diferentes dos acordados pelo país no âmbito internacional. Como o país é signatário do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP), o processo de produção do combustível nuclear, bem como o desenvolvimento do reator para o submarino, é inspecionado pela Aiea.

O combustível nuclear usado nas usinas Angra 1 e 2 é produzido localmente pela Indústrias Nucleares do Brasil (INB), empresa estatal localizada em Resende (RJ). As ultracentrífugas em operação na INB foram fabricadas pela Marinha. “Já fornecemos equipamentos para montagem de 10 cascatas”, diz Koga, do CTMSP. “Não podemos especificar quantos aparelhos são usados em cada cascata. Como vários aspectos da fabricação do combustível nuclear, esta é mais uma informação sigilosa.” ●

Profundidade  
350 m

BLOCO 10

A hélice, conectada ao eixo do motor, estará alojada na popa



FOTOS LÉO RAMOS CHAVES / REVISTA PESQUISA FAPESP INFOGRÁFICO ALEXANDRE AFFONSO / REVISTA PESQUISA FAPESP



# Avanços parciais

## Plano Nacional de Educação amplia o acesso à escola, mas não cumpre a maioria de seus objetivos

CHRISTINA QUEIROZ

**R**esponsável por definir metas para todas as etapas da educação pública e privada do Brasil, o atual Plano Nacional de Educação (PNE), criado pela Lei nº 13.005, de 2014, chega a seu último ano de vigência sem cumprir a maioria de seus objetivos. Mesmo assim, impulsionou avanços significativos no acesso a escolas, especialmente na educação infantil e no ensino fundamental. Pesquisadores analisam que essa trajetória de ascensão foi impactada negativamente pela pandemia de Covid-19 e pela falta de financiamento adequado para o desenvolvimento de políticas públicas.

Com foco na universalização do acesso à educação básica, o PNE teve sua primeira edição entre 2001 e 2011, sendo que de 2012 a 2014 o país ficou sem plano. Privilegiando ações na mesma direção, o PNE em vigor atualmente, que é o segundo criado depois da Lei de Diretrizes e Bases (LDB), de 1996, tinha a previsão de acabar em 2024. Porém ele foi prorrogado pelo Congresso Nacional até dezembro de 2025.

De acordo com levantamento da Campanha Nacional pelo Direito à Educação, somente quatro de suas 20 metas foram cumpridas. Uma delas foi aumentar as matrículas de alunos na educação profissional técnica de nível médio. O PNE também previa elevar as médias do Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (Ideb), em todas as etapas do ensino. O quarto propósito alcançado era elevar o percentual de professores com pós-graduação na educação básica. Outra meta se refere ao crescimento do número de docentes no ensino superior com mestrado. A proposta era titular 60 mil pessoas anualmente, objetivo que foi superado em 2017, mas sofreu uma leve queda em 2022, quando 59,3 mil professores se tornaram mestres.

Além desses objetivos, o PNE vigente estabelecia que até o seu término todas as crianças brasileiras de 4 e 5 anos teriam acesso à educação infantil. Os resultados mostram que, em 2024, o país ficou próximo da meta, chegando a 94,6%, conforme relatório do Instituto Nacional de Estu-

dos e Pesquisas Educacionais (Inep), do Ministério da Educação (MEC), publicado em junho (*ver gráfico na página 73*). No ano passado, 5,8 milhões de crianças nessa faixa etária frequentavam escolas, enquanto outras 425 mil, ou 5,4% do total, estavam excluídas das instituições de ensino.

Até o final da vigência do plano, 50% das crianças brasileiras com até 3 anos deveriam estar frequentando creches, porém o percentual ficou em 41,2% em 2024, segundo levantamento do Inep. Isso significa que 4,8 milhões de alunos nessa faixa etária estavam na escola naquele ano, enquanto outros 6,8 milhões ficaram de fora. Em 2016, cerca de 3,8 milhões de crianças com essa idade frequentavam escolas, ou 31,8% do total, e outras 8,3 milhões não estavam matriculadas.

“Ao longo da vigência do atual PNE, o Brasil melhorou a cobertura da educação infantil. Embora as metas não tenham sido alcançadas, há que se comemorar a inclusão de mais de 1,5 milhão de crianças de até três anos em creches”, pondera Alvana Maria Bof, coordenadora-geral de Estudos Educacionais do Inep e uma das autoras do levantamento. De acordo com o relatório do 5º Ciclo de Monitoramento das Metas do Plano Nacional de Educação, de 2024, no entanto, parte do avanço se deve à redução da demanda, na medida em que o número de pessoas em idade pré-escolar caiu no país.

No ensino fundamental, parte da proposta era universalizar o acesso para toda a população de 6 a 14 anos. O objetivo não se concretizou, mas o país conseguiu sair do patamar de 96,7% registrados em 2012 para 98% dos estudantes dessa faixa etária matriculados nas escolas em 2018, como informa o Inep. A partir de 2019, contudo, esses avanços retrocederam e, em 2024, o percentual era de 95,8%.

O plano previa ainda que pelo menos 95% dos alunos concluíssem essa etapa de ensino até os 16 anos. O valor saiu do patamar de 68,2%, em 2012, para 85,9%, em 2024. Outra meta buscava universalizar o acesso à escola para estudantes de 15 a 17 anos. O Brasil chegou perto. Em 2024, 94,7% dos alunos dessa faixa etária estavam matriculados em escolas, contra o percentual de 88,8%

registrado em 2012. Mesmo assim, cerca de 618 mil estudantes de 6 a 17 anos permaneciam sem acesso a instituições de ensino no ano passado, segundo levantamento da Campanha Nacional pelo Direito à Educação (ver gráfico nesta página).

Para a pedagoga Márcia Aparecida Jacomini, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), o fechamento de escolas em 2020 e 2021, por causa da pandemia, foi um dos motivos que levaram ao descumprimento de algumas metas. “Muitos estudantes abandonaram os estudos ou não tiveram aprendizagem adequada, devido à falta de acesso a dispositivos para participar de aulas on-line”, considera. O pesquisador na área de educação Adriano Souza Senkevics, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), concorda. “A pandemia rompeu com uma trajetória ascendente de ampliação de acesso em todas as etapas da educação básica”, lamenta.

Ao fazer um balanço do PNE, o sociólogo Maurício Ernica, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), avalia que o descumprimento da maioria dos objetivos não torna o plano irrelevante. “Os propósitos estipulados funcionam como ‘enunciados de ambição’ e, muitas vezes, propõem avanços maiores do que as capacidades institucionais e orçamentárias de governos”, diz. “Ainda assim, essas formulações cumprem a função de dar uma direção à ação governamental e à mobilização social.”

No entanto, apesar de reconhecer o valor do plano como uma orientação normativa, Ernica aponta as desigualdades educacionais como o principal problema do legado deixado pelo atual PNE. De acordo com o pesquisador, ao estabelecer percentuais médios de atendimento que devem ser cumpridos em cada etapa de ensino, a proposta acaba escondendo defasagens de aprendizagem

entre meninos e meninas, alunos pretos, pardos e brancos e estudantes com diferentes níveis socioeconômicos. É o que acontece no ensino médio, por exemplo (ver gráfico na página 74). Em 2023, 55% dos jovens entre 15 e 17 anos frequentavam ou concluíram essa etapa escolar, sendo a maioria branca. “Os percentuais de acesso à escola entre pessoas negras e indígenas são mais baixos do que a média nacional e o PNE atual não estabelece mecanismos para lidar com essa questão”, destaca.

**E**m artigo publicado neste ano na revista *Dados*, Ernica e colaboradores constataram que, no Brasil, o aumento das notas do Ideb em determinadas escolas e redes de ensino está associado ao crescimento das desigualdades. Isso significa, segundo o pesquisador, que avanços nas médias de desempenho escolar tendem a ser puxadas por grupos sociais específicos, como alunos brancos e de níveis socioeconômicos mais altos, enquanto entre estudantes negros e de níveis socioeconômicos baixos a aprendizagem não segue o mesmo padrão de aumento (ver Pesquisa FAPESP nº 264).

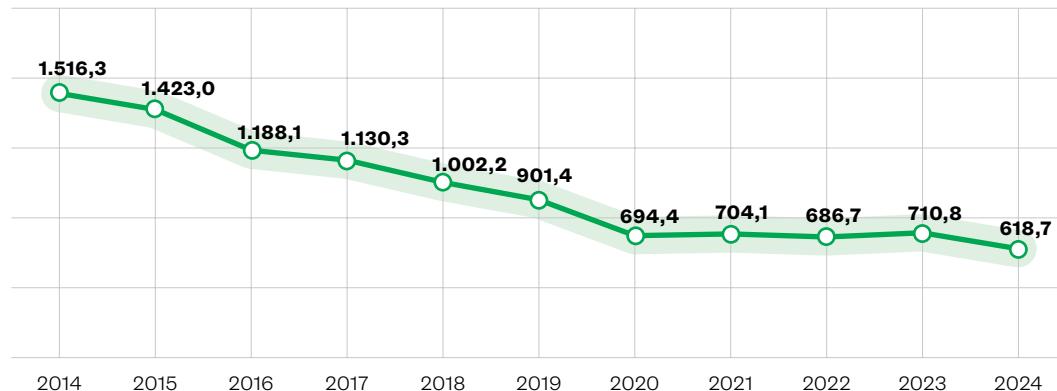
Nesse cenário, o pesquisador defende a criação de políticas públicas voltadas a estudantes de grupos sociais mais expostos ao risco de ter desempenho baixo. A pesquisa analisou dados da proficiência dos estudantes de todos os municípios brasileiros medidos pelo Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb). Os pesquisadores avaliaram, para cada município, o nível de aprendizagem do conjunto dos estudantes e as desigualdades de aprendizagem entre grupos sociais definidos por raça, sexo e nível socioeconômico.

“O próximo plano, previsto para vigorar a partir de 2026, incorpora avanços significativos

## Ausência na educação básica

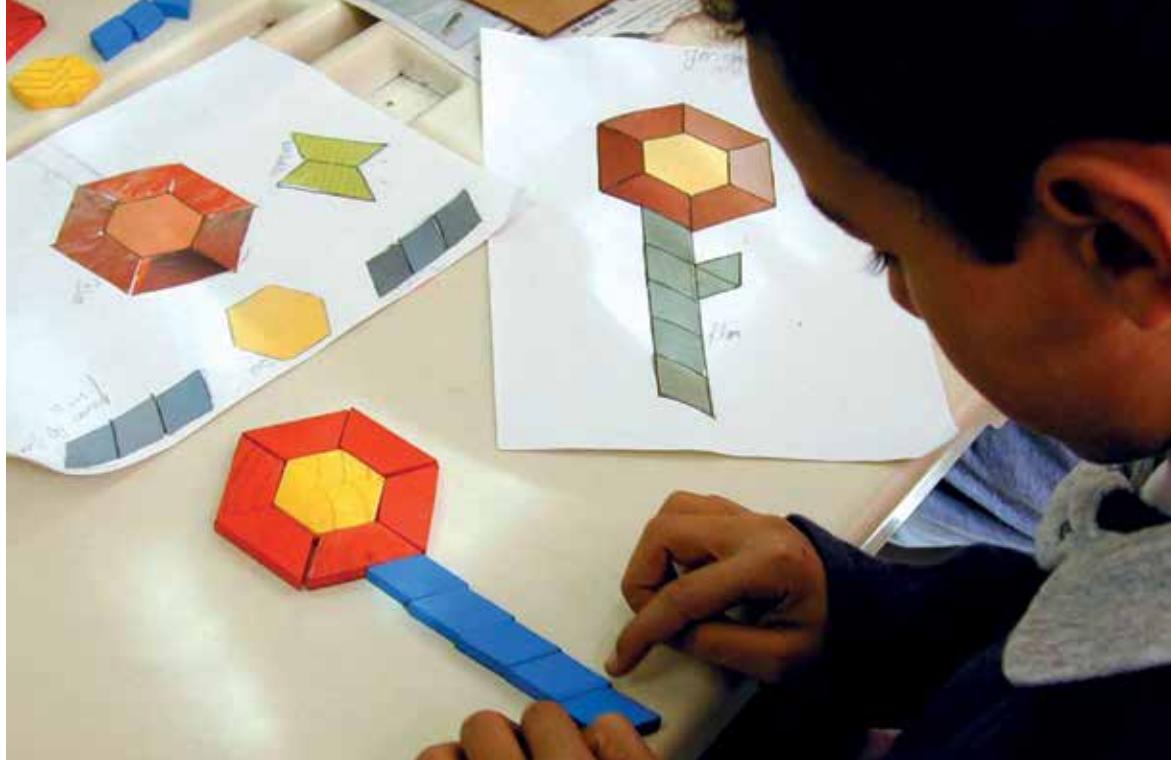
Em 10 anos, Brasil reduziu a quantidade de alunos entre 6 e 17 anos fora da escola

6 A 17 ANOS - EM MILHARES



FONTES PNAD CONTÍNUA/IBGE/CAMPANHA NACIONAL PELO DIREITO À EDUCAÇÃO

Criança em escola pública de Osasco (SP): em 2024, o Brasil chegou perto de universalizar o acesso à educação infantil



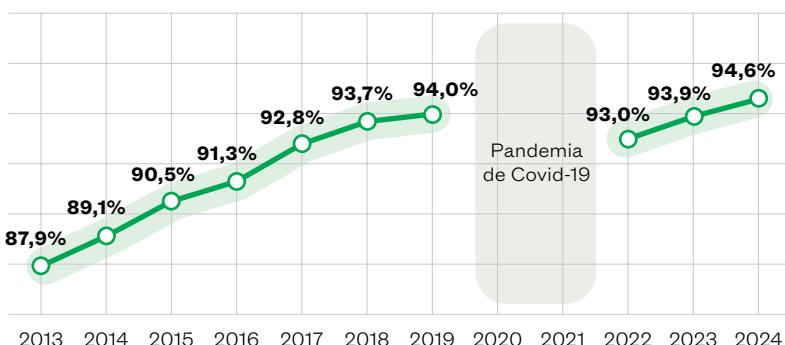
em relação ao combate das desigualdades de aprendizagem", informa José Francisco Soares, professor emérito da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). "Entre outros pontos, ele determina que as disparidades no desempenho entre diferentes grupos sociais constituem resultados a serem monitorados e enfrentados pelas redes de ensino", acrescenta o pesquisador. De acordo com Soares, por causa dessa mudança, o Ideb deverá ser substituído ou complementado por um novo instrumento, que não apenas meça os níveis de desempenho, como também monitore desigualdades entre grupos sociais. Segundo Ernica, o novo PNE deverá dar visibilidade para as modalidades educacionais

de educação do campo, indígena, quilombola e bilíngue de surdos.

Para Andressa Pellanda, coordenadora-geral da Campanha Nacional pelo Direito à Educação, o próximo PNE avança em relação à edição vigente ao incorporar objetivos direcionados a populações historicamente vulneráveis. Ela destaca que o novo plano dá maior atenção à educação digital, embora apresente lacunas nesse sentido. "O ensino de tecnologia tem foco instrumental, abordando questões de acesso e conectividade, sem incorporar perspectivas críticas e objetivos voltados à educação midiática", analisa.

