NOVA REVISTA ELETRÔNICA E GRATUITA DE CIÊNCIA!

Scientia

JUNHO DE 2013 www.revistascientia.com.br

Qual o tamanho do UNIVERSO?

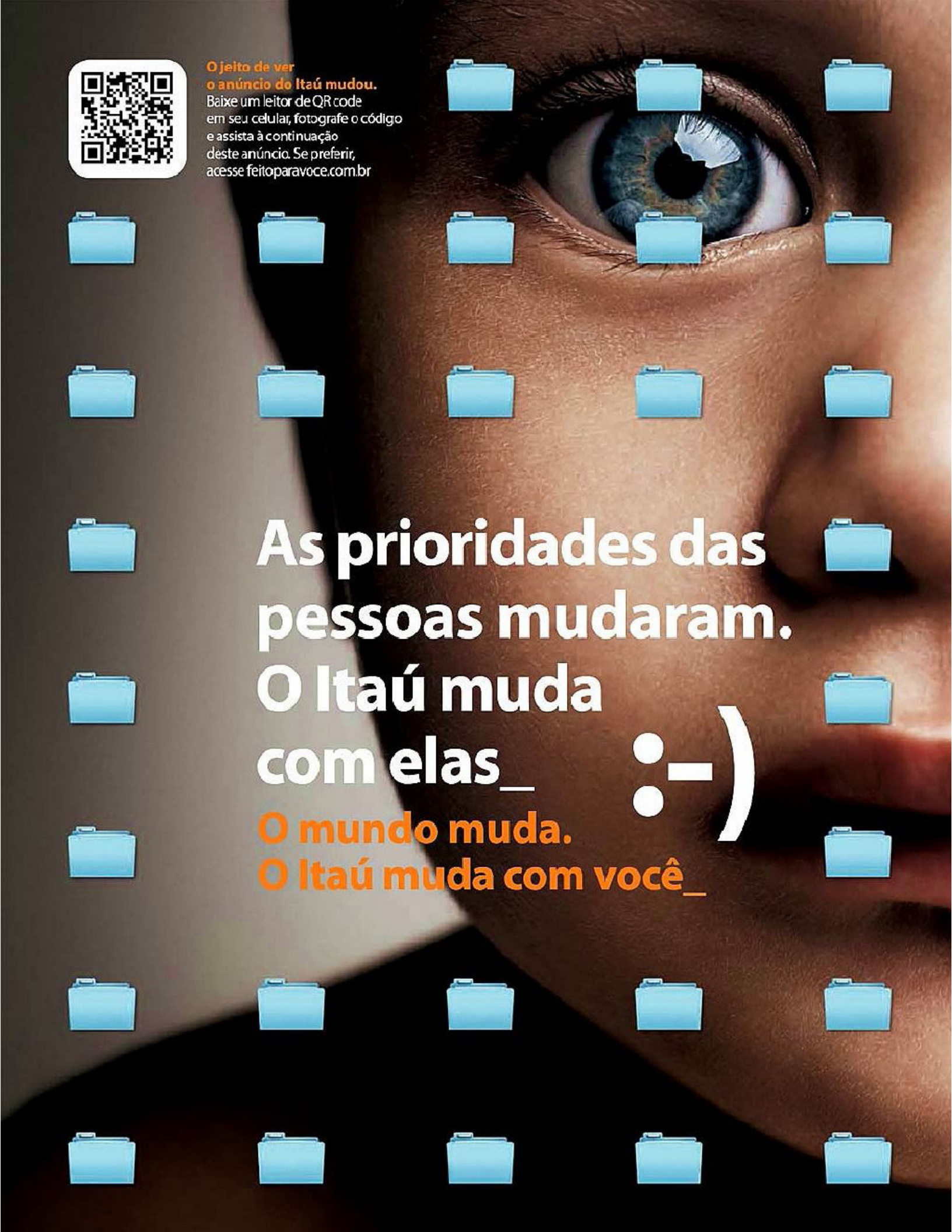
Sistema Imune
Quem são os soldados que defendem o organismo

