

SCIENTIFIC AMERICAN Brasil

tt
Duetto

Moderna

Aula Aberta 1

O prazer de ensinar ciências

ANO I - Nº 1 - 2009 - R\$ 6,90

FÍSICA

Como o motor a hidrogênio pode garantir
UM FUTURO LIMPO



BIOLOGIA

Por que o vírus
da nova gripe gerou
uma pandemia

MATEMÁTICA

Não existe um modelo
perfeito de eleição.
Conceitos estatísticos
apontam o mais justo

QUÍMICA

A magia por trás das
bolhas do champanhe tem
nome: dióxido de carbono

Cavalos esféricos, entre outros bichos

Seus alunos são daqueles que comporiam baladas ou raps com títulos nada sutis, do tipo *Odeio Matemática, Não Suporto Física, Não Quero Nem Saber de Química* ou coisa do gênero?

Convenhamos, professor, essas disciplinas nem sempre sensibilizam os adolescentes. Especialmente quando as lições são introduzidas assim: “Considere um cavalo esférico” e prosseguem com um discurso que parece de outro mundo.

Os estudantes estão interessados em assuntos que façam sentido, expliquem coisas do cotidiano e ampliem seu horizonte de forma criativa e intrigante, até porque “cavalos esféricos”, por exemplo, não passam de uma expressão sem pé nem cabeça.

Em vez de usar essas abordagens repetitivas, considere outra possibilidade – como levar em conta a fonte de energia que faz com que os olhos se movimentem para acompanhar este texto. De onde vem tal energia?

A pergunta pode parecer apenas provocativa, num primeiro momento. Mas se você levar os estudantes a pensar apenas alguns segundos, eles se darão conta de que não é assim. Então considerarão que essa energia vem, entre outras coisas, do café da manhã que tomaram logo depois de acordar: leite, café, pão, geleia etc.

Mas qual é a origem desses alimentos?

SUMÁRIO

24 FÍSICA Um futuro limpo

Por Lawrence D. Burns, J. Byron McCormick e Christopher E. Borroni-Bird

Mostre aos estudantes de que modo o desenvolvimento e a produção em massa de veículos movidos a células de combustível de hidrogênio pode reduzir drasticamente a emissão de gases poluentes na atmosfera



O leite vem da vaca que se alimentou de capim, apenas para considerarmos um caso. E só foi possível o capim crescer por causa da fotossíntese (além da água e outros nutrientes naturais, evidentemente). E a fotossíntese? Bem, ela só é possível porque o Sol libera uma enorme quantidade de energia, a fonte que sustenta praticamente todas as formas de vida na Terra.

E de onde o Sol retira essa energia?

A usina de força do Sol é a fusão nuclear, basicamente a transformação de hidrogênio em hélio que se dá no enorme reator localizado no coração dessa estrela. Ali, quatro átomos de hidrogênio se combinam para sintetizar um único átomo de hélio, elemento mais “pesado”, como dizem os físicos. E como quatro átomos de hidrogênio têm mais massa que um único átomo de hélio, a Natureza libera esse excesso de massa sob a forma de energia (a turma se lembra da equação de Einstein, $E=mc^2$)?

Então, energia equivale à massa multiplicada pela velocidade da luz ao quadrado, uma ideia bastante interessante, entre outras razões, porque significa que massa e energia são a mesmíssima coisa, apenas disponíveis em estados diferentes.

Mas o que alimenta a fusão nuclear no coração quente do Sol?

Quem faz isso é a gravidade e sua poderosa contração.

E a gravidade?

Bem, ela é uma das quatro forças básicas da Natureza e se manifestou com o Big Bang, a explosão que deu origem ao Universo, de acordo com a teoria de mesmo nome.

Isso significa que o movimento dos olhos de cada aluno é uma energia que nasceu com o Universo.

Como você já os fez perceber, todas as descobertas podem ocorrer de maneira distinta daquela convencional, entediante. E é exatamente essa a proposta da publicação que está em suas mãos: literalmente, uma nova maneira de ensinar, pela exploração das coisas aparentemente banais.

Aula Aberta é o resultado de uma parceria inovadora entre as editoras Duetto e Moderna, e apresenta textos extraídos da revista SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL — criteriosamente selecionados por autores de livros didáticos e educadores de renome — para serem trabalhados na escola. Quatro desses artigos vêm acompanhados de hipertextos explicativos para facilitar a compreensão dos estudantes e de planos de aula para você aplicar em classe.

Então, esqueça a ideia de “cavalos esféricos”. Ou reconsidere essa noção e veja como você pode levar a turma bem mais longe. Mesmo montando um cavalo esférico.



Ulisses Capozzoli, editor



SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL – AULA ABERTA 2009 – Número 1

6

NOTAS

Curiosidades sobre combinação de alimentos, câncer em animais, origem do homem, gravidade, órbitas bizarras, extinção na Era do Gelo e o voo dos beija-flores

12

FÍSICA

Transformações da energia

14

ENTREVISTA

Miguel Nicolelis



20

ASTRONOMIA

Planisférios e anuários abrem as portas do céu

36

QUÍMICA

O segredo das bolhas do champanhe

44

BIOLOGIA

Influenza

52

MATEMÁTICA

O voto certo

62

ENSAIO

Manipuladores cerebrais

66

FRONTEIRAS

Mediação e ciência



CAPA: concepção Simone Oliveira;
© Zhang Bo/iStockphoto (carros); © Alex Nikada/iStockphoto (paisagem)



O AMARGOR do café pode ser camuflado com leite, creme ou açúcar

PALADAR

Combinação de alimentos pode ser desastrosa

ALGUNS SABORES, QUE SEPARADAMENTE SÃO DELICIOSOS, QUANDO DEGUSTADOS JUNTOS SE TORNAM INSUPORTÁVEIS

Entre os cinco sabores, o salgado, o doce e o umami (gosto de carne) são apetitosos, despertando nosso paladar para os nutrientes essenciais, enquanto o amargo e o azedo são aversivos, alertando sobre substâncias potencialmente perigosas à saúde.

Segundo Tim Jacob, professor de biociências da Cardiff University, no País de Gales, misturar sabores que provocam aversão e apetência significa enviar informação conflitante ao cérebro. Os sentidos tentam evitar o conflito enquanto enviam ao cérebro informação útil para preservar a vida. É esse sinal misturado que nos faz rejeitar alimentos deteriorados. Você não quer comer uma mistura de bom e ruim, quer?

Talvez essa divergência de paladar tenha dado origem à frase “adoçando a pílula”, pois pílulas

são remédios e, em grandes quantidades, podem se tornar venenosas. Por isso as pílulas são amargas, mas podem se tornar mais palatáveis se cobertas com uma camada adocicada. Da mesma forma, o sabor do café pode ser melhorado para pessoas sensíveis ao amargo camuflando-se seu sabor forte com leite, creme ou açúcar.

Quando nos tornamos adultos aprendemos a desprezar esses avisos do cérebro e passamos a gostar de café, alho e queijos fortes. Mas você pode confundir seu paladar misturando um sabor anteriormente aversivo com um apetitoso. Tenha cuidado com algumas misturas como pickles e chocolate. No entanto, às vezes é possível tirar proveito dessa confusão mental: o doce e o azedo, por exemplo, combinam-se muito bem na culinária chinesa.

PERIGO

Câncer ameaça vida selvagem

COM QUE FREQUÊNCIA ESSA DOENÇA ATINGE OS ANIMAIS SILVESTRES? NÃO SE SABE AO CERTO, MAS AS EVIDÊNCIAS VÊM AUMENTANDO

Uma equipe da Sociedade para a Conservação da Vida Selvagem sugeriu que além das preocupações mais comuns relacionadas aos animais silvestres, como a perda do habitat, também se deve considerar o risco de desenvolvimento de câncer. “Muita gente provavelmente não percebe a semelhança entre os animais e as pessoas e, portanto, não vê que eles também estão sujeitos aos mesmos processos,” explica Denise McAloose, patologista-chefe da Sociedade e principal autora do artigo publicado em 24 de junho na *Nature Reviews Cancer*. “Temos muito a aprender sobre

as doenças que acometem os animais silvestres, seu impacto sobre as populações e como tudo isso se conecta com a saúde das pessoas e de todo o planeta.”

Algumas espécies estão especialmente ameaçadas. O demônio-da-tasmânia, por exemplo, sofre de um tumor facial contagioso que vem se espalhando rapidamente e que coloca em risco de extinção o maior marsupial carnívoro do mundo. A espécie tem um “impacto muito significativo sobre as populações e o ecossistema em geral,” relata a patologista. “Se for extinta, não sabemos o que

VOCÊ SABIA?

O diamante humano é uma forma de homenagear e eternizar os mortos. Em sua fabricação, as cinzas humanas são submetidas a um processo químico para separar o carbono das outras substâncias. Posteriormente, o carbono é purificado e submetido a altíssima pressão e temperatura para acelerar sua transformação em diamante, etapa que a Natureza leva milhões de anos para realizar.



O DEMÔNIO-DA-TASMÂNIA sofre de um tumor facial contagioso que vem se espalhando rapidamente e pode levar o marsupial à extinção

acontecerá depois. Pode haver uma superpopulação de roedores." Os conservacionistas estão tentando salvar o animal por meio de reprodução em cativeiro.

Embora essa doença do demônio-da-tasmânia não esteja relacionada à atividade humana, outros cânceres que atingem a vida selvagem podem estar. "As toxinas no ambiente podem

causar câncer também nos animais selvagens, não somente em humanos," observa Denise, apontando para a alta prevalência da doença, detectada por sua equipe, em tartarugas marinhas e baleias beluga que nadam em águas poluídas. A patologista observa que, embora os vírus possam ser a causa final, o ambiente provavelmente está "promovendo ou contribuindo para a ocorrência desses tumores".

Uma melhora no monitoramento da vida selvagem pode ajudar os humanos. "Os animais agem como sentinelas," comenta. "Eles nos dão pistas de que alguma coisa pode estar afetando o ambiente. E, assim, poderíamos tomar medidas mitigadoras para melhorar a saúde tanto dos animais quanto das pessoas."

POR LYNNE PEEPLES

GENÉTICA

Origem africana do homem é determinada com precisão

PESQUISA AFIRMA QUE OS HUMANOS SURTIRAM NUMA LOCALIDADE PERTO DA FRONTEIRA ENTRE AS ATUAIS ÁFRICA DO SUL E NAMÍBIA

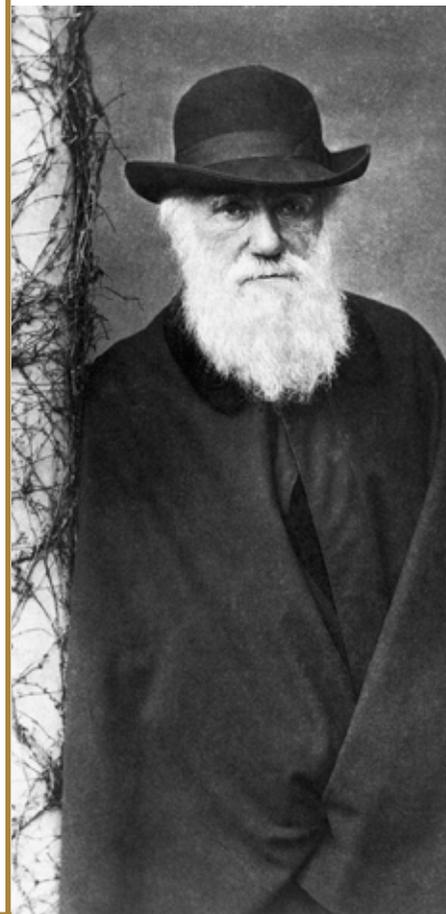
Pesquisadores de 11 países colaboraram no estudo de mais de 4 milhões de genótipos, cujo resultado foi publicado em 30 de abril na versão on-line da revista *Science*. Ao analisar sequências genéticas de 121 populações africanas, 60 populações não africanas e quatro populações afro-americanas, foi possível retroceder na ancestralidade africana a até 14 agrupamentos.

Charles Darwin foi o primeiro a propor a origem africana dos humanos, no seu livro *The*

Descent of Man, de 1871. Atualmente é completamente aceita a idéia de que os humanos modernos passaram metade de seus 200 mil anos de existência na África, tornando essa região de especial interesse para geneticistas, linguistas e antropólogos. O estudo confirma a hipótese dominante de que o continente ainda é o local de maior diversidade genética.

Atualmente a África tem mais de 2 mil grupos etnolinguísticos e os pesquisadores conseguiram

CHARLES DARWIN foi o primeiro a propor a origem africana dos humanos no livro *The Descent of Man*, de 1871



VOCÊ SABIA?

As formigas têm perfeita consciência de obrigações e afazeres, sendo um deles o transporte de companheiras mortas para fora da colônia antes que os corpos sem vida infectem o local com seus patógenos. Mas como as formigas responsáveis por essa tarefa conseguem identificar os cadáveres?

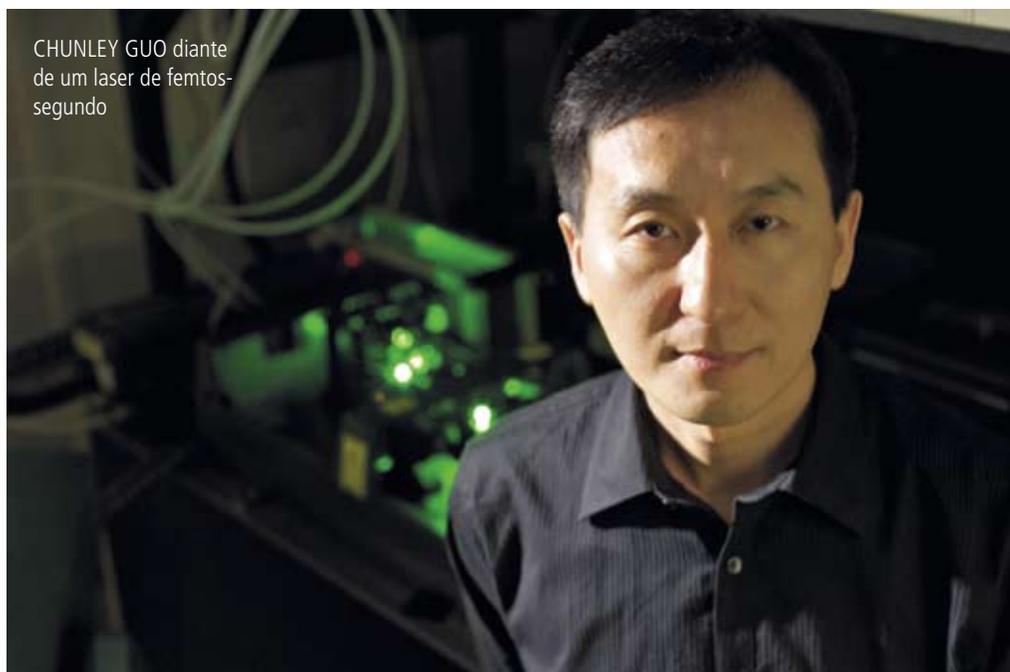
É que, enquanto estão vivas, as formigas produzem substâncias químicas que indicam seus sinais vitais e, ao morrerem, perdem rapidamente essas substâncias. Em outras palavras, as mortas são notadas pela ausência de sinais de vida – uma espécie de pulsação química não mais sentida.

detectar sua movimentação dentro e fora do continente, ao combinar padrões linguísticos e genéticos. Entre outras descobertas, está a ancestralidade comum entre pigmeus e grupos de língua khoisan (que usam estalidos para se comunicar), e uma ruptura média na herança genética de afro-americanos, nas populações estudadas (cerca de 71% de africanos do oeste subsaariano, 13% de europeus e 8% de outros grupos africanos). Com um mapa mais detalhado dos genes, os pesquisadores esperam compreen-

der melhor aspectos da saúde e de doenças em muitas dessas populações.

“Nós nos concentramos em pesquisas que beneficiem os africanos,” observa Sarah Tishkoff, principal autora do estudo e geneticista da Escola de Medicina da University of Pennsylvania. Ela acrescenta que trabalhos futuros incluirão “estudos de fatores ambientais e de fatores genéticos de risco, em relação a enfermidades e respostas a medicamentos.”

POR KATHERINE HARMON



CHUNLEY GUO diante de um laser de femtossegundo

ÓPTICA

Metal gravado a laser permite líquido fluir contra a gravidade

JÁ É POSSÍVEL FAZER O ÁLCOOL DE MADEIRA SE DESLOCAR EM SENTIDO ASCENDENTE E A VELOCIDADES SURPREENDENTES

Pesquisadores produziram um fluxo ascendente de líquido – o que contraria o efeito da gravidade – aproveitando o efeito de capilaridade de minúsculos canais entalhados com laser de alta intensidade, em uma placa metálica. Mesmo quando a placa está na vertical, o líquido sobe através dos canais com uma velocidade que surpreendeu os pesquisadores.

Esse transporte passivo de fluidos pode ser útil, por exemplo, no campo da microfluídica, para conduzir o fluxo de pequenas quantidades de líquido em aplicações de sondagem ou nos laboratórios em chip.

Em artigo publicado no começo de junho na *Applied Physics Letters*, Anatoliy Vorobyev e Chunlei Guo, do Instituto de Óptica da University

of Rochester, descrevem o uso de pulsos laser de femtossegundo para entalhar microcanais paralelos em placas de platina. Cada descarga laser é extremamente rápida – os intervalos são de cerca de 65 femtossegundos a cada segundo, o que equivale aproximadamente aos segundos contidos em meio milhão de anos.

Os pesquisadores descobriram que a ação capilar e a evaporação permitiram que o metanol líquido, também conhecido como álcool de madeira, fluísse através dos canais, em alta velocidade,

1 cm por segundo quando a placa estava na vertical, e mais rápido ainda em placas horizontais ou inclinadas.

Em uma montagem à parte, Vorobyev e Guo trataram com laser um pedaço de folha de platina na forma de “J”, e depois imergiram a parte mais longa do “J” em um recipiente contendo metanol. Dez minutos depois, uma grande gota de metanol tinha se formado na parte inferior do “J”, uns 10 mm acima da superfície do líquido.

POR JOHN MATSON

ASTRONOMIA

Planeta estranho orbita estrela ao contrário

SOMENTE UM EVENTO CÓSMICO MUITO VIOLENTO PODERIA FAZER UM PLANETA DE UM SISTEMA ESTELAR GIRAR NO SENTIDO INVERSO

Na procura por planetas extrassolares, a Busca de Planetas em Grandes Áreas (WASP, na sigla em inglês), do Reino Unido, encontrou um mundo bizarro, que orbita uma estrela no sentido oposto.

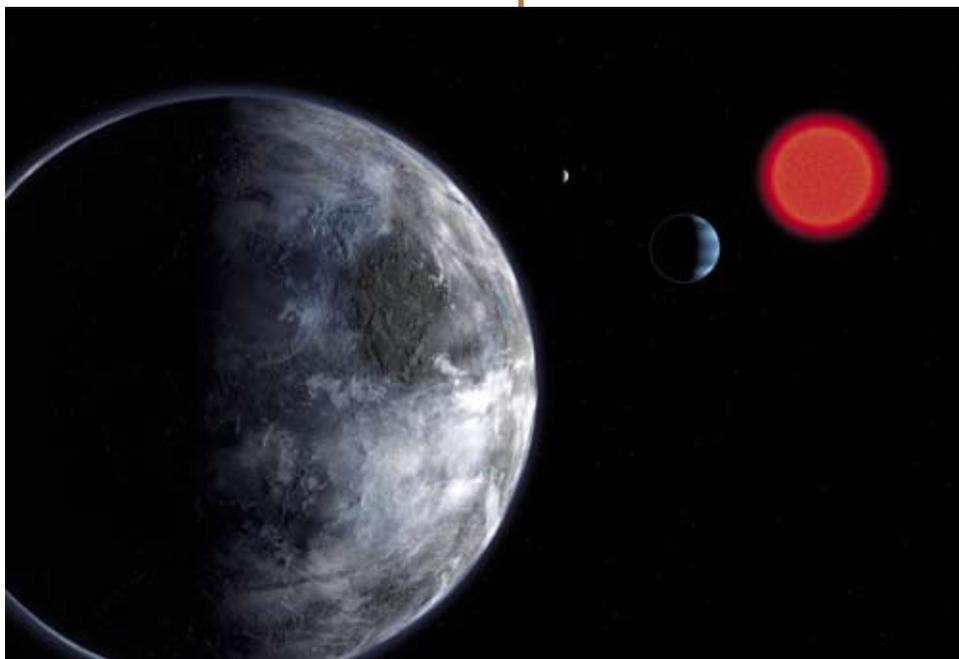
“Esse é um dos planetas mais estranhos que já encontramos”, observa Sara Seager, astrofísica do Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Quando estrelas começam a girar, geralmente atraem resíduos de matéria das proximidades, que adquirem a mesma direção orbital. “Com todo o sistema estelar rodopiando no mesmo sentido, é necessária alguma coisa muito forte para fazer um planeta seguir na direção oposta”, avalia Coel Hellier, astrofísico da Keele University, no Reino Unido.

De fato, o exoplaneta recém-descoberto – batizado de WASP-17b – provavelmente sofreu um grande impacto gravitacional de outro objeto bem maior para adquirir uma órbita retrógrada. “Se houver um evento de ‘quase colisão’, então a interação poderá produzir um violento empurrão gravitacional”, comenta Hellier.

Esse é o primeiro planeta conhecido a apresentar uma órbita tão inesperada, embora algumas luas de outros planetas do Sistema Solar percorram órbitas no sentido inverso, em torno dos planetas.

Hellier e seu grupo também calcularam o tamanho do planeta gasoso. A baixa densidade encontrada pode ser explicada ou por uma quase colisão,



devido à aproximação de outro objeto grande, ou pela longa órbita elíptica do planeta, que permite que se aproxime muito de sua estrela massiva.

“Para mim, esse fato é extremamente interessante”, avalia Seager, que não estava envolvido na descoberta. “É fascinante poder estudar órbitas de planetas tão distantes.” Esse gigante gasoso está a cerca de mil anos-luz de distância.

POR KATHERINE HARMON

CONCEPÇÃO ARTÍSTICA de uma super-Terra orbitando Gliese 581

VOCÊ SABIA?

Muitos cientistas acreditam que, em uma conversa, os gestos podem ajudar os interlocutores e que os movimentos das mãos nos ajudam a pensar. Pesquisadores se interessam cada vez mais pela relação corpo-pensamento, ou como nosso corpo dá forma a processos mentais abstratos. Os gestos estão no centro dessa questão. O debate se concentra no papel do movimento na aprendizagem.

PALEOECOLOGIA

Sedimentos geram discussão sobre extinção em massa na Era do Gelo

PESQUISADORES ACREDITAM QUE A CAÇA EXCESSIVA DO POVO CLÓVIS, E NÃO UM IMPACTO CATASTRÓFICO, PODE TER DIZIMADO MAMUTES E OUTROS ANIMAIS DE GRANDE PORTE

Depois de esquadrihar camadas de antigos sedimentos, a paleoecóloga Jacquelyn Gill, da University of Wisconsin-Madison, observa que seu grupo não encontrou sinais que apoiem a controversa teoria segundo a qual um cometa provocou a extinção em massa da Era do Gelo.

“Não há evidências físicas sugerindo que houve um impacto”, informou Gill no final de julho, durante a reunião da Sociedade Ecológica Americana. “E se houve um impacto... não estão ocorrendo os efeitos ecológicos anteriormente sugeridos.”

Em 2007, Richard Firestone e seus colegas no Laboratório Nacional Lawrence Berkeley sugeriram que um cometa explodiu na atmosfera há 12.900 anos, perto dos Grandes Lagos, e provocou enormes incêndios na América do Norte. Esses incêndios podem ter levado ao rápido desaparecimento da cultura Clóvis do continente, bem como da megafauna, incluindo mamutes, preguiças-gigantes e outros 33 gêneros de grandes mamíferos.

Mas os céticos apontam o fato de que nenhuma cratera associada ao impacto foi encontrada;

além disso, as evidências de incêndios florestais continentais e de um rápido declínio de populações humanas são grosseiras. Se esse evento tivesse realmente ocorrido, pequenos mamíferos e pássaros teriam sobrevivido.

Gill e seu grupo decidiram procurar pistas da queda de um cometa não em terra, mas em três lagos em Indiana e Ohio, onde pólen e minerais se assentam diariamente, criando um registro ecológico com milênios de idade. Ela examinou amostras do fundo dos lagos procurando evidências de cinzas, carvão vegetal, grãos magnéticos, pequenas esferas de silicato e elementos como titânio e cromo, que poderiam ser associados a impactos.

A equipe não encontra um sinal consistente que indicasse a ocorrência de uma só catástrofe há aproximadamente 12.900 anos. Em um dos lagos o teor de titânio decresceu ao mesmo tempo em que o de carvão mineral aumentou. Ela também questionou a ideia de que os animais morreram exatamente no momento do suposto choque.

Esporos de fungos chamados *Sporormiella*, associados às fezes de grandes mamíferos, começaram a diminuir há 14.600 anos, logo após o fim da última Era do Gelo. Os esporos desapareceram do registro de um dos lagos há 13.600 anos e ressurgiram apenas nos últimos séculos, com o incremento da criação de gado em pastos. Simultaneamente, o pólen das plantas que serviam de alimento para a megafauna (cinzas, pau-ferro e bétulas) começou a se acumular, sugerindo que o crescimento dessas plantas não estava mais sendo ameaçado pelos grandes mamíferos, comedores de folhas.

Segundo Gill, grandes mamíferos que viveram de 12.900 a 13.600 anos atrás provavelmente foram os últimos sobreviventes, enquanto o povo Clóvis dizimava espécies com suas lanças peculiares.

Mas Firestone não se deixou influenciar pelo novo estudo, que, em suas palavras, “não acrescenta nada ao assunto”.

POR BRENDAN BORRELL

NÃO HÁ SINAIS de que um cometa tenha provocado o sumiço dos mamutes



VELOCIMETRIA

Beija-flores superam desempenho de pilotos de aviões-caça

FAMOSAS POR PAIRAR NO AR, ESSAS MINÚSCULAS AVES MERGULHAM A VELOCIDADES INCRÍVEIS DE 385 COMPRIMENTOS DE CORPO POR SEGUNDO – E REALIZAM MANOBRAS RADICAIS DE VOO

Beija-flores se destacam por seu poder de sustentação no ar, o que lhes permite ficar quase imóveis diante de flores e se banquetear com seu néctar. No entanto, como essas criaturas conseguem se manter suspensas é uma questão que intriga os pesquisadores há anos.

Investigações anteriores do voo de colibris sugeriam que eles poderiam utilizar mecanismos iguais aos dos insetos, que muitas vezes também pairam e mergulham no ar. “Por ser uma ave, o beija-flor conta com a estrutura física e todas as capacidades e limitações próprias das aves. Ele não é um inseto, por isso não voa exatamente como um deles”, esclarece Douglas Warrick, da Oregon State University.

Para desvendar os segredos do voo dos beija-flores, Warrick e seus colegas aplicaram uma técnica chamada velocimetria por imagem digital de partículas (DPIV, na sigla em inglês), normalmente utilizada por engenheiros. A DPIV emprega partículas microscópicas de óleo, suficientemente leves para oscilar quando submetidas às mais sutis variações do ar. Enquanto um raio laser pulsante ilumina as gotículas por breves períodos, uma câmera grava o movimento. Com base nas imagens obtidas, os cientistas determinam com precisão como os beija-flores agitam o ar com suas asas.

Os resultados indicam que 25% de sua capacidade de sustentação resulta do movimento ascendente das asas; os outros 75% provêm das batidas descendentes. No caso dos insetos, esta proporção é mais equilibrada: cada movimento gera exatos 50% da força de flutuação. Em outros tipos de aves, a sustentação é mantida somente pelos movimentos descendentes das asas. “O beija-flor assumiu o corpo e a maioria das limitações de uma ave, adaptou-as ao seu estilo e aproveitou alguns truques aerodinâmicos dos insetos para conquistar sua capacidade de sustentação”, comenta Warrick.

Para atrair a atenção das fêmeas, os machos da espécie Anna (*Calypte anna*) mergulham a velocidades incríveis de 385 comprimentos de corpo por



segundo – e realizam várias manobras radicais de voo –, relata um novo estudo, publicado pela revista britânica *Proceedings of the Royal Society B*.

O autor do estudo, Christopher Clark, doutorando do Laboratório de Voo Animal da University of California, em Berkeley, registrou o mergulho galanteador das aves. Para isso, ele utilizou câmeras de vídeo de alta velocidade e constatou que o movimento das aves lembra a forma de um “J” inclinado.

Depois de imprimir uma velocidade de até 273 metros por segundo, a minúscula ave estende suas asas e subitamente arremete para cima – uma manobra que a submete a nove vezes o valor de aceleração da gravidade (g). Para que se tenha uma noção dessa força, vale destacar que pilotos de aviões de caça em geral desmaiam a velocidades em torno de 7 g.