## Crianças de 4 e 5 anos em escolas ou creches

Em 2024, 94,6% dessa população estava matriculada em instituições de ensino



**FONTES** MEC/INEP: NOVO PAINEL DE MONITORAMENTO DO PNE (2025) E RELATÓRIO DO 5º CICLO DE MONITORAMENTO DO PNE (2024)

utros problemas do PNE que se encerra em 2025 envolvem o atendimento escolar a alunos da educação especial. Com a proposta de acolher em classes comuns 95% da população de 4 a 17 anos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e com altas habilidades ou superdotação, o plano conseguiu contemplar 41,8% dessa parcela da população até 2024. Considerando a série histórica, o percentual equivalente em 2013 era de 37%. "O país obteve um pequeno avanço na inclusão de alunos com deficiência em classes comuns, mas não garantiu condições adequadas para a sua aprendizagem", afirma Senkevics, do Ipea. "Isso inclui o uso de recursos de acessibilidade, como rampas, elevadores adaptados e tecnologias assistivas, a exemplo de leitores de tela e legendas, além da presença de profissionais capacitados para oferecer suporte pedagógico a esses estudantes."

Uma lacuna persistente, segundo Senkevics, é a alfabetização. A meta do PNE era erradicar o analfabetismo absoluto e reduzir em 50% a taxa de analfabetismo funcional entre pessoas com 15 anos ou mais. Apesar de o país ter conseguido obter uma taxa de alfabetização de 94,6% dessa parcela da população, o analfabetismo funcional não sofreu redução. É o que aponta o Indicador de Alfabetismo Funcional, elaborado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef), pelo Instituto Unibanco e pela Fundação Roberto Marinho.

De acordo com o levantamento, 29% dos brasileiros de 15 a 64 anos seguem nessa condição desde 2009. O analfabetismo absoluto é a incapacidade de ler e escrever frases simples em qualquer idioma, enquanto o funcional ocorre quando as pessoas sabem ler e escrever palavras ou frases curtas, mas não compreendem textos complexos e tampouco conseguem interpretar informações básicas do cotidiano, como instruções e notícias.

Já na educação superior, o atual PNE pretendia aumentar as matrículas de pessoas com 18 a 24 anos em cursos de graduação, além de ampliar a presença desses estudantes em instituições públicas. Ao analisar esse objetivo, o pesquisador José Marcelino de Rezende Pinto, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP), aponta um aspecto positivo: nos últimos 20 anos, houve uma expansão significativa da oferta de ensino superior público, principalmente por meio da criação de institutos federais e universidades em regiões remotas do país.

“Como resultado desse processo, durante o atual PNE, as matrículas em instituições públicas federais mais do que dobraram, sendo que a

rede estadual também contribuiu com o avanço. Ainda assim, instituições públicas respondem hoje por apenas 15% das matrículas no ensino superior”, contabiliza Rezende Pinto, que é vice-presidente da Associação Nacional de Pesquisa em Financiamento da Educação (Fineduca). No Brasil, segundo ele, as matrículas no setor privado, especialmente por meio da educação a distância (EaD), explodiram na última década motivadas por políticas como o Financiamento Estudantil (Fies) e o Programa Universidade para Todos (Prouni) (ver Pesquisa FAPESP nº 348).

Nesse contexto, Jacomini, da Unifesp, chama a atenção para a falta de mecanismos eficazes de avaliação e controle da qualidade do ensino oferecido por algumas instituições privadas, sobretudo em cursos a distância. De acordo com a pesquisadora, hoje, cerca de 70% dos pedagogos do país são graduados nessa modalidade, o que pode impactar negativamente sua formação. “Além disso, muitas redes de ensino têm dificuldades em atrair profissionais bem formados, na medida em que a carreira na educação pública pode ser menos atrativa do que em algumas escolas particulares”, aponta a pesquisadora, que analisa esses desafios em artigo publicado em 2024 na revista *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*.

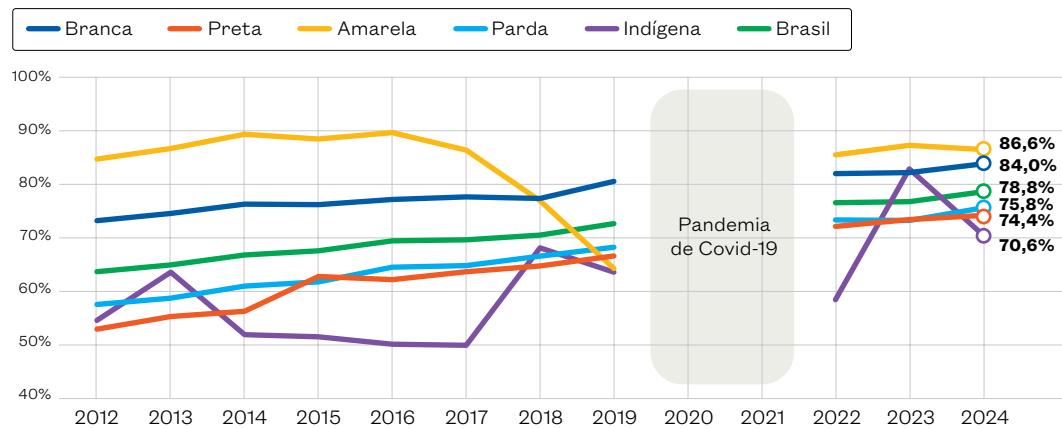
Atento à baixa atratividade da carreira docente na educação básica pública, o atual PNE estipulava que o rendimento médio desses professores devia se equiparar ao dos demais profissionais com escolaridade equivalente. Em 2023, esse valor atingiu 86,9% da média salarial nacional recebida por outras pessoas com a mesma formação. O percentual



Alunos em escola de São Paulo. Pesquisadores defendem a criação de um sistema nacional para mensurar as metas de estados e municípios

## Desigualdade de acesso

Jovens de 15 a 17 anos que frequentam o ensino médio ou finalizaram a educação básica



FONTE MEC/INEP: NOVO PAINEL DE MONITORAMENTO DO PNE (2025)



representa um avanço em relação aos salários dos professores em 2012, que correspondiam a 65,2% dos rendimentos de outras pessoas com o mesmo nível de escolaridade. “Porém a média nacional oculta distorções. Em alguns estados, a paridade só foi atingida porque os salários dos demais profissionais caíram, enquanto o valor recebido pelos docentes permaneceu estável”, lamenta Jacomini.

Afalta de recursos para financiar políticas educacionais figura entre os principais entraves para o cumprimento do PNE, alerta o físico Nelson Cardoso Amaral, da Universidade Federal de Goiás (UFG) e presidente da Fineduca. Nesse sentido, ele recorda que um dos objetivos do plano atual era ampliar gradativamente o investimento em educação pública até o valor equivalente a 10% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Nos primeiros anos de vigência do plano, esse tipo de investimento cresceu e em 2016 chegou a 5,6% do PIB, segundo o Inep. Porém a Emenda Constitucional nº 95, estabelecida naquele mesmo ano, rompeu com essa trajetória de ascensão, ao impor um teto para os gastos públicos. Com isso, o valor atual retrocedeu ao patamar de 2012, que era de 5,1%. “A política de austeridade do governo federal desarticulou o alicerce orçamentário do PNE”, avalia o jurista Salomão Ximenes, da USP, e coordenador do Observatório de Políticas Educacionais do Grande ABC, financiado pela FAPESP.

Além da escassez de recursos que garantam o cumprimento de objetivos, Rezende Pinto apon-

ta a existência de um desequilíbrio federativo no financiamento da educação. Em artigo publicado em 2024 na revista *Educação e Sociedade*, ele analisa que, embora os municípios sejam responsáveis por arcar com os gastos de mais de 60% das matrículas na educação básica – incluindo as etapas mais custosas, como as creches e a educação rural –, mais da metade dos recursos obtidos com arrecadação tributária em geral fica com o governo federal. “De cada R\$ 5 investidos em educação, apenas R\$ 1 vem da União”, contabiliza. O pesquisador considera que o governo federal deveria aumentar os recursos destinados à educação que são repassados a estados e municípios. Além disso, apesar de o próximo plano reiterar o compromisso de o país investir 10% do PIB em educação pública, ele restringe seu objetivo de financiamento à educação básica, desconsiderando o ensino superior.

O sociólogo Luiz Fernandes Dourado, da UFG, reforça a importância da instituição do Sistema Nacional de Educação (SNE) para garantir a efetiva cooperação federativa no âmbito da educação. Previsto na Constituição Federal de 1988 e no atual PNE, esse sistema deveria ter sido implantado em 2016. Sua proposta é favorecer a cooperação de redes de ensino por meio de ações da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios, sob a coordenação de comissões nacionais e subnacionais.

Em março deste ano, o Senado aprovou o Projeto de Lei Complementar (PLP) 235, de 2019, que institui esse sistema. O projeto está sendo analisado pela Câmara dos Deputados. Com o SNE, segundo Dourado, seria possível contar com mais articulação entre políticas e programas educacionais e ter a definição concreta de compromissos, assim como mensurar a contribuição específica de cada ente federado para o cumprimento de objetivos nacionais. Dourado também é presidente da Associação Nacional de Política e Administração da Educação (Anpae).

Para Talita Nascimento, diretora de relações governamentais do Todos Pela Educação, a responsabilização de gestores e entes federativos pelo não cumprimento de metas deve ser entendida como um meio de assegurar o acompanhamento contínuo da execução do plano, e não como punição. “Defendemos a criação de mecanismos para garantir transparência em todos os níveis governamentais”, diz. Isso abarca a exigência de que chefes do Executivo, incluindo prefeitos, governadores e o presidente da República, prestem contas das ações educacionais diretamente às casas legislativas. ●

# Bahia de todos os pecados

Documentos inéditos da segunda visita da Inquisição ao Brasil reúnem quase o quíntuplo das denúncias conhecidas até então

EDUARDO MAGOSSI



**E**m 19 de fevereiro de 1619, o jovem português Antônio Raposo Tavares (1598-1659) entrou no Colégio de Jesus, em Salvador, na Bahia, para fazer uma denúncia à Inquisição. O rapaz queria denunciar o cristão-novo (como eram chamados os judeus convertidos ao catolicismo) Manoel Soares, que teria fugido de Portugal para o Brasil após ajudar uma mulher também cristã-nova a escapar do Tribunal do Santo Ofício. Anos depois, Raposo Tavares se mudou para a região Sudeste e ficaria conhecido pelo aprisionamento de indígenas para trabalhar como escravizados nos engenhos de açúcar, tornando-se um dos bandeirantes mais atuantes na Colônia brasileira.

Esse adendo à biografia de Raposo Tavares só foi possível devido à descoberta de documentos inéditos sobre a segunda incursão do Tribunal do Santo Ofício ao Brasil pelos historiadores Angelo Adriano Faria de Assis e Ronaldo Vainfas, professores das universidades Federal de Viçosa (UFV) e do Estado do Rio de Janeiro (Uerj), respectivamente. O trabalho ganhou forma no livro *Segunda visitação da Inquisição à Bahia (1618-1620)*, organizado pela dupla e recém-lançado pela editora Cosac.



*O inferno*, tela do século XVI de autoria desconhecida

Em 2021, os pesquisadores foram ao Arquivo Nacional da Torre do Tombo, em Portugal. Na ocasião, eles preparavam uma reedição do livro *Denunciações da segunda visitação do Santo Ofício à Bahia – Século XVII*, do historiador Rodolpho Garcia (1873-1949). Lançada em 1927, a obra listava 52 denúncias recolhidas pelos inquisidores na segunda passagem do tribunal pelo Brasil. Durante a pesquisa, Assis e Vainfas encontraram um arquivo que reunia ao todo 239 denúncias, quase o quíntuplo do conhecido até então.

“Achamos o dossiê completo, com nomes de denunciados e denunciantes antes desconhecidos”, conta Vainfas. Os pesquisadores concluíram que as 52 denúncias publicadas em 1927 e elevadas para 84 no livro *Denunciações da Bahia: Denúncias feitas ao Santo Ofício em Salvador em 1618*, organizado pelo historiador independente Antônio Fontoura e lançado pelo próprio autor em 2020, foram tiradas de apenas dois cadernos dessa visitação. “Os inquisidores costumavam enviar os documentos para Lisboa aos poucos, em várias embarcações, pois temiam naufrágios e ataques de piratas. Daí a existência de vários dossiês incompletos”, prossegue.

Além do dossiê completo, o livro traz textos de Assis e Vainfas que contextualizam o período

e os mecanismos da Inquisição, bem como o impacto da atuação do Santo Ofício na sociedade colonial baiana. “Até então, a segunda visitação era considerada um evento menor, por causa do reduzido número de casos conhecidos”, diz Assis. “Os relatos revelam, por exemplo, intimidades conjugais, relações homoafetivas e prática de crenças sincréticas que misturavam catolicismo com mitologias indígenas e deuses africanos.”

#### MORTE NA FOGUEIRA

A Inquisição foi instituída no século XIII, pelo papa Gregório IX, para julgar e condenar aqueles que se desviavam de práticas e dogmas do catolicismo. Em Portugal, o tribunal chegou em 1536, tendo como alvos principais os cristãos-novos suspeitos de práticas judaicas. Por meio de interrogatórios, que incluíam tortura física, os inquisidores ouviam denúncias, confissões e testemunhos. Esses relatos poderiam gerar processos e condenações, inclusive à pena capital, que geralmente consistia em morte na fogueira.

No Império português foram criados tribunais fixos do Santo Ofício em Lisboa, Coimbra e Évora (Portugal), e em Goa, na Índia, então colônia lusitana. Já no Brasil, a Inquisição atuou por meio de visitações esporádicas e por uma rede de representantes, durante seus 285 anos de existência. Ao todo, foram processadas cerca de 45 mil pessoas que viviam nos domínios portugueses.

De acordo com o historiador Alécio Nunes Fernandes, da Universidade de Brasília (UnB), são conhecidas quatro visitações da Inquisição ao Brasil. A primeira delas aconteceu entre 1591 e 1595 e abrangeu as regiões da Bahia, Pernambuco, Itamaracá e Paraíba. Após a segunda passagem, entre 1618 e 1620, os inquisidores voltaram e aportaram nas capitâncias do sul, principalmente em São Paulo e Rio de Janeiro, onde ficaram em 1627 e 1628. Entretanto, pouco se sabe sobre essa visita, pois os documentos teriam se perdido em um naufrágio na época. Por fim, entre 1763 e 1769, eles se instalaram no antigo estado do Grão-Pará.

A Inquisição se beneficiou da capilaridade do catolicismo no Brasil, lembra o historiador Aldair Rodrigues, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). “A Igreja tinha um grau de penetração em todo o território muito maior que o da Coroa.

Quando o regime queria publicar o edital de um novo imposto, por exemplo, usava as paróquias e dioceses para distribuir essas ordens”, comenta. “A Inquisição parasitou essa estrutura eclesiástica já existente para ampliar seu alcance.”