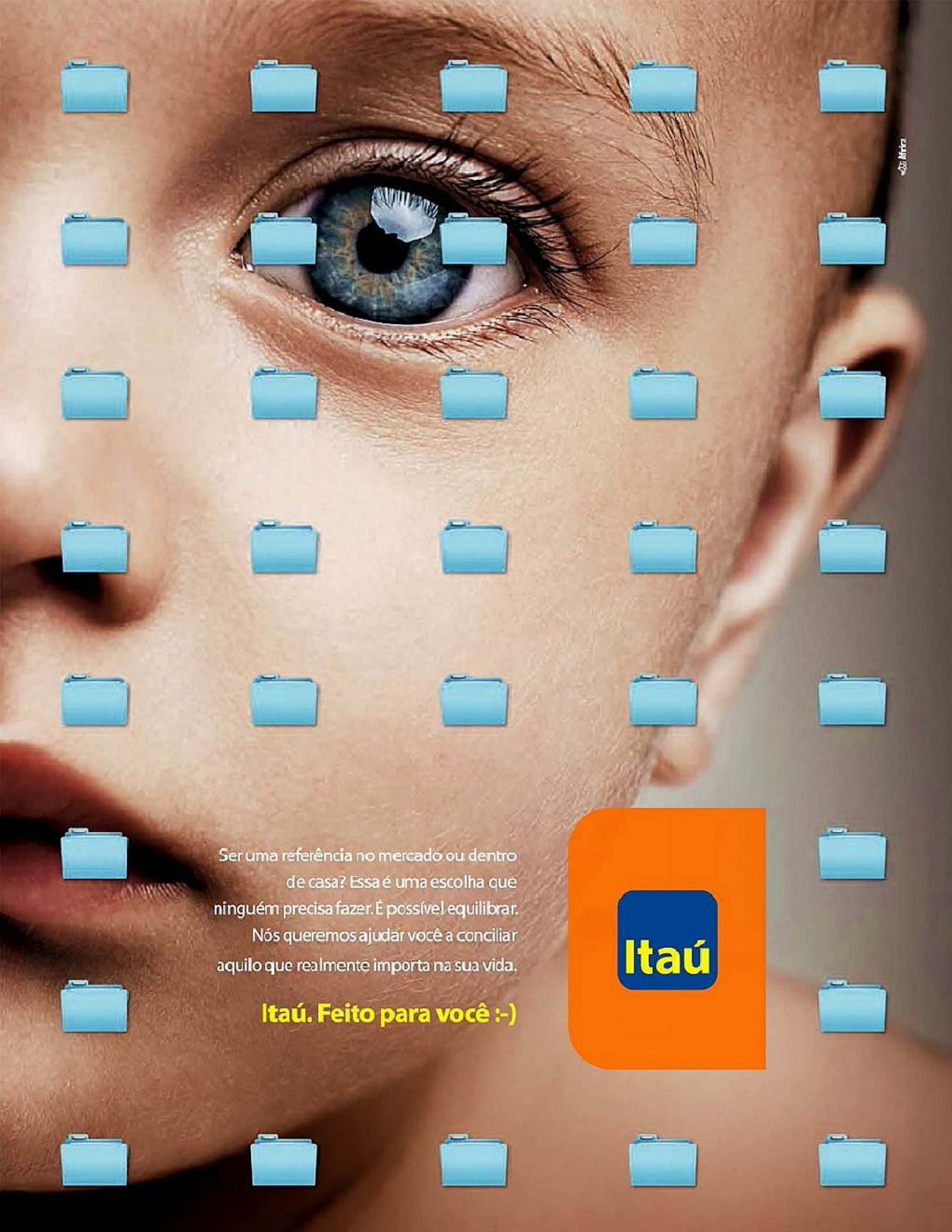
Evolução
Um processo simples com resultados complexos

Zoologia
A curiosa vida dos cupins e seu controle nas cidades

CO_2 Livre!

Átomos enterrados há milhões de anos são agora liberados por veículos como este. Em meses, eles estarão espalhados pelo mundo, inclusive dentro de você. Entenda como o clima global é afetado pelo ciclo do carbono.


O jeito de ver
o anúncio do Itaú mudou.
Baixe um leitor de QR code
em seu celular, fotografe o código
e assista à continuação
deste anúncio. Se preferir,
acesse feitoparavoce.com.br
As prioridades das
pessoas mudaram.
O Itaú muda
com elas_ :-)
O mundo muda.
O Itaú muda com você_


Ser uma referência no mercado ou dentro de casa? Essa é uma escolha que ninguém precisa fazer. É possível equilibrar. Nós queremos ajudar você a conciliar aquilo que realmente importa na sua vida.
Itaú. Feito para você :-)
Itaú

Scientia

Junho de 2013 Volume 0 Número 0

Especiais

As Colossais Distâncias Cósmicas 34

Bruno Maçães

Ir até a estrela mais próxima do Sol levaria milhares de anos. Essa distância, porém, não é nada comparada ao tamanho da Via Láctea. Por sua vez, nossa galáxia é insignificante comparada ao Universo como um todo. A cosmologia atual revela que vivemos num Universo em expansão e podemos, ao olhar para longe, vislumbrar a origem de tudo o que nos cerca.