A aceleração máxima do beija-flor supera qualquer outra manobra aérea (voluntária) registrada em vertebrados, observa Clark, e sua velocidade também bate o recorde dos vertebrados relativamente ao seu tamanho, incluindo o impressionante mergulho de alta altitude das andorinhas, que é de 350 comprimentos de corpo por segundo. Tudo isso em uma ave que mede de 9 a 10 cm de comprimento e se alimenta apenas de néctar.

POR KATHERINE HARMON

VOCÊ SABIA

Um micróbio roxo, denominado *Hermiimonas glaciei*, estava preso sob quase 3 quilômetros de gelo na Groenlândia. Foram necessários 11 meses para reanimá-lo por meio de um vagaroso processo de aquecimento em uma incubadora. O inseto finalmente tornou a viver e iniciou a produção de novas colônias com bactérias marrom-arroxeadas. Pesquisadores espaciais estão entusiasmados com o achado, pois ele sugere que criaturas alienígenas podem ser reanimadas em mundos congelados – especialmente em Marte. O mais novo inseto da Terra foi descoberto pela bióloga Jennifer Loveland-Curtze e por cientistas da Pennsylvania State University.

Transformações da ENERGIA

Por **Ulisses Capozzoli**

A primeira lei da termodinâmica diz que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada

Talvez nem todos se deem conta, mas o movimento de seus músculos oculares na leitura deste texto demanda uma determinada quantidade de energia. Da mesma forma que a energia de uma lâmpada elétrica, que possivelmente ilumina uma sala para a leitura, provém de uma hidrelétrica, uma termelétrica, ou mesmo de uma usina nuclear ou de fontes alternativas. Mas e a energia que abastece os músculos oculares, de onde vem?

A resposta usual certamente é que foi fornecida pelos alimentos que ingerimos: um filé de peixe, uma fatia de pão, uma salada ou uma fruta.

Mas o filé de peixe, a fatia de pão, a salada ou a fruta só foram possíveis a partir de uma fonte de energia, neste caso, o Sol. A fotossíntese, que permite o desenvolvimento dos vegetais, tira partido da fonte mais antiga e poderosa disponível, a energia solar. Tendo como fonte de energia o Sol, as plantas se desenvolvem e, muitas delas, produzem frutos que nutrem animais, como boa parte dos peixes, por exemplo.

Isso significa dizer que, ao longo de um processo complexo, e de certa maneira surpreendente, a energia que abastece os músculos que deslocam os olhos do leitor veio do coração do Sol, a 150 milhões de quilômetros de distância, a partir de uma reação de fusão nuclear expressa pela conhecida equação de Albert Einstein: $E=mc^2$.

Essa equação indica que energia equivale à massa pelo produto da velocidade da luz ao quadrado e tem duas implicações imediatas: a primeira delas é que massa e energia são a mesma coisa, ainda que possam parecer distintas. A segunda sugere que é enorme a quantidade de energia estocada sob a forma de massa.

No caso do Sol, $E=mc^2$ demonstra que o excesso de massa para a síntese do hélio, no coração solar, é eliminado sob a forma de energia. O Sol transforma, a cada segundo, aproximadamente 600 mil toneladas de hidrogênio, o elemento mais simples e abundante do Universo, em hélio, elemento mais “pesado”, na terminologia dos físicos. Em linguagem simples e direta, essa síntese ocorre quando quatro átomos de hidrogênio se combinam, sob enorme pressão gravitacional, para formar um único átomo de hélio. Mas, como quatro “tijolos” de hidrogênio têm mais massa que um único “tijolo” de hélio, a sobra de massa é eliminada sob a forma de energia.

Essa é a usina de força do Sol, processo que demandou uma enorme quantidade de trabalho ao longo de séculos, antes de ser devidamente compreendido, no final dos anos 30, pelos físicos alemães Hans Albrecht Bethe (1906-2005) e Carl Friedrich von Weizsäcker (1912-2007).

Mas o que leva átomos de hidrogênio à fusão para sintetizar hélio e liberar energia?

O processo por trás dessa reação é a enorme pressão gravitacional do Sol.

E a gravidade, de onde vem?

A gravidade é uma das quatro forças básicas da Natureza e emergiu com o Big Bang, a explosão que criou o Universo, segundo a teoria conhecida por esse nome. Ou que apenas recriou o Universo, de acordo com a teoria do Universo Oscilante. De acordo com essa concepção, o Big Bang não é a explosão primordial, mas apenas a mais recente das explosões que ocorreram num universo que se distenderia e contrairia ao longo do tempo e seria eterno.

Assim, na realidade, a energia do simples movimento dos músculos oculares do leitor para acompanhar estas palavras recua à criação ou recriação do Universo. E isso significa, como prevê a primeira lei da termodinâmica, ou lei da conservação da energia, que a energia não pode ser criada nem destruída, mas apenas transformada.

Outra conclusão possível é que a energia que abastece a lâmpada que ilumina um espaço para a leitura deste texto, ou alimenta os músculos oculares do leitor, tem a mesma fonte, o Big Bang, como todas as demais formas de energia. Mesmo a nuclear, porque átomos como o urânio, que permitem a fissão no interior das usinas em uso, resultam da síntese dos elementos no interior de estrelas de grande massa que, ao final de sua vida, explodem sob a forma de supernovas e liberam elementos pesados para a construção de outros sóis, planetas e formas de vida.

Em princípio, tudo depende de uma estrela. De estrelas extintas, que teceram os elementos que agora compõem o Sol, e do próprio Sol, que explode como uma gigantesca bomba de hidrogênio há 5 bilhões de anos. E continuará assim por outros 5 bilhões, antes de se exaurir e, um dia no futuro, restringir-se a um núcleo escuro e gelado vagando pelo corpo da Galáxia.

Mas o que é energia? Qual o significado dessa palavra curta que, de uma forma específica, sempre esteve na base da civilização, ainda que, no passado remoto, isso se tenha restringido a um pequeno grupo de humanos sentados em volta do fogo, protegendo-se do frio, do ataque de animais selvagens e da pesada escuridão da noite?

Energia, numa interpretação da física, é aquilo que permite a realização de trabalho. É, em termos gerais, uma definição desapontadoramente frustrante para quem espera por qualificações claras, simples e diretas para as coisas do mundo.

Mas, ainda assim, não se pode negar que há uma beleza quase tangível na ideia de que a energia não pode ser criada nem destruída, mas apenas transformada.

Assim, por mais que administradores de sistemas como hidrelétricas se refiram a “geração de energia”, na realidade o que ocorre nessas unidades é a transformação da energia mecânica (cinética + potencial) das águas em energia elétrica. A mesma coisa acontece com as ondas do mar e os ventos, ambos resultado da radiação do Sol. Ou mesmo com a energia das marés, consequência de interações gravitacionais entre a Terra, o Sol e principalmente a Lua.

Há um fascinante jogo de espelhos no fenômeno natural que identificamos por energia e a investigação disso por uma área da ciência, a termodinâmica, ou o estudo do calor e de outras formas de energia.

A termodinâmica tomou forma basicamente no século 19, tanto como interesse científico quanto como necessidade tecnológica.

Foi a base da Revolução Industrial, sob a forma de máquinas a vapor, alimentadas pelo carvão, na determinação de substituir músculos humanos e de animais pelo poder mecânico das máquinas.

A termodinâmica, ao permitir a transformação da energia e produzir trabalho, foi fundamental para libertar a humanidade do horror da escravidão, que, por séculos, fez de milhões de seres humanos criaturas degradadas aos olhos de um senhor. 

Ulisses Capozzoli é editor-chefe de
SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL

MIGUEL NICOLELIS

Por **Rogério Furtado**

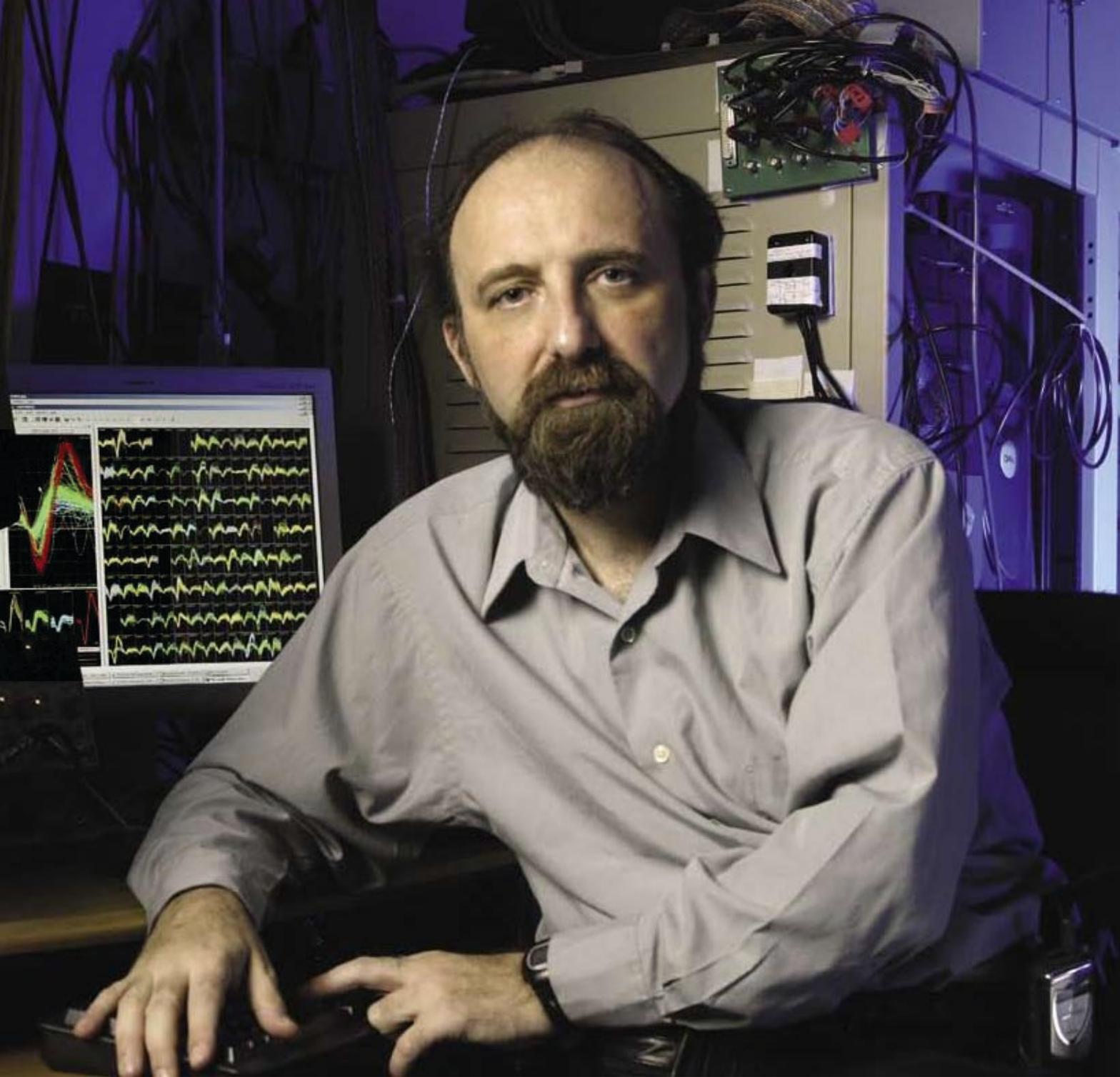
O neurocientista brasileiro, respeitado internacionalmente, fala sobre o Campus do Cérebro, seu ousado centro de pesquisa, educação e assistência social instalado na periferia de Natal. E aproveita para criticar certas culturas, tão arcaicas quanto improdutivas, enraizadas em nossos meios acadêmicos



há pouco mais de dez anos, nos Estados Unidos, o médico paulistano Miguel Ângelo Laporta Nicolelis desenvolveu a interface cérebro-máquina e ganhou projeção mundial como neurocientista.

Por meio dessa técnica, desde 1998, na Duke University, na Carolina do Norte, Nicolelis e sua equipe têm realizado experimentos bem-sucedidos em que animais de laboratório – geralmente macacos –, usando apenas o cérebro, comandam braços robóticos na execução de determinadas tarefas.





IMAGENS: ACERVO DO AUTOR

Tal descrição, claro, está longe de refletir a enorme complexidade do processo: na verdade, Nicoletis, que é codiretor do Centro de Neuroengenharia da universidade americana, inaugurou uma nova era na história da neurociência, repleta de promessas que parecem beirar o inconcebível. No entanto, além de proporcionar contínua expansão dos conhecimentos acerca da estrutura e das atividades cerebrais, é possível que a interface cérebro-máquina venha a ter aplicações práticas no curto prazo. Nicoletis aguarda com otimismo as próximas conquistas nessa área.

É também com esperança e atitudes positivas que se volta para o Brasil. Como afirma querer retribuir o que foi investido em sua formação, apoiado por um grupo de colaboradores qualificados, Nicoletis está empenhado em colocar o país em posição de vanguarda no campo da neurociência, com um projeto em implantação na região de Natal, no Rio Grande do Norte. Trata-se do Campus do Cérebro, um misto de instituição de pesquisa com escolas de iniciação científica e obras de assistência social. Quando estiver concluído, o Campus do Cérebro terá a maior parte de

ESPERANÇA: Nicoletis quer retribuir o que foi investido em sua formação e, com a implantação do Campus do Cérebro, está empenhado em colocar o Brasil em posição de vanguarda no campo da neurociência

“ Uma coisa que me sensibiliza muito é atender alguém em situação de quase desespero. Socorrer essas pessoas é também um desafio grande em termos profissionais. Esse tipo de medicina sempre me atraiu ”

suas instalações em terreno de 100 hectares, em Macaíba, a 25 quilômetros do centro da capital potiguar. Algumas unidades, como o Instituto Internacional de Neurociências de Natal Edmond e Lily Safra e a Escola Alfredo J. Monteverde, dedicada à iniciação científica de jovens carentes, já estão em funcionamento.

A escolha de Macaíba não foi aleatória. O lugar ostenta péssimos indicadores sociais e abriga a pior escola pública do país, segundo avaliação do Ministério da Educação. Nicolelis acredita que a ciência pode mudar essa realidade e pretende reproduzir a experiência em outros pontos do país. Para chegar ao atual estágio, ele arregimentou aliados na sociedade civil, no país e no exterior, e conquistou o apoio do governo federal. Mas enfrentou os tormentos impostos pela burocracia na importação de equipamentos e em outras demandas. Também despertou ciúmes nos meios acadêmicos, em que já foi chamado de louco. Mas vem se mostrando imune às quizilas.

Na entrevista a seguir, entre outros temas, Nicolelis fala de seus projetos, destaca a importância da leitura na própria formação e critica a acomodação nos meios acadêmicos tradicionais.

AULA ABERTA Por que o senhor escolheu a medicina?

NICOLELIS Foi algo que decidi antes de chegar ao colegial (o atual ensino médio), quando ainda estudava em uma escola pública de São Paulo. Entre as pessoas que eu admirava havia médicos, inclusive um tio de quem gostava muito. Mas a decisão foi tomada por mim mesmo. Ninguém de minha família me influenciou nesse sentido. Eu queria fazer coisas

relevantes e tinha certo fascínio pela possibilidade que a medicina nos oferece de salvar muita gente. Sempre digo para meus alunos que 90% do que faz a medicina é lidar com a dor alheia. Não é? E pode ser qualquer tipo de dor, física ou emocional, às vezes provocada pela sensação de impotência que todos temos diante do destino.

AULA ABERTA Então foi uma decisão precoce, em que a solidariedade teve peso?

NICOLELIS Acho que sim. Tanto que, desde cedo, tentei me especializar em atendimento de urgência. Uma coisa que me sensibiliza muito é atender alguém em situação de quase desespero. Socorrer essas pessoas é também um desafio grande em termos profissionais. Esse tipo de medicina sempre me atraiu. E me aproximou de minha esposa, Laura, contemporânea na faculdade.

AULA ABERTA Como se deu a mudança de rumos para a neurociência?

NICOLELIS Foi consequência de um processo lógico. A neurociência é atraente, uma das fronteiras do conhecimento. Mas houve uma passagem de minha vida que mais tarde iria me influenciar. No romance *Hospital*, de Arthur Hailey, que li quando tinha uns 13 anos, o personagem principal é um patologista que erra ao diagnosticar o tumor surgido no joelho de uma paciente. Ele declara que o tumor é maligno e a moça tem a perna amputada. Curiosamente, o que levaria muita gente a pensar ‘não gostaria de assumir uma responsabilidade assim’ foi o que me atraiu. O médico do livro, com anos e anos de experiência, equivocou-se naquele caso, mas acertou em milhares de outros. Não era incompetente. Ele teve coragem para decidir. Eu também queria tomar decisões. Além disso, no começo da narrativa, esse sujeito vê uma placa na entrada do hospital onde se lê ‘proibido fumar’. Ele põe um charuto enorme na boca, acende e entra. Gostei disso. É alguém que desafia as regras, o que é bom em medicina. Também é possível que outros acontecimentos tenham me influenciado. Meu avô materno morreu de câncer no cérebro quando estava com cerca de 40 anos. E meu avô paterno sofreu uma queda fatal em decorrência da doença de Parkinson. Creio que houve uma relação, ainda que inconsciente, entre essas perdas e a carreira que escolhi.

AULA ABERTA O médico Riad Younes, seu colega de faculdade, escreveu que o senhor era aluno exemplar, até obsessivo em relação aos estudos. O senhor seguia algum método específico?



NICOLELIS Não havia nada de especial na forma como eu estudava. Em meu ambiente familiar jamais alguém me cobrou bom desempenho acadêmico e ninguém nunca soube o que eu fazia na escola. Mas tive sorte. Minha mãe é escritora e minha avó era uma intelectual, mulher de formação ampla. Elas me influenciaram muito, desde cedo. Nunca fui poupado de qualquer discussão sobre o Brasil ou o mundo. Vovó tinha uma grande biblioteca e seu marido também era um estudioso. Ou seja, em casa as atividades pensantes eram rotineiras. Nunca fui forçado a nada. Estudar era consequência natural do meu dia a dia.

AULA ABERTA Hoje vemos até analfabetos funcionais, que nunca leram um livro, ingressando em faculdades. Essas pessoas, iludidas, pensam que basta comparecer às aulas, pagar as mensalidades e pegar o diploma para ter uma profissão bem remunerada. Como acabar com problemas assim?

NICOLELIS Bem, a maioria de nossos engenheiros faz carreira em bancos. Para resolver os problemas da educação temos de fazer um trabalho voltado a uma geração que ainda não nasceu. Para que os futuros brasileiros encontrem algo completamente diferente do que vemos agora. Aprender tem de ser algo tão divertido quanto andar de bicicleta. Eu aprendi a aprender na rede da casa de minha avó. Lendo. E minha escola era espetacular. Depois fui para o Bandeirantes, colégio particular de São Paulo. Foi ali que entrei de vez no mundo das ciências naturais.

AULA ABERTA O que se passa no Campus do Cérebro tem alguma relação com sua experiência de estudante?

NICOLELIS De certa maneira, reproduzimos em Natal o processo lúdico de aprendizado que experimentei em casa. As escolas de iniciação científica que fundamos são totalmente empíricas. Os alunos não têm aulas teóricas, aprendem com a prática, literalmente. Eles chegaram à sala de aula sem saber o que é o metro, o milímetro ou uma régua. Eram crianças de 11 a 13 anos que nunca haviam medido nada. Então, para aprender a noção de escala, cada um desenhou a casa onde mora e construiu um modelo dessa casa na oficina de marcenaria. Assim eles entenderam as relações entre as medidas e começaram a ver que a ciência está no cotidiano. O aprendizado deixou de ser obrigação para se incorporar à rotina deles. Hoje, mil alunos trocam instituições públicas por nossas escolas, onde ficam de três a quatro horas por dia e se dedicam a várias atividades. Para isso construímos laboratórios de robótica, física, química,

biologia, informática, história e geografia. Há também oficinas de ciência e tecnologia e de artes, além de um programa de formação de professores da rede pública. Temos dois telescópios e começamos a realizar observações astronômicas. As crianças já fazem fotos até das luas de Júpiter e de Saturno. Agora, se tudo der certo, construiremos um observatório. Será o primeiro do Nordeste destinado a crianças, só que equipado com instrumentos para profissionais.

AULA ABERTA Boa parte das crianças se interessa pela astronomia?

NICOLELIS Elas se interessam por tudo. E nos dão a impressão de que agem como “esponjas” quando se trata de absorver conhecimentos.

Em Natal ficou patente que essa garotada era sedenta de atenção, amor e oportunidades. Se tiverem as três coisas em um mesmo ambiente, avançam. A propósito, o presidente Lula, ao conversar com um de nossos alunos durante uma visita a Natal, perguntou o que ele achava da escola. “Que escola?”, a criança respondeu. E completou: “Isto aqui não é escola, é um parque de diversões”. Isso é exatamente o que a gente quer, uma condição ótima para o aprendizado. Mas não é só. Os estudantes mais velhos vêm participando de uma nova atividade, que é uma oficina em que criam jogos para os mais novos. Eles desenvolvem ideias e, na oficina de marcenaria, constroem os protótipos. Assim, participam da produção de material pedagógico. Agora queremos aplicar os mesmos procedimentos na área de informática: bolar jogos de computação que sirvam como instrumentos de ensino de educação científica.

AULA ABERTA Quem desenvolverá esses programas?

NICOLELIS Os alunos. Nossa ideia é torná-los parceiros na construção dessa estrutura que pretendemos disseminar pelo Brasil. Esperamos que tenham motivos para sentir que o aprendizado científico em nossas escolas vale a pena. Daqui a pouco vários deles poderão ser programadores em empresas de informática, ganhando a vida com o que aprenderam





aqui. Eles não precisam virar cientistas. A intenção é regar a criatividade de cada um e permitir que todos desabrochem e desenvolvam seu potencial.

AULA ABERTA Qual tem sido o aproveitamento dos alunos?

NICOLELIS Essas crianças chegaram sem saber se expressar, ler ou escrever. A diferença que sentimos, e agora estamos tentando medir isso em termos de desempenho escolar, é que elas encontraram o algoritmo de aprender. Descobriram o método. Isso a maioria dos estudantes brasileiros não consegue. E estamos falando de muita gente. São 54 milhões de alunos nas escolas públicas e 12 milhões nas particulares, o que corresponde à população francesa. Mas em nossas escolas a garotada também está aprendendo que antes dos projetos pessoais vêm aqueles voltados para o coletivo — a nação, a comunidade, a família. Então, todos os nossos projetos são executados em grupo. As crianças têm de colaborar entre si. Elas não devem apenas crescer individualmente, mas também contribuir para o crescimento comum.

AULA ABERTA Anísio Teixeira, Darcy Ribeiro e Paulo Freire provavelmente se encantariam com essa visão...

NICOLELIS Em minha opinião, todos são heróis nacionais. Mas em termos teóricos não há nada nosso que possa competir com a grandiosidade das ações de cada um deles. O que temos é um projeto privado cujo objetivo é ser autossustentável por meio do emprego da ciência na criação de atividades econômicas. Queremos produzir conhecimento de ponta no instituto de pesquisa e comercializar as tecnologias e novas terapias. A receita obtida será usada para pagar nossas contas, que são elevadas, pois nossos projetos sociais são ambiciosos. Em 2008, por exemplo, abrimos a primeira clínica da mulher, que já atende milhares de pessoas por ano, em programas fundamentais como prevenção de câncer, gravidez e puericultura de alto risco e neuropediatria. Graças a um convênio assinado com o MEC, teremos uma escola pública regular a ser frequentada pelos alunos em período integral. O próximo passo será a construção de uma maternidade, pois as mulheres que atendemos não têm onde dar à luz. E os filhos delas, ao nascer, já estarão matriculados na escola. Se mantivermos o patamar atual, educando mil crianças por ano, em duas décadas formaremos um exército de pessoas pensantes em um lugar onde antes não havia nada.

AULA ABERTA A maioria dos pesquisadores que atuam em Natal é de repatriados?

NICOLELIS Não. Um dos diretores, Sidarta Ribeiro, esteve nos EUA por 12 anos. Mas temos gente de todas as regiões do Brasil. Como o trabalho é multidisciplinar, precisamos de especialistas de diferentes áreas. Para certas pessoas que chamamos, o desafio de vir para cá revela-se tão inebriante que elas não conseguem recusar o convite. É o caso das pedagogas responsáveis pelas escolas de iniciação científica, que antes viviam em São Paulo, trabalhando em grandes instituições particulares. E estamos atraindo cada vez mais colaboradores brasileiros e estrangeiros. Quando demos início ao projeto, dizíamos que todos os caminhos da neurociência no Brasil levam a Natal. Ainda dizemos. E a verdade é essa. Vamos trazer os melhores, desde que comunguem com a filosofia de mudar esta região.

AULA ABERTA Em que circunstâncias o Brasil deve continuar mandando estudantes para o exterior?

NICOLELIS Com a condição de que a pessoa tenha a capacidade de aproveitar essa experiência. É uma maneira fundamental de oxigenar a ciência nacional. Não há dúvida quanto a isso. O que não é bom para o país é perder tanta gente de forma definitiva. O pessoal da minha geração ilustra bem o caso. Acre-

dito que o Brasil tenha cerca de 11 mil cientistas vivendo no exterior. Conheço muitos que gostariam de atuar por aqui. Só que voltar é muito difícil, por causa de nossas estruturas, de nossa cultura. E o retorno se torna ainda mais complicado quando se trata de alguém que, estando muito tempo fora, também se destaca em sua área. É mais um efeito colateral indesejável da mediocridade reinante nos meios acadêmicos nacionais. Espero que nossos meninos de Natal participem da formação de uma futura academia brasileira. Ela deverá se voltar para o país, contribuindo para o debate, e não olhando para o próprio umbigo.

AULA ABERTA O senhor também não foi bem-vindo ao retornar?

NICOLELIS A vaidade humana é previsível. Certas pessoas 'não entenderam' quando decidimos vir para Natal. Gente da academia, no Sudeste, me disse 'Você é louco. Não pode ir para lá, onde não existe massa crítica. E como você vai tirar essas crianças de um estado de penúria mental?' O Brasil ainda não desenvolveu um algoritmo de apoio ao sucesso. Prefere apoiar a mediocridade. Aqui, de cada dez projetos, oito ou nove são medíocres. Um ou dois são bons. Nossa tendência é pegar os recursos disponíveis e dividir pelos dez. Sobram quirelas para cada um. Ninguém é capaz de dizer 'Sinto muito, mas seu projeto não tem mérito suficiente para ser financiado'. O país tem muita dificuldade para implementar esse modelo de gestão científica, a despeito dos esforços de algumas instituições de fomento.

AULA ABERTA Vencidas as dificuldades iniciais, o que há para comemorar?

NICOLELIS Levamos três anos para trazer os recursos tecnológicos de que precisávamos para começar as pesquisas. Como sou experimentalista, acredito que o experimento é o critério para determinar se alguma coisa funciona ou não. E aqui tudo está funcionando. Quando trouxe colegas do mundo inteiro para um simpósio, em 2007, eles ficaram espantados ao saber que, na periferia de Natal, já estávamos pesquisando neurônios de acordo com a técnica que desenvolvi na Universidade de Duke. Muitos desses cientistas ainda estão tentando fazer, na França e no Japão, por exemplo, o que a gente faz em Macaíba. Quanto às crianças, devo dizer que vão muito bem. Em ambiente favorável, alimentadas e recebendo carinho, elas se sentem seguras para errar e aprender. E estamos conquistando apoio político e financeiro da sociedade civil e do governo. O

presidente Lula e o ministro da Educação, Fernando Haddad, assinaram um artigo comigo em 2007, comprometendo-se a levar a experiência de Natal para 1 milhão de crianças nos próximos anos. Pela primeira vez um texto dessa natureza saiu na edição publicada nos EUA da SCIENTIFIC AMERICAN.

AULA ABERTA E os projetos para o longo prazo?

NICOLELIS Com a ajuda de colegas, brasileiros e estrangeiros, selecionei 12 áreas da ciência em que o Brasil deveria investir para se tornar um país realmente soberano no futuro, com economia forte e melhores condições de vida para a população. Todos nós sabemos que a dívida social não será resgatada apenas com programas assistenciais. Assim, espalhados pelo território brasileiro, em regiões carentes como a periferia de Natal, a Associação Santos Dumont gostaria de implantar, entre outros, institutos do mar, do espaço, de biodiversidade, de nanotecnologia, de fitoterápicos e de bioenergia. Cada uma dessas áreas tem enorme potencial. Tomemos os fitoterápicos como exemplo. Hoje, uma empresa farmacêutica gasta de 6 a 7 bilhões de dólares e 25 anos de trabalho para obter um novo antibiótico. E o mesmo se passa com outros medicamentos. Esse modelo é inviável e não pode se perpetuar. E o Brasil tem uma enorme riqueza na biosfera. Inclusive na caatinga, que é o único bioma exclusivamente nacional. Não há nada igual em qualquer outro lugar do planeta. As pessoas de lá conhecem raízes medicinais que curam doenças que afetam os seres humanos e os animais. Falta descobrir e testar os princípios ativos.