Segundo Rodrigues, a Inquisição contou também com grande receptividade da população da Colônia brasileira. “Muitas pessoas se candidavam para ser agentes da Inquisição. Eram chamadas de ‘familiares’, conta. “Esses candidatos passavam por um processo de habilitação, que era caro, para provar sua ‘pureza de sangue’, ou seja, que eram cristãos-velhos [católicos de nascimento] e não tinham parentes condenados pela Inquisição. Se aprovados, passavam a trabalhar para o Santo Ofício.”

Ao se alinhar à Inquisição, os “familiares” buscavam prestígio. “Eles passavam a ter vários benefícios, como foro privilegiado, ou mesmo ganhar vestimentas e insignias”, diz Rodrigues. “Essa ideia de pureza de sangue e a intolerância fazem parte da formação da elite brasileira, com o poder cada vez mais associado aos cristãos-velhos brancos.”

Rodrigues organizou com o historiador Moacir Maia, da UFV, o livro *Sacerdotisas voduns e rainhas do Rosário: Mulheres africanas e Inquisição em Minas Gerais (século XVIII)*, lançado em 2023 pela Chão Editora. A obra reúne documentos encontrados pelos dois pesquisadores no Arquivo Nacional da Torre do Tombo e em arquivos históricos de cidades mineiras.

“Essas mulheres eram oriundas sobretudo do Benim, situado em uma região da África chamada pelos portugueses de Costa da Mina, e praticavam a religião vodum. No Brasil se destacaram como comerciantes”, conta Rodrigues. “Elas buscavam ascensão social e muitas vezes eram coroadas rainhas do Rosário, em referência à Virgem Maria. Embora possuíssem essa faceta católica, mantinham seus ritos africanos, o que as tornou alvo da Inquisição.”

Dois documentos reunidos no livro, de 1760 e 1772, tratam da liberta Ângela Maria Gomes, que era padeira na região da atual cidade de Itabirito e foi denunciada como “a maior feiticeira do ar-

raial” por transitar entre o vodum e o catolicismo. O tribunal, entretanto, não chegou a processá-la. De qualquer forma, essas pessoas sofreram perseguição, foram presas e tiveram seus locais de culto e artefatos destruídos. “Isso nos alerta sobre a importância de evitar a análise do impacto da violência religiosa inquisitorial apenas em termos de números de processados e de sentenciados”, escreveram os autores.

**O**utro livro que aborda a situação feminina é *As feiticeiras do Império português – Gênero, relações de poder e Inquisição (1541-1595)*, do historiador Marcus Vinícius Reis. A obra, que acaba de ser publicada pela Paco Editorial, é fruto de sua tese de doutorado defendida na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em 2018. Nela, o pesquisador analisa os processos contra mulheres acusadas de feitiçaria no século XVI. “Em geral, elas não queriam romper com a igreja católica ou com a figura de Deus, mas ser feiticeira era uma saída de sobrevivência social e material”, diz Reis, hoje docente na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa).

Segundo o historiador, essas mulheres chegavam a ser denunciadas pelas próprias pessoas que as procuravam para fazer feitiços. “Com medo de serem denunciados por outras pessoas, alguns clientes se antecipavam e denunciavam a feiticeira. Ao delatar seus próprios ‘pecados’, os clientes vislumbravam a possibilidade de receber penas leves ou até mesmo o perdão”, afirma. “Entretanto, muitas delas eram também delatadas por viverem sua sexualidade de forma livre: não se casavam e tinham vários parceiros sexuais.”

Para Assis, da UFV, a Inquisição provocou um esgarçamento dos laços comunitários na Colônia. Indício disso está na primeira denúncia registrada na segunda visitação à Bahia, em 11 de setembro de 1618. Na ocasião, o médico judeu Melchior de Bragança, convertido ao catolicismo, denuncia outros cristãos-novos. “Os cristãos-velhos conviviam bem com os judeus convertidos até a chegada da Inquisição, que incentivou esse tipo de denúncia”, completa Vainfas.

No total das denúncias da segunda visitação, os crimes mais citados são prática do judaísmo (87 vezes), sodomia (30), heresia (21), contato com diabo (18) e blasfêmia (7). Embora o dossiê completo da segunda visitação tenha quintuplicado as denúncias conhecidas, elas ainda são de número menor do que as registradas durante a primeira visitação, ocorrida cerca de 20 anos antes. Na época, foram anotadas cerca de 900 delações.

“Apesar dos cristãos-novos serem apontados como alvo principal da Inquisição, não foi isso o

**Muitas pessoas no Brasil se candidavam para ser agentes da Inquisição e eram chamadas de “familiares”**



*Grande procissão de auto de fé de condenados pela Inquisição de Lisboa, gravura do século XVIII*

que aconteceu aqui na primeira visitação”, comenta Fernandes, da UnB. Da totalidade das denúncias, na primeira visita foram abertos 240 processos, dos quais apenas 17 eram sobre práticas judaicas. “Embora o judaísmo lidere as denúncias, isso não se espelhou no número de processos. Se a intenção era perseguir cristãos-novos, na prática os cristãos-velhos foram muito mais processados”, afirma.

**N**o livro *A defesa dos réus – Processos judiciais e práticas de justiça da primeira visitação do Santo Ofício ao Brasil (1591-1595)*, publicado em 2022 pela editora Fino Traço, Fernandes mostra que o maior número de processos na primeira visitação foi de proposições heréticas (68), seguido por blasfêmia (29), sodomia (24) e práticas gentílicas, como festas pagãs e rituais indígenas e africanos (18). A obra é resultado de sua tese de doutorado defendida na UnB em 2020.

Segundo o historiador, cerca de 28% dos processados receberam penas leves (como orações e multas) ou não foram condenados. Muitos acusados acabavam sendo absolvidos por falta de provas, ou o que o tribunal chamava de defeito de prova. Um desses defeitos era a comprovação de inimizade entre réu e denunciante. “Confessar

os crimes também era um motivo para absolvição ou abrandamento da pena”, diz Fernandes. “Antes do início das denúncias, o inquisidor instituía um ‘tempo de graça’, período em que as pessoas poderiam confessar seus pecados espontaneamente.”

Na segunda visitação, ao contrário da primeira, os processos foram poucos: nove ante 240 na anterior. Assis e Vainfas têm uma hipótese a respeito. Segundo os historiadores, a segunda visitação não teria como único objetivo punir heresias ou práticas judaicas, mas também investigar e mapear as relações dos cristãos-novos no Brasil com aqueles que habitavam a Holanda, país que acolheu os judeus expulsos da Espanha e Portugal.

“A segunda visitação ocorreu no período da União Ibérica, quando as coroas portuguesa e hispânica se encontravam unidas sob a dinastia dos Felipes. E, como a Espanha estava em guerra contra a Holanda, suspeitava-se que os holandeses preparavam uma invasão ao Brasil”, relata Assis. “As invasões de fato aconteceram um pouco mais tarde, em 1624 na Bahia e em 1630 em Pernambuco. Ou seja, os temores da Inquisição sobre a cobiça holandesa em relação ao Nordeste do Brasil, rico em açúcar, estavam corretos.” ●



# Os jeitos de falar

Pesquisadores investigam como a variação da língua influencia a percepção social e molda identidades

ARTHUR MARCHETTO — ilustrações MARIANA ZANETTI

“A

primeira coisa do sotaque é que ele não existe entre os seus. Ele vem com o outro ou quando você é o outro. E você nota. A primeira vez que eu notei que existia um outro sotaque foi quando eu me mudei do interior da Bahia para Salvador: tem o baianês caipira, do sertão, e ele é diferente do baianês litorâneo”, relata o roteirista

Tetel Queiroz, um homem branco na faixa dos 40 anos. Baiano radicado em São Paulo, ele menciona também os “pré-julgamentos” inerentes ao seu jeito de falar que observa na capital paulista. “Para o baiano tem uma série de expectativas: de que ele gosta de ir à praia ou só quer saber do happy hour às cinco horas da tarde.”

O depoimento de Queiroz integra uma conversa entre 12 pessoas, de várias partes do Brasil, que discorrem sobre a percepção dos sotaques. Disposto em telões, o bate-papo pode ser visto na exposição *Fala falar falares*, em cartaz até 14 de setembro no Museu da Língua Portuguesa, no centro da capital paulista. Com curadoria da cenógrafa Daniela Thomas e do linguista Caetano W. Galindo, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), a mostra aborda tanto questões mecânicas do ato de falar, como a respiração, quanto questões sociais e políticas relacionadas à linguagem.



A variação linguística impacta a vida das pessoas, comenta a linguista Livia Oushiro, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Nos últimos anos, ela tem investigado, com apoio da FAPESP, a fala de migrantes nordestinos, sobretudo de Alagoas e da Paraíba, radicados nas regiões metropolitanas de Campinas (SP) e da capital paulista. A maioria é oriunda da zona rural, está na idade adulta (entre 20 e 60 anos) e cursou apenas o ensino básico. Em seus estudos, a pesquisadora vem tentando responder se essas pessoas adquirem traços linguísticos da nova localidade.

Oushiro analisou os termos utilizados por esses migrantes e a pronúncia de *R* em coda silábica, que no português paulista pode ser um *R* retroflexo, também caracterizado como “*R cai-pira*”. Esse traço ocorre no final da sílaba – seja no meio da palavra, como em “corda”, seja no final, como em “amor”. “É um som ausente na fala nordestina, que geralmente adota um som aspirado”, diz a pesquisadora.

Além disso, a linguista avaliou outros fatores, como o som de *T* e *D* antes de *I*, a concordância nominal e a preferência na estruturação de uma frase negativa. “Em português, podemos falar, por exemplo, ‘Não vi’, ‘Não vi, não’ ou ‘Vi não’. A incidência dos casos entre sudestinos e nordestinos é bastante diferenciada, sendo o primeiro exemplo

relativamente mais frequente na região Sudeste e os outros dois no Nordeste”, diz Oushiro.

A pesquisadora verificou que traços de pronúncia geralmente se modificam, como no caso do *R* e do *T* ou *D* antes de *I*, mas a pesquisa revelou também outras duas questões importantes. Uma delas é que as alterações são menos intensas no que diz respeito ao nível morfossintático, como a dupla negação. Além disso, a linguista notou que parte das mudanças graduais não tem uma correlação direta com o tempo de residência ou mesmo com a idade na época da migração.

“O migrante pode estar em Campinas há 30 ou 40 anos, mas não necessariamente vai adquirir mais traços linguísticos do lugar onde passou a morar ou passar por um processo de mudança gradual para absorver essas características”, constata a pesquisadora. “Verificamos essa correlação do tempo com a pronúncia do *R*, mas não em outras variáveis. Por isso, é importante olhar detalhadamente para o percurso de cada pessoa e conferir outros fatores que influenciam sua trajetória linguística, como as redes de sociabilidade, compostas pelas interações com vizinhos e colegas de trabalho, por exemplo.”

Um dos integrantes do Laboratório Variem – Variação, Identidade, Estilo e Mudança, coordenado por Oushiro, é o linguista Emerson San-

tos de Souza, da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Em sua pesquisa de doutorado, defendida na Unicamp em 2023, Souza buscou entender como baianos se comportam linguisticamente na Região Metropolitana de São Paulo e se passam a falar como paulistas em aspectos fonológicos, sintáticos e lexicais.

Souza, que também é baiano, analisou a fala de 50 conterrâneos. O levantamento foi feito por um processo chamado de amostragem de rede social. O pesquisador escolheu três “âncoras”: uma esteticista de 37 anos, uma empresária de 47 anos e um monitor escolar de 42 anos, que não se conheciam. Depois, mapeou seus contatos.

No decorrer da pesquisa, Souza percebeu que os modelos teóricos existentes que explicam a adaptação linguística em situações de migração não davam conta de explicar seus dados. Assim, criou o conceito de “plasticidade dialetal” para mostrar a capacidade que as pessoas têm de se adaptar linguisticamente à comunidade anfitriã.

**O** termo “plasticidade” foi emprestado da biologia e da física, áreas em que é usado para descrever a capacidade de materiais ou organismos se modificarem em resposta a fatores externos. Na linguística, o conceito ajuda a explicar por que grupos migrantes, mesmo expostos à mesma variedade de contato, podem desenvolver padrões diferentes de fala.

Na tese, Souza analisou seis fenômenos linguísticos, como a pronúncia do R em coda silábica, som ausente na fala baiana. O pesquisador observou também o uso de estruturas de dupla negação e a troca de termos, como “tangerina” por “mexerica” e “trabalho” por “serviço”.

A análise revelou que a adaptação linguística está associada a dois fenômenos. Aqueles regulares, quando uma estrutura linguística existe nas variedades paulistas e baianas, mas em proporções diferentes, a exemplo da dupla negação. E os irregulares. Ou seja, quando surge uma novidade na fala do migrante, como o R retroflexo para os baianos.

Além da aquisição, Souza identificou os processos de ampliações de contexto e de sentido, além de reduções de uso. “A palavra ‘mandioca’, por exemplo, passa por uma ampliação de sentido. Em São Paulo, o termo designa tanto a raiz usada para a farinha quanto aquela consumida cozida. Na Bahia, há uma diferença entre as duas, já que aipim é a raiz comestível e mandioca a que faz a farinha”, diz o pesquisador.

A linguista Leila Tesch, da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), tem pesquisado a percepção do sotaque capixaba no próprio estado e fora dele. “É comum ouvir pessoas, tanto

as locais quanto as que vivem em outros lugares do Brasil, dizerem que capixaba não tem sotaque, algo que circula inclusive em piadas nas redes sociais”, conta.

Para entender essa questão, Tesch realizou em 2021 um estudo de percepção com quase 1.500 pessoas residentes em diversos estados do Brasil, com exceção do Acre, Sergipe e Tocantins. A pesquisadora ouviu ainda 23 brasileiros moradores de países como Portugal e Peru.

O levantamento revelou que 56% dos entrevistados consideram que os capixabas têm sotaque, enquanto 30% deles discordam e outros 14% disseram não saber. Entre os próprios capixabas, a divisão ficou próxima: pouco mais da metade reconhece um sotaque, enquanto o restante acredita que ele não existe. “Mesmo entre os que reconhecem o sotaque, a identificação não vem, em geral, de características fonéticas, mas de expressões típicas da região, como o termo ‘pocar’ [estourar, arrebentar]”, explica.

Segundo Tesch, traços linguísticos considerados tipicamente capixabas são de fato difíceis de definir. “É possível identificar algumas marcas, como a realização de ditongos em palavras como ‘três’ e ‘dez’, que acabam soando como ‘treis’ e ‘deiz’, mas tais fenômenos também aparecem em outras variedades de sotaques, como o carioca.”

Na segunda parte do questionário, Tesch avaliou os sotaques das quatro capitais do Sudeste sob quatro critérios: prestígio, beleza, correção e agradabilidade. Os resultados mostraram, por exemplo, que os sotaques do Rio de Janeiro e de São Paulo foram mais associados ao prestígio, enquanto Belo Horizonte foi apontada como a capital sudestina com o sotaque mais bonito e agradável, seguida de Vitória. No quesito correção, Vitória se destacou como a cidade cujo português soa mais próximo da norma gramatical. “Não são escolhas apenas do aspecto linguístico e mostram uma construção ampla de identidade social”, comenta Tesch. “O que possivelmente faz o sotaque mineiro ser considerado mais agradável, por exemplo, é também a ideia de hospitalidade associada àquele estado.”