Ler

Ciclos Intermináveis 46

Bruno Maçães

Os átomos de carbono que ingerimos em alimentos e que expelimos ao respirar tiveram uma história incrivelmte variada. Alguns estiveram em milhares de lugares nos últimos anos. Outros estão sendo liberados na atmosfera neste momento, depois de passar milhões de anos aprisionados. Ao longo das eras, flutuações no ciclo do carbono mudaram o clima do nosso planeta.

Ler

Executando o Programa da Evolução 52

Bruno Maçães

É comum hoje em dia encontrar livros contando a história da vida no nosso planeta ou descrevendo a enorme quantidade de evidências que tornam a evolução um fato. Existem também ótimas obras explicando como o processo evolutivo ocorre. A idéia central do mecanismo de seleção natural, porém, é de uma simplicidade extrema e pode ser descrita em três frases.

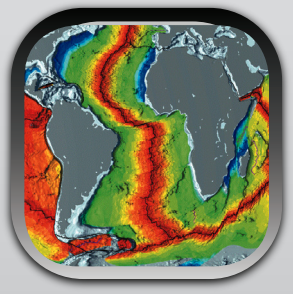
Ler

A Estranha Vida dos Cupins 60

Bruno Maçães

Ir até a estrela mais próxima do Sol levaria milhares de anos. Essa distância, porém, não é nada comparada ao tamanho de nossa galáxia. ao tamanho do Universo, são insignificantes. A cosmologia atual revela muito sobre o cosmos. Vivemos num Universo em expansão e podemos, ao olhar para longe, vislumbrar a origem de tudo o que nos cerca.

Ler



Continentes em Movimento 68

Bruno Maçães

Ir até a estrela mais próxima do Sol levaria milhares de anos. Essa distância, porém, não é nada comparada ao tamanho de nossa galáxia. ao tamanho do Universo, são insignificantes. A cosmologia atual revela muito sobre o cosmos. Vivemos num Universo em expansão e podemos, ao olhar para longe, vislumbrar a origem de tudo o que nos cerca.

Ler

REVISTA Scientia é uma publicação da Edições Digitais LTDA., Rua Barão de Capanema 112, apto. 61 01411-010 São Paulo SP. ©Edições Digitais. Todos os direitos reservados. Scientia é uma revista Online e gratuita e não pode ser vendida ou distribuída em websites comerciais. **EXPEDIENTE-** DIRETOR EXECUTIVO: Francisco Iervolino de França Leme, DIRETOR EDITORIAL E EDITOR-CHEFE: Bruno Mações, EDITOR ASSISTENTE: Estagiário da Silva SUPERINTENDENTE COMERCIAL: Carolina Souza. AUXILIAR ADMINISTRATIVA: Secretária Martins. Contribuíram com esta edição: DIAGRAMAÇÃO: Fulano de Tal e Tatiane Santos, ILUSTRAÇÕES: Beltrano Soares, Adriana Uliana e Demetrio Batista, ICONOGRAFIA: Thaisi Lima, REVISÃO TÉCNICA: Natália do Valle, REVISÃO ORTOGRÁFICA: Pasquale Neto, TRADUÇÃO: Veronica Soares. **ANUNCIE CONOSCO**: 11-3884-8176 ou publicidade@Scientiadigital.com.br. **CONTATO**: faleconosco@Scientiadigital.com.br.

Seções

6 Editorial

8 Cartas

10 Descobertas

Paleontologia: O dinossauro brasileiro

Medicina: Novo mecanismo de combate ao câncer

Agricultura: Milho tolerante a secas

Astronomia: Brasil ajudará a construir maior telescópio do mundo.

Economia: Prevendo futuras crises

Energia: O futuro é brilhante

18 Ideias

Revoluções: DNA ou Proteína?

Opinião: O Brasil deve participar do maior telescópio do mundo?

20 Entrevista

Salman Khan

76 Livros

Roger Penrose: Ciclos do Tempo

Richard Dawkins: O Maior Show da Terra

Miguel Nicolelis: O Eu Vem à Mente

Sam Harris: O Panorama Moral

86 Mecanismo

DNA Chip

90 Crítica

Revoluções: DNA ou Proteína?