Mas todas as instituições que enumerei deverão funcionar nos moldes do Instituto de Neurociências de Natal, onde a ciência de ponta é usada como agente de transformação econômica e social. Com gente competente para gerir e trabalhar nesses institutos. Não será difícil escolher o pessoal. É só aplicar o mesmo critério que se usa para escalar a seleção brasileira de futebol. Descontados os pequenos desvios padrão, só os craques jogam. Ninguém convoca um centroavante perna de pau para disputar uma Copa do Mundo. Mas, antes de tudo, será preciso consolidar o projeto em Natal. É a nossa prioridade. Uma vez vencida essa etapa, teremos condições de abrir outras frentes. E estamos indo bem no Rio Grande do Norte. Isso dá concretude a uma de minhas metáforas prediletas. A de que o Nordeste é cacto. Se for irrigado, vira flor.

SA

Rogério Furtado é jornalista

“
A vaidade humana
é previsível.
Certas pessoas
'não entenderam'
quando decidimos
vir para Natal.
Gente da academia,
no Sudeste, me
disse 'Você é louco.
Não pode ir para
lá, onde não existe
massa crítica' ”

PARA CONHECER MAIS

O site www.natalneuro.org.br disponibiliza mais informações sobre Miguel Nicolelis, o Campus do Cérebro e pesquisas em neurociências.

Planisférios e anuários abrem as portas do CÉU

Material simples e barato permite que interessados façam suas próprias descobertas na mais fascinante das explorações, entre estrelas e galáxias

Por **Ulisses Capozzoli**

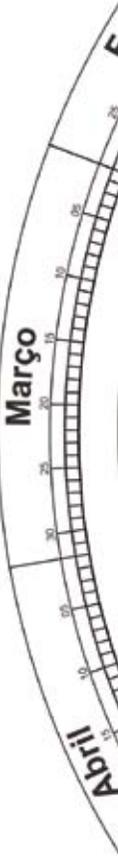


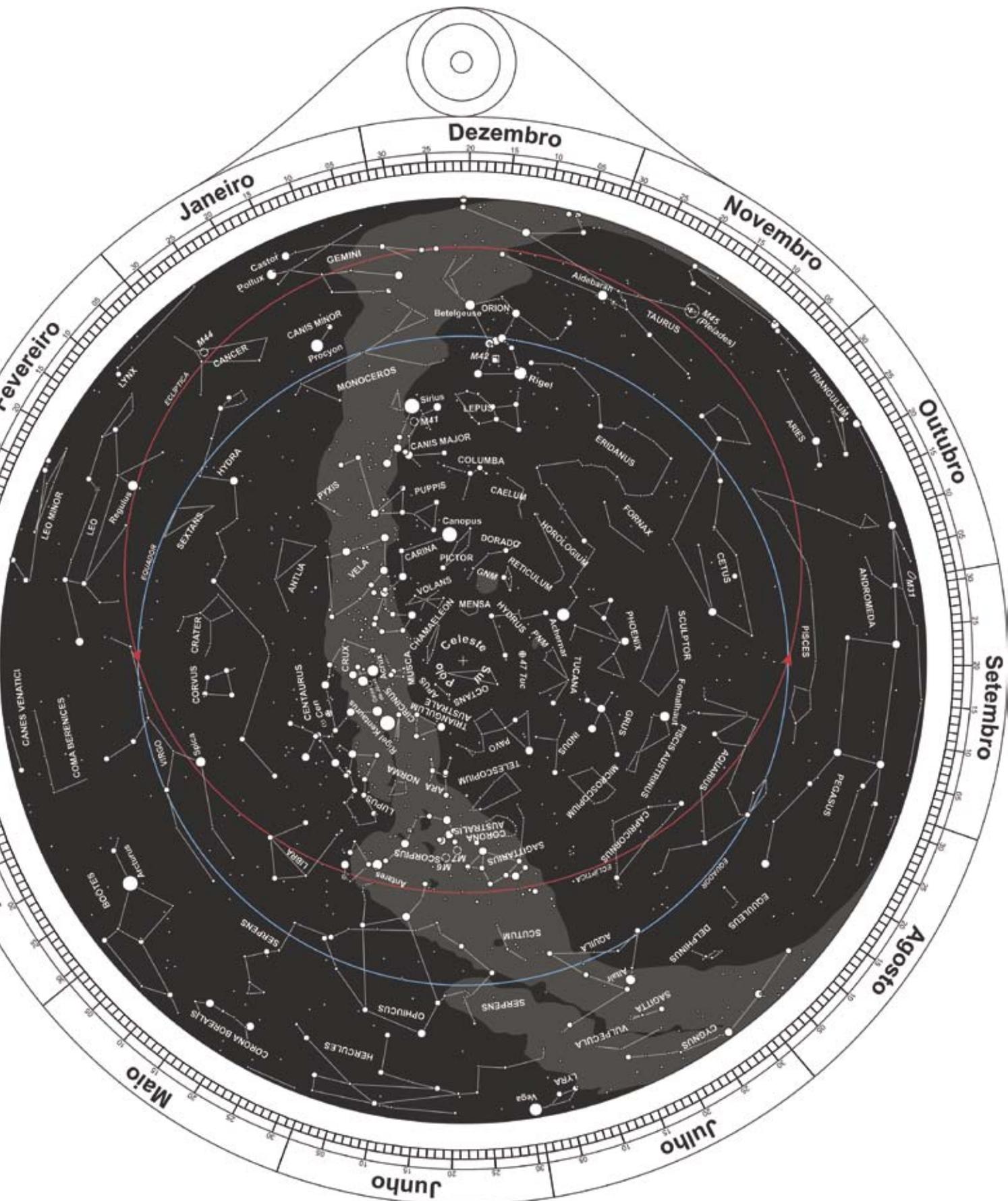
Seus alunos se interessam por astronomia, mas não têm um telescópio nem esperam comprar um desses equipamentos em curto espaço de tempo? Não há motivo para desistência. Eles podem começar a própria descoberta do céu a partir de um planisfério e um anuário.

Mas a turma sabe o que são exatamente um planisfério e um anuário e como eles devem ser utilizados para uma iniciação em astronomia?

Diga que um planisfério, numa definição prática, é uma representação do céu com base em data e horário específicos. Num planisfério toda a esfera celeste está representada num plano coberto por uma máscara que define a latitude em que se encontra, ou é escolhida, por um observador.

Fazendo o disco da esfera celeste deslizar sob a máscara os observadores definem a data (mês e dia) e horário em que desejam conhecer as constelações visíveis. Assim, ao contrário de um anuário – que, como o próprio nome indica, vale pelo período de um ano –, um planisfério é uma carta de consulta para anos a fio. Ao menos até que se estrague, isso porque planisférios quase sempre são produzidos com materiais como papelão e acetato.







ANTARES



Sugira que os jovens adquiram planisférios orientados para o sul. Então, cada um deve segurar o respectivo instrumento com a mão esquerda, apontado para o sul, e, com a mão direita, fazer o disco da esfera celeste deslizar para a data e horário desejados. Orientados para o sul, os estudantes voltarão suas costas para o norte, com as estrelas nascendo no leste e se pondo no oeste. No leste, em consequência da rotação da Terra, as estrelas estarão se elevando cada vez mais, até culminarem sobre a posição dos observadores e então ir perdendo altura, em relação ao horizonte, até o ocaso, no oeste.

Observe que as estrelas mais brilhantes (quanto menor a magnitude, maior a luminosidade) estão bem destacadas nesse planisfério e acompanhadas de seus nomes, caso de Sirius (Alfa [α] do Cão Maior, Canopus [α] de Carina, ou Antares [α] do Escorpião e Toliman (ou Rigel Kentaurus) [α] do Centauro. Peça que os alunos se posicionem tendo como referência essas estrelas brilhantes. Ao longo do ano, eles mesmos irão reconhecer cada constelação. Trata-se de uma exploração mais que compensadora, cada um pode fazê-la de forma independente.

PLANISFÉRIO E ANUÁRIO

Com as constelações localizadas com ajuda do planisfério os jovens podem recorrer ao anuário e

avançar bastante no reconhecimento do céu. Se as constelações não se alteram (na realidade elas se alteram, mas, como cada um dos componentes estelares está a enorme distância da Terra, essas mudanças são praticamente imperceptíveis em curto espaço de tempo), astros como planetas, cometas e asteróides estão sempre mudando de posição. Daí a necessidade do anuário, que traz a indicação das efemérides (em astronomia, o anúncio prévio de fenômenos celestes, termo que quase se confunde com o próprio anuário) ao longo do ano. Com base nesse gênero de publicação você e a turma podem se programar para acompanhar cada um dos fenômenos celestes visíveis a olho nu, como eclipses lunares (eclipses solares, a não ser os totais, devem ser observados com filtros especiais para proteção dos olhos), ocultações de estrelas e passagens de cometas.

BINÓCULOS E ATLAS

Astronomia a olho nu é uma exploração bastante interessante, mas qualquer observador estará sempre interessado em instrumentos ópticos que vão de vários tipos de binóculos e pequenas lunetas a telescópios refratores e refletores das mais diversas qualificações.

Os observadores iniciantes, no entanto, devem ser alertados de que mesmo o uso de um equipamento



sofisticado sem conhecimento mínimo do céu acabará em enorme frustração.

Muitos instrumentos, remanescentes da passagem do cometa Halley, em meados dos anos 80, estão abandonados por seus proprietários, com oculares, espelhos e lentes arruinados por fungos e outros problemas decorrentes da má manutenção.

Assim, antes de sonharem com um telescópio, é conveniente que os estudantes se familiarizem com o céu e, nesse caso, além de planisfério e anuário, é praticamente imprescindível que se equipem com um atlas celeste e binóculos.

Quando todos forem capazes de localizar com relativa facilidade uma constelação tirando partido do planisfério, um atlas pode fornecer-lhes as indicações dos conteúdos de cada uma dessas constelações. Uma constelação como Touro, por exemplo, permite investigar tanto um asterismo, caso de Plêiades, como um dos mais fascinantes cenários celestes: a nebulosa do Caranguejo, que resultou da explosão da supernova de 1054.

Ainda que a nebulosa do Caranguejo não se revele a binóculos convencionais, esses equipamentos versáteis e mais acessíveis ampliam de maneira surpreendente as paisagens celestes.

Binóculos trazem sempre dois números de referência, como 7x50. O primeiro número indica a mag-

nificação do equipamento e o segundo o diâmetro da objetiva, em milímetros. Dividindo-se 50 por 7 tem-se o que os ópticos chamam de "pupila de saída", nesse caso de pouco mais de 7 milímetros.

Guarde bem essa relação para escolha de outros equipamentos porque, numa noite escura, a máxima abertura da pupila humana chega a 7 milímetros. Em outras palavras, uma pupila de saída nessa medida significa que toda luz recolhida pelo equipamento será aproveitada visualmente, gerando uma boa definição de imagem.

ACUIDADE VISUAL

Claro que se a turma dispuser, por exemplo, de binóculos 16x50, pode usá-los ao menos nos primeiros tempos, antes de comprar um 7x50. Sugira que todos tenham alguma tranquilidade porque, entre outros desafios, a observação do céu exige boa acuidade visual, que é preciso desenvolver. Observar o céu é como tocar um instrumento. Quem para por algum tempo vai precisar de algum esforço para recomeçar. Nós, de alguma forma, perdemos a "embocadura".

Quanto aos atlas, a preferência deve ser dada a material produzido no hemisfério sul, que facilita a observação. Uma busca em livrarias e/ou pela internet permite a localização de atlas tanto em português quanto em inglês. Estude atentamente o exemplar que pretende indicar para a turma, lembrando que uma única constelação, das 88 em que o céu está dividido, é uma fonte inesgotável de exploração.

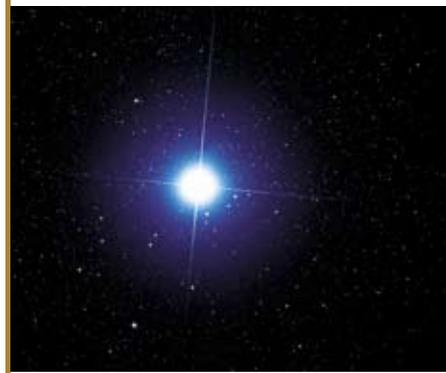
SEM ANSIEDADE

Não deixe que a ansiedade atrapalhe o prazer de explorar o céu, mas crie, ao mesmo tempo, um método mínimo que permita a todos o desenvolvimento dessa atividade.

Inúmeros nomes da história da astronomia fizeram suas descobertas com base em um livro, caso do filósofo Emmanuel Kant (1724-1804), que propôs o conceito de "universo-ilha" para se referir às galáxias. Ou William Herschel (1738-1822), maestro que trocou o som das orquestras pela música das esferas e foi o maior astrônomo de sua época. De qualquer forma, o planisfério, em interação com o anuário, é o início de tudo.

Atlas e binóculos completam um primeiro estágio. A partir daí um telescópio literalmente abrirá o Universo aos olhos dos alunos para uma viagem sem comparação. 

Ulisses Capozzoli é editor-chefe de
SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL



SIRIUS

Um Futuro LIMPO

Por **Lawrence D. Burns, J. Byron McCormick
e Christopher E. Borroni-Bird**



CARO LEITOR,

Este artigo texto aborda uma forma de energia não poluente para a propulsão de automóveis. Leia a respeito dos benefícios, das dificuldades a serem superadas e das projeções do uso do hidrogênio como combustível veicular.

Automóveis movidos a células de hidrogênio poderão ser os catalisadores de um futuro mais limpo

Quando Karl Benz tirou seu Patent Motorcar do celeiro, em 1886, literalmente pôs em movimento as rodas de mudanças. O advento do automóvel trouxe enormes transformações tanto no modo de vida das pessoas como na economia mundial, o que ninguém esperava. A disponibilidade cada vez maior de um meio de transporte pessoal deixou o mundo mais acessível e, ao mesmo tempo, produziu uma complexa infraestrutura industrial que modelou a sociedade moderna.

Agora, outra revolução poderá ser deflagrada por uma tecnologia automotiva: a propulsão alimentada pelo hidrogênio, em vez do petróleo. Trata-se das células de combustível – que separam os átomos de hidrogênio em prótons e elétrons – e acionam motores elétricos com emissões apenas de vapor d’água. Essa alternativa deixará os automóveis muito mais ecológicos, além de mais seguros, confortáveis e personalizados – e até mesmo, possivelmente, mais baratos. Esses veículos movidos a células de combustível poderiam também estimular uma mudança rumo a uma economia alimentada por uma **energia mais “verde”**, baseada no hidrogênio. À medida que isso ocorresse, o uso e a geração de energia poderiam mudar significativamente. Assim, automóveis e caminhões a células de combustível de hidrogênio poderiam ajudar a assegurar um futuro quando a mobilidade pessoal – a liberdade para viajar individualmente – poderia ser sustentada indefinidamente, sem comprometer o ambiente.

CONCEITO

ENERGIA “VERDE”

Fonte de energia renovável que não agride o meio ambiente.

GENERAL MOTORS

SKATE GIGANTE: O protótipo de veículo “Hy-wire” a células de combustível de hidrogênio da General Motors apoiado em um suporte, exposto em seus componentes operacionais essenciais – um chassi semelhante a um skate e dotado de uma pilha de combustível, motor elétrico e controles eletrônicos programáveis.

CONCEITO
**POTÊNCIA
MOTRIZ**

Potência associada ao movimento do veículo.

HIPERLINK
**MÁXIMO DE
EFICIÊNCIA**

Todas as máquinas térmicas, como os motores de combustão interna, possuem limitações de eficiência. Pela segunda lei da termodinâmica, sabemos que nenhuma máquina operando em ciclos pode atingir um rendimento de 100%. Vale lembrar que a eficiência máxima de qualquer máquina térmica é obtida quando ela opera em um ciclo de Carnot.

Uma confluência de fatores faz com que essa mudança pareça cada vez mais provável. Um aspecto relevante é que os motores de combustão interna, que usam derivados de petróleo como combustível, por mais refinados, confiáveis e econômicos que sejam, estão esgotando seus limites. Apesar de inúmeros aperfeiçoamentos, os motores com motores de combustão interna têm eficiência de apenas 20% a 25% na conversão do combustível em **potência motriz** transmitida às rodas. E embora a indústria automobilística americana tenha reduzido substancialmente algumas emissões dos escapamentos desde os anos 60, quando não havia regulamentação — as emissões de hidrocarbonetos caíram 99%; as de monóxido de carbono, 96%; as de óxidos de nitrogênio diminuíram 95% — a continuada produção de dióxido de carbono gera preocupação por seu potencial de alterações no clima do planeta.

Mesmo com a aplicação de novas tecnologias, espera-se que a eficiência dos motores de combustão interna atinja um **máximo de eficiência** em torno de 30% — e, de qualquer maneira, continuará a emitir dióxido de carbono. Em oposição, os veículos movidos a energia produzida por células de combustível de hidrogênio são quase duas vezes mais eficientes, e portanto necessitarão de apenas metade da energia do combustível. Mais interessante é o fato de as células de combustível emitirem apenas água e calor como subprodutos. Finalmente, o gás hidrogênio pode ser extraído de diversos combustíveis e fontes de energia, como gás natural, etanol, água (por meio de eletrólise usando eletricidade) e, no futuro, de sistemas de energia renováveis. Percebendo esse potencial, parte das companhias automobilísticas está envolvida num esforço sustentado para desenvolver veículos movidos a células de combustível, entre elas DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Honda, PSA Peugeot-Citroën, Renault-Nissan e Toyota.

MUNDO AUTOMOTIVO

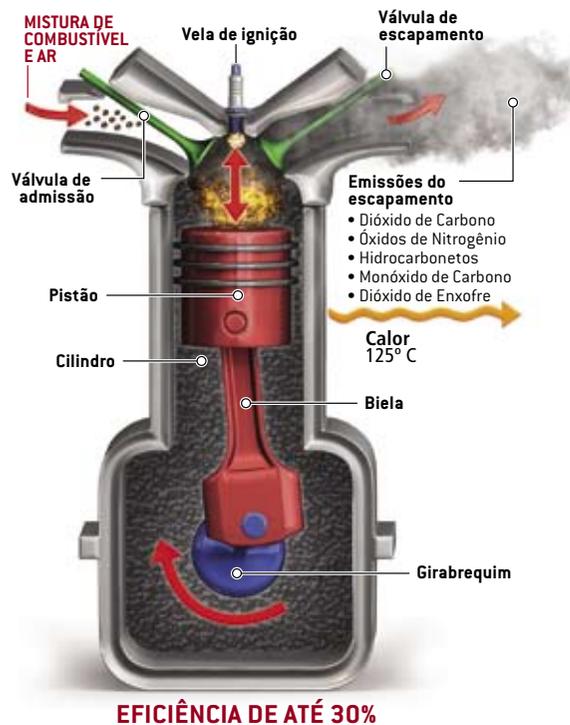
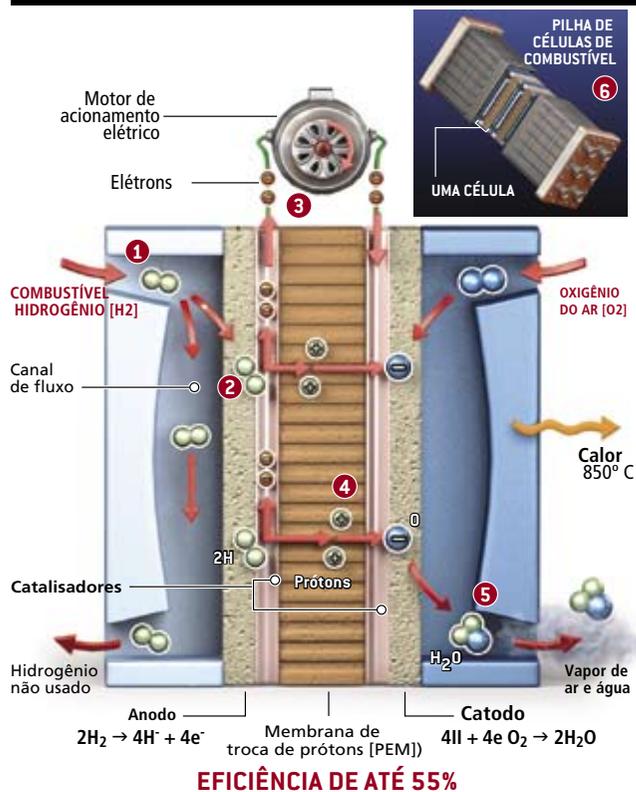
É importante encontrar uma solução melhor para os problemas criados pelo transporte pessoal, já que o impacto ambiental dos veículos deverá crescer enormemente. Em 1960, menos de 4% da população mundial possuía veículos automotores. Vinte anos mais tarde, os proprietários passaram a 9% e, agora, chegam a 12%. Com base nas atuais taxas de crescimento, até 15% das pessoas que vivem no planeta poderão ter um veículo até 2020. E como a população mundial poderá crescer de 6 bilhões de pessoas, hoje, para quase 7,5 bilhões dentro de duas décadas, o número total de veículos poderá aumentar de cerca de 700 milhões para mais de 1,1 bilhão. Essa expansão projetada será estimulada pelo crescimento da classe média no mundo em desenvolvimento, algo que se traduz em aumento de renda *per capita*. Rendas mais altas estão correlacionadas quase diretamente com a posse de automóveis.

Três quartos de todos os automóveis estão concentrados nos EUA, na Europa e no Japão. Entretanto, mais de 60% das vendas de novos veículos no curso dos próximos 10 anos deverão acontecer em oito mercados emergentes: China, Brasil, Índia, Coreia, Rússia, México, Polônia e Tailândia. O desafio será criar veículos atraentes, a preços razoáveis e lucrativos, que sejam seguros, eficazes e inofensivos ambientalmente.

Para compreender por que essa tecnologia poderia ser tão revolucionária, considere o funcionamento de um veículo movido a células de combustível, que é basicamente um veículo com um motor de tração elétrica. Mas, em algum lugar de uma bateria eletroquímica, o motor obtém sua energia de uma unidade de células de combustível (*ver ilustração na pág. ao lado*). A eletricidade é produzida quando elétrons são removidos do hidrogênio que passa através de uma membrana na célula. A corrente resultante aciona o

OS AUTORES

LAWRENCE D. BURNS, J. BYRON MCCORMICK e CHRISTOPHER E. BORRONI-BIRD têm posição estratégica nos esforços de desenvolvimento de células de combustível na General Motors. Burns é vice-presidente de Pesquisa & Desenvolvimento e Planejamento da GM. Ele supervisiona o avanço tecnológico e os programas de inovações da companhia e é responsável pelo portfólio de produtos, capacidade e planejamento de negócios da GM. Burns é membro da Diretoria de Estratégia Automotiva, a equipe gerencial de mais alto nível na GM. McCormick é diretor-executivo de Atividades com Células de Combustível da GM. Ele se envolveu em pesquisas com células de combustível durante toda a sua carreira, tendo iniciado e depois dirigido o programa de desenvolvimento de células de combustível para Meios de Transporte nos National Laboratories de Los Alamos, antes de passar a trabalhar na GM, em 1986. Borroni-Bird entrou na GM em junho de 2000 como diretor de projetos e de fusão tecnológica, um grupo que aplica tecnologias emergentes e aperfeiçoamentos no projeto de veículos. Ele é também diretor do programa AUTonomia, do qual faz parte o veículo protótipo Hy-wire. Anteriormente, Borroni-Bird gerenciou o programa de desenvolvimento de células de combustível para o veículo Jeep Commander, da Chrysler.



ELETROQUÍMICA VERSUS COMBUSTÃO: uma célula de combustível é uma membrana de troca de prótons [MTP] formada por dois eletrodos delgados e porosos, um anodo e um catodo, separados por uma membrana de polímero eletrolítico que permite a passagem apenas de prótons. Catalisadores revestem um lado de cada eletrodo. Depois que o hidrogênio entra [1], o anodo catalisador o divide em elétrons e prótons [2]. Os elétrons se deslocam, afastando-se para energizar um motor [3], enquanto os prótons migram através da membrana [4] para o catodo. Seu catalisador combina os prótons com os elétrons que retornam e com o oxigênio do ar, formando água [5]. As células podem ser empilhadas para gerar tensões mais elevadas [6].

NOS EUA, A MAIORIA DOS automóveis usa motores de combustão interna de quatro tempos. O pistão, que se movimenta para cima e para baixo com a rotação do girabrequim, parte do topo do cilindro. A válvula de admissão se abre e o pistão desce, admitindo a mistura de combustível/ar ao cilindro. O pistão se desloca de volta para cima, comprimindo a gasolina e o ar. A vela de ignição produz uma faísca, provocando a queima de gotículas de combustível. A carga comprimida explode, empurrando o pistão para baixo. A válvula de exaustão se abre, permitindo que os produtos da combustão saiam do cilindro. A cada ciclo realizado pelo motor de combustão interna são expelidos gases poluentes para a atmosfera, fato que não ocorre na célula de combustível que utiliza hidrogênio puro.

motor elétrico, que faz girar as rodas. Os prótons de hidrogênio, depois, recombina-se com elétrons de oxigênio para forma água. Se usar hidrogênio puro, um carro movido a células de combustível é um veículo com emissão zero de poluição.

Embora a extração de hidrogênio de substâncias demande energia, reformando moléculas de hidrocarbonetos com **catalisadores** e fracionando água com eletricidade, a elevada eficiência das células de combustível compensa a energia necessária para executar esses processos, como mostraremos adiante. Naturalmente, essa energia deve vir de algum lugar. Algumas fontes de geração, como usinas geradoras a partir da queima de gás natural, petróleo e carvão, produzem dióxido de carbono e outros gases que causam o efeito estufa. Isso não ocorre com outras fontes geradoras de energia, como as usinas nucleares. Um objetivo ótimo seria produzir

eletricidade de fontes renováveis, como biomassa, hidrelétricas, energia solar, eólica ou geotérmica.

DIVERSIDADE DE FONTES ENERGÉTICAS

Com a adoção de hidrogênio como combustível automotivo, a indústria de transportes poderia iniciar a transição de uma quase total dependência do petróleo para um leque de fontes de combustível. Hoje, 98% da energia usada para mover automóveis vem do petróleo. Em consequência, aproximadamente dois terços do petróleo importado pelos EUA são usados nos meios de transporte. Ao complementar o uso de combustíveis fósseis, os EUA podem, em princípio, reduzir a dependência em relação a essa fonte clássica e estimular o desenvolvimento de alternativas energéticas locais e menos agressivas ao meio ambiente. Esse esforço também criará competição de preços nos mercados de energia – o

CONCEITO
CATALISADOR

Um catalisador é uma substância que age como “facilitador” da reação química, aumentando a velocidade da reação.

EISENHUT & MAYER GETTY IMAGES; CORTESIA DE GÉRARD LIGER-BELAIR

O CHASSI DO "AUTONOMIA" É UM SKATE GIGANTE

A SUPERPOSIÇÃO DE SISTEMAS automotivos funcionais no chassi pleno semelhante a um skate gigantesco é a chave do conceito AUTOnomia, da General Motors, para um futuro veículo a células de combustível de hidrogênio. Essa técnica, e o uso de tecnologias compactas de recursos eletrônicos "drive-by-wire" nos sistemas de direção, frenagem e aceleração dão aos projetistas liberdade maior na configuração das carrocerias. Torna-se necessário reservar um grande compartimento

para acomodar o motor, e deixa de existir um inconveniente "calombo" longitudinal central na cabine ou uma incômoda roda de direção convencional. Essa nova abordagem também permite que as carrocerias sejam intercambiáveis. Os donos dos veículos poderiam ir às suas revendedoras para "acoplar" novas carrocerias personalizadas em seus chassis usados, ou fazê-los eles mesmos – transformando, por exemplo, um sedã em uma minivan ou em carro de luxo.



HIPERLINK "DRIVE-BY-WIRE"

Atualmente, algumas funções já são controladas por sistemas eletrônicos mesmo em carros comuns, como a injeção de combustível no motor.

que poderia baixar e estabilizar os custos dos combustíveis e da energia no longo prazo.

Outro aspecto fundamental na produção de um veículo verdadeiramente revolucionário é a integração da célula de combustível com a tecnologia "drive-by-wire" (condução do veículo por instrumentação eletrônica embarcada), substituindo sistemas anteriores, predominantemente mecânicos, por sistemas de direção, frenagem, aceleração e outras funções dotadas de unidades controladas eletronicamente. Isso libera espaço nos veículos, porque sistemas eletrônicos tendem a ocupar menos volume que seus correspondentes mecânicos. O desempenho de sistemas guiados por instrumentos pode ser programado usando-se software. Além disso, sem conjuntos de eixo cardã e junta universal convencional, que limitam mudanças estruturais e de design, os fabricantes terão liberdade para criar projetos radicalmente diferentes que satisfaçam as necessidades dos clientes.