A forma como as pessoas percebem a linguagem, seus sotaques e marcas sociais é o ponto de partida do livro *Variação linguística: Diversidade e cotidiano* (Editora Contexto, 2025), da linguista Raquel Freitag, da Universidade Federal de Sergipe (UFS). “Na sociolinguística estudamos o que é concreto e mensurável. Geralmente, olhamos para aspectos como as variantes que indexam as falas de migrantes, de pessoas LGBT+ ou de determinados níveis de escolaridade, por exemplo”, relata Freitag. “Mas a percepção no dia a dia funciona de outro jeito. As pessoas não fazem essa análise técnica. Elas percebem um conjunto e,



a partir dele, fazem suposições sobre quem fala, mesmo sem saber exatamente qual traço linguístico está em jogo.”

**A** construção de julgamentos com base na fala não é um fenômeno novo. De acordo com Freitag, esse comportamento aparece até em textos bíblicos. É o caso da passagem do Antigo Testamento que discorre sobre uma estratégia usada por soldados do líder militar Jefté para descobrir integrantes de um exército rival infiltrados na tropa. Ao usar a pronúncia da palavra hebraica *shiboleth* (ou “espiga”), distinguiam aqueles que vinham de outra região, já que os estrangeiros não conseguiam reproduzir o fonema e diziam *sibolet*. Hoje, os linguistas chamam de xibolete toda marca que revele, automaticamente, nossa identidade.

“Julgar pela língua é parte do funcionamento da cognição humana. Fazemos isso o tempo todo, é uma forma de organizar e perceber o mundo e assim tomar decisões rápidas”, prossegue a pesquisadora. Por isso, Freitag defende que ampliar o repertório linguístico seja uma das estratégias mais eficazes para mitigar os efeitos negativos desse mecanismo. “Quando tenho contato apenas com um grupo, minha percepção sobre a língua é mais uniforme. Mas, quando amplio minhas redes, seja por migração, viagens ou mídias digitais, começo a entender que há muitos modos legítimos de falar”, observa.

O linguista Ronald Beline Mendes, da Universidade de São Paulo (USP), concorda. Desde a década de 2010, ele investiga como determinados traços da fala são percebidos socialmente e associados à identidade de homossexuais masculinos. “É a chamada ‘fala gay’, ideia que, por si só, é proble-

mática, pois isso pressupõe que, sendo gay, a pessoa vá necessariamente soar de uma certa forma, mas essa não é uma relação obrigatória”, observa. “É possível que um homem homossexual não soe ‘gay’, assim como um homem que não é homossexual pode, eventualmente, soar dessa forma.”

Em uma de suas pesquisas, realizada em 2017, cinco homens leram o mesmo texto e um grupo de pessoas foi convidado a ouvir e avaliar as gravações dessas leituras, indicando, entre outras coisas, quais vozes soavam como “gay”. Uma das respostas indicava que a pessoa “falava muito certinho”, outra citou que “homens gays usam muito diminutivo”. Ambos os comentários revelam estereótipos sociais, já que todos os participantes leram o mesmo texto, que não continha diminutivos.

Desde então, Mendes desenvolveu seus estudos de percepção com foco em duas variáveis linguísticas: a concordância nominal e a pronúncia do *E* nasal. No primeiro caso, após ouvirem quatro vozes masculinas em diversas versões, os participantes elencaram de forma homogênea que essas, quando apresentadas na variante padrão da língua, ou seja, com concordância plenamente realizada, soavam “mais gay”. Além disso, ouvintes do sexo masculino atribuíram essa característica mais vezes do que as mulheres, um indicativo de que o estereótipo sobre como deve soar uma voz masculina é mais rigoroso entre os próprios homens.

Para Mendes, esses resultados ilustram como aspectos linguísticos operam na construção de significados sociais. “Isso faz parte do funcionamento da língua. O problema é quando essa percepção se transforma em preconceito e passa a ser usada para prejudicar pessoas”, conclui. ●

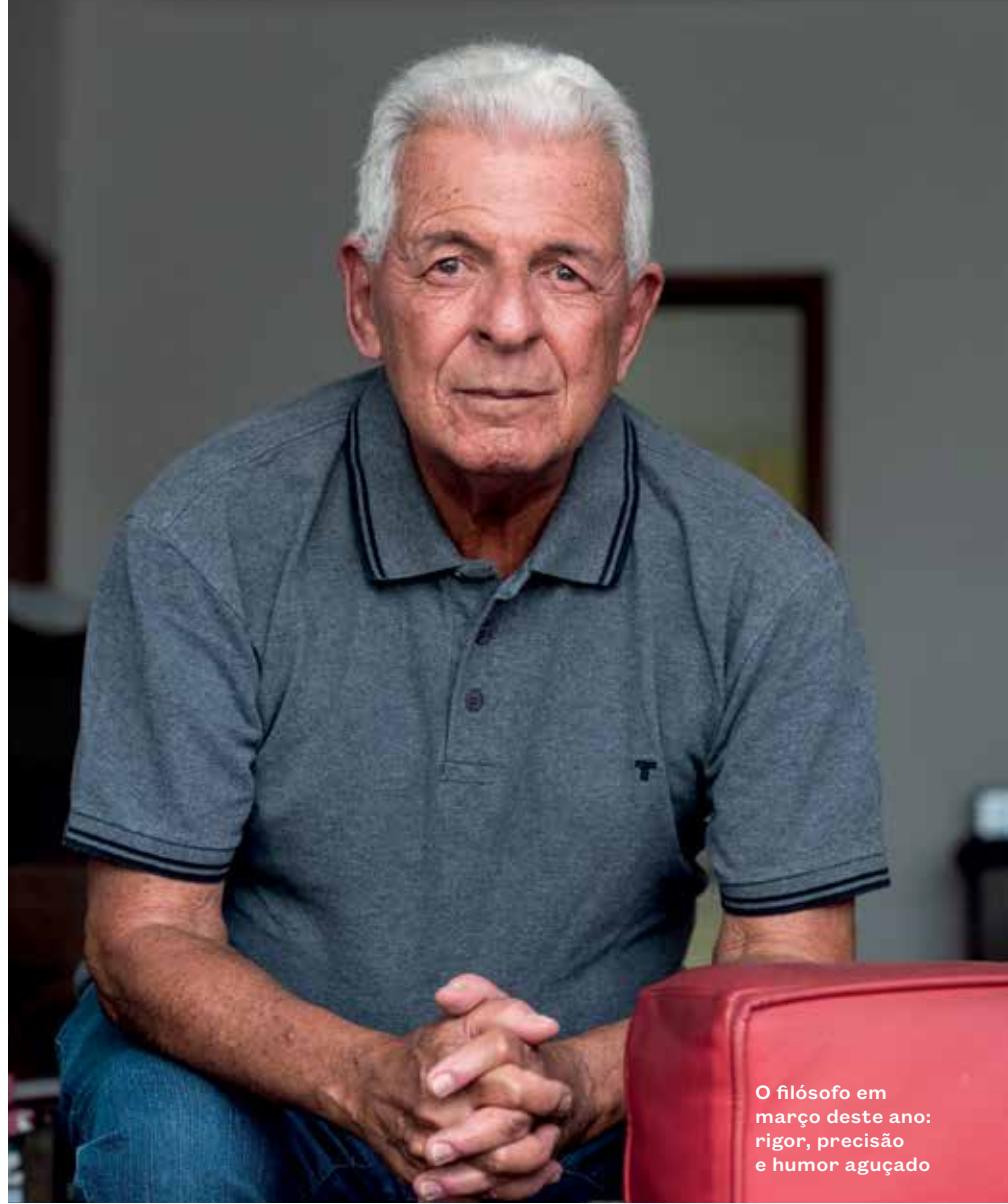
# Um filósofo das origens

Luiz Henrique Lopes dos Santos conciliou reflexões teóricas com a formulação de políticas científicas e de integridade acadêmica

CHRISTINA QUEIROZ

**L**om uma trajetória marcada pela dedicação à filosofia da lógica e à história da filosofia, Luiz Henrique Lopes dos Santos, professor da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH-USP), morreu no dia 27 de julho aos 76 anos, no Rio de Janeiro. Lopes dos Santos desempenhou papel central na formulação de políticas científicas no estado de São Paulo e elaborou estudos de referência sobre o lógico e matemático austríaco Ludwig Wittgenstein (1889-1951). Ele também dominava alemão, francês, inglês e grego, tendo traduzido diversos textos filosóficos desses idiomas para o português.

Paulistano, Lopes dos Santos começou a interessar-se por filosofia aos 15



O filósofo em março deste ano: rigor, precisão e humor aguçado

anos, quando fazia o ensino médio. Em 1968, passou a cursar direito na USP pela manhã e filosofia na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), à tarde. A decisão de focar na filosofia foi influenciada por intelectuais como Otília Arantes e Oswaldo Porchat (1933-2017). Então, em 1969, desistiu do direito e prestou vestibular para filosofia da USP, onde se formou em 1971.

Ainda jovem, enfrentou as incertezas da vida acadêmica em um cenário abalado pela ditadura militar (1964-1985). No começo da década de 1970, professores como José Arthur Giannotti (1930-2021) e Bento Prado Júnior (1937-2007) foram aposentados compulsoriamente, enquanto outros se exilaram. Com o Departamento de Filosofia da USP muito

desfalcado, ele foi convidado para assumir o cargo de docente, como assistente de Porchat, aos 22 anos.

Sua carreira acadêmica, que incluiu passagens pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), École Normale Supérieure em Paris e Universidade Paris 7, foi marcada pela dedicação à obra do lógico e filósofo alemão Gottlob Frege (1848-1925), tema de seu doutorado, concluído em 1981 na USP, sob orientação de Porchat. A tese foi publicada em 2008, sob o título *O olho e o microscópio* (Nau Editora). Na Unicamp, ajudou a criar o Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (CLE) em 1977, polo interdisciplinar que se tornou fundamental à formação de

uma comunidade acadêmica de filosofia no Brasil.

Na década de 1990, Lopes dos Santos traduziu do alemão para o português e publicou pela Edusp o *Tractatus logico-philosophicus*, de Wittgenstein, acompanhado de uma introdução crítica. Wittgenstein fez parte da “virada linguística da filosofia”, movimento que colocou a linguagem no centro da reflexão filosófica. “O estudo introdutório é uma das melhores apresentações da obra de Wittgenstein que já li, revelando uma compreensão exata e uma leitura perspicaz do autor”, comenta Raul Landim Filho, filósofo da UFRJ. Na instituição, Lopes dos Santos ofereceu cursos na pós-graduação durante os anos 2000.

**A**lém de sua produção intelectual, o filósofo deixou um legado à gestão do fomento à pesquisa no Brasil, atuando por mais de três décadas na FAPESP. Ele testemunhou a transformação de uma fundação com volume de trabalho modesto para uma instituição com ambição de “voos mais altos” (ver Pesquisa FAPESP nº 351). Coordenador da área de filosofia a partir de 1986, posteriormente passou a coordenador adjunto de Humanidades. Participou da formulação de programas de fomento à pesquisa como Projetos Temáticos, Ensino Público e Políticas Públicas.

Em manifestação coletiva, colegas de Lopes dos Santos na Coordenação Adjunta da Diretoria Científica da Fundação, entre eles a bióloga Marie-Anne Van Sluys, da USP, destacam a sua “longa e brilhante atuação transversal, que conciliava reflexões filosóficas com humor aguçado e o rigor da ética”. Nesse sentido, o grupo ressalta a concretização de duas iniciativas inovadoras na FAPESP. Em 1999, Lopes dos Santos liderou a formulação do Programa de Jornalismo Científico, e, em 2011, elaborou o *Código de boas práticas científicas*, que se tornou uma iniciativa fundamental para assegurar a integridade da pesquisa no estado de São Paulo. Lopes dos Santos acompanhou casos de má conduta acadêmica na FAPESP até 2023.

“Além de suas contribuições para o avanço do conhecimento no campo da filosofia, Luiz Henrique será lembrado pela sua dedicação à revista *Pesquisa*, da

qual foi editor por mais de duas décadas, e às questões relacionadas à ética na pesquisa”, declara o médico Marco Antonio Zago, presidente da FAPESP.

O físico José Fernando Perez, diretor científico da Fundação entre 1993 e 2005, conta que todos os programas lançados e as atualizações de normas adotadas pela Fundação nesse período tiveram seus enunciados cuidadosamente revisados pelo filósofo. “Luiz Henrique era um perfeccionista da língua e, com sua profunda formação em lógica, conseguia sempre de forma concisa e precisa aperfeiçoar nossa comunicação.”

O trabalho de Lopes dos Santos na revista, sua valorização da comunicação próxima da sociedade e a criação de um dos primeiros escritórios de integridade acadêmica no país foram destacados pelo neurocientista Luiz Eugênio Mello, diretor científico de 2020 a 2023. “Seus mais de 30 anos de contribuições à FAPESP e à ciência se desdobram em um amplo legado”, conta Mello.

“Tendo entendimento profundo sobre o funcionamento e as sutilezas da pesquisa científica, foi decisivo na FAPESP para a definição da orientação de novos programas e para o aperfeiçoamento de iniciativas existentes”, afirmou o físico Carlos Henrique de Brito Cruz, diretor científico entre 2005 e 2020.

O filósofo Pedro Paulo Pimenta, da USP, que foi aluno de Luiz Henrique na

USP nos anos 1990, lembra que ele “era um professor exigente, mas também muito claro, que traduzia a complexidade das questões filosóficas, sem barateá-las. Quem assistiu aos seus cursos, formadores no sentido forte da palavra, jamais se esqueceu dessa experiência”.

**M**esmo após a aposentadoria, Lopes dos Santos manteve-se ativo como professor colaborador na UFRJ e orientador na pós-graduação da USP. Nos últimos anos, voltou-se ao estudo do pensamento de Aristóteles, evidenciando sua persistente curiosidade intelectual e o compromisso com o desenvolvimento do pensamento filosófico.