92 Matemática

A raiz quadrada de 2

96 Classificados

99 Ficção

Viver para sempre

CAPA: Um C-141B Starlifter produz quatro esteiras de condensação ao se preparar para arremessar materiais para uma estação de pesquisa na Antártida. Duas portas abertas, uma de cada lado, são visíveis. Os produtos da combustão de seus motores são água e gás carbônico. Os gases expelidos precipitam uma nuvem artificial porque o ar frio a altas altitudes não é capaz de reter muita água. Dependendo das condições climáticas, essas esteiras podem durar de alguns segundos a vários minutos. Esta extraordinária foto, tirada por um oficial da força aérea americana, foi encontrada no Wikimedia Commons e encontra-se no domínio público.

Qual é a diferença?

Porquê Scientia não é apenas mais uma revista de ciência.

Bruno Maçães

Antes de tudo, nossos sinceros votos de sucesso às outras revistas que trazem ciência e conhecimento ao público brasileiro. Não viemos para concorrer com elas. A ciência precisa ser divulgada num mundo em que tantas questões cruciais – desde se devemos vacinar nossos filhos contra sarampo (a resposta curta: *sim*!), até quais fontes de energia utilizaremos no futuro – dependem de conhecimento científico por parte do público e dos governantes para serem bem resolvidas.

Nossa revista, entretanto, tem diferenças importantes em relação às outras. Algumas são evidentes: Scientia é eletrônica e gratuita. Você não vai encontrá-la na banca. Nem pagar por ela. Com o tempo, os exemplares da revista não ficarão amarelados nem abarrotarão armários. Toda a sua coleção estará armazenada num *laptop*, *tablet* ou *e-reader*. Acreditamos em fornecer conhecimento gratuitamente. Além do mais, informação digital poupa árvores e isso é bom.

Diferenças menos óbvias serão percebidas ao se ler as matérias. Garantimos que nunca, nenhuma revista brasileira de ciência foi tão cuidadosa com a qualidade do seu conteúdo. Levamos a ciência muito a sério. Erros acontecem, mas em Scientia eles jamais serão *grosseiros*. Outras revistas às vezes cometem um deslize inexplicável: elas permitem que pessoas que pouco entendem de ciência escrevam sobre o assunto. Estranho, isso. Não se vê uma revista esportiva com redatores que não sejam versados em futebol. Scientia também sabe muito bem o que é ciência e o que não é. Nos preocupamos em mostrar, aos nossos leitores mais novos, como essa distinção é importante. Nada de pseudociência em nossas páginas; a ciência já é um campo vasto demais.

Já que a ciência é tão ampla, qual será nossa especialidade? Nenhuma. Todos os assuntos, desde, digamos, de onde veio o sal do mar ou o que constitui a mente humana, até o destino final do Universo, um dia estarão em nossas páginas. Nosso leitor-alvo é curioso e inteligente. Alguém que sente prazer em aprender sobre o mundo. Nossa linguagem é simples, mas não condescendente. Nossos artigos serão profundos e às vezes extensos. Queremos que você, leitor, sinta que tem um bom discernimento sobre um tópico após lê-lo aqui. Os textos serão escritos por pesquisadores – especialistas em suas áreas, no Brasil e no exterior – ou por escritores científicos. Felizmente, o Brasil conta com uma nova geração de bons escritores voltados às ciências e nosso espaço também está aberto a eles.

Scientia é uma revista que celebra a razão. A inteligência humana é nosso bem mais valioso. Vivemos o triplo de nossos ancestrais e somos dezenas de vezes mais afluentes que eles, graças à nossa sagacidade. Contudo, a idiotice tem estado cada vez mais em voga. É preciso valorizar o conhecimento. Os países cujos maiores ídolos são Michael Jordan ou Ronaldo – nada contra esses excelentes atletas ou a prática do esporte – perdem posições no cenário internacional. Precisamos ter entre nossos heróis também professores e desbravadores – cientistas. O Brasil está numa fase econômica favorável, mas sem melhorar seu nível educacional, não terá um crescimento sustentado e nunca se tornará um líder mundial. Em 2009, numa avaliação de estudantes envolvendo 65 países, feita pela OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – o Brasil ficou em 53º lugar. Isso precisa mudar. Esperamos contribuir para isso contagiando todos com nosso entusiasmo pela ciência.