A substituição de motores de combustão interna convencionais por células de combustível permite o uso de um chassi plano, o que dá liberdade para

a criação de estilos característicos de carroceria. Da mesma forma, a tecnologia "drive-by-wire" liberta o design do interior dos veículos, porque os controles de condução podem ser modificados radicalmente e operados de diferentes assentos no veículo. Percebendo essa oportunidade de design, a General Motors idealizou um conceito denominado AUTOnomia, que a companhia lançou no início de 2002. Um protótipo que pode ser dirigido, o "Hy-wire" (uma referência a "hidrogênio-by-wire") estreou na feira automobilística Mundial de L'Automobile (Salão de Paris) em Paris, no final de setembro do mesmo ano.

O conceito do AUTOnomia e o protótipo do "Hy-wire" foram criados, literalmente, das rodas para cima. A base de ambos é um chassi delgado, um skate gigante que contém a célula de combustível, o motor de acionamento elétrico, tanques para armazenamento de hidrogênio, controles eletrônicos e trocadores de calor, bem como sistemas de frenagem e de direção (ver ilustração acima). Não há um motor de combustão interna, transmissão, junta universal, eixos de transmissão ou articulações mecânicas.

Em um veículo do tipo AUTOnomia plenamente desenvolvido, a tecnologia “drive-by-wire” exigiria uma única conexão elétrica simples e um conjunto de vínculos mecânicos para acoplar o chassi à carroceria. Essa poderia ser encaixada no chassi como conexão de um laptop a uma estação de acoplamento. O conceito de um só encaixe elétrico cria uma maneira rápida e fácil de conectar todos os sistemas de controle da carroceria, de energia elétrica e de aquecimento ao “skate”. Essa simples operação pode ajudar a manter a carroceria do **veículo leve** e descomplicada. Isso também torna a carroceria simples e substituível. Em princípio simplesmente fazendo com que uma revendedora, ou o próprio proprietário do carro, “encaixe” um módulo intercambiável de carroceria, o veículo poderia virar um carro de luxo, um sedã para a família uma semana depois ou uma minivan no ano seguinte.

Como acontece com computadores, os sistemas veiculares são atualizáveis por software. Com isso, as equipes de manutenção podem baixar programas, conforme desejado, para melhorar o desempenho ou personalizar determinadas características de marcha e condução para adequá-las a uma determinada marca de veículo, estilo ou preferência do consumidor.

Com controles eletrônicos “drive-by-wire”, o motorista não necessita de um volante de direção, câmbio para troca de marchas ou pedais acionados com os pés. O protótipo Hy-wire da GM é equipado com um controle de direção denominado X-Drive, que pode ser facilmente deslocado de um lado para outro, ao longo de toda a largura do carro, permitindo que o veículo seja dirigido em vias de tráfego pela direita ou pela esquerda. Para operar o X-Drive o motorista põe suas mãos em algo semelhante aos controles de uma motocicleta: avança girando o que seria o acelerador e freia acionando um outro controle similar. Para mudar a direção em que se desloca, o motorista executa uma ação de giro como a que hoje aplicamos à direção de um automóvel convencional. Ele tem a opção de frear e acelerar com

sua mão direita ou esquerda, com prioridade para frenagem no caso de ações contraditórias. O motorista põe o motor do veículo em movimento apertando um único botão de partida do sistema elétrico e então seleciona uma de três condições: neutro, marcha avante ou ré. O X-Drive também elimina o painel de instrumentos convencional e a coluna de direção, o que também libera espaço e permite um novo posicionamento de assentos e de áreas para bagagem. Por exemplo, uma vez que não há um compartimento para o motor, o motorista e todos os passageiros têm maior visibilidade e muito mais espaço para “esticar as pernas” que em veículos convencionais do mesmo comprimento.

Um conceito como o do AUTOnomia, porém, poderia mudar radicalmente o modelo de negócios atual. Assim como ocorre com as variantes de uma mesma plataforma nos atuais caminhões, será possível projetar o chassi apenas uma vez e acomodar diversos estilos de carrocerias. Esses modelos alternativos poderiam facilmente ter diferentes frentes, layouts de seu interior e um ajuste fino nos chassis. Possivelmente com apenas três tipos de chassis – compacto, médio e grande – os volumes de produção poderiam ser muito mais altos que os atuais, proporcionando maiores economias de escala.

A necessidade de um número muito menor de componentes e tipos de partes reduzirá ainda mais os custos. A pilha de células de combustível, por exemplo, é criada a partir de uma **série de células** individuais idênticas, cada uma contendo uma chapa catódica plana e um componente anódico similar, separados por uma membrana de polímero eletrolítico. Dependendo dos requisitos de energia elétrica de determinado veículo (ou de outros dispositivos, como um gerador de eletricidade estacionário), o número de células na pilha pode variar.

Embora a tecnologia com células de combustível automotivas ainda esteja longe de ser barata (milhares de dólares por **kilowatt** para um protótipo

Principais desenvolvedores de células de combustível automotivas

DaimlerChrysler AG	Stuttgart-Mohringen, Alemanha
Ford motor Co.	Dearborn, Michigan, EUA
General Motors Corp.	Detroit, Michigan, EUA
Honda Motor Company Ltd.	Tóquio, Japão
PSA Peugeot Citroën	Paris, França
Renault-Nissan	TK LOCATION
Toyota Motor Corp.	Toyota City, Aichi, Japão

HIPERLINK VEÍCULO LEVE

Lembre-se de que, pela segunda lei de Newton, um carro mais leve é acelerado mais facilmente do que um carro de massa maior.

HIPERLINK ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Várias células garante uma maior tensão aplicada no motor.

CONCEITO KILOWATT

Unidade de potência, que no sistema internacional corresponde à energia de 1.000 joules a cada segundo.

PASSOS RUMO A UMA SOCIEDADE BASEADA NO HIDROGÊNIO

DENTRO DE POUCOS ANOS

a Pequenas frotas de veículos protótipos são testadas mediante a cessão desses veículos por *leasing* a residentes que morem nas imediações de um posto de abastecimento de hidrogênio.

b Frotas de veículos de transporte público e de empresas, que retornam diariamente a suas garagens, formadas por ônibus, furgões de transporte de correspondência e peruas de entrega de encomendas, começam a ser abastecidas por postos de hidrogênio com uma localização centralizada.

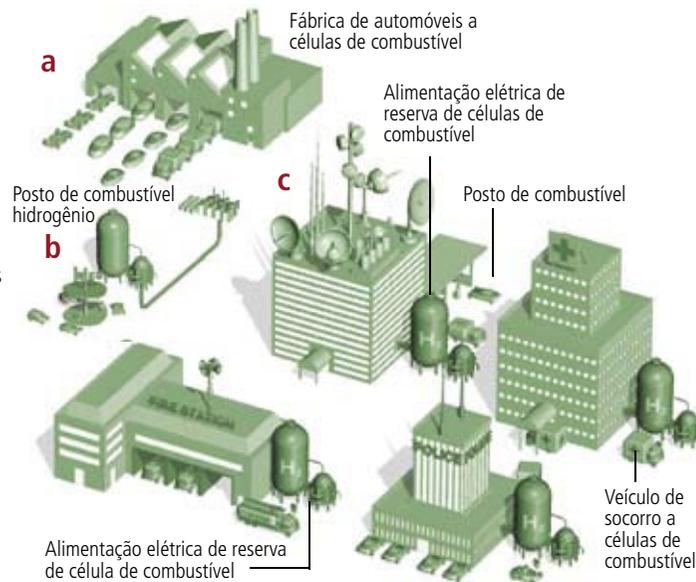


DENTRO DE UMA DÉCADA

a Fábricas de automóveis produzem "plataformas sobre rodas" movidas a células de combustível e um pequeno número de diferentes tipos de carrocerias que podem ser "simplesmente encaixadas" nas plataformas.

b Postos de abastecimento com hidrogênio com reformadores de gás natural (unidades de craqueamento químico) no próprio local são instalados para disponibilizar hidrogênio para os veículos produzidos inicialmente.

c Unidades estacionárias de células de combustível, que reformam o gás natural em hidrogênio e o alimentam à célula de combustível, são instalados em empresas que podem pagar uma energia "mais cara" por exigências de alta confiabilidade. Por exemplo, ambulâncias e veículos de socorro serão reabastecidos na unidade de células de combustível implantada no hospital.



APÓS MAIS DE UMA DÉCADA

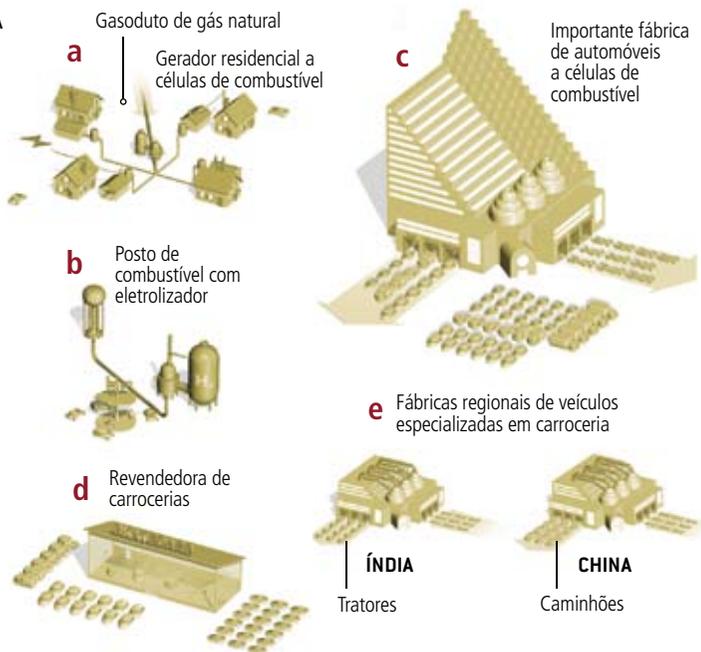
a Unidades regeneradoras estacionárias de células de combustível localizadas em uma maior diversidade de tipos de empresas e, eventualmente, em residências vendem um excedente de energia para a rede de eletricidade, formando um sistema de geração distribuído. Essas unidades começam a suprir hidrogênio localmente a seus funcionários.

b Mais postos de hidrogênio que usam eletrolizadores entram em operação.

c Revendedoras de automóveis passam a vender novas carrocerias em diversos estilos para quem possui plataformas usadas.

d Enormes montadoras produzem três tamanhos de "chassis-plataformas" dotadas de células de combustível (compactos, de tamanho médio e grandes).

e Outras fábricas em diferentes regiões do mundo constroem diversas carrocerias para seus mercados locais (por exemplo tratores e caminhões, na Índia e na China).



FONTES DE ENERGIA

As atuais tecnologias de geração de energia a partir de combustíveis fósseis, nuclear e hidrelétrica receberão uma complementação cada vez maior de tecnologias mais limpas e renováveis.



construído artesanalmente), os custos começaram a cair sensivelmente. Por exemplo, o aumento da ordem de 10 vezes na densidade de energia elétrica produzida por pilhas de células de combustível conseguida ao longo dos últimos anos foi acompanhado por uma queda idêntica em seu custo. E embora as células de combustível exijam, atualmente, **metais preciosos** para serem usados como catalisadores e dispendiosas membranas de polímeros, os cientistas continuam a testar maneiras de minimizar o emprego de catalisadores e de baratear os materiais empregados como membranas.

O conceito do AUTOnomia também permite tornar independentes a manufatura da carroceria e a do chassi. Um fabricante mundial poderia construir e despachar o chassi (um cenário ideal, tendo em vista seu perfil delgado), e empresas locais construiriam as carrocerias e montariam os veículos completos.

ARMAZENAGEM DO HIDROGÊNIO

Isso não significa que todos os obstáculos técnicos para projetar e construir veículos práticos movidos a células de combustível foram ultrapassados. Muitas dificuldades ainda devem ser superadas, antes de serem alcançados a praticidade e o desempenho que os usuários esperam dessa nova geração de automóveis. Uma das barreiras é o desenvolvimento de uma tecnologia segura e eficaz de armazenamento de hidrogênio a bordo dos veículos que seja capaz de proporcionar uma autonomia de percurso em torno de 500 quilômetros. Qualquer tecnologia aceitável de armazenamento deve ser suficientemente durável para funcionar ao longo de pelo menos 240 mil quilômetros. Ela deve ser utilizável em temperaturas de 40° Celsius abaixo de zero a aproximadamente 45° Celsius. E o processo de reabastecimento deve ser simples e consumir menos de cinco minutos. Há diversas abordagens para o armazenamento de hidrogênio incluindo a forma líquida, gasosa comprimida e sólida. Todas são promissoras, ao mesmo tempo em que apresentam dificuldades.

De início, o mais provável será a utilização de gás comprimido. Mas a alta compressão traz a preocupação com segurança. Atualmente, esses sistemas armazenam cerca de 5 mil libras por polegada quadrada (psi) de hidrogênio (350 bares), mas a meta é suportar 10 mil psi (**700 bares**) para estender a margem de autonomia do veículo. Por critérios de segurança, o tanque deve ter resistência a explosão por impacto de pelo menos duas vezes a pressão do combustível. Os recipientes são, atualmente, construídos com materiais caros, como fibra de carbono, e muito pesados.

Eles são também relativamente grandes, tornando difícil sua acomodação no veículo.

REFAZENDO A INFRAESTRUTURA

Por mais revolucionários que possam ser as mudanças no setor automotivo, elas poderão se revelar apenas secundárias, se comparadas com a influência de veículos do tipo AUTOnomia sobre o sistema mundial de suprimento de energia. Consideradas do ponto de vista atual, as células de combustível e uma infraestrutura de armazenagem e suprimento do combustível hidrogênio são um problema de precedência, do tipo "quem vem primeiro, o ovo ou a galinha". Não podemos ter um grande número de veículos movidos a células de combustível sem disponibilidade adequada de combustível para supri-los, mas não teremos condições de criar a infraestrutura necessária sem um número significativo de veículos movidos a células de combustível nas vias. Considerando que a criação de uma dispendiosa rede de geração/distribuição de hidrogênio nos EUA é um pré-requisito para a comercialização de automóveis e caminhões movidos a células de combustível, é crucial uma vigorosa defesa dessas ideias por parte de líderes locais e nacionais nos setores público e privado. Entre as questões fundamentais que deve ser abordadas estão a concessão de subsídios, incentivos para a construção de postos de reabastecimento, a criação de padrões uniformes e a educação do público em geral sobre o assunto. A iniciativa FreedomCAR, anunciada pelo departamento de Energia dos EUA, em 2002, que é uma parceria formada pelos setores público e privado com o objetivo de incentivar o desenvolvimento da geração de energia a partir de células de combustível e o uso do hidrogênio como um combustível principal para automóveis e caminhões, é um passo na direção certa. Será necessário o apoio do governo para a realização de pesquisas e de testes piloto necessários para comprovar a viabilidade da infraestrutura.

Sem dúvida, o setor automobilístico também precisa fazer sua parte para viabilizar a complexa e dispendiosa transição para uma economia baseada no hidrogênio. A GM está atualmente desenvolvendo uma estratégia-ponte que deverá acelerar as mudanças. Estamos trabalhando com o objetivo de levar ao mercado células de combustível de hidrogênio provisórias que proporcionarão as receitas necessárias para ajudar a pagar os mais de US\$ 100 milhões que a companhia está investindo atualmente na tecnologia de células de combustível, para proporcionar uma experiência operacional no mundo real.

HIPERLINK

DA PLATINA AO AÇO

O metal utilizado nos catalisadores é a platina. Atualmente, alguns pesquisadores fazem uso do aço inoxidável, um material muito mais barato e quase tão eficiente quanto a platina.

LEITURA COMPLEMENTAR

ÔNIBUS A HIDROGÊNIO

Hoje, alguns modelos de carros movidos a hidrogênio estão sendo testados por centenas de usuários ao redor do mundo. O Brasil é um dos poucos países que já utiliza o hidrogênio no transporte público. Um ônibus equipado com um conjunto de células de combustível com autonomia de 300 km está em fase final de testes e deve transportar passageiros já em 2010. Esse ônibus brasileiro tem um sistema de recuperação de energia semelhante àquele usado na Fórmula 1, pelo qual a energia dissipada durante a frenagem é armazenada em uma bateria e pode ser reutilizada posteriormente.

HIPERLINK

700 BARES

No sistema internacional, a altíssima pressão de 700 bares corresponde a aproximadamente newtons a cada metro quadrado.

HIPERLINK
TRANSIÇÃO

A cada dia, a tecnologia do hidrogênio como combustível torna-se mais difundida. Países como Brasil e China dão seus primeiros passos na aplicação dessa tecnologia.

Para os próximos anos, a GM planeja apresentar uma família de geradores estacionários baseados em células de combustível destinadas ao segmento de mercado disposto a pagar um preço extra por sua energia, para ter um suprimento garantido, de alta confiabilidade. Esse mercado, que poderá movimentar US\$ 10 bilhões por ano, abrange consumidores de energia que não podem ser dar ao luxo de ficar sem eletricidade, entre eles centros de dados digitais, hospitais, fábricas que empregam processos industriais contínuos, e companhias de telecomunicações. Além disso, esses consumidores viabilizariam reduções de custo graças à capacidade de baixar seu consumo de energia durante períodos de pico, bem como possibilitar a geração de receitas mediante uma medição líquida de consumo (que leva em conta a venda de energia fornecida de volta à rede). Nosso produto inicial será uma unidade de 75 quilowatts que incorpora um reformador que extrai do gás natural o hidrogênio, metanol ou gasolina que alimentarão a pilha de células de combustível. Não são necessários avanços técnicos revolucionários para construir esses geradores de eletricidade estacionários. Quando em operação, esses sistemas descentralizados de geração de eletricidade poderão também ser usados para reabastecer veículos com hidrogênio.

Quando dispusermos de métodos seguros e confiáveis para o armazenamento de hidrogênio, o processamento do combustível nos postos de abastecimento se tornará um caminho viável para a geração do hidrogênio necessário para o setor de transportes.

Uma vantagem do processamento do combustível, evidentemente, é que a maior parte da infraestrutura necessária para implementá-lo já existe. A atual rede de distribuição de combustíveis derivados de petróleo poderia ser adaptada com a instalação de reformadores de combustível ou de eletrolizadores em cada posto de gasolina de bairro, permitindo que os operadores locais gerem hidrogênio “na hora” e o forneçam a seus clientes. Com essa abordagem, não haveria necessidade de construir novos gasodutos de grandes extensões, nem de dismantelar a infraestrutura de suporte automotivo existente. À medida que iniciamos a **transição** do petróleo para o hidrogênio, esse poderia ser o melhor caminho de progresso.

Conforme os sistemas de geração de eletricidade veicular se tornarem mais sofisticados, veremos uma mudança no papel do automóvel no âmbito da rede mundial de eletricidade. Os veículos poderão, eventualmente, transformar-se em uma nova fonte de geração de energia, fornecendo eletricidade a residências e locais de trabalho. A maioria dos veículos permanece ociosa cerca de 90% do tempo e assim podemos imaginar o crescimento exponencial na disponibilidade de eletricidade, se a rede elétrica atual pudesse ser complementada pela capacidade de geração de automóveis e caminhões em cada via, garagem ou estacionamento. Considere, por exemplo, que se apenas um em cada 25 veículos na Califórnia, hoje, fosse um veículo movido a células de combustível, sua capacidade geradora combinada excederia a da rede de eletricidade do estado.

HY-WIRE LIBERA ESPAÇO NO INTERIOR DO VEÍCULO



FLEXIBILIDADE DE DESIGN e opções de escolha para o consumidor são a chave da estratégia da GM, de “empacotamento” de sistemas operacionais do carro no chassi semelhante a um skate gigante. Os projetistas de carrocerias têm, agora, liberdade para experimentar diferentes configurações do compartimento destinado aos passageiros.



Dependendo da matéria-prima e dos métodos de produção e distribuição empregados, o custo de um quilo de hidrogênio pode ser de quatro a seis vezes maior do que o custo de um galão de gasolina ou diesel. (Um quilo de hidrogênio contém a energia equivalente a um galão de combustível derivado de petróleo.) Entretanto, levando em conta que um veículo a células de combustível otimizado provavelmente será pelo menos duas vezes mais eficiente que um veículo de motor a combustão interna, ele rodará uma distância duas vezes maior com aquele quilo de combustível. Portanto, o hidrogênio deverá tornar-se comercialmente viável, se seu preço por quilo no varejo for o dobro do preço de um galão de gasolina.

Com melhorias no **armazenamento do hidrogênio**, nas tecnologias de processamento do combustível e da eletrólise, e com o aumento na demanda por hidrogênio, o custo do hidrogênio deverá aproximar-se da faixa de preços necessária. Na verdade, estudos recentes indicam que com a atual tecnologia, estamos dentro de um fator de 1,3 de onde precisamos estar, em termos de preços. Embora estejamos nos estágios iniciais de exploração de soluções, acreditamos que quando a infraestrutura for exigida, poderia desenvolver-se rapidamente, apesar dos enormes desafios envolvidos. Foi também assim, um século atrás, quando o automóvel movido a gasolina estava comprovando sua utilidade para seus usuários, e a infraestrutura necessária para dar apoio a esses veículos cresceu rapidamente. Uma das razões para isso é que empreendedores estão sempre prontos para aproveitar novas oportunidades. Hoje, há muitas dessas companhias empreendedoras preparando-se para tirar proveito da oportunidade, em termos de infraestrutura disponível, criada pelos veículos a células de combustível de hidrogênio. O mundo já está começando a partir para o desenvolvimento das tecnologias necessárias para a produção e distribuição de hidrogênio. Apesar disso, a dimensão e abrangência dessa infraestrutura são enormes, e há enormes obstáculos técnicos à frente.

À medida que prosseguem as discussões sobre como criar a rede de distribuição necessária, é interessante observar que infraestruturas para o hidrogênio já existem em diversos locais, especialmente ao longo da costa do Golfo do México, nos EUA, e, na Europa, em torno de Roterdã, na Holanda. O hidrogênio é produzido pelas indústrias petrolífera e química (usado para remoção do enxofre no processo de refino do petróleo), de modo que o hidrogênio flui, hoje, através de centenas de quilômetros

de gasodutos em diversos países. A infraestrutura existente produz anualmente cerca de 540 bilhões de metros cúbicos de hidrogênio, principalmente reformados a partir do gás natural. Em termos de energia equivalente, isso significa aproximadamente 140 milhões de toneladas de petróleo por ano, ou seja, quase 10% da atual demanda do setor de transportes. Apesar de ser dedicado a outros usos, o fato de essa infraestrutura já estar implantada comprova a disponibilidade de uma boa dose de experiência na geração e transporte do hidrogênio.

PROMESSAS PRÓXIMAS

Como qualquer progresso que traga a possibilidade de modificar totalmente a tecnologia predominante, a implementação de células de combustível levará tempo. Embora seja difícil fazer um cronograma preciso, levando em conta nosso atual impulso tecnológico e as realidades comerciais, pretendemos dispor de veículos a células de combustível atraentes e baratos nas ruas e estradas até o fim desta década. Daí em diante, podemos prever um aumento substancial na disseminação dos veículos a células de combustível entre 2010 e 2020, à medida que os fabricantes automobilísticos começarem a criar a base instalada necessária para dar suporte a um volume de produção elevado. Muitas dessas companhias, entre elas a GM, já investiram centenas de milhões de dólares em pesquisa e desenvolvimento de células de combustível, e quanto mais rapidamente elas puderem ver um retorno sobre esses investimentos, melhor será.

Tendo em vista que será necessário cerca de 20 anos para converter toda a frota de veículos, levará pelo menos esse tempo para constatar em sua plenitude os benefícios ambientais e energéticos que os veículos movidos a células de combustível de hidrogênio podem proporcionar. Mas o conceito do AUTonomia traz esse futuro para mais perto de nós – e o torna mais nítido. Em vez de uma evolução histórica do automóvel, estamos agora assistindo ao desenvolvimento de tecnologias revolucionárias que reinventam fundamentalmente o automóvel e seu papel em nosso mundo. 

PARA CONHECER MAIS

Prepared Statement of James P. Uihlein to the U.S. House of Representatives Committee on Science, Subcommittee on Energy. Field Hearing on Fuel Cells: The Key to Energy Independence? June 24, 2002.

Designing AUTonomy. Christopher E. Borroni-Bird. Available at www.sciam.com/explore_directory.cfm

HIPERLINK

COMO ARMAZENAR O HIDROGÊNIO?

O projeto dos tanques de armazenamento do hidrogênio, além de muitas outras precauções, deve levar em conta possíveis dilatações volumétricas do conjunto devido às bruscas variações de temperatura que o tanque pode sofrer.

▼ Conteúdos

- Utilização do hidrogênio como combustível veicular

▼ Competências trabalhadas segundo a Matriz de Referência do ENEM

- Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas, percebendo seu papel nos processos de desenvolvimento econômico e social da humanidade.
- Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.
- Avaliar implicações sociais, ambientais e/ou econômicas na produção ou no consumo de recursos energéticos.

▼ Habilidades envolvidas

- Avaliar métodos das ciências naturais que contribuam para solucionar problemas de ordem ambiental.
- Associar a solução de problemas de transporte com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.
- Utilizar leis físicas para interpretar processos tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica.
- Avaliar implicações sociais, ambientais e/ou econômicas na produção ou no consumo de recursos energéticos.

PROPOSTAS PEDAGÓGICAS

▼ Introdução

Antes de qualquer leitura de "Um futuro limpo" por parte dos alunos, discuta com eles as consequências em longo prazo da utilização dos combustíveis derivados do petróleo e a importância de novas formas de energia para a propulsão de automóveis. Lembre que existem outros projetos de carros "limpos" além dos movidos a hidrogênio – os carros elétricos, por exemplo.



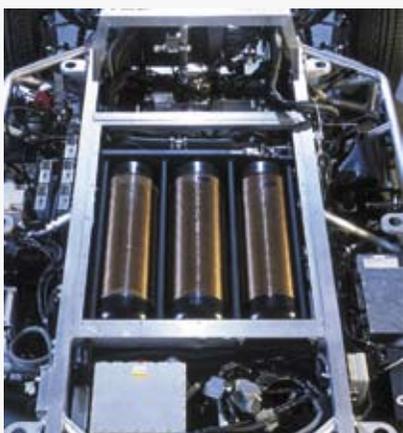
PROTÓTIPO DE CARRO ELÉTRICO

▼ Leitura

O artigo é extenso e exige bastante atenção da turma. Para que a atividade não se torne cansativa e desinteressante, num primeiro momento, promova a leitura coletiva do texto até o tópico "Armazenagem do hidrogênio", deixando os dois últimos para que os alunos terminem em casa. Durante a leitura em sala de aula, certifique-se de que todos entenderam o funcionamento da célula de combustível. Destaque os benefícios ambientais e econômicos que o uso do hidrogênio como combustível pode proporcionar.

▼ Interpretação

Ressalte que o texto foi escrito em 2002. Aponte os avanços tecnológicos ocorridos na utilização do hidrogênio como combustível desde então. Essa é também uma boa oportunidade para explicar o funcionamento de um motor de combustão interna de quatro tempos utilizado nos automóveis comuns. Se possível, recorra ao auxílio de um computador para apresentar uma animação sobre o ciclo realizado pelo motor, o que facilitará a compreensão por parte dos estudantes. Se julgar necessário, faça uma revisão das leis da termodinâmica e também do rendimento de máquinas térmicas e frigoríficas.



O VEÍCULO A CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL de hidrogênio é quase duas vezes tão eficiente quanto um motor de combustão interna e, portanto, ele necessitará de apenas metade da energia do combustível

▼ Atividades

a) Apresente o seguinte problema para a turma resolver individualmente: partindo do repouso, um carro movido a hidrogênio atinge 27 m/s (aproximadamente 100 km/h) em 10 segundos. Sabendo que esse carro consome 5,7 litros de H_2 a cada 100 km percorridos, calcule o volume de H_2 consumido nessa arrancada.

b) Chame a atenção de todos para o fato de que o modelo "Hy-wire", citado no artigo, possui uma autonomia de aproximadamente 130 km. Dito isso, desafie-os com a seguinte proposição: Considere que seu tanque de armazenamento de hidrogênio está submetido a uma temperatura de 300 K, uma pressão de 350 atm e contém 107 mols de H_2 no estado gasoso que serão convertidos integralmente em energia para o motor. O modelo "Hy-wire" percorre quantos quilômetros por litro de H_2 no seu tanque? (Constante universal dos gases: $R = 0,082 \text{ atm}\cdot\text{l/mol}\cdot\text{K}$.)

c) Por fim, explique que os primeiros modelos de carros movidos a hidrogênio armazenavam H_2 gasoso à temperatura de 300 K em tanques de volume V , submetidos a uma pressão de 350 atm. De posse desses dados, a turma deve considerar um hipotético modelo mais recente, que armazena, no mesmo tanque de volume V , o H_2 gasoso a uma temperatura de 200 K e uma pressão de 700 atm. Peça que todos calculem a razão entre o número de moléculas de H_2 armazenadas no tanque do modelo mais recente pelo número de moléculas armazenadas no modelo mais antigo.