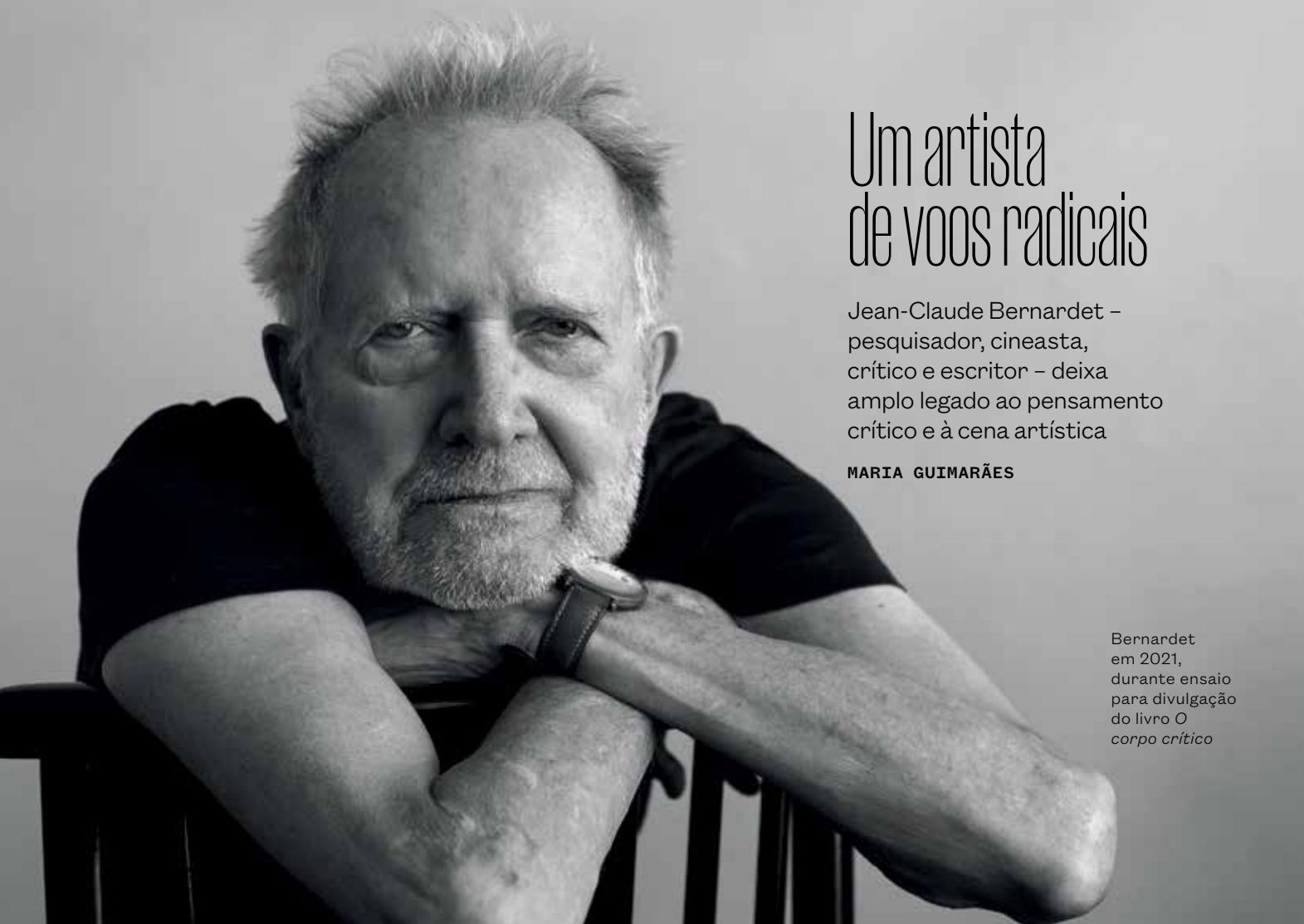
A filósofa Fátima Regina Rodrigues Évora, do Centro de Lógica e Epistemologia, da Unicamp, ressalta suas pesquisas recentes dedicadas a estudar “a validade universal do princípio de razão suficiente” e “as ações livres pelas quais os agentes possam ser moralmente responsabilizados”, por meio de análises das obras de autores como Godofredo Leibniz (1646-1716), Aristóteles e o estoicismo, escola filosófica centrada na ética e na busca da virtude como caminho à felicidade.

Por sua vez, o filósofo Marco Antônio Zingano, da USP, recorda que Lopes dos Santos era “impaciente com pensamentos mal formulados, tinha uma imperiosa necessidade de compreender as razões em pauta, exigia precisão nos termos e elegância na expressão”. “Seus interlocutores prediletos foram Platão, Aristóteles, Leibniz, Frege e Wittgenstein, com os quais estabeleceu uma conversa exigente e sem rodeios, buscando o que é último, mas sempre na volta ao que está na origem, que é fundamento de tudo o mais”, explica.

De acordo com Zingano, nos últimos anos, Lopes dos Santos preparava uma tradução comentada do grego para o português do livro VII da *Metafísica*, de Aristóteles, obra que reúne as respostas, mas também as dificuldades e os impasses da doutrina aristotélica da substância.

Lopes dos Santos morreu em decorrência de complicações de um câncer de fígado. Deixou a esposa, Cristina, dois filhos, Mariana e Eduardo, e quatro netos. ●

Em suas aulas, Lopes dos Santos buscava fazer com que os estudantes compreendessem a complexidade de problemas filosóficos



# Um artista de voos radicais

Jean-Claude Bernardet – pesquisador, cineasta, crítico e escritor – deixa amplo legado ao pensamento crítico e à cena artística

MARIA GUIMARÃES

Bernardet em 2021, durante ensaio para divulgação do livro *O corpo crítico*

**J**ean-Claude Bernardet acabara de concluir um novo projeto. O livro *Viver o medo – Uma novela pornô-gourmet*, escrito a quatro mãos com a escritora e roteirista Sabina Anzuategui, professora na Faculdade Cásper Líbero, que transita entre as memórias mais íntimas e a ficção, está prestes a ser publicado pela Companhia das Letras. O pesquisador, crítico de cinema, cineasta e ator, para listar mais algumas de suas facetas profissionais, já tinha outros projetos em vista e escreveu até ser interrompido pelo acidente vascular cerebral (AVC) que o matou na madrugada de 12 de julho, aos 88 anos, em São Paulo.

Deixar trabalhos inacabados era um temor desde 1993, quando era professor

da Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo (ECA-USP) e trabalhava no filme *São Paulo – Sinfonia e cacofonia*. Foi um dos primeiros projetos temáticos em humanidades financiados pela FAPESP. Na ocasião, testou positivamente para HIV, o vírus causador da Aids, um diagnóstico que equivalia a sentença de morte. Bernardet, então, abraçou o filme com a urgência de uma última obra. Ele e sua equipe conseguiram concluir-no no final de 1994, mas não foi o fim. A chegada do coquetel antirretroviral, no ano seguinte, possibilitou-lhe outras três décadas de trabalhos marcantes, superando percalços da saúde como um câncer de próstata reincidente, que decidiu não tratar, e sucessivas fraturas.

Ao perder progressivamente a visão em consequência de uma degeneração macular – que deu nome à biografia *Wet macula* (Companhia das Letras, 2023), também escrita com Anzuategui a partir de projeto iniciado com a editora e tradutora Heloisa Jahn (1947-2022) –, manteve o costume de ir ao cinema desde que não precisasse ler legendas. Já não enxergava os detalhes e tornou-se cada vez mais desafiador ler e escrever.

Reinventou-se então como ator, atividade antes ocasional. Arthur Autran, professor do Departamento de Artes e Comunicação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), relembrava uma situação de quando era estudante da ECA-USP. O então estudante Vitor Ângelo propôs que Bernardet atuasse

em seu curta-metragem *Disseram que voltei americanizada* (1995), e o professor topou o desafio. “Ele aparecia muito maquiado, em estilo *drag queen*, mas não se usava tanto esse termo na época”, conta.

“Aos poucos ia tirando a maquiagem e contava para a câmera como percebeu as primeiras manchas na pele características da Aids; foi uma cena duríssima, fortíssima”, diz Autran, que presenciou a filmagem. “Já sabíamos que ele tinha o vírus, mas significava que estava desenvolvendo a doença.”

Ele destaca o gosto que Bernardet tinha pelo desafio, de si e dos outros. “Em *Historiografia clássica do cinema brasileiro* (Annablume, 1995), o crítico reavaliou autores clássicos, como Paulo Emílio Salles Gomes [1916-1977], que considerava seu mestre”, resume. “Isso foi visto como desrespeito, mas discordo: ele não aceitava monumentos e recolocou criticamente esses autores sob outro ângulo de visão.”

A mesma falta de reverência caracteriza *Brasil em tempo de cinema* (Civilização Brasileira, 1967), no qual ele analisou o Cinema Novo, que marcou época desde o final da década de 1950, e concluiu que os filmes que pretendiam retratar o povo brasileiro e dirigir-se a ele na verdade refletiam uma visão de classe média. Isso causou uma forte reação dos cineastas ligados ao movimento e, décadas depois, o diretor Eduardo Coutinho (1933-2014) declarou publicamente que fez o filme *Caixa marcada para morrer* (1984) em resposta. A versão de *Brasil em tempo de cinema* publicada em 2007 pela Companhia das Letras inclui uma transcrição dessa fala. A história evidencia o papel que Bernardet via para o crítico: ser “um participante cultural pleno” na produção e criação cinematográfica. “Para isso, eu precisava trabalhar com filmes e assuntos brasileiros porque era a única possibilidade de haver diálogo”, disse ele em entrevista concedida a *Pesquisa FAPESP* em 2014.

Nas reedições de livros, Bernardet não alterava os textos originais, mas os ressignificava com material novo – próprio e de outros. A segunda edição de *Cinema brasileiro: Propostas para uma história* (Companhia das Letras, 2009), que Autran ajudou a produzir, é um exemplo. “Incluímos entrevistas com três mulheres produtoras de cinema, porque ele achava que era um cargo central, mas faltava essa percepção no Brasil.” A op-

ção por entrevistadas femininas também não foi ao acaso, segundo o professor da UFSCar: “Jean-Claude disse que as mulheres estavam se dedicando mais a isso naquele momento”.

le foi professor na ECA-USP entre 1967 e 1997, com um intervalo de 11 anos durante os quais foi “apresentado” pelo governo militar. Após a anistia obteve o doutorado e em 2012 tornou-se professor emérito da instituição. Segundo Autran, Bernardet “instigava os alunos de forma quase agressiva”. Anzuategui também teve essa experiência durante o terceiro e o quarto anos da graduação, quando cursava especialização em roteiro. Ela foi marcada pela visão original do professor, combinada ao “jeito francês de falar as coisas na cara, de uma maneira que o brasileiro estranha”. Enquanto alguns colegas se assustavam, ela admirou “a tolerância zero à hipocrisia”, a coragem de falar sem medo de ofender o interlocutor. Ela conta que Bernardet mostrava um trecho para os alunos comentarem, encontrarem o problema. Depois que todos falavam, ele apontava algo inesperado e certeiro.

Autran ressalta que Bernardet foi muito atuante até o fim, em parte fazendo parcerias com cineastas jovens, como Cristiano Burlan, Lincoln Péricles e Fábio Rogério. “Ele tinha uma abertura grande para as gerações mais novas, uma curiosidade sobre o que tínhamos a dizer”, concorda a jornalista Mariana Queen

Nwabasili, que faz doutorado em meios e processos audiovisuais na ECA-USP.

Nwabasili procurou Bernardet há poucos anos, a partir da crítica da historiadora Maria Beatriz Nascimento (1942-1995) sobre o filme *Xica da Silva* (1976), de Cacá Diegues (1930-2015), publicada no jornal *Opinião* à época do lançamento. Ao ler *Brasil em tempo de cinema*, a jovem entendeu que havia mais essa camada: os cineastas da época não só eram de classe média, mas também homens brancos. “Eu queria falar com o Bernardet sobre a possibilidade de adensamento racial da discussão sobre os autores do Cinema Novo e ele teve generoso interesse”, conta a pesquisadora. Logo se desenvolveu uma proximidade que permitia discutir uma diversidade de assuntos, que não se restringiam à esfera acadêmica.

A pesquisadora define Bernardet como um amálgama entre o artístico e o intelectual. “Querer atuar e dançar costuma ser apartado da intelectualidade, mas ele era isso tudo; sempre foi contemporâneo e futurístico, deslocado de seu tempo, até agora.”

Para Sabina Anzuategui, a ficção sempre esteve no cerne de Bernardet. O pensamento cartesiano serviu à crítica cinematográfica, mas ele não se identificava como uma pessoa do cinema. A roteirista vê uma qualidade literária nos textos críticos que os torna boas leituras, independentemente da época e do filme em questão. “Ele não queria se definir, era uma espécie de órfão da existência, arrancado de seu país, de sua mãe.” Bernardet tinha origem francesa, embora nascido em Charleroi, na Bélgica, em 1936. Veio para o Brasil aos 13 anos com o pai, a madrasta e o irmão. “Tinha uma extrema inteligência e sensibilidade, era uma alma artística procurando onde pousar um pouquinho.”

O radicalismo não ficava só no pensamento. Aos 70 anos se empolgou com um salto de paraquedas e repetiu a experiência várias vezes. Na primeira delas adquiriu duas cópias do registro fotográfico: uma para a Cinemateca Brasileira, que abriga seu arquivo documental, e outra para a filha, Ligia. Além dela, Bernardet deixa a neta Aline. Ambas moram nos Estados Unidos, mas isso não impedia que jogassem cartas periodicamente, encontros remotos que ele adorava. No domingo anterior à sua morte, ganhou da família toda. ●

Querer atuar e dançar costuma ser apartado da intelectualidade, mas ele era isso tudo: contemporâneo e futurístico

# Bem-estar para todos

Mateus Paranhos da Costa se dedicou a conciliar a qualidade de vida dos animais com a produtividade no campo

MÔNICA MANIR

**P**ioneiro no estudo e na aplicação da ciência do bem-estar animal no Brasil, o zootecnista Mateus José Rodrigues Paranhos da Costa morreu no dia 5 de julho, aos 68 anos, em Franca, interior de São Paulo. Desde 1986 era pesquisador do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV-Unesp), campus de Jaboticabal, e se destacou pelo estreitamento dos laços entre a pesquisa de ponta na sua área e a prática no campo, propondo um modelo de pecuária mais consciente e sustentável.

“Mateus levou o Brasil à vanguarda da ciência do comportamento animal”, diz o biólogo inglês Donald Broom a *Pesquisa FAPESP*. “Ele era um excelente comunicador e, em várias conferências internacionais importantes, apresentou artigos sobre como envolver efetivamente os produtores nas pesquisas de bem-estar animal.”

Em 1986, Broom, hoje com 82 anos, foi o primeiro professor da disciplina de bem-estar animal, assim nomeada em uma instituição acadêmica, a Universidade de Cambridge, no Reino Unido. Em 1992, Paranhos da Costa o convidou para dar uma palestra no 10º Encontro de Etologia, promovido pela Unesp em Jaboticabal. “Foi quando descobri que ele já estava investigando diversos aspectos do bem-estar, incluindo a minimização dos problemas para quem trabalhava com bovinos.”

Um dos artigos de Paranhos da Costa mais citados foi publicado em 2012 na revista *Meat Science*. O pesquisador destacava iniciativas técnicas, legislativas e políticas desenvolvidas na América Latina a fim de promover o bem-estar na pecuária, com ênfase na capacitação dos trabalhadores e na produção de diretrizes de boas práticas de manejo. “No Brasil, estima-se que mais de 10 milhões de quilos de carne sejam descartados anualmente por causa dos hematomas nas carcaças em virtude de quedas, pancadas e escorregões do animal, que poderiam ser evitados com um manejo mais cui-

doso”, disse ele a *Pesquisa FAPESP* na reportagem “Cuidado e empatia com os animais” (ver *Pesquisa FAPESP* nº 341).

Na conclusão do artigo da *Meat Science*, o zootecnista lembrava que o manejo tinha maior chance de sucesso quando o bem-estar dos trabalhadores também era considerado. “A melhoria do bem-estar animal melhora o bem-estar humano”, disse Paranhos da Costa ao fechar sua apresentação no workshop promovido pela Unesp para receber a pesquisadora norte-americana Temple Grandin em São Paulo, em 2018. No evento, Paranhos da Costa recebeu a Medalha Temple Grandin, distinção concedida a cientistas e profissionais que se destacam na promoção do bem-estar animal, especialmente no contexto da pecuária.

Professora emérita do Departamento de Ciência Animal na Universidade do Estado do Colorado, nos Estados Unidos, a psicóloga e zootecnista Grandin transformou as práticas para o tratamento racional de animais em fazendas e abatedouros. Ela assina diversos artigos na área – um deles, de fevereiro, trata de *insights* da comunicação não verbal em mamíferos não humanos. “O professor Mateus foi um líder que despertou o interesse dos alunos em pesquisas práticas aplicadas que melhorariam o bem-estar do gado e de muitos outros animais”, afirma ela a *Pesquisa Fapesp*.

Nascido em Franca, Paranhos da Costa se graduou em zootecnia na FCAV em

O zootecnista elaborou, com alunos, 12 manuais de boas práticas de manejo animal, hoje disponíveis para produtores



Paranhos da Costa: seu trabalho tinha inserção internacional

1981. Concluiu o doutorado em psicobiologia pela Universidade de São Paulo (USP), campus de Ribeirão Preto, em 1995, e fez estágio de pós-doutorado em bem-estar animal na Universidade de Cambridge em 1999. Na FCAV, fundou em 1992 o Grupo de Estudos e Pesquisas em Etologia e Ecologia Animal (Etco), do qual foi coordenador. O grupo se tornou referência em manejo racional de animais de produção, com mais de 120 artigos científicos publicados.

Como lembra a zootecnista Fernanda Macitelli, professora da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e pesquisadora associada ao Etco, Paranhos da Costa elaborou, com alunos da Unesp, 12 manuais de boas práticas de manejo, hoje disponibilizados aos pro-

dutores pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). Os manuais envolvem, entre outros pontos, a vacinação, o embarque, o conforto das vacas em lactação e a identificação. “Mateus se empenhava em conscientizar as pessoas para a redução das marcações a fogo”, conta Macitelli. Por influência do zootecnista, em 2024 São Paulo foi o primeiro estado a trocar a marcação a fogo na face de bovinos e bubalinos vacinados contra a brucelose por um brinco de identificação da vacina.

“Mateus também foi o pesquisador que mais se preocupou com o bem-estar no transporte de animais no Brasil”, lembra o veterinário Adroaldo José Zanella, coordenador do Centro de Estudos Comparativos em Saúde, Sustentabilidade e

Bem-Estar na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FM-VZ) da USP. “Suas contribuições mudaram políticas públicas que se tornaram decisivas para o estabelecimento do arcabouço legal vigente no Brasil”, afirma. Entre elas, destaca-se a Resolução nº 791, de 2020, do Conselho Nacional de Trânsito, que consolidou as normas sobre o transporte de animais de produção, interesse econômico, esporte, lazer e exposição.

Entre 2009 e 2010, Paranhos da Costa foi pesquisador visitante na sede da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em Roma. A veterinária italiana Daniela Battaglia, que coordena na FAO o Gateway to Farm Animal Welfare, plataforma on-line que fornece acesso para informações sobre bem-estar de animais de fazenda, e coproduz o FAOcast, podcast sobre bem-estar animal, destaca a *Pesquisa Fapesp* o quanto a expertise do zootecnista brasileiro contribuiu para enriquecer o trabalho da organização na promoção de vidas melhores para animais e pessoas: “Sua pesquisa pioneira, visão e defesa apaixonada pelo tema ajudaram a moldar a compreensão internacional do bem-estar animal como parte integrante da produção pecuária sustentável e da saúde única”. Saúde única (*one health*) é uma abordagem integrada que reconhece a interconexão entre a saúde humana, a animal e o ambiente.

Também é reconhecido seu papel na mentoria qualificada de profissionais nessa área de estudo. “Seus alunos vêm ocupando posições muito importantes no Brasil e em outros países na área de bem-estar animal”, diz Zanella. A zootecnista Daiana de Oliveira, professora titular de bem-estar em animais de produção na Universidade de Linnaeus, na Suécia, destaca o método distinto de Paranhos da Costa: “Como professor, ele dispensava slides e inspirava os alunos com histórias envolventes; como orientador, propunha desafios instigantes e debates científicos com grandes pesquisadores internacionais, abrindo nossas portas para o mundo”.

Paranhos da Costa tratava a recidiva de um câncer no intestino quando teve Covid. Deixa a esposa, Janete, os filhos Paula, Mariana e Gabriel e três netas. ●



# Vitória ameaçada

Lançada há 70 anos, vacina contra a poliomielite evitou milhares de mortes, mas atualmente sua baixa cobertura abre espaço para o retorno da doença

SUZEL TUNES

**L**m 1º de janeiro de 1953, quando a cidade do Rio de Janeiro vivia a maior epidemia de poliomielite registrada até então no país, o *Correio da Manhã* noticiava: “Não há epidemia de paralisia infantil no Rio”. Os casos se multiplicavam – eram já 450, com 27 mortes, desde junho do ano anterior –, mas o Departamento de Higiene da prefeitura garantia que estavam “rigorosamente dentro da incidência habitual”. Em 23 de janeiro, o jornal voltava a negar a epidemia e, de forma jocosa, argumentava ser a poliomielite uma “doença do frio”, “elemento epidemiológico” inexistente no verão carioca.

Negar a gravidade da epidemia era uma estratégia para evitar o pânico. Outra forma de tranquilizar a população era recorrer a ações preventivas inócuas, como a dedetização feita no interior paulista quando já se sabia que a infecção podia ser transmitida por via fecal-oral. “Até a mosca foi vista como causadora da doença. Achava-se que ela pousava nas casas dos pobres e dali a levava para a casa dos ricos, durante as grandes

epidemias de 1916 nos Estados Unidos”, relata a médica Dilene Nascimento, da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e organizadora do livro *A história da poliomielite* (Garamond, 2010).

Naquele momento, ainda não havia uma forma eficiente de prevenção contra a infecção neurológica aguda que poderia rapidamente evoluir para um quadro irreversível de paralisia, sobretudo das pernas, ou para a morte, quando afetava os músculos da deglutição ou da respiração. Correndo contra o tempo, algumas vítimas com o sistema respiratório paralisado podiam ser salvas quando confinadas no chamado pulmão de aço, cilindro de metal com uma bomba que forçava a entrada e saída de ar dos pulmões.

A doença atingia principalmente crianças com menos de 5 anos – o que justificava o termo paralisia infantil –, mas também adultos. Em 1921, paralisou as pernas de um presidente dos Estados Unidos, Franklin Delano Roosevelt (1882-1945), então com 39 anos de idade. Em 1943, matou o filho do presidente Getúlio Vargas, Getúlio Vargas Filho, de 23 anos.

Como havia um estado geral de medo e anseio por uma proteção efetiva contra a doença, o anúncio de que o virologista nova-iorquino Jonas Salk (1914-1995) havia desenvolvido um imunizante seguro e eficaz – injetável, feito com vírus inativado (morto) – fez dele uma celebridade mundial. A fama foi inevitável, mas ele dispensou a fortuna que poderia receber dos *royalties*. Quando perguntado quem seria o dono da patente, teria respondido: “O povo, eu diria. Não há patente. Você poderia patentear o Sol?”.

No mesmo dia em que os resultados positivos dos testes foram divulgados – 12 de abril de 1955 –, a vacina de Salk foi licenciada. Dois anos depois, os casos anuais nos Estados Unidos já haviam caído de 58 mil para 5.600, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).

Em 1961, surgia uma nova opção de imunizante, a vacina oral, produzida a partir de vírus vivo atenuado, desenvolvida pelo microbiologista polonês naturalizado norte-americano Albert Sabin (1906-1993). Ele também não quis patentar seu invento.

A poliomielite paralisava cerca de 1000 crianças por dia entre 125 países no mundo, de acordo com a Organização Pan-americana da Saúde (Opas). “A vacina oral contra a poliomielite teve um grande impacto na erradicação da doença. Reduziu os casos causados pelo vírus selvagem em mais de 99,9%”, comenta a epidemiologista Ligia Kerr, da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Ceará (FM-UFC). “As gotinhas são fáceis de administrar e a criança vacinada dissemina o vírus para outras crianças, o que a Salk não faz, por ser um vírus morto. Entretanto, o vírus vacinal atenuado pode sofrer mutações, especialmente quando a área apresenta baixa cobertura vacinal, causando casos de poliomielite.”

#### A MARCHA DO MEDO

A conquista de uma vacina “segura, efetiva e potente” – como se anunciou o imunizante de Salk – foi o resultado de décadas de pesquisas e descobertas, desde os primeiros registros da doença, no século XVIII. Existem evidências de

que a poliomielite atinge a humanidade desde 1350 a.C. (ver cronologia na versão on-line desta reportagem), mas apenas em 1789 o médico britânico Michael Underwood (1737-1820) faz a primeira descrição clínica da pólio, definindo-a como “debilidade das extremidades inferiores”.

Em sua forma epidêmica, a poliomielite instalou-se na virada do século XIX para o XX. A primeira grande epidemia ocorreu nos Estados Unidos, em 1916, com mais de 27 mil casos e 6 mil mortes. Um ano depois, o médico brasileiro Francisco de Salles Gomes Júnior (1888-1972), diretor do Serviço Sanitário de São Paulo, descreveu um surto em Americana, no interior paulista. Ele pressupôs que o vírus havia sido importado dos Estados Unidos, considerando os vínculos históricos da localidade, então chamada Vila Americana, com aquele país. Dessa epidemia surgiu a Lei nº 1.596, que tornava a poliomielite uma doença de notificação compulsória no estado.

No romance Nêmesis, o escritor norte-americano Philip Roth (1933-2018) descreve o pânico provocado pela pólio.

Sabin (à esq.) e Salk em 1958, entre outros que contribuíram para o desenvolvimento da vacina contra a pólio



Carro usado na campanha da vacina contra a pólio na cidade de São Paulo em 1969

Famílias se mudavam para o interior, fugindo da doença, e as crianças eram proibidas de usar piscinas públicas, ir aos cinemas, andar de ônibus ou mesmo pegar livros emprestados na biblioteca. À medida que o medo crescia, intensificaram-se os esforços científicos – e políticos – para a conquista de uma vacina. Até a população se mobilizou, aderindo à campanha de arrecadação criada por Roosevelt em 1938, a March of Dimes, doando moedinhos de 10 centavos (os *dimes*) para financiar pesquisas sobre a doença.

A possibilidade real de uma vacina se tornou mais concreta em 1949, quando os pesquisadores John Enders (1897-1985), Thomas Weller (1915-2008) e Frederick Robbins (1916-2003) conseguiram cultivar o poliovírus em culturas de diversos tipos de tecidos. O artigo foi publicado na revista *Science* em janeiro de 1949 e o feito lhes valeu o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina de 1954. Estava aberto o caminho para as vacinas de Salk e Sabin.

#### CAMPANHAS NACIONAIS

No Brasil, a vacina de Salk chegou no mesmo ano de seu licenciamento nos Estados Unidos, em 1955, primeiramente em São Paulo, provavelmente por ter uma sistema de saúde mais organizado que o do Rio de Janeiro, onde começou a ser aplicada no ano seguinte. No início, poucas crianças a receberam.



Cartazes de apoio às campanhas (de 1971, à esq.; sem data, à dir.)



Kerr foi uma das crianças que não tiveram a oportunidade de receber o imunizante nessa época, o que acabou afetando sua perna direita e parcialmente a esquerda: “Contraí pólio em 1957, com 1 ano de idade, quando a vacina ainda era rara no Brasil”. Foi só a partir de Sabin que o imunizante começou a se disseminar pelo mundo. Ainda assim, de forma limitada nos primeiros anos. “Apenas alguns pediatras a compravam e a aplicavam em seus consultórios”, afirma Nascimento.

Logo que os Estados Unidos licenciaram a vacina em gotas de Sabin, o Ministério da Saúde criou uma comissão para avaliar qual seria aplicada no país. “Chegaram à conclusão de que seria a oral”, relata Nascimento. Pesou na



decisão o baixo custo e a maior facilidade de aplicação.

A primeira experiência de vacinação em massa foi realizada em Santo André, na Grande São Paulo, em 16 de julho de 1961, com o objetivo de imunizar 25 mil crianças que moravam também nos municípios vizinhos. Em um artigo de fevereiro de 2011 na *Ciência & Saúde Coletiva*, Nascimento observa que as primeiras iniciativas “se caracterizaram mais pela descontinuidade, em face de problemas de suprimento e distribuição das vacinas, do que pelo aumento de cobertura vacinal”.

**A** penas a partir dos anos 1980 começaram as campanhas nacionais de vacinação contra a pólio organizadas pelo Ministério da Saúde. Os casos caíram rapidamente, de 1.290 em 1980 para 122 em 1981. Em 1989, ano dos últimos casos de pólio no Brasil, foram apenas 35 – o último deles registrado em Sousa, na Paraíba.

Para os primeiros anos do Dia Nacional de Vacinação, as vacinas eram importadas de laboratórios europeus. Depois, começou a produção na Bio-Manguinhos, unidade de fabricação de medicamentos da Fiocruz, por meio de um acordo de transferência de tecnologia firmado em 1980 entre os governos do Brasil e do Japão. A bióloga Rosane Cuber, diretora da Bio-Manguinhos, conta que, como a fabricação do concentrado viral não se mostrou viável do ponto de vista econômico e técnico, optou-se pela formulação

da vacina a partir do concentrado viral importado. Segundo ela, a Bio-Manguinhos produziu 691 milhões de doses da vacina trivalente (para os tipos virais 1, 2 e 3) de 1984 a 2014 e 212 milhões da dupla (tipos 1 e 2) de 2015 a 2024. Como resultado de uma parceria iniciada em 2011 com a empresa farmacêutica francesa Sanofi, fabricou também 145 milhões de doses de vacina com o vírus inativado. Nessa época, o esquema vacinal consistia na aplicação de três doses da vacina injetável (aos 2, 4 e 6 meses) e duas doses de reforço da gotinha.

**A** estratégia dos dias nacionais de vacinação adotada no Brasil serviu de modelo para outros países e a Organização Pan-americana de Saúde (Opas) a recomendou para a erradicação da doença nas Américas, que ocorreu em 1994. Hoje, porém, essa conquista está ameaçada. Segundo Kerr, da UFC, há um risco iminente do regresso da pólio ao Brasil: “As vacinas de pólio e de sarampo, por exemplo, requerem 95% de cobertura para o controle da doença, mas em 2024 estávamos em torno de 70%, com grande variabilidade regional”.