O HIDROGÊNIO PODE SER GERADO a partir do gás natural a um custo comparável aos dos combustíveis convencionais

O segredo das BOLHAS DO CHAMPANHE

Por **Gérard Liger-Belair**

Cientistas estudam
as efervescentes
cócegas no nariz
provocadas pelas
emanações aromáticas,
característica excitante
e inconfundível do
seu encanto



● **CARO LEITOR,**

Este artigo demonstra a importância das bolhas nas bebidas gasosas, como elas são formadas no líquido e como influenciam no aroma da bebida. Cada vez mais procura-se entender os processos químicos envolvidos na produção de alimentos e bebidas, para melhorar sua qualidade e seu sabor.

Basta observar o champanhe servido em uma taça. A superfície elegante e crepitante – uma espumante fumarola de borbulhas que se elevam e se desmancham – lança no ar milhares de gotinhas douradas, que explodem em uma sinfonia penetrante de diminutos estalos. É este o encanto do champanhe, o clássico vinho espumante, da região de Champagne, nordeste da França, bebida obrigatória nas celebrações festivas em todo o mundo.

Uma das características do champanhe são as inúmeras franjas de bolhas que surgem enfileiradas das laterais de um copo, como minúsculos balões de ar quente. Quando alcançam a superfície, as bolhas formam um anel, o *collerette*, no topo de uma flûte cheia. Embora nenhuma evidência científica correlacione a qualidade de um champanhe com a finura de suas borbulhas é comum as pessoas estabelecerem uma conexão entre ambas. É um grande negócio assegurar a tradicional personalidade efervescente do champanhe e, por isso, os vinicultores da região se empenham em obter a bolha pequena e perfeita.

EM ASCENSÃO: A breve, mas espetacular ascensão de bolhas de champanhe ao topo de um copo, envolve um complexo sistema físico-químico que é muito mais funcional e atraente do que poderíamos imaginar

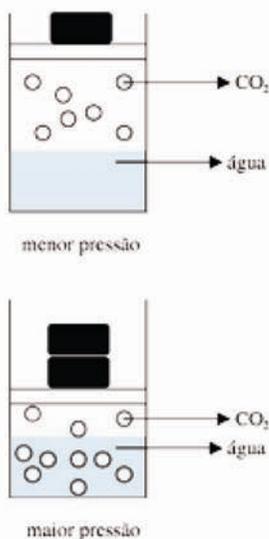
HIPERLINK

BEBIDAS CARBONATADAS

Apresentam gás carbônico dissolvido no líquido, formando bolhas quando o recipiente é aberto. O gás pode ser dissolvido durante o processo de produção (é o caso dos refrigerantes) ou formado por reações entre os componentes da bebida, o que ocorre com a cerveja e os vinhos espumantes.

HIPERLINK

EQUILÍBRIO



Com o aumento da pressão, devido ao maior peso, mais moléculas de gás carbônico se dissolvem no líquido.

HIPERLINK

DIFUSÃO

Fenômeno em que ocorre transporte de matéria, no caso um soluto, através da movimentação das moléculas do solvente.

Há poucos anos, eu e vários colegas pesquisadores da Université de Reims Champagne-Ardenne e da Moët & Chandon decidimos examinar o comportamento das bolhas em **bebidas carbonatadas**.

Nosso objetivo era determinar e compreender melhor o papel desempenhado por cada um dos parâmetros envolvidos no processo de formação das bolhas. A observação simples, mas precisa, de um copo cheio de vinho espumante, cerveja ou soda revelou um fenômeno inexplorado e visualmente estimulante. Nossos resultados iniciais diziam respeito às três fases principais da vida de uma bolha: nascimento, ascensão e colapso.

A GÊNESE DAS BOLHAS

No champanhe, nos vinhos espumantes e nas cervejas, o dióxido de carbono (CO_2) é o principal responsável pela formação de bolhas, originadas quando o levedo fermenta os açúcares, convertendo-os em moléculas de álcool e CO_2 . A carbonatação industrial é a fonte da fermentação nas bebidas gasosas. Após o engarrafamento, estabelece-se um equilíbrio, de acordo com a lei de Henry, entre o CO_2 dissolvido no líquido e o gás que está no espaço sob a rolha ou a tampa. A lei afirma que a quantidade de gás dissolvida em um fluido é proporcional à pressão do gás com o qual está em **equilíbrio** (ver o esquema).

Quando o recipiente é aberto, a pressão do CO_2 gasoso sobre o líquido cai abruptamente, rompendo o equilíbrio termodinâmico até então prevalecente. Como resultado, o líquido é supersaturado com moléculas de CO_2 . Para recuperar uma estabilidade termodinâmica correspondente à pressão atmosférica, as moléculas de CO_2 devem abandonar o fluido supersaturado. Quando a bebida é vertida em um copo, dois mecanismos permitem que o CO_2 dissolvido escape: a **difusão** do líquido através da superfície livre e a formação de bolhas.

Mas, para que se agrupem em bolhas embrionárias, as moléculas dissolvidas de dióxido de carbono são forçadas a abrir caminho através das moléculas líquidas agregadas, que estão fortemente ligadas

O AUTOR

GÉRARD LIGER-BELAIR é professor associado na Université de Reims Champagne-Ardenne, na França, onde estuda a físico-química das bolhas em bebidas carbonatadas; assessora também o departamento de pesquisa da Moët & Chandon. Liger-Belair divide seu tempo entre a ciência das películas e interfaces finas e a fotografia de alta velocidade, cujos resultados já foram exibidos em muitas galerias de arte.

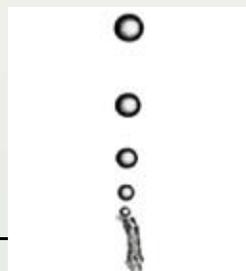
O CICLO DE VIDA DE UMA



© SEAN GLADWELL/SHUTTERSTOCK (bolhas de fundo), EISENHUT & MAYER GETTY IMAGES; CORTESIA DE GÉRARD LIGER-BELAIR

BOLHA DE CHAMPANHE

A breve existência de uma bolha de champanhe começa em uma minúscula partícula de celulose que foi deixada nas paredes de um copo após sua secagem (*abaixo*). Quando o vinho espumante é despejado, uma bolsa de gás de



diâmetro submicrométrico forma-se na fibra de celulose. O CO_2 sob pressão entra nesta pequena cavidade e, em seguida, expande-se tanto que a fluabilidade causa sua separação do local de nucleação. Durante sua jornada até a superfície, a bolha aumenta na medida em que mais CO_2 abre caminho (*centro*). Simultaneamente, moléculas de sabor aromático da bebida prendem-se à membrana de gás/água, um fenômeno que atrasa a ascensão da bolha ao aumentar sua resistência. Logo após emergir na superfície, a cápsula de gás portadora de sabor entra em colapso e lança no ar um pouco do vinho adjacente, acentuando assim o aroma e o sabor do champanhe (*acima*).

MOSTRE-ME AS BOLHAS: O champanhe é melhor servido em um copo de corpo longo (*pág. ao lado*). A configuração deste copo, chamado de flûte, prolonga e realça o fluxo de bolhas até o topo, onde a restrita área de superfície aberta concentra os aromas trazidos com as bolhas e liberados pelo colapso delas. O bojo delgado também prolonga o frescor da bebida e retém sua efervescência. A flûte é mais adequada para beber o vinho espumante que a taça de champanhe, os copos em forma de pires. Diz a lenda que estes copos foram moldados conforme os seios de Maria Antonieta, rainha da França no final do século 18. Embora ainda seja popular, a taça jamais foi planejada para champanhe e, de acordo com os enólogos, não permite que o apreciador usufrua plenamente as qualidades da bebida. Rasas e largas, as taças tendem a ser instáveis e fáceis de transbordar, além de não oferecerem as melhores circunstâncias para as franjas de bolhas. Para abrir uma garrafa de champanhe, segure-a com a rolha apontada para cima em um ângulo de 45 graus. Segure a rolha e gire suavemente a garrafa. Em vez de estourar ruidosamente, é melhor que a rolha saia com um suave suspiro. Um estouro espalhafatoso desperdiça bolhas. Como se diz: “O que o ouvido ganha o paladar perde”.

pelas forças de van der Waals (atração bipolar). Assim, a formação de bolhas é limitada por esta barreira de energia; para superá-la são necessárias taxas de supersaturação mais elevadas que as de bebidas carbonatadas.

Em líquidos fracamente supersaturados, incluindo champanhe, vinhos espumantes, cervejas e sodas, a formação de bolhas exige cavidades de gás preexistentes com raios de curvatura extensa o suficiente para superar a barreira de nucleação de energia e desenvolver-se livremente. Isto se dá porque a curvatura da interface da bolha acarreta um excesso de pressão no interior da bolsa de gás que é inversamente proporcional ao seu raio (de acordo com a lei de Laplace). Quanto menor a bolha, maior o excesso de pressão em seu interior. Abaixo de um raio crítico, o excesso de pressão em uma bolsa de gás impede a difusão, em seu interior, do CO_2 . Em um champanhe que acabou de ser aberto, o raio crítico é submicrométrico, algo em torno de 0,2 micrometros.

Para observar os locais de produção de bolhas (“berçário de bolhas”), planejamos uma câmara de vídeo de alta velocidade equipada com uma lente objetiva microscópica na base de centenas de franjas de bolhas. Ao contrário do que geralmente se acredita, esses locais de nucleação não estão nas irregularidades da superfície do copo, que apresentam escalas de extensão muito abaixo do raio crítico de curvatura exigido para a formação de bolhas. Os berçários de bolhas surgem nas impurezas presas à parede do copo. A maior parte das impurezas são fibras de celulose côncavas e aproximadamente cilíndricas que caem do ar ou que permanecem após a secagem do copo. A geometria dessas partículas exógenas impede que sejam totalmente umedecidas pela bebida e, assim, podem atrair as bolsas de gás quando um copo é cheio (*ver esquema à esquerda*).

Durante a formação das bolhas, as moléculas dissolvidas de CO_2 migram para as minúsculas bolsas de gás. Em seguida, uma bolha macroscópica desenvolve-se devido às forças capilares, vinculada ao seu local de nucleação. Finalmente, a crescente fluabilidade da bolha faz com que ela se separe, permitindo a formação de uma nova bolha. O processo continua até que a produção de bolhas esgote-se devido à diminuição do CO_2 dissolvido.

A produção cíclica de bolhas em um local de nucleação é caracterizada pela frequência do seu borbulhar, isto é, pelo número de bolhas produzidas por segundo, cifra que pode ser ilustrada utilizando-

PELAS FORÇAS DE VAN DER WAALS

As moléculas de líquido presentes na bebida estão unidas pelas forças de van der Waals. Essas moléculas, em geral, possuem um polo negativo e um polo positivo que se atraem, como se fossem ímãs. Para que a bolha consiga subir, ela precisa passar através dessas moléculas de líquido, com uma força maior que a força de van der Waals. Para que as bolhas se formassem sozinhas dentro da bebida, a ponto de produzir efervescência, seria necessária uma quantidade muito grande de gás carbônico na bebida. Isso não pode ser feito nas bebidas carbonatadas porque a pressão dentro das garrafas precisaria ser muito grande.

ESTROBOSCÓPIO

Dispositivo óptico que permite estudar e registrar o movimento de um corpo em elevada velocidade.

Obtém-se uma série de imagens como uma sequência de fotos que descrevem o movimento daquele corpo.

se um **estroboscópio**. Quando a frequência do flash do estrobo iguala a da produção de bolhas, a franja de bolhas surge congelada. Como a cinética do desenvolvimento das bolhas depende também da quantidade de CO_2 dissolvido, a frequência da formação de bolhas varia de uma bebida carbonatada para outra. No champanhe, por exemplo, em que a quantidade de gás é cerca de três vezes maior do que a da cerveja, os locais de nucleação mais ativos produzem cerca de 30 bolhas por segundo.

ASCENSÃO DAS BOLHAS

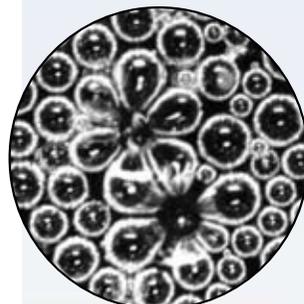
Depois de se soltar de seu local de nucleação, uma bolha cresce conforme caminha para a superfície (ver esquema da pág. 39). A ampliação da bolha durante sua ascensão é provocada pela contínua difusão de CO_2 dissolvido através da interface líquido/gás da bolha. A flutuabilidade aumenta conforme as bolhas se expandem, causando a aceleração contínua e a separação das bolhas entre si durante o percurso ascendente.

Cervejas e vinhos espumantes não são líquidos puros. Além do álcool e do dióxido de carbono dissolvido, contêm muitos outros compostos orgânicos que podem revelar uma atividade de superfície similar à de uma sopa de moléculas. Esses surfatantes, principalmente proteínas e glicoproteínas, possuem uma parte solúvel em água e outra **insolúvel**. Em vez de se dissolverem no volume do líquido, os surfatantes preferem se acumular em torno da superfície de uma bolha, com suas extremidades hidrófobas voltadas para o gás e as hidrófilas presas ao líquido.

A camada de surfatante em torno de uma bolha é crucial para o comportamento desta estrutura quando a crescente flutuabilidade induz à separação e força a bolsa de gás a abrir caminho através das moléculas líquidas intervinientes. As moléculas surfatantes adsorvidas fortalecem uma bolha ao formar algo como um **escudo** em sua superfície. De acordo com a teoria dinâmica dos fluidos, uma esfera rígida que sobe através de um fluido enfrenta mais resistência que uma mais flexível com uma superfície livre de surfatantes. Além disso, as moléculas surfatantes reúnem-se gradualmente na superfície da bolha, aumentando sua área imóvel. Assim, a resistência hidrodinâmica experimentada por uma bolha em ascensão e de raio fixo aumenta progressivamente; a bolha decai para uma velocidade mínima quando a interface gás/líquido torna-se totalmente contaminada. Estritamente falando, o enrijecimento pleno do contorno da bolha ocorre antes de ela ser totalmente coberta pelos surfatantes.

A MORTE DAS BOLHAS

ASSIM ESTOURAM AS BOLHAS: O colapso de uma bolha de champanhe começa tão logo ela surge na superfície da bebida (*sequência à direita*). Na segunda imagem, a fina película líquida que forma a parte da bolha que emergiu acabou de se romper. Durante este evento extremamente efêmero, a forma da bolha – de aproximadamente 1 milímetro de largura – permanece intacta. O colapso da cavidade produz um jato líquido de alta velocidade que se lança acima da superfície. Devido à velocidade, este jato líquido torna-se instável, formando uma onda capilar que dissolve o fluxo em minúsculas gotas. Como centenas de bolhas estão estourando a cada segundo, a superfície do líquido é literalmente eriçada por estruturas em forma de cone que, infelizmente, têm uma vida muito efêmera para que possam ser vistas a olho nu.



FLOR DE BOLHAS: Devido ao colapso das bolhas da superfície ser muito rápido (menos de 100 microssegundos), poucas fotografias podem captar o processo. Mas, quando as bolhas são deformadas pela força de sucção criada por uma bolha próxima que estourou, os aglomerados de bolhas de champanhe formam atraentes estruturas em forma de flor (*à esquerda*). Os topos das bolhas adjacentes às zonas centrais livres de bolhas são literalmente esticados em direção às cavidades agora vazias.

INSOLÚVEL

A parte insolúvel em água das moléculas surfatantes tem facilidade para se ligar às bolhas, formadas principalmente por gás carbônico.

PROTEÇÃO PESADA

As substâncias surfatantes presentes na bebida protegem a bolha no interior do líquido, mas por outro lado dificultam sua movimentação. É como se houvesse um peso gradado na bolha que ela precisa carregar durante sua subida.

MAIS BARULHO, MENOS SABOR

Para conseguir um estouro forte, é necessário agitar um pouco a garrafa antes de abri-la. A agitação faz com que uma parte maior de gás se desprenda do líquido, aumentando a pressão e arremessando a rolha para longe. Porém, isso diminui a quantidade de gás na bebida, o que segundo os especialistas torna o seu sabor menos agradável.



O comportamento das bolhas ascendentes e em expansão é mais complexo que o daquelas com raios fixos. No primeiro caso, a expansão volumétrica de uma bolha durante sua expansão através do líquido supersaturado ocasiona o aumento da área de sua superfície, oferecendo maior espaço para a adsorção de surfatantes. As bolhas em expansão estão assim sujeitas a dois efeitos opostos. Se a taxa de dilatação superar a velocidade com que os surfatantes enrijecem a superfície, uma bolha "limpa" sua interface constantemente, pois diminui a taxa da área da superfície coberta pelos surfatantes em relação à área livre de agentes de superfície ativos. Se a taxa aumenta, a superfície da bolha é contaminada por uma camada de surfatante e cresce rígida.

COLAPSO DAS BOLHAS

Durante vários segundos após a formação e liberação, as bolhas viajam os poucos centímetros até a superfície da bebida, alcançando, em seguida, um diâmetro de mais ou menos 1 milímetro. Como um iceberg, uma bolha de gás na superfície de uma bebida só emerge ligeiramente do líquido, permanecendo com a maior parte do seu volume abaixo da superfície. A parte que emerge, o topo da bolha, é uma película líquida hemisférica que se torna progressivamente mais fina como resultado da drenagem em torno dos lados. Quando o topo de uma bolha atinge uma certa espessura crítica, ela se torna sensível às vibrações e às gradações térmicas, em consequência das quais finalmente se rompe. Trabalhando independentemente em 1959, dois físicos, Geoffrey Ingram Taylor, da University of Cambridge, e Fred E. C. Culick, do California Institute of Technology, mostraram que a **tensão** na superfície causa o aparecimento de um buraco no topo da bolha e que este buraco propaga-se rapidamente. Para bolhas de tamanho milimétrico, esta desintegração leva de 10 a 100 microsegundos (*ver sequência à esquerda*).

Após o topo da bolha estourar, segue-se um complexo processo hidrodinâmico que causa o colapso da parte submersa da bolha. Uma cavidade permanece, por um instante, na superfície do líquido. Então, os influxos dos lados da cavidade se encontram e lançam um jato líquido em alta velocidade acima da superfície livre. Devido à alta velocidade, este jato torna-se instável, desenvolvendo uma onda capilar (a conhecida instabilidade Rayleigh-Plateau) que o fragmenta em gotinhas, o chamado pingo do jato. Os efeitos combinados da inércia e da tensão da superfície dão aos pingos do jato uma variedade de formas muitas vezes surpreendente. Finalmente,

HIPERLINK

SOB TENSÃO

A tensão na superfície da bolha resulta de uma força entre as moléculas da película que forma a superfície. Fatores externos como vibrações ou aumento da temperatura fazem essa força diminuir, provocando a separação das moléculas e o rompimento da bolha.

HIPERLINK

EXPLOSÃO DE AROMAS

Quando ocorre o estouro da bolha, várias moléculas com aroma característico da bebida se dispersam, e o contato dessas moléculas com as células olfativas aumenta a percepção do aroma.

eles assumem uma forma quase esférica. Centenas de bolhas estão estourando a cada segundo e, por isso, a superfície da bebida é eriçada por estruturas cônicas passageiras, efêmeras demais para serem vistas a olho nu.

LIBERAÇÃO DE AROMA E SABOR

Além das considerações estéticas, o estouro das bolhas na superfície livre transmite o que os fabricantes chamam de **“sensação” do champanhe**, dos vinhos espumantes, das cervejas e de outras bebidas. Os pingos dos jatos são lançados, de vários metros a poucos centímetros por segundo, acima da superfície, onde entram em contato com os órgãos sensoriais. Receptores no nariz são estimulados durante a degustação, assim como os receptores táteis na boca quando as bolhas estouram na língua; estes estouros também produzem uma solução aquosa ligeiramente ácida.

Além dos estímulos mecânicos, acredita-se que o colapso das bolhas na superfície desempenha um importante papel na liberação de aromas e sabores. As estruturas moleculares de muitos compostos aromáticos em bebidas carbonatadas revelam atividade de superfície. As bolhas que ascendem e se expandem no volume líquido prendem as moléculas aromáticas, arrastando-as em sua trajetória rumo à superfície e concentram-se na superfície. As bolhas que estouram borrifam no ar nuvens de minúsculas gotas com elevadas concentrações de moléculas aromáticas, acentuando os sabores da bebida. Contrariamente ao que pensávamos, a efervescência em bebidas carbonatadas mostrou ser um fantástico instrumento para investigar a físico-química da ascensão, expansão e colapso das bolhas. Esperamos que os leitores não olhem mais da mesma forma para um copo de champanhe **SA**

PARA CONHECER MAIS

Through a beer glass darkly. Neil Shafer e Richard Zare em *Physics Today*, vol. 44, pág. 48-52; 1991

Beauty of another order: photography in science. Ann Thomas. Yale University Press, 1997.

The secrets of fizz in champagne wines: a phenomenological study. Gérard Liger-Belair *et al.* em *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 52, pág. 88-92; 2001

Kinetics of gas discharging in a glass of champagne: the role of nucleation sites. Gérard Liger-Belair *et al.* em *Langmuir*, vol. 18, pág. 1294-1301; 2002.

Physicochemical approach to the effervescence in champagne wines. Gérard Liger-Belair em *Annales de Physique*, vol. 27, no 4, pág. 1-106; 2002.

PARA O

▼ Conteúdos

A leitura de “O segredo das bolhas do champanhe” permite trabalhar, direta ou indiretamente, os seguintes conceitos:

- Dissolução de gases e substâncias
- Pressão
- Lei de Henry
- Forças de van der Waals
- Fermentação



▼ Competências e habilidades trabalhadas segundo a Matriz de Referência do ENEM

O artigo explora as seguintes competências e habilidades:

- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum.
- Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

▼ Contextualização

O tema principal do artigo é a formação das bolhas nas bebidas carbonatadas. O exemplo mais próximo para o aluno são os refrigerantes gaseificados. Ele certamente já observou a saída de gás e o derramamento da bebida quando uma garrafa de refrigerante é agitada.

O conteúdo citado no artigo que pode ser trabalhado é a Lei de Henry, que trata da dissolução de gases em líquidos. Para trabalhar este conteúdo, é necessário rever conceitos como pressão e dissolução de substâncias.

Para descrever a formação e movimentação das bolhas, é necessário usar o conceito de forças de van der Waals, mostrando a interação entre as moléculas do líquido e do gás. Este conceito também é trabalhado para mostrar a interação das glicoproteínas e partículas já presentes no copo com o líquido e o gás. De acordo com a polaridade das moléculas, essa interação poderá ser mais ou menos intensa.

As forças de van der Waals relacionam-se com a tensão superficial, conceito utilizado na explicação para o estouro das bolhas. Pode-se discutir o efeito da agitação sobre a saída de gás do interior do líquido, mostrando como o equilíbrio entre líquido e gás é instável.

Por fim, para bebidas como os vinhos e as cervejas, pode-se também discutir um conceito relacionado: o processo de fermentação, em que ocorre a conversão de açúcares em outras substâncias, como álcool e gás carbônico, por meio da ação de leveduras.

▼ Atividades

Observando os efeitos da pressão e o fenômeno da liberação de gases.

Todos os raciocínios usados a seguir para o refrigerante podem ser extrapolados para outras bebidas gasosas carbonatadas.

a) Peça inicialmente que os alunos observem a rigidez de uma garrafa plástica cheia de refrigerante, ressaltando que o espaço aparentemente vazio está preenchido com gás carbônico sob pressão, que causa a rigidez do recipiente. Quando a tampa é aberta, uma parte do gás sai e, mesmo que não se retire líquido, a mesma rigidez não é observada quando se fecha a garrafa novamente.

b) Usando duas garrafas de refrigerante, uma bem gelada e outra sem gelo, demonstre como a temperatura influencia na liberação do gás das bebidas. Colocando em um copo de vidro incolor o refrigerante gelado e em outro o refrigerante sem gelo, observe claramente a saída maior de gás no refrigerante sem gelo.

c) Demonstre o efeito da agitação mexendo o refrigerante dentro do copo com uma colher. Os alunos observarão que a agitação vigorosa por alguns minutos provoca a saída de praticamente todo o gás da bebida.



▼ Pesquisa

Encomende uma pesquisa sobre a produção de bebidas carbonatadas e sugira que os estudantes comparem aquelas em que o gás carbônico é dissolvido industrialmente no líquido e outras em que o gás se forma durante a fermentação. A partir daí, o processo de fermentação pode ser discutido num trabalho interdisciplinar coordenado com a participação do professor de biologia.



INFLUENZA

Uma versão mais intensa que a do século passado pode eliminar boa parte da humanidade

Por **Robert G. Webster** e **Elizabeth Jane Walker**

CONCEITO MUTANTE

Organismo que sofreu alteração na sequência de bases nitrogenadas do material genético individual ou da espécie original.

CONCEITO EPIDEMIA

Aumento súbito de casos de uma doença infecciosa. Se atinge grandes proporções e se espalha por diversos países, fala-se em pandemia.

Todos os ingredientes de um filme de horror de quinta categoria feito em Hollywood estão presentes: um assassino **mutante** viaja pelo globo, deixando milhões de cadáveres atrás de si, e a comunidade médica mundial não consegue impedir a carnificina. É uma idéia sensacionalista, mas é exatamente o que aconteceu nos últimos meses da Primeira Guerra Mundial, no fim de 1918, e em parte de 1919. Em 10 meses o vírus da influenza afetou a vida de mais de 500 milhões de pessoas em todo o planeta e matou entre 20 e 40 milhões — mais que o dobro do número de vítimas fatais nos campos de batalha da guerra. Muitos epidemiologistas acreditam que algo parecido vai acontecer novamente. Mas dessa vez será pior.

Não se trata de exagero. Em 1997, estivemos perigosamente próximos de outra **epidemia** global de gripe. Se esse vírus em particular tivesse adquirido a capacidade de se propagar de uma pessoa a outra, a pandemia poderia ter tirado a vida de um terço da população humana. Mas não adquiriu e, por isso, apenas seis pessoas morreram — todas elas contraíram o vírus de galinhas vendidas nos mercados de Hong Kong. A única coisa que nos salvou foi a rapidez dos cientistas, que convenceram as autoridades de saúde a matar mais de 1 milhão de aves nos mercados da cidade. Descobriu-se que o vírus avícola era uma nova variedade — nunca vista pela humanidade. Novas variantes letais de vírus surgem poucas vezes em cada século e a próxima pode chegar logo.

CARO LEITOR,

Este artigo analisa as causas das pandemias de gripe e fornece informações claras e objetivas para que os próximos surtos sejam passíveis de controle.

A maioria de nós lembra-se da gripe todo outono, quando médicos estimulam o público a tomar vacina contra o vírus, ou quando sucumbimos a uma forma moderada da doença durante os meses de inverno. Os sintomas típicos são febre, calafrios, dor de garganta, desânimo, dor muscular, dor de cabeça, congestão nasal e falta de apetite. Mas a gripe pode se agravar rapidamente, causando bronquite, infecções secundárias, pneumonia, ataque cardíaco e, em muitos casos, a morte de bebês. Idosos e pessoas com supressão do sistema imunológico são os que correm o maior risco de morrer de gripe. Quem sofre de doenças pulmonares ou cardiovasculares também corre perigo. A exceção a esses fatores de risco ocorreu em 1918 com a pandemia da “gripe espanhola”, quando quase metade das pessoas que morreram tinha entre 20 e 40 anos. Ainda não está claro por que pessoas dessa faixa etária tiveram índices de mortalidade tão elevados.

Uma pandemia de gripe de proporções menores ocorreu em 1957 (“gripe asiática”) e em 1968 (“gripe de Hong Kong”). Também houve surtos em 1976 (“gripe suína”) e em 1977 (“gripe russa”). Exatamente como e quando o vírus da gripe vai adquirir uma forma extremamente **patogênica** é algo que está além de nossa atual capacidade de previsão. Conhecemos a estrutura do vírus, sabemos como ele entra nas células do corpo humano e como escapa à vigilância do sistema imunológico do hospedeiro, mas isso não basta para impedir outra pandemia. As questões ultrapassam o campo da ciência, invadindo os domínios da política inter-

nacional e local, orçamentos nacionais e tradições culturais profundamente arraigadas. O objetivo deste artigo não é instilar medo, mas reeducar – quanto mais pessoas entenderem o problema, maiores as chances de controlar o próximo surto.

AVES SELVAGENS

A gripe é transmitida de uma pessoa a outra por meio da tosse e de espirros, mas o vírus não começa sua viagem a partir de um hospedeiro humano. Ele se perpetua em aves aquáticas selvagens, as causadoras das pandemias entre os homens. Embora essas aves transportem os genes da gripe nos intestinos, em geral o vírus não as faz adoecer. E como conseguem migrar milhares de quilômetros, aves saudáveis podem disseminar o vírus por todo o globo antes mesmo que o microrganismo entre em contato com a população humana.

A forma do vírus encontrada nas aves selvagens **não se reproduz bem nos seres humanos** e por isso primeiro tem de se mudar para um hospedeiro intermediário – em geral, aves domésticas ou suínos – que tomam água contaminada pelas fezes das aves aquáticas. Cavalos, baleias e focas, entre outros animais, são periodicamente infectados pelo vírus da

HIPERLINK

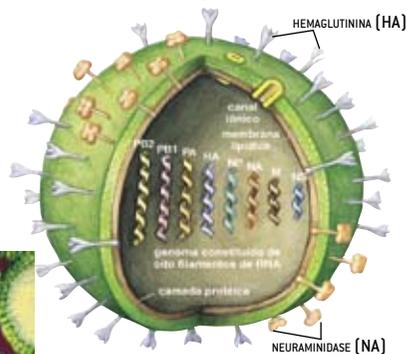
OS VÍRUS SE REPRODUZEM

Para se reproduzir, o vírus entra em uma célula viva, onde comanda o metabolismo celular e estimula a produção de suas próprias proteínas e de seu RNA. Esses pedaços então se reúnem em novos vírus que escapam da célula hospedeira, partindo para infectar novas células. Ao longo do processo, alguns desses RNAs sofrem mutações. E mais: se dois tipos diferentes de influenza infectam uma mesma célula, seus segmentos de RNA podem se misturar livremente, produzindo vírus que contêm uma combinação de genes dos dois vírus originais (recombinação gênica). Esse “reagrupamento” é um importante mecanismo de geração de novas ondas de gripe, de difícil detecção pelo sistema imunológico e prevenção por vacinas. (SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL, abril 2005)

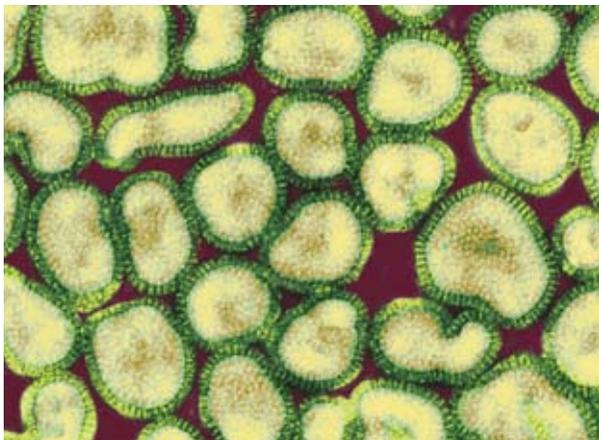
HIPERLINK

PATOGÊNICA

Capaz de causar doenças.



VÍRUS DA INFLUENZA DO TIPO A (à esquerda), responsável pela infecção humana. São partículas com diâmetro de aproximadamente um décimo de micrometro. O vírus é caracterizado por uma estrutura simples (acima): partícula envolta por cápsula proteica e recoberta por membrana lipídica, onde estão inseridas as proteínas de superfície (hemaglutinina, neuraminidase e canal iônico M2). A hemaglutinina é indispensável à penetração do vírus nas células humanas e a neuraminidase garante a propagação no organismo.



IDENTIFICAÇÃO DA INFLUENZA

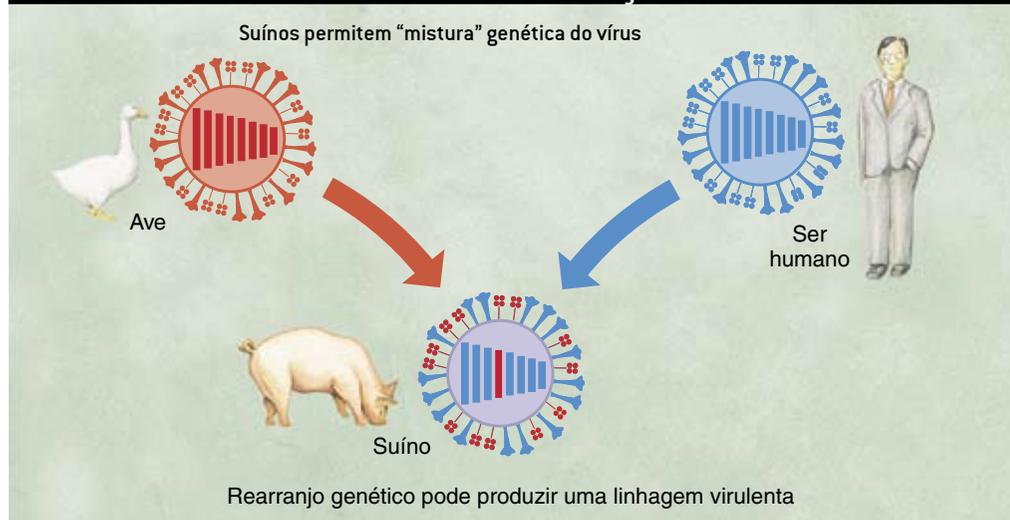
Diferentes vírus de influenza

A são identificados por dois tipos de proteínas em sua superfície. Uma é a hemaglutinina (HA), que tem pelo menos 15 variantes conhecidas. A outra é a neuraminidase (NA), que tem nove. A exposição a essas proteínas produz anticorpos distintos no hospedeiro. A onda de 1918 foi a primeira a ser nomeada H1N1, com base nos anticorpos encontrados no sangue dos sobreviventes da pandemia. A molécula de HA inicia a infecção quando se ata aos receptores na superfície de certas células hospedeiras, principalmente as de revestimento respiratório em mamíferos e de revestimento intestinal em aves. A proteína NA permite que novas cópias do vírus escapem da célula hospedeira para que possam infectar novas células. No entanto, periodicamente surgem vírus da gripe com subtipos HA novos para humanos.

INFORMAÇÃO GENÉTICA

Os ácidos nucleicos são responsáveis pela informação genética. Uma sequência de ácido nucleico que codifica uma proteína é denominada gene. Na maioria dos organismos é o DNA que contém essa informação. No entanto, em alguns vírus, essa função é desempenhada pelo RNA.

SUORTES PARA MUTAÇÃO VIRAL



gripe. Embora os hospedeiros intermediários possam adoecer e morrer da infecção, os suínos conseguem viver durante tempo suficiente para servir de “misturadores” para os genes das formas avícola, suína e humana do vírus da gripe. Isso se dá porque os suínos têm receptores tanto para os vírus avícolas quanto para os vírus humanos.

Os suínos provavelmente desempenharam um papel importante na história das doenças humanas. Esses animais parecem servir de laboratório vivo nos lugares em que os vírus avícolas e mamíferos da gripe têm condições de se unir e trocar seus genes (uma **recombinação de segmentos de RNA**), criando novas variedades do vírus da gripe.

A maior parte das pandemias origina-se na China, onde aves, porcos e pessoas vivem muito próximos uns dos outros. A “gripe avícola” de 1997, em Hong Kong, foi provocada por um vírus avícola de gripe que provavelmente passou a ser perigoso devido a uma recombinação de genes de gansos, codornas e marrecos. Muitas espécies de aves eram mantidas juntas nos mercados avícolas de Hong Kong, que era o ambiente ideal para a recombinação genética. Essa variedade matou

milhares de galinhas antes de atingir seres humanos. Dezoito pessoas foram infectadas – todas diretamente por galinhas, e não por contato com outras pessoas. O surto foi controlado antes de o vírus sofrer mutações para uma forma que poderia se propagar de uma pessoa para outra. Desde 1972 os cientistas sabem que o vírus da gripe origina-se nas aves aquáticas, mas a epidemia de 1997 foi o primeiro caso a documentar a transferência direta do vírus da gripe das aves para os humanos.

Os vírus da gripe são membros da família Orthomyxoviridae e fazem parte de algum gênero entre quatro: A, B, C e thogotovirus. O vírus de gripe tipo C não parece causar uma doença grave. O tipo B, isolado recentemente de focas na Holanda, provoca epidemias regionais nas populações humanas com frequência. O tipo A tem variedades avícolas e são esses os vírus que causam as pandemias humanas.

O vírus da gripe contém oito segmentos distintos de RNA que codificam genes de pelo menos 10 proteínas. Essa estrutura genética inusitada explica por que a recombinação ocorre com frequência. Se dois vírus diferentes infectarem a mesma célula, uma troca de segmentos de genes pode ser feita com facilidade, produzindo até 256 descendentes diversos.

A imprevisibilidade da gripe deriva de sua capacidade de alterar as proteínas de superfície HA e NA e, com isso, evitar a identificação por parte do sistema imunológico do hospedeiro. Quando uma pessoa é infectada com a gripe, o sistema imunológico produz anticorpos e reações mediadas pelas células contra todos os produtos

OS AUTORES

ROBERT G. WEBSTER é professor de virologia no St. Jude Children’s Research Hospital. Também dirige o único laboratório de estudo da influenza na interface animal-homem, o Collaborating Center on the Ecology of Influenza Viruses in Lower Animals and Birds, da Organização Mundial de Saúde (OMS). **ELIZABETH JANE WALKER** é editora de livros e revistas médicas e científicas no St. Jude Hospital.

do gene do vírus (**antígenos**). Se mais tarde a pessoa deparar com o mesmo vírus, seus anticorpos ligam-se a ele e impedem a infecção. Mas o vírus pode alterar os sítios antigênicos – pontos das moléculas HA e NA aos quais os anticorpos se ligam normalmente – pelo processo de mudança antigênica.

A cada 20 ou 30 anos mais ou menos, o vírus de gripe tipo B sofre uma permuta antigênica. Comparando a mudança antigênica a um tremor, a permuta antigênica seria um terremoto. A permuta antigênica gera uma alteração muito mais imediata e dramática numa **glicoproteína**, a HA. Durante o processo, os genes de outros subtipos de gripe podem substituir inteiramente as proteínas HA e NA por outras novas, as quais o hospedeiro nunca teve. Quando o sistema imunológico humano não consegue reconhecer um novo vírus, o resultado é uma pandemia.

A MUDANÇA

A gripe foi descrita pela primeira vez por Hipócrates em 412 a.C. e os vírus passaram os séculos seguintes sofrendo mudanças, realizando permutas e provocando devastações. A humanidade procura formas de eliminar a ameaça desde a primeira pandemia de que se tem notícia, em 1580. Embora a gripe espanhola tenha acontecido há quase um século, a patogenicidade extrema do vírus ainda não foi compreendida. Virologistas percorreram o mundo todo para obter amostras do vírus e tentar decifrar os segredos de sua periculosidade, chegando até a exumar vítimas dos gelos eternos do Alasca e da Noruega. Jeffery Taubengerger e seus colaboradores do Armed Forces Institute of Pathology estudaram corpos e fragmentos de amostras de pulmão que foram preservados em blocos de parafina desde 1918. Com análises sequenciais e **filogenéticas**



HOSPITAL MILITAR EM CAMP FUNSTON, no Kansas, Estados Unidos, repleto de soldados afetados pela influenza no final da Primeira Guerra Mundial

de fragmentos de RNA retirados de tecidos dos pulmões, chegaram à conclusão de que o vírus teve origem avícola, mas era parente muito próximo de uma variedade do vírus da gripe conhecido por infectar suínos. Estudos em curso sobre a sequência completa do **genoma** poderão revelar as razões da potência dessa variedade do vírus da gripe. Quando entenderem o **genoma do vírus** e o do hospedeiro, os cientistas terão dado mais um passo para descobrir quais vírus, provenientes de que regiões, irão atacar os seres humanos.

A natureza cambiante do vírus de gripe assegura-lhe a possibilidade de escapar da vigilância do sistema imunológico e lograr os mecanismos de defesa do corpo. Além disso, a vacina contra a gripe que protegeu os seres humanos contra infecções no ano passado pode ser ineficaz neste ano. Cientistas de mais de 100 laboratórios da OMS estão constantemente coletando e analisando os vírus de gripe que circulam pela população humana do mundo inteiro. Depois de isolar os vírus para análise antigênica e molecular, a OMS identifica anualmente duas variedades do tipo A e uma do tipo B que têm as maiores probabilidades de causar uma epidemia durante a estação seguinte. Em seguida, os fabricantes de vacina incorporam as três variedades numa composição de vacina que vai ser usada naquele ano. As vacinas contra a gripe resultantes desse processo protegem os indivíduos somente das variedades-alvo – mas não de vírus inesperados.

Em geral, os surtos de gripe são uma ameaça séria para os muito jovens, os idosos, os que têm imunodepressão ou doenças crônicas. Nos EUA, a vacinação é sugerida para pessoas que tenham no mínimo 50 anos ou que corram maior risco de infecções. O Canadá é um pouco mais progressista – em Ontário, as vacinas são gratuitas para todos os cidadãos com mais de 6 meses de idade. Durante uma pandemia de gripe, o índice de mortalidade sobe verticalmente. Atualmente existem vacinas para proteger as pessoas contra todas as bactérias que causam a pneumonia e outras doenças pneumocócicas.

COMO SE PREPARAR

Quando o vírus H1N1 percorreu o globo em 1918-1919, médicos assistiam impotentes enquanto seus pacientes sucumbiam rapidamente à pneumonia e outras complicações da gripe. Os doentes não tinham acesso a antibióticos, vacinas ou antivirais. Hoje vivemos num mundo em que as viagens aéreas são comuns. Um turista em Hong Kong pode espa-

CONCEITO

ANTÍGENO

Substância ou microrganismo estranho ao corpo que estimula a produção de anticorpos.

CONCEITO

GENOMA

Conjunto de moléculas de DNA (ou RNA, em alguns vírus) de uma espécie. Contém todos os genes e também sequências que não codificam informações genéticas.

CONCEITO

GENOMA DO VÍRUS

O genoma do H1N1 já foi decifrado pelo Laboratório Nacional de Microbiologia da Agência de Saúde Pública do Canadá, em 2009.

CONCEITO

GLICOPROTEÍNAS

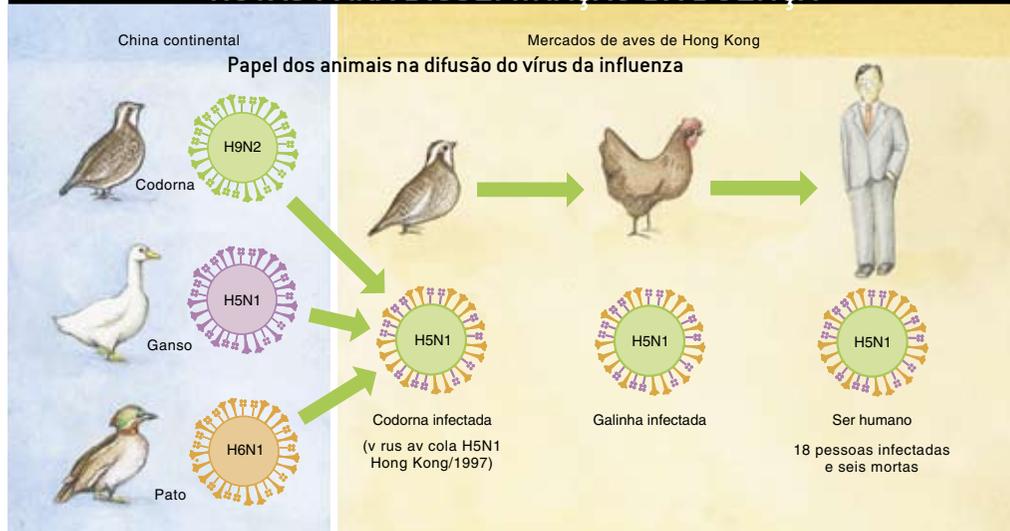
Compostos de proteínas simples combinadas com algum grupo de carboidrato.

CONCEITO

FILOGENÉTICA

Análise evolutiva da espécie, no caso em questão, da sequência de RNA da espécie. A partir de comparação de vírus antigos, como o da gripe espanhola, são construídas hipotéticas árvores genealógicas, estabelecendo-se graus de parentesco e frequências de mutações, o que pode ajudar no entendimento da doença e na busca de vacinas.

ROTAS PARA DISSEMINAÇÃO DA DOENÇA



lhar o vírus por toda a Terra em questão de horas. Quer uma pandemia surja em decorrência de forças naturais ou de bioterrorismo, atualmente o planeta está despreparado para impedir a matança.

Infelizmente, outra pandemia é inevitável. Historicamente, as pandemias varrem o globo várias vezes por século. Graças aos esforços da OMS, os cientistas estão pesquisando o vírus da gripe na interface animais- seres humanos. Esses estudos provavelmente evitaram uma catástrofe em 1997. Virologistas em milhares de laboratórios estão tentando prever os movimentos do vírus. Ao descobrirem, por exemplo, como uma mutação do vírus da “gripe avícola” ajudou-o a lograr as respostas **citocinéticas**, deram mais um passo para compreender os processos evolutivos da gripe e desenvolver drogas para combater os efeitos do vírus. Mas nem os métodos mais sofisticados e as descobertas mais recentes oferecem garantia de uma previsão correta da próxima pandemia.

A Ásia – e Hong Kong em particular – foi identificada como o epicentro das pandemias de gripe. Depois do surto de H5N1 em Hong Kong, em 2001, um novo regulamento entrou em vigor: todas as aves têm de ser removidas dos mercados num dia específico, todo mês, para minimizar as chances de reprodução dos vírus. Uma solução melhor para o problema seria substituir os mercados de aves vivas por mercados de carne congelada ou refrigerada. Mas os mercados de aves são parte integrante da economia de Hong Kong e de sua cultura, sendo improvável que sejam eliminados num futuro próximo.

Quando um vírus consegue escapar à vigilância dos guardiães da comunidade científica, pode viajar

pelo mundo em questão de horas. Menos de uma dúzia de indústrias no mundo inteiro produzem atualmente a vacina contra a gripe e, embora os surtos da doença dos dois últimos anos tenham sido relativamente amenos, essas empresas tiveram dificuldade de satisfazer as demandas pela vacina. As vacinas de subunidade levam meses para ser desenvolvidas.

Quase 500 mil pessoas morreram de gripe nos EUA entre 1918 e 1919. Em muitas cidades, as reuniões públicas foram proibidas, os mercados de gado foram fechados e houve falta de caixões. As tropas americanas involuntariamente participaram da guerra biológica ao levarem a “gripe espanhola” para os campos de batalha da Europa durante a Primeira Guerra Mundial. Quarenta por cento dos jovens norte-americanos saudáveis sucumbiram à gripe, e não às balas disparadas em combate. SA

PARA CONHECER MAIS

Influenza A virus lacking the NS1 gene replicates in interferon deficient systems. Garcia-Sastre, A. et al. *Virology*, 252:324-330. 1998.

Eight-plasmid system for rapid generation of influenza virus vaccines. Hoffmann, E., S. Krauss, D. Perez, R. Webby and R. G. Webster. *Vaccine*, 20:3165-3170. 2002.

Antibodies to human influenza virus neuraminidase (the A2/Asian/57 H2N2 strain) in sera from Australian pelagic birds. Laver, W. G., e R. G. Webster. *Bulletin of the World Health Organization*, 47:535-541. 1972.

Reverse genetics of influenza virus. Neumann, G. e Y. Kawaoka. *Virology*, 287:243-250. 2001.

Origin and evolution of the 1918 “Spanish” influenza virus hemagglutinin gene. Reid, A. H., T. G. Fanning, J. V. Hultin e J. K. Taubenberger. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96:1651-1656. 1999.

CONCEITO

CITOCINÉTICO

Processo de separação do citoplasma que se inicia após a divisão do núcleo celular, complementando a divisão celular.

LEITURA COMPLEMENTAR

Leia “À caça do vírus da gripe assassina”, em *SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL*, edição 35, abril 2005. Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/a_caca_do_virus_da_gripe_assassina_11.html

PARA O PROFESSOR

BIOLOGIA

Ciências da Natureza e suas tecnologias

▼ Conteúdos

- Antígeno e anticorpo
- Mutações gênicas
- Vírus

▼ Competências trabalhadas segundo a Matriz de Referência do Enem

- Compreender interações entre organismos e ambiente, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.
- Apropriar-se de conhecimentos de Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar interações científico-tecnológicas.

▼ Habilidades envolvidas

- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente e sexualidade, entre outros.
- Avaliar propostas de alcance individual ou coletivo, identificando aquelas que visam à preservação e implementação da saúde individual, coletiva ou do ambiente.

▼ Propostas pedagógicas

- **ANTES DA LEITURA**
É interessante iniciar a aula levantando o grau de conhecimento dos estudantes em relação à pandemia de gripe causada pelo vírus H1N1. Todos estão informados sobre o tema? Quais são as principais fontes de dados com que eles contam – família, meios de comunicação de massa, médicos? Eles sabem da existência de concepções espontâneas relacionadas à gripe (aspectos folclóricos, crendices, simpatias)? Há comportamentos de automedicação no grupo? Quais seriam os prejuízos causados pelas crenças populares ou automedicação em caso de doenças graves, como a causada pelo H1N1?
- **DURANTE A LEITURA**
Peça que todos leiam o título, o texto de abertura e a data da primeira publicação do material. O que esperam encontrar? Como um artigo escrito há seis anos pode parecer ter sido escrito para o atual contexto de pandemia da gripe H1N1? Proponha que os estudantes identifiquem as palavras desconhecidas e os conceitos não compreendidos. Oriente-os a procurar as definições em dicionários, glossários e índices remissivos do livro didático de biologia ou em outras fontes de consulta de sua confiança.
- **APÓS A LEITURA**
Leve a turma a sintetizar as idéias principais do texto. Sugira que levantem eventuais informações não compreendidas e liste-as na lousa. Organize uma discussão sobre as principais dúvidas remanescentes, estimulando os alunos que dominem essas noções a explicá-las aos demais colegas. Complemente as informações com conceitos programados em seu curso e relacionados ao artigo. Estimule os estudantes a propor soluções para o problema da gripe H1N1, desde o combate ao vírus até a implementação de barreiras que evitem a contaminação em massa da população.

PARA O PROFESSOR

▼ Atividade prática

- Quem está com o vírus? *
Lembre que muitas doenças virais podem se disseminar rapidamente por meio do contato com uma pessoa infectada – é o caso do H1N1 e também da catapora e do sarampo, que se transformam em problemas de saúde pública.

Prever o comportamento da disseminação dessas doenças pode ser a diferença entre um pequeno surto ou uma pandemia. Alguns modelos de análise de risco podem ser utilizados para prever a disseminação de certas doenças. Esses modelos são usados para traçar planos de ação de contenção e prevenção.

A atividade a seguir dará aos alunos uma idéia de como uma doença contagiosa pode se espalhar e fornecerá subsídios para que eles criem um plano de ação de contenção de uma epidemia.

MATERIAL NECESSÁRIO

- Um pedaço de papel de aproximadamente 2 x 2 centímetros por aluno
- Lápis ou caneta
- Uma caixa de papelão
- Lousa e giz
- Uma planilha (conforme o modelo abaixo) por aluno

PROCEDIMENTOS

1. Cada estudante deve escrever o próprio nome no pedaço de papel, dobrando-o e colocando-o na caixa de papelão.
2. Você, professor, vai então retirar um nome da caixa. O nome sorteado representará uma pessoa infectada pelo vírus (esse indivíduo só será conhecido no final da atividade).
3. Na primeira rodada, cada aluno anda pela sala e escolhe ao acaso dois colegas, tocando no braço deles. Em seguida, registra o nome dos dois na planilha abaixo.

RODADA	NOMES DOS COLEGAS TOCADOS POR VOCÊ	
1		
2		
3		

* Atividade adaptada de *Who's the Source of the Infection?*, publicada originalmente no Discovery Channel School's Curriculum Center

4. Na segunda rodada, repete o procedimento anterior (toca em dois colegas e registra seus nomes na planilha).
5. Para terminar, na última rodada, o aluno toca em mais dois colegas e registra seus nomes na planilha.
6. Quando todos concluírem a última rodada, você revelará o nome da pessoa infectada.
7. Cada um deve conferir se o nome do colega “infectado” está em sua lista. Em caso afirmativo, o aluno teve “contato direto” com a pessoa infectada. Esses estudantes levantarão a mão para que o professor possa registrar seus nomes na lousa.
8. Mais uma vez, todos vão conferir, nas respectivas planilhas, se algum dos nomes presentes na lousa está em sua lista. Em caso afirmativo, esses alunos tiveram “contato indireto” com o colega “infectado”.
9. Você escreverá na lousa uma nova listagem com os nomes das pessoas que tiveram contato indireto.
10. No final do processo os alunos responderão às questões propostas a seguir.

HIPÓCRATES, o pai da medicina, descreveu a gripe pela primeira vez na história em 412 a.C.



REPRODUÇÃO [Hippocrates]; HELDER ALMEIDA / Shutterstock [imagem acima]



▼ Questões

1. Quantas pessoas tiveram contato direto com a pessoa infectada? E indireto?
2. Alguém não teve contato (direto ou indireto) com a pessoa infectada? Em caso de resposta positiva, quais seriam as probabilidades de isso voltar a ocorrer se houvesse uma quarta rodada no jogo? Por quê?
3. Usando nomes, linhas e setas para indicar o caminho da infecção, os alunos devem criar um modelo que revele como a doença se espalhou pela classe.
4. Com base no modelo construído individualmente pelos estudantes, eles determinarão a velocidade de disseminação do vírus. Depois, vão criar um plano que indique como poderiam ter reduzido ou prevenido a epidemia se soubessem o nome da pessoa infectada. Como seria esse plano se todos soubessem que se trata do vírus H1N1?
5. Convide a turma a pesquisar na internet como ocorreu a disseminação da atual pandemia de H1N1. Se cada aluno fosse um epidemiologista (médico que estuda as epidemias), como agiria para evitar a disseminação da atual pandemia?

O VOTO JUSTO

Por **Partha Dasgupta e Eric Maskin**

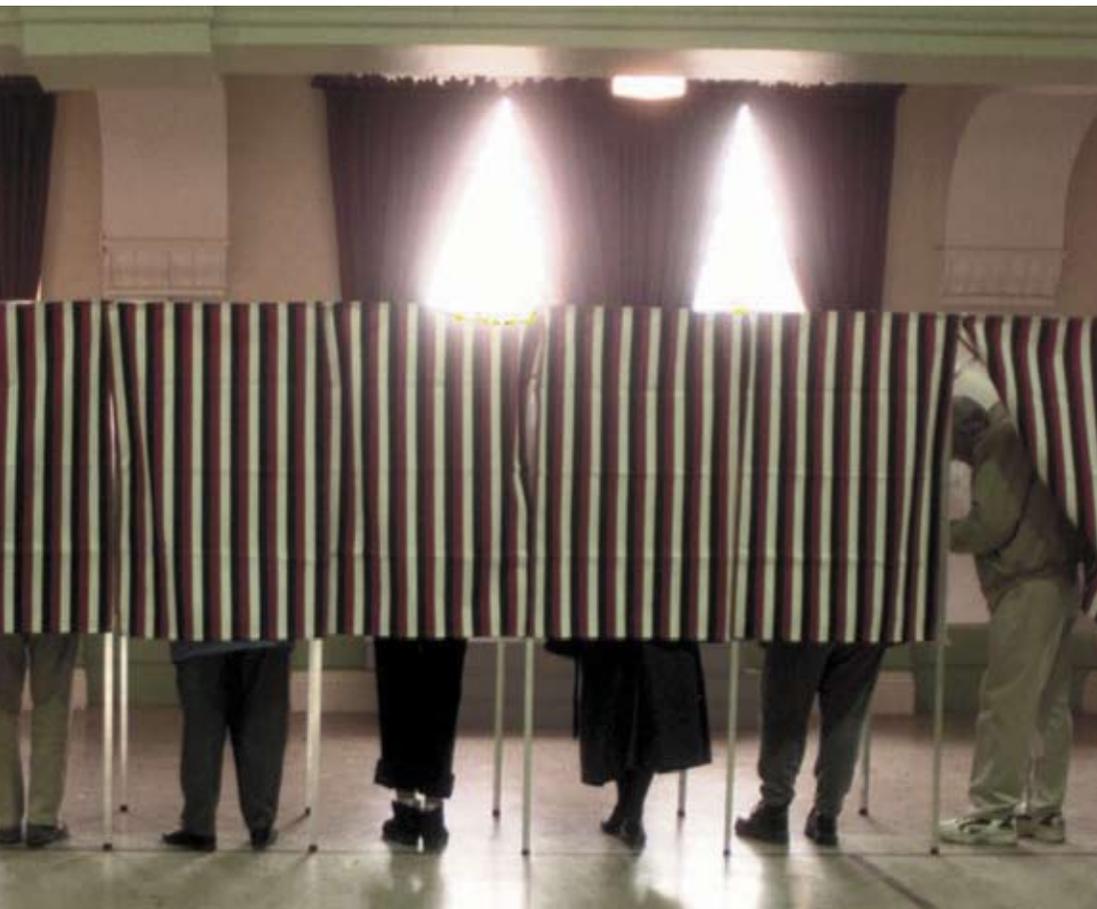
Todos os sistemas eleitorais têm suas desvantagens. Mas há um sistema que, levando em conta o ranking dos candidatos, permite um retrato mais fiel das opções do eleitorado



A

maior parte dos cidadãos americanos e franceses e, de fato, dos cidadãos de todas as democracias do mundo, dá pouca atenção aos seus sistemas eleitorais. O tema é, em geral, deixado aos políticos e analistas eleitorais. Mas, há alguns anos, amplos segmentos da população desses dois países ficaram perplexos. Na França, as pessoas se perguntaram como um candidato que não pertencia às principais correntes políticas pôde chegar ao segundo turno da eleição presidencial de 2002. Nos Estados Unidos, muitos eleitores indagaram por que o candidato mais popular perdeu a eleição de 2000. Deixaremos aos analistas políticos as discussões a respeito dos cartões perfurados, da contagem dos votos, do colégio eleitoral e da Suprema Corte americana. Baseados em pesquisas nossas e de colegas, trataremos de uma questão mais fundamental: que tipo de sistema, seja para eleger líderes nacionais, seja para escolher presidentes de grêmios estudantis, melhor expressa os desejos do eleitorado? Argumentaremos que há um sistema que é, neste sentido, o melhor: um sistema que seria prático e simples de implementar nos Estados Unidos, na França e em vários outros países.