Ela adverte que o mundo tem registrado queda na vacinação infantil nos últimos 30 anos: “Por não verem mais casos, as pessoas pensam, erradamente, que a doença foi embora”. No Brasil, a seu ver, problemas de desabastecimento de vacinas nas unidades de saúde, falhas de comunicação do governo e as *fake news* poderiam ter dificultado o cumprimento do calendário vacinal,

Crianças recebem a Sabin na capital paulista como parte de uma mobilização nacional contra a pólio em 2024



3

sobretudo nos grupos com menor nível socioeconômico.

“Seria importante levar as equipes do posto de saúde para escolas e grandes empresas”, opina o farmacêutico-bioquímico Wasim Aluísio Prates-Syed, doutorando do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (ICB-USP) e membro da União Pró-vacina, iniciativa do Instituto de Estudos Avançados da USP para combater a desinformação sobre as vacinas.

Unindo-se aos esforços de erradicação global da doença, em novembro de 2024 o governo federal anunciou uma mudança no esquema vacinal antipólio, de acordo com uma recomendação da OMS: a substituição do imunizante oral do vírus vivo atenuado pelo injetável do vírus morto.

Antes eram administradas três doses da injetável aos 2, 4 e 6 meses e duas doses de reforço, com a oral, aos 15 meses e aos 4 anos de idade. Agora, será dada apenas uma dose de reforço, aos 15 meses, com a vacina injetável. O objetivo é reduzir a circulação do vírus vivo atenuado em lugares com baixa cobertura vacinal e o risco, ainda que baixo, de que ele sofra mutações genéticas e recuperar a virulência. Em 2024, vários países africanos registraram casos da doença provocados por poliovírus circulante derivado de vacina.

A substituição das gotas pela injeção não deverá aposentar o Zé Gotinha, mascote das campanhas nacionais de vacinação. O personagem criado em 1986 pelo artista plástico mineiro Darlan Rosa, então funcionário do Ministério da Saúde, nasceu com a missão de popularizar as campanhas contra a pólio, mas acabou se tornando símbolo de todas as vacinas.

“Nunca associei o Zé Gotinha apenas à vacina oral antipólio. Ele é mascote das vacinas, e no mundo inteiro não conheço outro”, orgulha-se Prates-Syed, que tem uma tatuagem do Zé Gotinha no braço. Nascimento, por sua vez, reconhece que o combate à pólio fortaleceu a vacinação de outras doenças infecciosas preveníveis. O calendário nacional contempla 19 vacinas a serem tomadas desde o nascimento. ●



Zé Gotinha participa de campanha de vacinação em Osasco (SP), sem data

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

# Caminhos pelo mundo



O geógrafo Jorge Morteau passou pelo Irã, onde aprendeu persa, e hoje investiga como países do Sul global podem articular redes de cooperação

**M**a infância eu passava horas des-trinчando mapas. Gostava de lo-calizar as fronteiras dos países, os rios, os desertos. Um pouco mais velho, me interessei pela aviação. Daí pesquisava sobre as capitais brasileiras e desenhava novas rotas de voos. Um dos meus passeios preferidos era ir com meu pai ao aeroporto de Congonhas, em São Paulo, cidade onde nasci e cresci, fotografar os poucos e decolagens. Mas nunca pensei que poderia estar em um daqueles aviões e que no futuro iria estudar e trabalhar em outro país.

Já adulto, morei no Irã entre 2009 e 2012. Além do persa, língua oficial do país, aprendi que, assim como o Brasil, esse país do Oriente Médio apresenta grandes contrastes. Trata-se da 18ª maior economia do mundo, alimentada pelas vastas reservas de petróleo e de gás natural, mas essa riqueza não se reflete na renda média da população. Apesar da dependência do

petróleo, o Irã tem buscado diversificar sua economia por meio de investimentos em setores como agricultura e turismo. Também tem intensificado as relações comerciais bilaterais.

Meu interesse pelo Oriente Médio surgiu no início da graduação em geografia, que cursei entre 2002 e 2008 na Universidade de São Paulo [USP]. Fui impactado especialmente pela disciplina sobre regionalização do espaço mundial, do professor André Martin. Nela estudamos os processos de divisão do mundo a partir das características naturais, culturais ou econômicas, visando facilitar análises e o planejamento de políticas públicas.

No segundo ano, fui aceito como pesquisador no Laboratório de Geografia Política [Geopo], em que ele é um dos coordenadores. No trabalho de conclusão de curso, analisei a estratégia do Irã e do Qatar para driblar o domínio do dólar no comércio mundial de petróleo.

Semanas após ter concluído a graduação, em 2008, soube que o Ministério de Relações Exteriores do Irã estava buscando um estudante recém-graduado interessado em fazer mestrado sobre assuntos contemporâneos iranianos. Fiz a inscrição e fui escolhido entre os 75 candidatos brasileiros.

Viajei para Teerã em 2009. Não tive grandes dificuldades de adaptação, mas alguns estranhamentos foram inevitáveis em se tratando de um regime autoritário. A internet é censurada de modo geral e a Sharia, ou lei islâmica, base do sistema jurídico iraniano, impõe uma série de restrições sociais, criando contrastes. Por exemplo, homens e mulheres frequentam escolas separadas, mas os cursos superiores são mistos. Além disso, as mulheres podem estudar e seguir qualquer profissão, mas não podem frequentar um estádio de futebol ou cantar em público.

A despeito disso, penso que tive a sorte de participar da última edição do Programa de Mestrado em Estudos Regionais do Oriente Médio, da School of International Relations, financiado pelo governo iraniano. Ministrado em inglês, o curso tinha uma estrutura parecida com o de formação dos diplomatas iranianos. Por isso, oferecia uma visão ampla do Irã por meio de disciplinas como história, geografia e relações internacionais.

Na pesquisa de mestrado, fiz uma análise comparativa das relações comerciais entre o Brasil e o Irã em dois momentos: a década de 1970 e os anos 2000. Busquei entender como o regime político e o cenário internacional impactaram o perfil do comércio entre os dois países. Enquanto o Irã enfrentava uma revolução teocrática que gerou um isolamento comercial, o Brasil vivia o “milagre econômico”, marcado entre outros fatores pela chegada de multinacionais ao país e pela aceleração da urbanização. Ao longo de 30 anos, houve uma inversão na balança comercial entre os dois países, com superávit para o Brasil por causa da exportação para o Irã de produtos agrícolas, principalmente soja e milho.

O estudo do persa em sua forma mais clássica era uma disciplina complementar na grade do programa. De origem indo-europeia, a língua confere ao país uma identidade única em relação aos países vizinhos, que compartilham uma herança cultural árabe. Segui estudando o persa, mesmo após concluir a disciplina, dessa vez em um instituto de linguística ligado à Universidade de Teerã. Com o tempo adquiri fluência no idioma, incluindo o persa mais coloquial.

Durante o mestrado, fui convidado em 2010 pela embaixada brasileira em Teerã a ajudar nos preparativos da visita ao Irã



do presidente Luiz Inácio Lula da Silva e um grupo de 200 empresários de vários setores. Um dos objetivos da comitiva era ampliar o comércio com aquele país.

Essa experiência acabou resultando em outro convite pouco depois, quando eu já tinha finalizado o mestrado. Dessa vez, era para assumir uma vaga permanente na embaixada como assistente de promoção comercial. O trabalho envolvia uma série de ações para fortalecer as relações bilaterais, como a realização de encontros entre empresários brasileiros e iranianos.

No período, pude colocar também em prática meus conhecimentos de comunicação. Sou formado em publicidade e propaganda pela Faap [Fundação Armando Álvares Penteado]. Fiz essa graduação entre 2001 e 2004 pela manhã, enquanto cursava geografia à noite. Um de meus sonhos de adolescente era ser redator publicitário. Após concluir a graduação, cheguei a trabalhar por um tempo na área, mas não me adaptei.

Em 2012, retornei ao Brasil para ficar perto da minha família. Precisava ajudar minha mãe a cuidar da minha avó materna, que, naquela altura, estava em estágio avançado de Alzheimer. Ela morreu no ano seguinte.

De volta ao país, trabalhei como docente no ensino superior privado e ministrei aulas de relações internacionais, inclusive na Faap, onde tinha estudado publicidade. Em 2021, fui aceito no Programa de Pós-graduação em Geografia Humana da USP. Uma bolsa da Capes [Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior] viabilizou

Acima, Morteau em 2010 na praça Naghsh-e Jahan, em Esfahan (Irã), e, ao lado, no campus Butantã da USP

minha dedicação integral à pesquisa de doutorado. Parte dela foi feita no Indian Ocean World Center [IOWC], no Canadá, onde hoje sou pesquisador associado.

Intitulada “Ilhas Maurício: A encruzilhada meridional brasileira no oceano Índico”, a pesquisa é baseada na teoria meridionalista, elaborada pelo professor Martin, da USP, que orientou o trabalho. Ela propõe a criação de um comitê do Sul, composto por potências regionais como Brasil, Índia, África do Sul e Austrália, para articular uma agenda comum e redes de colaboração econômica, política, tecnológica e militar.

Na pesquisa, a partir de uma análise das Ilhas Maurício, defendo que o aprofundamento das relações entre o Brasil e esse país poderia fortalecer a presença brasileira no oceano Índico. Isso ajudaria a consolidar uma agenda meridionalista para o século XXI.

Defendi minha tese em abril de 2025. Neste segundo semestre, serei um dos professores do curso de pós-graduação *lato sensu* Geopolítica do Mundo Contemporâneo, ministrado on-line pela PUC-MG [Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais]. Estou animado com esse novo desafio. ●

DEPOIMENTO CONCEDIDO A  
PATRICIA MARIUZZO



**SAIBA MAIS**  
Laboratório  
de Geografia  
Política  
da USP

# Leite e subdesenvolvimento

ALEXANDRE MACCHIONE SAES



**Leite para os trópicos!  
Consumo, produção  
e políticas públicas  
no Brasil, 1889-1964**  
Sören Brinkmann  
Editora Fiocruz  
270 páginas  
R\$ 66,00

le não aceita mais desculpas [...]. Vai nos deixar ainda sem leite [...].” Com essas duras frases, a esposa de Naziazeno Barbosa retransmite a sentença do leiteiro que, tendo seus pagamentos atrasados, ameaçava a entrega do alimento matinal da família. Com o evento, o escritor Dyonélio Machado constrói o enredo do livro *Os ratos* (1935), angustiante jornada de um funcionário público pelas ruas de Porto Alegre para saldar sua dívida e garantir o leite de seu filho. Como fica explícito pela jornada de Naziazeno, o consumo de leite era um termômetro dos impasses de uma modernização periférica, em que a urbanização trazia as marcas da desigualdade social e, por vezes, da carestia.

Seguindo pela mesma temática, a obra do historiador alemão Sören Brinkmann, *Leite para os trópicos!*, oferece cuidadoso estudo para uma questão que ainda merece ser mais explorada na historiografia brasileira. Iluminando o que chama de “a questão do leite”, Brinkmann percorre o desafio do abastecimento do produto, especialmente nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo, observando as dimensões econômicas e sanitárias da produção e do consumo da bebida. O recorte cronológico da obra abarca a Primeira República (1889-1930) e o período “desenvolvimentista” (1930 a 1964).

A primeira fase foi marcada pelo federalismo e, portanto, pelo papel das regulamentações sanitárias estaduais na definição dos critérios de um “leite higiênico” e também pelas legislações municipais, que definiam os espaços dos vaqueiros e dos produtores de leite *in natura* nas cidades. Após 1930, uma nova fase é marcada pela atuação do Estado intervencionista, quando emergem as medidas do governo central que buscam estabelecer uma efetiva política alimentar. Na década de 1950, essa política nacional é reforçada por políticas de instituições internacionais, como a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), que chegam na América Latina com projetos de distribuição de alimentos.

Ao elencar os “trópicos” como palco de sua investigação, Brinkmann defende a tese de que foram “múltiplas dificuldades de emular os modelos do hemisfério Norte sob condições de atraso agropecuário e subdesenvolvimento industrial,

tão característicos do Brasil e de toda a região da América Latina no século XX”. Enquanto os países industrializados teriam passado por um “aumento explosivo” do consumo de leite a partir dos anos 1920, a dieta de proteína e gorduras animais permaneceu baixa no país até a década de 1960.

Nesse sentido, Brinkmann relaciona as múltiplas razões para o baixo consumo *per capita* do leite no Brasil, como o baixo poder aquisitivo da população. O autor destaca a existência de conflitos sobre os métodos de produção de leite entre sanitaristas e vaqueiros, explicitando as tensões entre a defesa da qualidade do produto e seu preço para a população.

Evidentemente que a diferença de renda e os aspectos políticos e sociais locais podem explicar a deficiência nutricional do leite na população brasileira. Estudando uma sociedade que acabara de sair da escravidão, com marcadas desigualdades regionais e sociais, não é difícil explicar a ausência de produtos básicos na alimentação de parcela da população. A obra, entretanto, ao enfatizar a dimensão do atraso do abastecimento do leite nos “trópicos”, não pondera como o processo de disseminação de “leite higiênico” e de seu consumo enfrentou desafios inclusive nos países industrializados. Na Grã-Bretanha, por exemplo, somente 1,5% do leite consumido no país em 1926 era pasteurizado.

Como a própria obra descreve, foi no mesmo contexto que o Brasil assimilou o debate internacional com a 1ª Conferência Nacional de Leite e Laticínios, realizada em 1925 no Rio de Janeiro, pautando tanto a questão da saúde animal como os métodos científicos e os processos de tratamento do leite para garantir a nutrição da população. Experiências modernas de processamento da bebida eram conhecidas no país, como o leite condensado, produzido desde 1909 pela Companhia Ararense de Leiteria, empresa comprada pela Nestlé em 1920. Em suma, mais do que aspectos culturais e institucionais, a ampliação do consumo de leite no Brasil foi vítima das contradições impostas pelo próprio subdesenvolvimento latino-americano.

O economista **Alexandre Macchione Saes** é professor da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária da Universidade de São Paulo (FEA-USP) e diretor da Biblioteca Brasiliana Guita e José Mindlin (BBM-USP).