CARO LEITOR,
Este artigo analisa o sistema eleitoral que está sendo utilizado para melhor expressar os desejos do eleitorado, tomando como base as eleições de 2000, nos Estados Unidos, e de 2002, na França. Alguns conhecimentos matemáticos estão aqui envolvidos: amostras, média, desvio padrão, distribuição normal, gráficos e tabelas, porcentagem, arredondamento, estimativa e probabilidade. O estudo de sistemas de votação é um ramo da ciência política, econômica e matemática que se iniciou no século 18 e tem desenvolvido diferentes propostas de sistemas de votação.



TOBY TALBOT/AP PHOTO; PHOTOILLUSTRATION BY JOHNNY JOHNSON

CONCEITO

SISTEMA ELEITORAL

Designado pelo modo, pelos instrumentos e mecanismos usados nos países democráticos para escolher seus representantes de governo.

HIPERLINK

NOVE CANDIDATOS

A quantidade de candidatos interferiu drasticamente no resultado. As porcentagens referentes aos candidatos mais votados ficaram bem abaixo das expectativas.

HIPERLINK

MAIORIA

Num sistema majoritário, obter maioria eleitoral significa receber mais de 50% dos votos válidos. Para presidente da República, exige-se maioria absoluta dos votos. Caso isso não ocorra no primeiro turno, realiza-se o segundo entre os dois candidatos mais votados.

HIPERLINK

TERCEIRO LUGAR

Considerando o porcentual dos outros candidatos e as pesquisas de intenção de voto, existia a probabilidade de mudança no resultado em relação a Jospin, caso ele fosse ao segundo turno.

A teoria das probabilidades permite descrever fenômenos aleatórios, em que há incerteza. Para efeito de análise, o texto utiliza uma amostra reduzida de candidatos. A árvore de possibilidades facilita a visualização dessa análise.

Na maioria dos **sistemas eleitorais** presidenciais, o eleitor limita-se a escolher o seu candidato favorito, sem classificar todos os candidatos em um ranking. Se a disputa envolver apenas dois candidatos, a limitação não importa. Mas, quando há três ou mais candidatos, pode fazer muita diferença.

A eleição presidencial francesa de 2002 é um bom exemplo. No primeiro turno, havia **noves candidatos**, entre os quais o eleitor podia escolher um. Os mais destacados eram o presidente Jacques Chirac, o líder socialista Lionel Jospin e o candidato da Frente Nacional, Jean-Marie Le Pen. As regras estipulavam que, **se nenhum candidato obtivesse maioria**, os dois mais votados se enfrentariam em um segundo turno. Chirac ficou em primeiro lugar (com 19,9% dos votos). A surpresa, entretanto, foi o segundo lugar, obtido por Le Pen, da extrema-direita, que conseguiu 16,9% dos votos. Jospin, favorito, ao lado de Chirac para chegar ao segundo turno, terminou em terceiro, com 16,2% dos votos. No segundo turno, Chirac derrotou Le Pen com facilidade.

Apesar do **terceiro lugar** obtido por Jospin, a evidência disponível sugere que em uma disputa com Le Pen ele ganharia facilmente. É até mesmo plausível supor que Jospin teria derrotado Chirac caso tivesse chegado ao segundo turno. Entretanto, como os eleitores votam apenas no seu candidato favorito, o sistema eleitoral francês não pôde levar em conta esta importante informação. Além disso, este sistema permite que candidatos extremistas como Le Pen, que não têm chance real de vitória, exerçam considerável influência no resultado.

A eleição presidencial de 2000 nos Estados Unidos apresentou falhas similares. Para evitar complexidades excessivas, vamos considerar somente os quatro candidatos principais e pressupor que não há diferença entre o voto popular e o voto do colégio eleitoral. Vamos supor também que há apenas quatro tipos de eleitores: os que preferem Ralph Nader a Al Gore, Gore a George W. Bush e Bush a Pat Buchanan (os eleitores "Nader"); os que têm a ordem de preferência Gore, Bush, Nader, Buchanan (os eleitores "Gore"); os que têm a ordem de preferência Bush, Buchanan, Gore, Nader (os eleitores "Bush"); e, finalmente, os que optam pela ordem Buchanan, Bush, Gore, Nader (os eleitores "Buchanan").

Para sermos mais específicos, suponhamos que 2% do eleitorado seja constituído por eleitores Nader, 49% por eleitores Gore, 48% por eleitores Bush e 1% por eleitores Buchanan. Se cada um dos eleitores escolher um candidato, Gore receberá 49%

VOTO PREFERENCIAL

EXEMPLOS DE SITUAÇÕES

NESTE SISTEMA ELEITORAL, os candidatos são dispostos em um ranking e seus pontos correspondentes são registrados. Ainda que um candidato seja o vencedor de acordo com o verdadeiro sistema majoritário, ele não é, necessariamente, o vencedor de acordo com o sistema de voto preferencial. Uma ligeira mudança no ranking, como a que se dá com os eleitores de Bush na situação B, pode fazer uma enorme diferença. Neste caso, o vencedor seria Gore.

Situação A



Ranking do candidato	Pontos atribuídos	Total de votos (em milhões)
Eleitores de Gore – 49% (de 100 milhões de votos)		
Gore	4	4 x 49 = 196
Bush	3	3 x 49 = 147
Nader	2	2 x 49 = 98
Buchanan	1	1 x 49 = 49
Eleitores de Nader – 2%		
Nader	4	4 x 2 = 8
Gore	3	3 x 2 = 6
Bush	2	2 x 2 = 4
Buchanan	1	1 x 2 = 2
Eleitores de Bush – 48%		
Bush	4	4 x 48 = 192
Buchanan	3	3 x 48 = 144
Gore	2	2 x 48 = 96
Nader	1	1 x 48 = 48
Eleitores de Buchanan – 1%		
Buchanan	4	4 x 1 = 4
Bush	3	3 x 1 = 3
Gore	2	2 x 1 = 2
Nader	1	1 x 1 = 1
		Total de Gore: 300
		Total de Bush: 346

Situação B



Eleitores de Bush – 48%		
Bush	4	4 x 48 = 192
Gore	3	3 x 48 = 144
Buchanan	2	2 x 48 = 96
Nader	1	1 x 48 = 48
		Total de Gore: 348
		Total de Bush: 346

SLIM FILMS

OS AUTORES

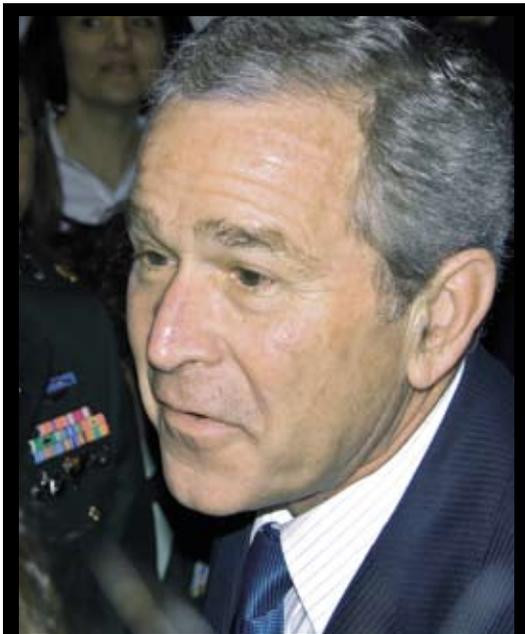
PARTHA DASGUPTA e **ERIC MASKIN** colaboram frequentemente em trabalhos teóricos e de pesquisa relacionados a eleições. Dasgupta é professor de economia na University of Cambridge e ex-presidente da Royal Economic Society. Maskin é professor de ciências sociais no Institute for Advanced Study em Princeton, N.J., e ex-presidente da Econometric Society.

dos votos e Bush 48% (as porcentagens reais foram, respectivamente, de 48,4% e 47,9%). Como nenhum candidato obteve maioria, isto é, mais de 50%, como determinar o vencedor? Gore obteve mais votos que cada um dos outros tomados em separado e, assim, talvez ele devesse vencer.

Por outro lado, a Constituição dos Estados Unidos estipula que, na falta de maioria eleitoral, a Câmara dos Representantes deve determinar o vencedor. Com **maioria republicana em 2000**,

a Câmara escolheria, supostamente, Bush. Claramente, o fato de os eleitores assinalarem apenas seu candidato favorito não leva a um resultado que seja obviamente legítimo.

Como na eleição francesa, esta ambiguidade pode ser solucionada se os eleitores apresentarem um ranking completo dos candidatos. Ainda que Gore seja o favorito de somente 49% do eleitorado, os rankings mostram que uma maioria de 51% – os eleitores de Gore e Nader somados – prefere Gore a Bush ou a Buchanan. Assim, Gore é o vencedor de acordo com um sistema eleitoral



COM MAIORIA REPUBLICANA EM 2000, A CÂMARA DOS REPRESENTANTES DOS ESTADOS UNIDOS ESCOLHERIA, SUPOSTAMENTE, GEORGE W. BUSH

chamado de **verdadeiro sistema majoritário** (ou sistema majoritário simples), em que os eleitores apresentam rankings de todos os candidatos e o vencedor é aquele que derrota cada oponente em uma disputa um a um baseada nesses rankings.

Os rankings também podem ser usados em outros sistemas eleitorais. Considere, por exemplo, o **sistema de voto preferencial** – procedimento frequentemente usado para eleger diretores de comitês – proposto para resolver os problemas inerentes aos sistemas eleitorais presidenciais americano e francês. Se quatro candidatos concorrem, cada eleitor assinala quatro pontos para seu candidato favorito, três para o próximo candidato favorito, dois para o seguinte e um para o candidato menos preferido. O vencedor será o candidato que obtiver

mais pontos. O método parece ter sido inventado por Jean-Charles Borda, engenheiro francês do século 18, e é às vezes chamado de método Borda.

Imagine que 100 milhões de pessoas votem na eleição americana. Conforme nossas suposições anteriores, 49 milhões de eleitores teriam apontado Gore como o seu candidato preferido. Assim, Gore ganhará, dos eleitores Gore, 196 milhões de pontos, isto é, 49 milhões vezes 4 pontos. Os eleitores Nader colocaram Gore em segundo lugar na sua

ordem de preferência, concedendo-lhe assim 6 milhões de pontos. Finalmente, os eleitores Bush e Buchanan colocam Gore em terceiro, o que perfaz 98 milhões de pontos. O total de Gore será de 300 milhões de pontos. Se fizermos os cálculos correspondentes para os outros candidatos, obteremos 155 milhões de pontos para Nader e 199 para Buchanan. De forma surpreendente, Bush obtém 346 milhões, ainda que a maioria do eleitorado prefira Gore (ver situação A no quadro da pág. ao lado). Somente 2% do eleitorado coloca Bush

abaixo do segundo lugar na ordem de preferência, dado suficiente para elegê-lo em um sistema de voto preferencial.

Assim, o verdadeiro sistema majoritário e o sistema de voto preferencial levam a resultados dramaticamente diferentes. Considerando este acentuado contraste pode parecer difícil decidir qual método capta melhor a essência da preferência do eleitorado. É isto que nos propomos fazer aqui.

Podemos avaliar estes dois sistemas – e qualquer outro – de acordo com alguns princípios fundamentais que todo sistema eleitoral deve satisfazer. Kenneth J. Arrow, da Stanford University, inaugurou esta **abordagem axiomática da teoria eleitoral** em uma monografia de 1951, obra que influenciou profundamente a literatura acerca do voto.

A maioria dos analistas concorda que qualquer

HIPERLINK

MAIORIA REPUBLICANA

Bush era o candidato republicano. A Câmara de Representantes era composta, em sua maioria, por parlamentares do mesmo partido. Logo, a probabilidade era de que Bush fosse eleito.

CONCEITO

SISTEMA MAJORITÁRIO

Apresentação de rankings de preferência dos eleitores em relação aos candidatos. O ranking é analisado e a disputa passa a ser um a um.

CONCEITO

VOTO PREFERENCIAL

Os eleitores são solicitados a classificar todos os candidatos em ordem decrescente de pontos. Aqueles que obtiverem menor pontuação são eliminados. Esse sistema valoriza a opinião de cada eleitor sobre todos os candidatos.

CONCEITO

ABORDAGEM AXIOMÁTICA

Fundamentada em princípios que todo sistema eleitoral deve satisfazer. Aqui são considerados quatro axiomas (ou princípios). Axioma é uma sentença ou proposição não provada ou demonstrada, mas tida como óbvia ou como um consenso inicial necessário para a construção ou a aceitação de uma teoria. Por isso é aceito como verdade.

CONCEITO

PRINCÍPIO DO CONSENSO

Primeiro axioma: princípio do consenso ou de Pareto – se A é melhor do que B, então B não será eleito.

CONCEITO

PRINCÍPIO DO ANONIMATO

Segundo axioma: princípio do anonimato – igualdade de tratamento.

CONCEITO

AXIOMA DA NEUTRALIDADE

Envolve dois componentes:

- 1) Simetria – as regras eleitorais não devem favorecer um candidato em relação a outro.
- 2) A escolha entre dois candidatos não deve depender da visão que eles têm sobre um terceiro.

HIPERTEXTO

SISTEMA PECULIAR

Observe que, mudando a possibilidade do ranking dos eleitores Bush, a probabilidade de alteração no resultado do verdadeiro sistema majoritário é insignificante no contexto geral, o que não ocorre sob o sistema de voto preferencial.

CONCEITO

INSTANT-RUNOFF VOTING (IRV)

Semelhante ao voto preferencial. Na análise dos rankings, eliminam-se os candidatos de posições inferiores e os dados são redistribuídos entre os candidatos imediatamente acima até que surja um vencedor.

bom método eleitoral deve satisfazer vários axiomas. Um deles é o **princípio do consenso**, também chamado de princípio de Pareto (referência ao sociólogo italiano Vilfredo Pareto). O princípio afirma que se todos concordarem que o candidato A é melhor que B, então B não será eleito. Entretanto, este axioma não ajuda a discriminar entre o verdadeiro sistema majoritário e o voto preferencial, já que é satisfeito pelo dois sistemas, isto é, em ambos B perderá. Além disso, frequentemente o princípio não se aplica: em nossa eleição americana, por exemplo, não há nenhuma preferência unânime em favor de um candidato.

Outro axioma importante afirma que todos os eleitores devem ser considerados iguais: trata-se do princípio “uma pessoa, um voto” ou princípio de igualdade de tratamento. Os teóricos denominam esse axioma de **princípio do anonimato**: a influência de uma pessoa na eleição não deve ser determinada por quem ela é. O verdadeiro sistema majoritário e o voto preferencial satisfazem, ambos, este princípio.

Há um terceiro critério, porém, que diferencia os dois sistemas. O **axioma da neutralidade**, como é chamado, tem dois componentes. O primeiro é o da simetria, segundo o qual as regras eleitorais não devem favorecer um candidato em relação a outro. O segundo componente estipula que a escolha dos eleitores entre dois candidatos A e B não deve depender da visão que eles têm sobre um terceiro candidato. O que aconteceria em nosso exemplo americano se o ranking dos eleitores Bush mudasse para Bush, Gore, Buchanan, Nader (em vez de Bush, Buchanan, Gore, Nader)? Do ponto de vista do verdadeiro sistema majoritário, nada de importante seria alterado: a maioria ainda prefere Gore a Bush. Mas observemos o que ocorre sob o sistema de voto preferencial: Gore recebe agora 348 milhões de pontos, enquanto o total de Bush permanece 346 milhões (*ver situação B no quadro da pág. 54*). Gore, e não Bush, é agora o vencedor.

Obviamente, o sistema de voto preferencial pode violar o axioma da neutralidade. A preferência dos eleitores entre Gore e Buchanan, candidato sem chance de ser eleito, determina a escolha entre Bush e Gore e, assim, o resultado da eleição. O verdadeiro sistema majoritário, em contraste, sempre satisfaz a neutralidade. Esta última afirmação pode desconcertar os eleitores que lembram da discussão, durante a eleição real, acerca da possibilidade de os votos em Nader alterarem a disputa entre Bush e Gore. De fato, em retrospecto, parece que Nader – graças ainda ao infame problema da contagem dos votos na Flórida, e talvez, aos eleitores de Buchanan – pode ter tirado

ELEIÇÃO FRANCESA

ANO DE 2002

RANKING DO CANDIDATO PORCENTAGEM DE ELEITORES QUE ESCOLHEU ESTE RANKING

Jospin -----30%
Chirac
Le Pen



Jospin

Chirac -----36%
Jospin
Le Pen



Chirac

Le Pen -----34%
Jospin
Chirac



Le Pen

PORCENTAGENS DAS PREFERÊNCIAS DOS ELEITORES:

Preferem Jospin a Chirac -----	64%
Preferem Jospin a Le Pen -----	66%
Preferem Chirac a Jospin -----	36%
Preferem Chirac a Le Pen -----	66%
Preferem Le Pen a Chirac -----	34%
Preferem Le Pen a Jospin -----	34%

votos suficientes de Gore para pender o resultado da eleição em favor de Bush. Mas isto só foi possível porque o sistema eleitoral nos Estados Unidos não segue o verdadeiro sistema majoritário, mas o seu **próprio sistema peculiar**.

SISTEMA MAJORITÁRIO E ELEIÇÃO FRANCESA

CONSIDEREMOS AGORA O QUE ACONTECERIA na eleição francesa de 2002 sob o verdadeiro sistema majoritário – que, para simplificar, chamaremos apenas de sistema majoritário. Suponha que Chirac, Jospin e Le Pen sejam os únicos candidatos e que o eleitorado se divida em três grupos. No primeiro grupo, com 30% dos eleitores, o ranking é Jospin, Chirac, Le Pen. No segundo, composto por 36% do eleitorado, o ranking é Chirac, Jospin, Le Pen. No grupo restante, 34% do eleitorado, temos Le Pen, Jospin, Chirac. Chirac e Le Pen – respectivamente 36% e 34% dos votos – iriam para um segundo turno que seria facilmente vencido por Chirac, já que 66% do eleitorado o prefere a Le Pen.

O mesmo resultado seria obtido mediante outro sistema, chamado de **instant-runoff voting (IRV)** e empregado na Irlanda e na Austrália. Esse sistema foi defendido, assim como o voto preferencial, como uma alternativa aos sistemas francês e americano. Conforme o IRV, os rankings são usados pelos funcionários eleitorais para eliminar sucessivamente os candidatos que ocupam as posições inferiores no

JACK GUEZ/AP/CORBIS(Jospin); DANIEL JANIN/AP/CORBIS (Chirac); FRANÇOIS GUILLOT/REUTERS NEWMEDIA/CORBIS (Le Pen)

ranking (e para incorporar suas porcentagens nas escolhas dos candidatos que estão imediatamente acima) até que restem apenas dois candidatos.

Mas o sistema francês e o IRV entram em conflito com o sistema majoritário. Se examinarmos os rankings dos eleitores, perceberemos que Jospin detém de fato uma enorme maioria: 64% do eleitorado prefere-o a Chirac e 66% prefere-o a Le Pen. O sistema majoritário estipula que Jospin deve vencer por ampla maioria (ver ilustração da pág. ao lado).

Com o sistema majoritário, um eleitor pode se manifestar politicamente sem prejudicar as chances de qualquer candidato elegível. Alguém que preferisse Jospin a Chirac e soubesse que Le Pen não tem chance de vencer, mas que quisesse, em sinal de protesto, colocar Le Pen em primeiro no ranking, poderia fazê-lo sem receio de com isto excluir Jospin da disputa (exceto, é claro, no caso, altamente improvável, em que a maioria dos outros eleitores fizesse o mesmo). O mesmo poderia ser dito do eleitor que preferisse Gore a Bush, mas que desejasse dar apoio simbólico a Nader.

Apesar dessas virtudes, o sistema majoritário tem uma falha. Ele pode violar outro princípio do voto amplamente aceito, o da **transitividade**. A transitividade exige que se o candidato A é preferido em relação a B e B é preferido em relação a C, então A é preferido em relação a C. Deixemos Buchanan de lado e suponhamos que 35% do eleitorado escolha o ranking Gore, Bush, Nader, 33% prefira Bush a Nader e este a Gore e que 32% opte pelo ranking Nader, Gore, Bush. Assim, 67% dos eleitores colocam Gore acima de Bush, 68% colocam Bush acima de Nader e 65% colocam Nader acima de Gore. Em outras palavras, qualquer que seja o candidato escolhido, pelo menos 65% dos eleitores preferem algum outro candidato! Neste caso, o **sistema majoritário não determina um vencedor**.

Esta possibilidade, chamada de paradoxo de Condorcet, foi identificada no século 18 por Marie-Jean-Antoine-Nicholas de Caritat, o marquês de Condorcet, colega e crítico de Borda. Os três rankings – Gore/Bush/Nader, Bush/Nader/Gore e Gore/Bush/Nader – são, juntos, chamados de ciclo de Condorcet.

Nossa comparação do sistema majoritário com o voto preferencial parece ter resultado em empate: o sistema majoritário satisfaz todos os princípios de nossa lista, exceto o da transitividade, e o voto preferencial satisfaz todos, menos o da neutralidade. Isto nos leva a perguntar se há algum outro sistema eleitoral capaz de satisfazer todos os princípios. O célebre **teorema da impossibilidade**, formulado por Arrow, diz que não. Segundo esse teorema, qualquer sistema eleitoral viola pelo menos um princípio.

O teorema de Arrow é, porém, excessivamente negativo. Ele sustenta que um sistema eleitoral deve satisfazer um determinado axioma, quaisquer que sejam os rankings dos eleitores.

PARA ALÉM DA IMPOSSIBILIDADE

O teorema de Arrow é, porém, excessivamente negativo. Ele sustenta que um sistema eleitoral deve satisfazer um determinado axioma, quaisquer que sejam os rankings dos eleitores.

Mas alguns rankings são muito improváveis. Em particular, o paradoxo de Condorcet – o fantasma do sistema majoritário – pode não ser, na prática, um problema sério. Os rankings dos eleitores, afinal, não provêm do nada, mas, muitas vezes, da ideologia.

Para perceber as consequências que a ideologia acarreta para o sistema majoritário, pensemos na posição que cada candidato ocupa em um espectro político que vai da esquerda até a direita. Indo da esquerda para a direita, podemos presumir que os candidatos da eleição de 2000 estão dispostos na seguinte ordem: Nader, Gore, Bush, Buchanan. Se a ideologia orienta o voto dos eleitores, então qualquer eleitor que prefira Nader a Gore provavelmente preferirá Gore a Bush e Bush a Buchanan. Da mesma forma,



QUANDO HÁ MAIS DE DOIS CANDIDATOS PARA ESCOLHER, OS ELEITORES DEVERIAM APRESENTAR UM RANKING DE TODOS ELES

CONCEITO

TEOREMA DA IMPOSSIBILIDADE

Fato matemático verdadeiro que pode ser demonstrado a partir de outros teoremas ou de axiomas; pode ser provado por meio de um processo lógico.

CONCEITO

PRINCÍPIO DA TRANSITIVIDADE

Quarto axioma: princípio da transitividade – segue o modelo $A > B$ e $B > C$, então $A > C$.

HIPERLINK

VENCEDOR

Considerando essas porcentagens e analisando as possibilidades de rankings, todos os candidatos obtiveram maioria eleitoral – o que invalida o resultado. As discussões realizadas até aqui apontam que nenhum sistema eleitoral satisfaz totalmente os quatro axiomas.

CONCEITO
POSTULADO
 O mesmo que axioma.

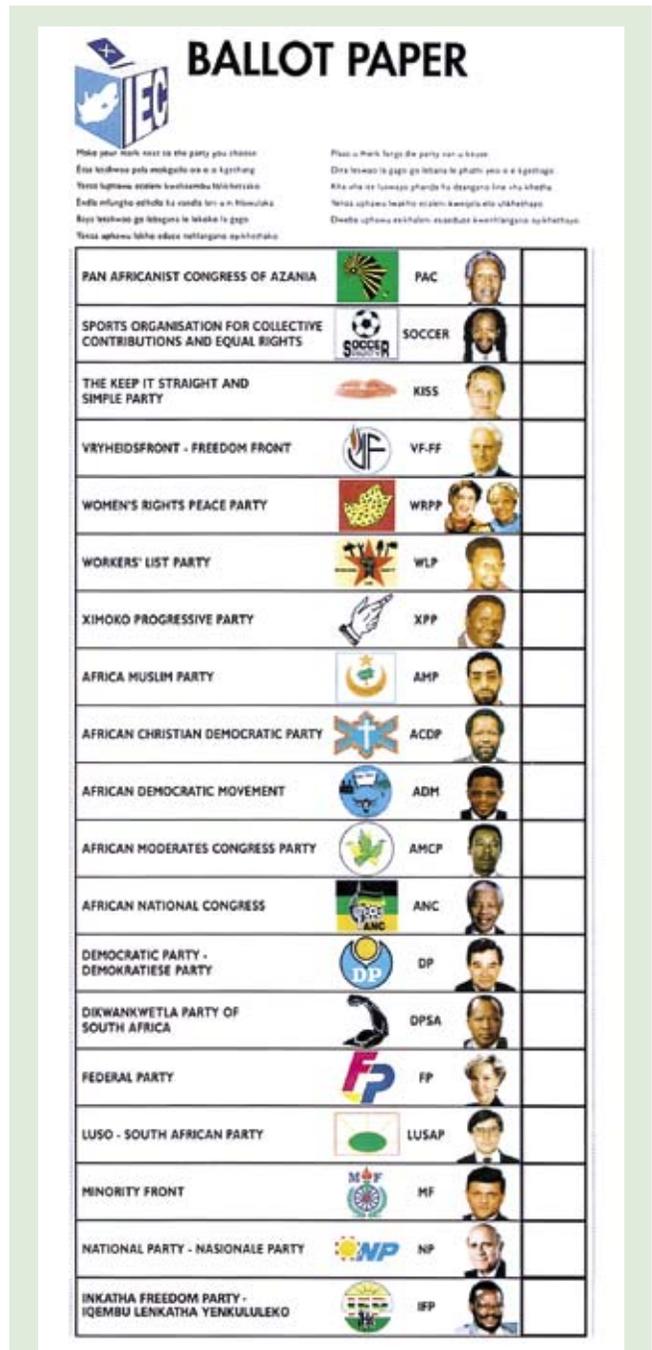
podemos prever que qualquer eleitor que prefira Bush a Gore preferirá Gore a Nader. Não é de esperar um eleitor que escolha o ranking Bush, Nader, Gore, Buchanan.

Em artigo pioneiro publicado na década de 40, o falecido Duncan Black, da University College of North Wales, mostrou que se o voto dos eleitores é ideologicamente orientado da maneira acima referida — ou, pelo menos, se não há muitos eleitores não ideológicos —, então o sistema majoritário satisfará o princípio da transitividade. Esta descoberta gerou muitas pesquisas na ciência política, já que, **postulando** a escolha de um ranking ideológico por parte dos eleitores, os cientistas puderam evitar o paradoxo de Condorcet e fazer previsões claras sobre o resultado do sistema majoritário.

Obviamente, nem sempre os eleitores se encaixam neste espectro simples esquerda-direita. Mas outras situações também asseguram a transitividade. Para outro exemplo, consideremos novamente a eleição francesa. Embora Chirac e Jospin liderassem os dois principais partidos, parece acertado dizer que não inspiravam muitas paixões. Era o candidato extremista, Le Pen, quem suscitava a repugnância ou o entusiasmo das pessoas: a evidência sugere que uma ampla maioria de eleitores colocava-o em primeiro ou em último no ranking dos três candidatos principais; poucos escolhiam Le Pen em segundo lugar. Pode-se discutir se esta polarização é boa ou não para a França. Mas ela é sem dúvida boa para o sistema majoritário. Se há, entre os eleitores, o consenso de que um dos três candidatos não é preferido em segundo lugar, então a transitividade está assegurada. Esta propriedade, chamada de restrição valorativa, foi apresentada em 1966 por Amartya Sen, da Harvard University.

Em nossas pesquisas sobre a votação, dizemos que um sistema eleitoral funciona bem para uma classe particular de rankings se satisfaz os quatro axiomas quando os rankings de todos os eleitores pertencem

àquela classe. Por exemplo, o sistema majoritário funciona bem quando todos os rankings são ideologicamente orientados. O sistema majoritário também funciona bem quando todos os rankings obedecem a uma “restrição valorativa”. De fato, descobrimos que sempre que um sistema eleitoral funciona bem o sistema majoritário também o faz. Além disso, o sistema majoritário é adequado em casos em que os



CÉDULA ELEITORAL da primeira eleição livre da África do Sul, em 1994. 62% do eleitorado escolheu Nelson Mandela e o Partido do Congresso Nacional Africano



outros sistemas eleitorais não funcionam bem. Este é o teorema do predomínio do sistema majoritário.

Para ilustrar, imaginemos agora uma disputa entre Gore, Bush e Nader. Suponhamos que todos os eleitores dispõem os candidatos ou na ordem de preferência Gore, Bush, Nader ou na ordem Bush, Gore, Nader. Quando os rankings dos eleitores pertencem a esta classe de dois elementos, o voto preferencial satisfaz o seu ponto fraco: o princípio da neutralidade (já que a avaliação que os eleitores fazem de Nader não influencia na vitória de Bush ou Gore em uma eleição preferencial). Mas o sistema majoritário também funciona bem aqui, pois satisfaz o seu ponto fraco, a transitividade.

Mas o voto preferencial deixa de funcionar bem se a situação tornar-se ligeiramente mais complicada. Se acrescentarmos um terceiro ranking – Gore, Nader, Bush – o sistema majoritário ainda satisfará a transitividade. Estes três rankings não constituem, juntos, um ciclo de Condorcet. O voto preferencial, porém, não satisfaz mais o princípio de neutralidade. Suponhamos que 51% prefiram Bush a Gore e este a Nader. Se a parcela de 49% restante do eleitorado preferir Gore a Nader e este a Bush, Gore vencerá. Mas se o eleitorado restante optar pelo ranking Gore, Bush, Nader, então Bush vencerá – ainda que, em ambos os casos, esta parcela de 49% opte pelo mesmo ranking para Gore e Bush.

O sistema majoritário pode não funcionar bem em alguns casos, como mostra o paradoxo de Condorcet,

embora isto ocorra com menos **frequência** neste sistema que em outros. Nesses casos, a regra deve ser modificada para que um vencedor seja identificado. Há vários modos de fazer isto. A modificação mais simples talvez seja a seguinte: se nenhum candidato conseguir maioria em relação a todos os oponentes, então, entre os candidatos que derrotam a maior parte dos oponentes em comparações um a um, deve-se selecionar como vencedor aquele com a maior contagem preferencial.

O modo pelo qual a maior parte dos países escolhe seus presidentes é imperfeito. As eleições presidenciais americana de 2000 e francesa de 2002 foram bastante influenciadas – talvez de forma decisiva – por candidatos que não tinham chances reais de vitória. Esses candidatos puderam exercer influência porque só foi levado em conta o candidato preferido em primeiro lugar pelos eleitores. ■

PARA CONHECER MAIS

Social choice and individual values. Kenneth J. Arrow. John Wiley, 1951. (Yale University Press, 1990.)

The theory of committees and elections. Duncan Black. Cambridge University Press, 1958. (Kluwer Academic Publishers, 1998.)

Collective choice and social welfare. Amartya Kumar Sen. Holden-Day, 1970. (North Holland, 1984.)

On the robustness of majority rule and unanimity rule. Partha Dasgupta e Eric Maskin. Disponível em www.sss.ias.edu/papers/papers/econpapers.html

CONCEITO

FREQUÊNCIA

Quantidade de vezes que os valores se repetem ou que os casos ocorrem.

HIPERTEXTO

MODO DE ESCOLHA

Num sistema eleitoral, seja ele majoritário, seja preferencial, observa-se que, mesmo levando em consideração os rankings, o parâmetro estatístico que sempre determina o resultado está relacionado à moda, valor que surge com mais frequência se os dados são discretos; ou o intervalo de classe com maior frequência se os dados são contínuos.

PARA O PROFESSOR

▼ Conteúdos

- Estatísticas e probabilidades

▼ Competências e habilidades trabalhadas segundo a Matriz de Referência do ENEM

- Interpretar informações de natureza científica e social para realizar previsões.
- Compreender o caráter aleatório e não determinístico dos fenômenos naturais e sociais para interpretar informações.

▼ Objetos de conhecimento de Estatística e Probabilidade associados à Matriz de Referência

- Representação e análise de dados
- Medidas de tendência central (médias, moda e mediana)
- Desvios e variância
- Noções de probabilidade

▼ Habilidade envolvidas

- Analisar e utilizar conhecimentos de estatística e probabilidade como recursos para a construção de argumentação.
- Avaliar propostas de intervenção na realidade utilizando esses conhecimentos.

PROPOSTAS PEDAGÓGICAS

▼ Introdução

Professor, inicie explicando para a turma que será analisado um artigo sobre o sistema eleitoral utilizado atualmente nos Estados Unidos e na França. Debata a importância de o sistema eleitoral expressar realmente os desejos do eleitorado. Mostre que conhecimentos de natureza matemática permitem verificar falhas nos atuais sistemas eleitorais e repensá-los. Com esses procedimentos, você pode introduzir o tema e instigar o interesse da turma.



▼ Leitura

Promova a leitura coletiva do artigo. Levante discussões e interprete o texto e os dados estatísticos com os alunos. Pergunte que conceitos já são conhecidos por eles.

Apresente os conhecimentos estatísticos e probabilísticos envolvidos no texto.

A partir das informações apresentadas, crie tabelas, árvores de possibilidades e gráficos a fim de permitir uma maior compreensão do artigo. Utilize o computador como ferramenta de apoio na construção de histogramas e tabelas.

Explore a linguagem matemática contida no texto.

Use as próprias tabelas do artigo para apresentar os conceitos de moda, média e mediana.

▼ Interpretação

Levante hipóteses sobre os resultados apontados e oriente uma busca na internet sobre as causas verificadas pelos institutos de pesquisa eleitoral para os resultados reais das eleições. Peça que os estudantes verifiquem a quantidade de eleitores em determinadas cidades, os resultados previstos pelas pesquisas nesses locais e aqueles aferidos ao final de cada pleito. A partir disso, inicie a aplicabilidade dos conceitos de média aritmética, frequência relativa, mediana, moda e amostra.

Explore todos os conceitos matemáticos presentes no artigo. Revise aqueles já conhecidos pela turma e discuta os tipos de amostras utilizadas em uma pesquisa: amostra casual simples, amostra sistemática, amostra acidental e amostra estratificada. Analise-as com os estudantes e depois pergunte qual é, na visão deles, a mais indicada e confiável numa pesquisa eleitoral. Peça que justifiquem tal escolha.

Quanto à confiabilidade da amostra, peça que todos recolham informações sobre a eleição presidencial ocorrida nos Estados Unidos em 1948. Os alunos devem relatar o grave erro na escolha de uma amostragem de pesquisa ocorrida naquele ano. Esse exame tem como objetivo promover o interesse e a compreensão da classe em relação aos conceitos estatísticos envolvidos no artigo ora trabalhado e na pesquisa realizada.

▼ Atividades

1. Após a leitura, a exploração e a compreensão do artigo e dos conteúdos matemáticos envolvidos, proponha um exercício prático envolvendo os sistemas fundamentados no voto preferencial e no majoritário. A ideia é simular uma eleição protagonizada pelos próprios alunos. Se julgar necessário, crie algumas chapas eleitorais para ampliar as discussões. Concluído o processo eleitoral, inicie o trabalho com os dados da votação.

a) Organize a elaboração de duas tabelas, uma com os resultados da eleição que se valeu do sistema preferencial e outra com os resultados obtidos com o sistema majoritário.

b) Promova uma discussão e institucionalize os conceitos presentes na construção das tabelas. Após essa institucionalização é fundamental que os estudantes respondam a questões relacionadas à análise dos dados dispostos nas tabelas, trabalhando assim com os níveis de Curcio. Não se esqueça de debater os conceitos de porcentagem e média.

c) Divida a turma em grupos e encarregue cada equipe de converter em gráficos os dados dispostos nas tabelas. Uma vez completada essa tarefa, comente as produções, apresentando os tipos de gráficos mais apropriados para representar aqueles dados. Feita a institucionalização, todos devem responder a novas questões relacionadas aos gráficos. Para tanto, explore novamente os níveis de Curcio.



2. Encomende uma pesquisa referente aos resultados da última eleição presidencial realizada no Brasil. Peça que os alunos comparem os dados das pesquisas de intenção de votos que antecederam o pleito. Explore os resultados fazendo uso dos conceitos estatísticos trabalhados. Em seguida, solicite que os estudantes:

a) Convertam o sistema eleitoral de majoritário para preferencial, utilizando rankings na sala de aula.

b) Representem os dados por meio de tabelas e gráficos.

MANIPULADORES CEREBRAIS

Microrganismos podem manipular, muito melhor que nós, o circuito cerebral

Por **Robert Sapolsky**

Como grande parte dos cientistas, frequentemente encontro profissionais, sendo um deles a reunião anual da Society of Neuroscience, organização mundial constituída pela maior parte dos pesquisadores que investigam o cérebro.

É uma das experiências mais agressivas, intelectualmente falando. Imagine cerca de 28 mil de nós, cientistas “nerds”, trancados em um único centro de convenções. Essa proximidade pode deixar qualquer um maluco depois de uma semana inteira ouvindo – seja num restaurante, elevador ou banheiro – discussões entusiasmadas sobre os axônios da lua.

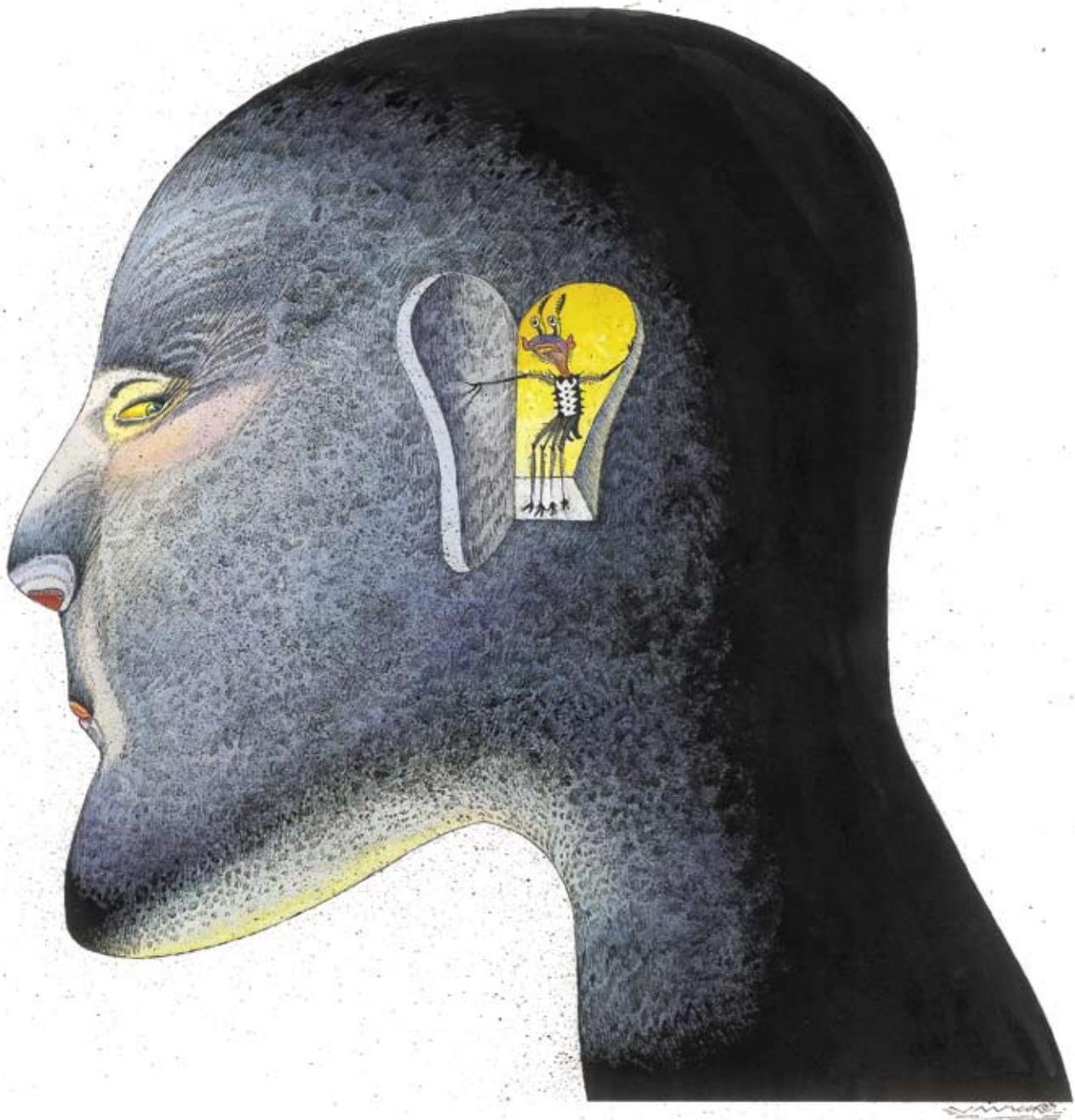
O processo de atualização de conhecimentos científicos também não é nada fácil. A reunião apresenta uma sobrecarga enorme de informação: são 14 mil conferências e cartazes. Sem contar que, do subconjunto de cartazes de indispensável verificação, vários são inacessíveis: seja por causa da multidão entusiasmada à frente deles, por estarem num idioma que você nem mesmo reconhece ou ainda porque descrevem, inevitavelmente, cada experimento que você planejava para os próximos cinco anos. No meio disso tudo, esconde-se a compreensão compartilhada

de que, apesar de zilhões de nós labutarmos como escravos sobre o assunto, ainda não sabemos nada sobre o funcionamento cerebral.

Meu próprio momento de humildade na conferência surgiu numa tarde ao me sentar nos degraus do centro de convenções. Sentia-me nocauteado por excesso de informação e ignorância generalizada. No momento em que meu olhar focou uma poça de água escura e estagnada no meio-fio, imaginei que algum organismo microscópico infestando o local provavelmente saberia mais sobre o cérebro que todos nós, neurocientistas, juntos.

O *insight* desmoralizante brotou de um ensaio extraordinário e atual sobre como certos parasitas controlam o cérebro de seus hospedeiros. A maioria de nós sabe que bactérias, protozoários e vírus têm meios incrivelmente sofisticados de usar o corpo de animais para seus próprios fins. Eles sequestram nossas células, energia e estilo de vida para poderem prosperar.

Mas, sob vários aspectos, a coisa mais fascinante e diabólica que esses parasitas desenvolveram – tema que ocupou minhas reflexões naquele dia – é a habilidade que demonstram em mudar o comportamento de seus hospedeiros a seu favor. Alguns exemplos em livros



didáticos descrevem ectoparasitas, microrganismos que colonizam a superfície do corpo. Certos acarinos, por exemplo, montam nas costas de formigas, provocando um reflexo que culmina em vômito, para daí se alimentarem. Alguns oxiúros depositam ovos na pele de um roedor. Os ovos secretam uma substância que provoca coceira, fazendo o roedor morder o local. Com isso, os ovos acabam sendo ingeridos e, uma vez dentro do roedor, eclodem na maior alegria.

Nesses casos, as reações são provocadas por meio de um artifício que consiste em molestar o hospedeiro, fazendo com que se comporte de acordo com a conveniência do intruso. Mas alguns parasitas realmente alteram a função do próprio sistema nervoso, manipulando hormônios que afetam o comportamento

do hospedeiro. Os cirrípedes (*Sacculina granifera*), por exemplo, um tipo de crustáceo encontrado na Austrália, grudam em caranguejos machos e secretam um hormônio feminizante, induzindo o comportamento maternal no animal. O caranguejo afetado parte para o mar com instintos femininos e cava buracos na areia ideais para desova. O macho, obviamente, não irá desovar nada. Mas os pequenos crustáceos, sim. E se infectarem um caranguejo fêmea, induzirão o mesmo comportamento – depois de atrofiar seus ovários, uma prática conhecida como castração parasítica.

Por mais bizarros que sejam esses casos, pelo menos os organismos agem fora do cérebro. Alguns, no entanto, se introduzem nesse órgão. Trata-se de seres microscópicos, quase sempre vírus. Uma vez

no cérebro, esses minúsculos parasitas permanecem relativamente protegidos de ataques imunes e iniciam sua tarefa ao desviar o maquinismo neural em proveito próprio.

O vírus da raiva é um desses parasitas. Apesar de se conhecer, há séculos, a atuação desse vírus, ninguém, que eu saiba, conseguiu enquadrá-lo de uma forma neurobiológica, como estou prestes a fazer. A raiva poderia ter se desenvolvido de várias maneiras para se locomover entre os hospedeiros. O vírus não tem de ir a nenhum local próximo do cérebro. Ele poderia ter maquinado um artifício similar ao utilizado pelos agentes que causam os resfriados – irritar os terminais nervosos das narinas, provocando o espirro do hospedeiro, espalhando os replicantes virais para todos os lados. Ou, então, poderia ter induzido um desejo incontrolável de lambeir alguém ou algum animal espalhando, assim, o vírus pela saliva. Mas, como sabemos, a raiva pode provocar agressividade em seu hospedeiro, permitindo que o vírus pule para um outro hospedeiro via saliva que entra no ferimento.

Imagine só isso. Uma quantidade enorme de neurobiologistas estuda as bases neurais da agressão: os caminhos cerebrais envolvidos, os neurotransmissores mais importantes, as interações entre os genes e o meio, a modulação pelos hormônios, e assim por diante. A agressão tem gerado conferências, teses de doutorado, brigas acadêmicas mesquinhas e direitos de posse sórdidos. Todavia, o vírus da raiva sempre “soube” exatamente quais neurônios infestar para que alguém desenvolva a raiva. E, pelo que eu saiba, nenhum neurocientista estudou a raiva, especificamente, para compreender a neurobiologia da agressão.

Mesmo causando efeitos virais tão impressionantes, ainda há espaço para aperfeiçoamento, devido à não-especificidade do parasita. Se você é um animal portador da raiva, pode morder uma das poucas criaturas, como o coelho, em que o vírus da raiva não replica bem. Então, apesar de os efeitos comportamentais da infecção o cérebro serem bastante impressionantes, se o impacto do parasita for muito amplo, pode se autoextinguir em um hospedeiro sem futuro.



ILUSTRAÇÕES DE JACK UNRUH

Isso nos reporta ao caso maravilhosamente específico do controle do cérebro e a um ensaio de Manuel Berdoy e colegas da University of Oxford. Berdoy e associados estudam um parasita denominado *Toxoplasma gondii*. Dentro de uma utopia toxoplásmica, a vida consiste em duas seqüências de hospedeiros envolvendo roedores e gatos. O protozoário é ingerido pelo roedor, onde forma cistos em todo o corpo, particularmente no cérebro. O roedor é comido pelo gato, onde o organismo toxoplasma se reproduz. O gato descarta o parasita através das fezes que, em um desses ciclos de vida, são beliscadas por roedores. Todo esse panorama depende da especificidade: gatos são a única espécie onde o toxoplasma pode se reproduzir e se disseminar. Portanto, o toxoplasma não gostaria que seu portador fosse abatido por um falcão ou que as fezes de seu gato fossem ingeridas por um inseto que vive no esterco. Imagine você, o parasita pode infectar todos os tipos de outras espécies; mas precisa sempre se introduzir em um gato se o intento for a reprodução.

Esse potencial de infestar outras espécies é o motivo da recomendação em todos os livros para mulheres grávidas. Aconselha-se a banir o gato e sua bandeja sanitária de casa e a não se fazer jardinagem se houver gatos na vizinhança. Se um toxoplasma contido nas fezes de um gato infectar uma grávida, ele pode entrar no feto e potencialmente causar comprometimento neurológico. Mulheres grávidas e bem informadas ficam inquietas com a proximidade de gatos. Roedores infectados por toxoplasma, todavia, apresentam reação inversa. A habilidade extraordinária do parasita faz com que os roedores percam a aflição.

Todos os roedores evitam gatos – comportamento que etologistas designam como um padrão de ação fixa, onde o roedor não desenvolve aversão por tentativa e erro (uma vez que não existem mesmo tantas oportunidades de aprender com os próprios erros perto de gatos). Ao contrário, a fobia a felinos é monitorada à distância e alcançada por meio da olfação, feromônios e sinalizadores químicos por odor, liberados pelos animais. Roedores instintivamente fogem do cheiro de gatos – mesmo aqueles que nunca viram um gato na vida, como os descendentes de centenas de gerações de animais de laboratório. Exceto os roedores infectados pelo toxoplasma. Como foi demonstrado por Berdoy e seu grupo, esses roedores perdem, seletivamente, a aversão e o medo dos feromônios de gatos.

Esse não é um caso genérico de parasita se infiltrando na cabeça de um hospedeiro intermediário, tornando-o desmiolado e vulnerável. Tudo parece permanecer bem intacto nos roedores. O status social

do animal não muda em sua hierarquia de domínio e ele ainda se interessa pela cópula e, portanto, de fato, nos feromônios do sexo oposto. Os roedores infectados podem ainda distinguir outros odores. Eles somente não rechaçam os feromônios de gatos. Isto é espantoso. É como alguém infectado por um parasita cerebral que não causa efeito algum, seja em pensamentos, emoções, escores SAT ou preferências televisivas mas que, para completar seu ciclo de vida, provoca uma necessidade urgentíssima de ir ao zoológico, pular a cerca e tentar um beijo de língua no urso polar mais bravo. Uma atração fatal induzida por parasita, é como o grupo de Berdoy intitulou o ensaio.

Obviamente, uma pesquisa mais abrangente é necessária. Menciono isso porque essa descoberta é intrinsecamente tão arrojada, que alguém precisa saber como funciona. E porque – permita-me um momento Stephen Jay Gould – fornece uma evidência ainda maior de que a evolução é extraordinária. Extraordinária por caminhos contraintuitivos. Muitos de nós mantemos a idéia profundamente arraigada de que a evolução é direcional e progressiva: invertebrados são mais primitivos que vertebrados, mamíferos são os vertebrados mais evoluídos, primatas são mamíferos com melhor seleção genética, e assim por diante. Alguns dos meus melhores alunos sempre caem nessa, não importando o quanto eu bata na mesma tecla durante as aulas.

Se você comprar essa idéia, além de errado, estará próximo da filosofia que tem, também, direcionado a evolução dos humanos, partindo do princípio de que os europeus do norte são os que mais desenvolveram paladar para Schnitzel e passo de ganso.

Lembre-se, então, que existem criaturas que podem controlar cérebros. Organismos microscópicos e até maiores, mais poderosos que o Grande Irmão e, sim, que os neurocientistas. A reflexão ao lado da poça no meio-fio levou-me à conclusão oposta àquela alcançada por Narciso em sua reflexão diante da água. Precisamos de humildade filogenética. Não somos, certamente, a espécie mais desenvolvida do pedaço, tampouco a menos vulnerável. Nem a mais esperta. 

O AUTOR

Robert Sapolsky é professor de neurologia e ciência biológica na Stanford University e pesquisador associado no National Museums of Kenya. Obteve seu PhD em neuroendocrinologia da Rockefeller University, em 1984. Suas áreas de interesse em pesquisa incluem morte neuronal, terapia genética e fisiologia de primatas.

Mulheres grávidas bem informadas ficam inquietas com a proximidade de gatos. Roedores infectados por toxoplasma, todavia, apresentam reação inversa

PARA CONHECER MAIS

Borna Disease Virus Infection in Animals and Humans. Jurgen A. Richt, Isolde Pfeuffer, Matthias Christ, Knut Frese, Karl Bechter e Sibylle Herzog in *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 3, nº 3, págs. 343-352; julho-setembro 1997. Disponível em www.cdc.gov/ncidod/eid/vol3no3/richt.htm

Fatal Attraction in Rats Infected with *Toxoplasma gondii*. Manuel Berdoy, Joanne Webster e David Macdonald in *Proceedings of the Royal Society of London*, B 267, págs. 1591-1594; 7 de agosto, 2000.

Parasites and the Behavior of Animals. Janice Moore. Oxford University Press, 2002.

Mediação e ciência



Por **Flávia Galli Tatsch**

A ciência que se pode mediar não está isolada da sociedade. Faz parte dela, está inserida em seu cotidiano

A ciência é uma área de conhecimento com modos específicos de se pensar, com procedimentos e experimentos. Mas até que ponto as descobertas e avanços apresentam-se àqueles que não são cientistas ou que não fazem parte diretamente dessa comunidade, as pessoas comuns?

O conhecimento científico é uma conquista de todos. É preciso ampliar a possibilidade de seu entendimento a um número cada vez maior de pessoas, não de forma imposta, condicionada ou obrigatória, mas estimulada, de maneira a construir um sentido. O sentido não é um objetivo, uma causa ou uma ideia. É um conjunto de práticas que se desenvolvem em domínios diferenciados e que visam o projeto de formação para a cidadania.

Um grande desafio é passar da teoria à prática. Uma das vias possíveis para a apreensão do conhecimento científico e a construção de um sentido é a mediação. O conceito de mediação originou-se nos debates sobre o acesso à cultura e ao conhecimento que colocaram em oposição o discurso educativo – educação para a arte, a cultura e o conhecimento – e aquele que defende o contato direto com os campos de conhecimento e bens simbólicos. Sem pender para um ou outro desses pólos, é um processo relacionado aos objetos e campos de conhecimento e seus conteúdos; a partir de determinada forma de olhá-los, assim como as produções do homem e da natureza. A mediação incita buscas, assimilações; ampliação cognitiva; mobiliza contextos individuais, diferentes saberes e possibilita torná-los comunicantes; articula a história pessoal – singular – e o coletivo.

A ciência em que se quer (e se pode) fazer a mediação não é, certamente, a ciência longínqua, hiperespecializada, de comunicação indireta e compreensão cada vez mais restrita a cientistas e iniciados. A ciência

que se pode mediar não está isolada da sociedade, faz parte dela, está inserida em seu cotidiano. Não se trata de mergulhar as pessoas em laboratórios ou feiras de ciência. Tampouco inundar livrarias ou bancas de jornal com publicações que banalizam o tema ou o discurso científico. Estamos falando da possibilidade de descobertas de conhecimento e transformação das fronteiras individuais.

Museus de ciência são lugares de excelência para os processos de mediação. São espaços para conhecer e construir um saber, sem a obrigação e a imposição do aprender. Nas duas últimas décadas, na Europa e nos Estados Unidos, os museus abandonaram a atitude tradicional que tomava o objeto e o patrimônio como fins em si mesmos: de guardiães, depositários e conservadores da história da ciência e da técnica, passaram a promover o contato dos públicos com o conhecimento científico. Mais que isso: apresentaram-se como espaços de experimentação que possibilitam a compreensão da ciência pelas pessoas.

A realidade brasileira está bem distante disso. Quantos equipamentos do gênero existem no país? E quantos já os visitaram? Em que espaços de experimentação podemos vislumbrar as experiências científicas? O maior desafio é minimizar essa distância. Novamente, é preciso passar da teoria à prática: criar museus de ciência e estimular a mediação. Levar à população em geral a cosmologia; a informática; os princípios da física e da química etc. Proporcionar às pessoas a construção de um conhecimento sobre si e sobre a realidade em que se inserem; compreender o presente. E sonhar o futuro!

Flávia Galli Tatsch é historiadora e Mestre em Ciências da Comunicação pela USP. Coordenou os Núcleos de História, Cartografia e Ação Educativa do Instituto Cultural Banco Santos