**PRESIDENTE**

Marco Antonio Zago

**VICE-PRESIDENTE**

Carmo Antonio de Souza

**CONSELHO SUPERIOR**

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

**CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO****DIRETOR-PRESIDENTE**  
Carlos Américo Pacheco**DIRETOR CIENTÍFICO**  
Marcio de Castro Silva Filho**DIRETOR ADMINISTRATIVO**  
Fernando Menezes de Almeida

ISSN 1519-8774

**COMITÉ CIENTÍFICO**

Luz Roberto Giorgetti de Britto (*Presidente*), Alexandre Xavier Falcão, Américo Martins Craveiro, Ana Cláudia Latronico, Ana Claudia Torrecillas, Ana Maria Fonseca de Almeida, Carlos Américo Pacheco, Celio Haddad, Daniel Scherer Moura, Dario Simões Zamboni, Deisy de Souza, Douglas Zampieri, Eduardo Magalhães Rego, Eduardo Zancul, Fabiana Cristina Komesu, Fernando Menezes de Almeida, Flávio Henrique da Silva, Flávio Vieira Meirelles, Gustavo Dalpian, Helena Lage Ferreira, João Pereira Leite, José Roberto de França Arruda, Liliam Sanchez Carrete, Luiz Nunes de Oliveira, Luiz Vitor de Souza Filho, Marcio de Castro Silva Filho, Marco Antonio Zago, Maria José Giannini, Mariana Cabral de Oliveira, Marta Arretche, Michelle Ratton Sanchez Badin, Nina Stocco Ranieri, Paulo Schor, Reinaldo Salomão, Richard Charles Garratt, Rodolfo Jardim Azevedo, Sérgio Costa Oliveira, Sydney José Lima Ribeiro, Sylvio Canuto, Vilson 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*), Ricardo Zorzetto (*Ciências Biomédicas*), Ana Paula Orlandi (*Humanidades*), Yuri Vasconcelos (*Tecnologia*)**REPÓRTERES** Christina Queiroz e Sarah Schmidt**ARTE** Claudia Warrak (*Editora*), Júlia Cherem Rodrigues e Maria Cecília Fell (Designers), Alexandre Affonso (*Editor de infografia*)**FOTÓGRAFO** Léo Ramos Chaves**BANCO DE IMAGENS** Váter Rodrigues**SITE** Yuri Vasconcelos (*Coordenador*), Jayne Oliveira (*Coordenadora de produção*), Kézia Stringhini (*Redatora on-line*)**MÍDIAS DIGITAIS** Maria Guimarães (*Coordenadora*), Renata Oliveira de Prado (*Editora de mídias sociais*), Vitória do Couto (Designer digital)**VÍDEOS** Christina Queiroz (*Coordenadora*)**RÁDIO** Fabrício Marques (*Coordenador*) e Sarah Caravieri (*Produção*)**REVISÃO** Alexandre Oliveira e Margô Negro**REVISÃO TÉCNICA** Ana Maria de Almeida, Celio Haddad, Daniela Cardoso Umbelino Cavallini, Deisy de Souza, Douglas Zampieri, Fabiana Komesu, Fernando Mantelatto, José Roberto Arruda, Gabriela Pellegrino Soares, Gustavo Romero, Reinaldo Salomão**COLABORADORES** Ana Carolina Fernandes, Alexandre Machionne Saes, Arthur Marchetto, Daniel Almeida, Domingos Zaparolli, Eduardo Magossi, Gilberto Stam, Guilherme Costa, Mariana Ceci, Mariana Zanetti, Monica Manir, Nadjania Saraiva, Patricia Mariuzzo, Sínésio Pires Ferreira, 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 INFÓGRAFICOS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO**  
**TIRAGEM** 28.160 exemplares  
**IMPRESSÃO** Plural Indústria Gráfica  
**DISTRIBUIÇÃO** RAC Mídia Editora**GESTÃO ADMINISTRATIVA** FUSP - FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**PESQUISA FAPESP** Rua Joaquim Antunes, nº 727, 10º andar, CEP 05415-012, Pinheiros, São Paulo-SP**FAPESP** Rua Pio XI, nº 1.500, CEP 05468-901, Alto da Lapa, São Paulo-SP

Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO****comentários** [cartas@fapesp.br](mailto:cartas@fapesp.br)**COGUMELOS COMESTÍVEIS**

Na Alemanha há profissionais que identificam os cogumelos (“O sabroso universo dos cogumelos comestíveis”, seção Galeria, disponível apenas no site). Agendamos um horário, levamos os cogumelos coletados e eles separam os comestíveis.

**Yoko Fujino****EVOLUÇÃO DOS ARTRÓPODES**

Parabéns pela reportagem “Sobreviventes de uma Era do Gelo” (disponível apenas no site), sobre fósseis de 443 milhões de anos encontrados no Brasil. É um trabalho muito importante para compreender a evolução dos artrópodes.

**Cássio Ribeiro Muylaert****REGINA MACEDO**

Acabei de ler a reportagem com a magnífica Regina Macedo (“Os voos de uma bióloga”, edição 352). Uma mulher extraordinária. Gostei muito do texto, sensível e inspirador.

**Vinicius M. Lopez****LÍDERES PRETOS**

Um lindo desdobramento da implementação da política de cotas no ensino superior (“Mais lideranças negras”, edição 353).

**Juliana Pereira****IA NA PESQUISA**

Cada vez fica mais evidente que o problema não é usar a inteligência artificial (“Copie, cole e passe vergonha”, edição 353). É não saber usar e não declarar, não ser transparente no uso.

**Liara Brites****VÍDEOS**

Trabalho incrível, o conhecimento salva (“Os segredos da floresta”).

**Luciana Dias Correia**

A pesquisa que o vídeo mostra é necessária (“Conheça a história do futebol de várzea feminino”). Esse é um espaço ainda a ser conquistado.

**Angelina Zanesco**

---

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](mailto:assinaturaspesquisa@fapesp.br)

**PARA ANUNCIAR**

Contate: Paula Iliadis  
[E-mail: publicidade@fapesp.br](mailto:publicidade@fapesp.br)

**EDIÇÕES ANTERIORES**

Preço atual de capa acrescido do custo de postagem.

Peça pelo e-mail:  
[assinaturaspesquisa@fapesp.br](mailto:assinaturaspesquisa@fapesp.br)

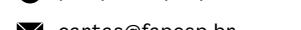
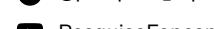
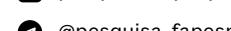
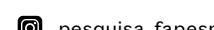
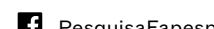
**LICENCIAMENTO DE CONTEÚDO**

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

**CONTATOS**

[revistapesquisa.fapesp.br](mailto:revistapesquisa.fapesp.br)

[redacao@fapesp.br](mailto:redacao@fapesp.br)



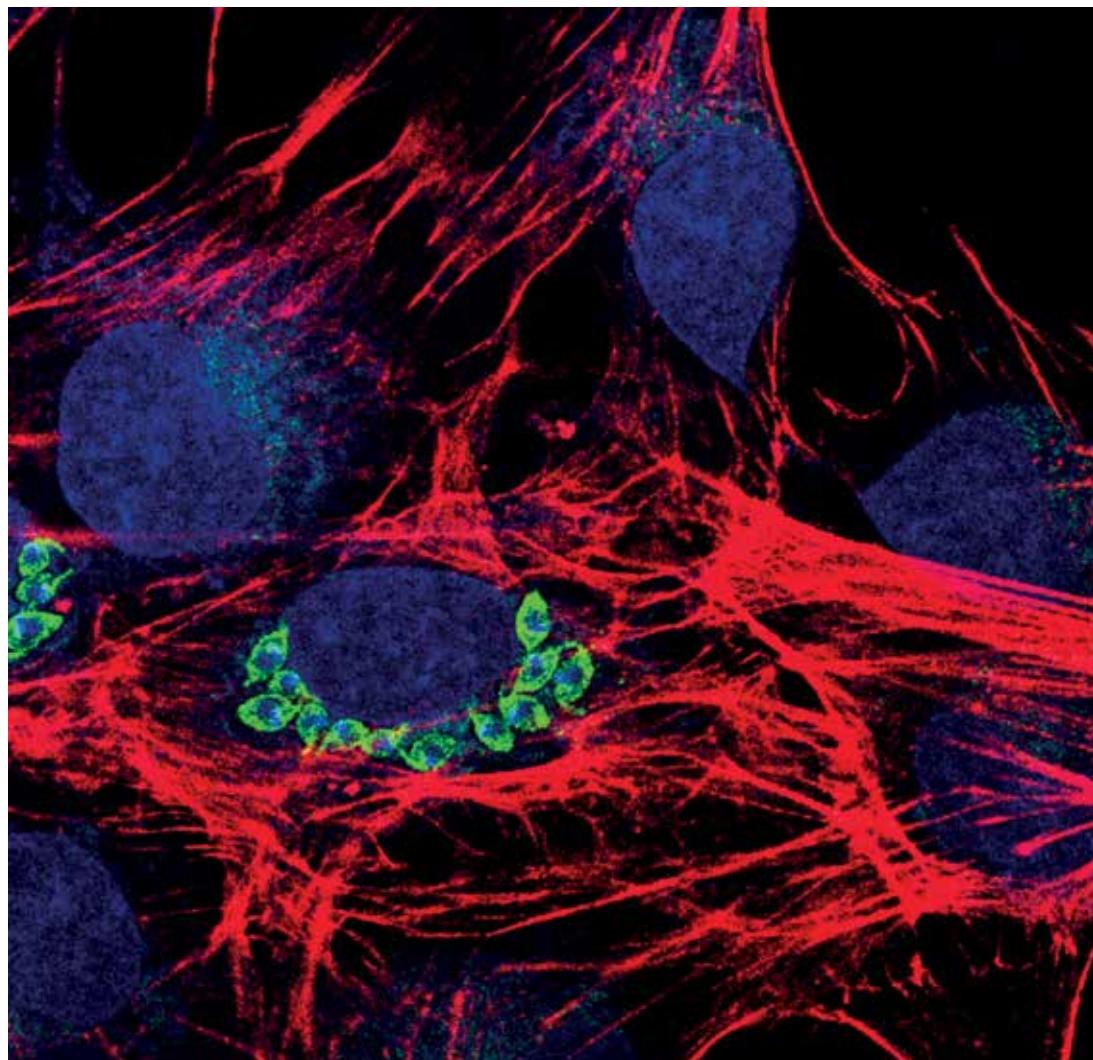
R. Joaquim Antunes, 727

10º andar

CEP 05415-012

São Paulo, SP

Sua pesquisa rende fotos bonitas?  
Mande para [imagempesquisa@fapesp.br](mailto:imagempesquisa@fapesp.br)  
Seu trabalho poderá ser publicado na revista.



## Ninho de parasitas

Quando entram nas células do coração humano (cardiomiócitos), os parasitas causadores da doença de Chagas, *Trypanosoma cruzi* (em verde), reúnem-se em torno do núcleo (em azul). São ninhos, conforme explica a bióloga Nadjania Saraiva. Seu projeto envolve a inserção, nesses organismos unicelulares, de alterações genéticas que os impeçam de secretar as vesículas que garantem acesso aos cardiomiócitos: sem o tratamento experimental, o ninho seria bem mais populoso, preparando os patógenos que depois se espalham por meio da corrente sanguínea. É um dos caminhos na busca de alvos moleculares para o desenvolvimento de vacina contra essa doença.

Imagem enviada por **Nadjania Saraiva**, pesquisadora em estágio de pós-doutorado na Universidade Federal de São Paulo (Unifesp)

# folheie pesquisa fapesp onde estiver

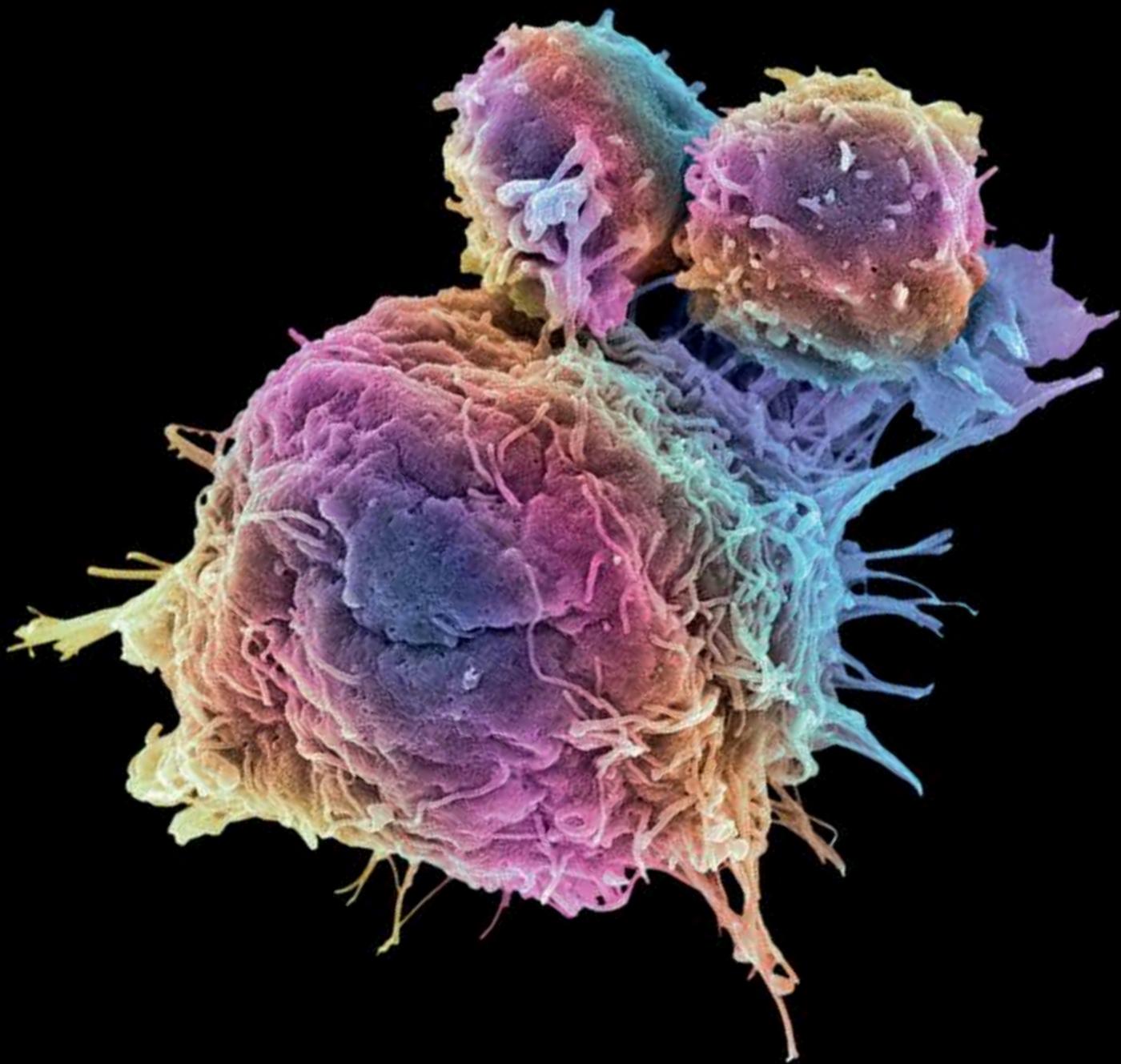


Faça o download  
das edições e leia a revista  
na plataforma ISSUU.  
Para receber os avisos,  
é só se cadastrar  
**[issuu.com/pesquisafapesp](http://issuu.com/pesquisafapesp)**

para assinar:



[www.revistapesquisa.fapesp.br](http://www.revistapesquisa.fapesp.br)



revista **pesquisa** fapesp

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

Microscopia eletrônica  
de dois linfócitos T  
(à dir.) atacando uma  
célula tumoral