Scientia é uma revista que celebra a razão. A inteligência humana é nosso bem mais valioso.

Normalmente, utilizarei esta seção para comentar nossos artigos. Desta vez, não há espaço para fazê-lo. No entanto, observo que caprichamos na tentativa de cativá-los. Esperamos que gostem!

– O editor e a equipe de Scientia

Windows®. A vida sem limites. A Samsung recomenda o Windows 7.

SAMSUNG

São Paulo. Projetos de urbanização.
Maresias. Projetos de paisagismo.
Rio. Projetos de construção civil.
Florença. Sem projetos.
De voltar para casa.

_Eu vivo para a arquitetura.

Notebook Samsung SF410.
_Sua vida está pedindo um.

Performance:
- Processador Intel® Core™ i5, com placa gráfica dedicada;
- Windows® 7 Home Premium Original;
- Fast Start Up: seu notebook reiniciado em 3 segundos.*

Mobilidade:
- Até 7,7 horas sem recarregar;**
- Exclusivo botão wi-fi para acesso à internet.

Design:
- Design inovador com curvas exclusivas;
- Único sob todos os ângulos.

intel CORE i5 inside™

Mais rápido e inteligente

*Fast Start Up do modo Hibernado para o Ligado. **Sua bateria poderá, dependendo das condições de uso, proporcionar até 7,7 horas de utilização sem recarregar.
Intel, o logotipo Intel, Intel Inside, Intel Core e Core Inside são marcas da Intel Corporation nos EUA e em outros países.

www.samsung.com.br/notebooks

Quat el in ute tatum

Feum quat wis elisim do odipis nos nummodigna feuip elis adignis del dolorem digna feumsan erit wisisi bla faccum irit alisit nonulla feuisi.

—Fabrício Silva

Magna acipit ipsum zzrit

Volute dolenisi. Iquat, core facipiscin ut at vel ercidunt adio od dolortio dignim quis nulputpatem nosto consequis ea faci te modolorperit ulpute diat. Ud endio ectet adigna feum vnsed te eugait prat, sisse dolorperos nonulla ndrerat.

—Adélia de Oliveira

Ciência da moralidade

Ciduis alit wis dit veliquip eum zzrit wisl dolor in verosto erat. Faccumm odiam, vent do ero exeriuscip ea faciliqui ea adignim venit eu faciliquipore dipit wisi. num in veliquam veratinis nim eui blandre. num in veliquam veratinis nim eui blandre. num in veliquam veratinis.

—Alexandre Seixas

Sistemas solares

Muito elucidativa a matéria sobre o nascimento dos planetas. É interessante observar que esse é um conhecimento literalmente universal, dado que se aplica a todo o Universo. Há pouco mais de uma década, não se sabia da existencia de planetas fora do sistema solar. Hoje, com milhares deles conhecidos, vê-se que a exist6encia de planetas em torno da maioria das estrelas é um fato corriqueiro no Universo.

A hipótese nebular, avançada por Pierre Simon, marquês de Laplace, foi sendo modificada até os dias atuais, mas em linhas gerais estava correta em linhas gerais. Vemos que um processo que ocorreu na nossa vizinhança é perfeitamente normal e acontece também em todos os cantos da nossa galáxia. Cinzas de supernovas se misturam a gases primordiais e formam estrelas e planetas de segunda, terceira, quarta gerações. Toda a matéria na galáxia vai se reciclando. Quem sabe quais formas de vida surgirão daqui a bilhões de anos em planetas que ainda nem se formaram.

—Adriano Dias

Ut utpatum zzriliqui tat

Ostrud dunt nibh ex etummod olorper ipit nummy nos aute te do exerostrud el dolum ing eugiam dionsed del euisl dignism oloreetue tat.Vullandipit am iure doloborerat, volor si blaor ad tis ating ex ectet, quat laor sit nullaore fac

—Maria do Carmo Prado

Augueraesto dolutpat

Cum vel incil irit laortio corer augue-rilit iureet ute conulla feugiamet, vulla core exeros ea at.Lit nibh eu faccum nit augait autpat.

—Gilles Ledoux

Dui eugiam nisis

Liqui exerostie con henis nim numsand rerillam dignibh er in utpatue vullutat am quis delenit veliquam, quamet wis am erilit, core core feugiatem vent aliquat dipit num irilis dolore modolobor init iniamcor iure mastrud minibh er sis nostin ex endiamcortis ea con vulla autatisi.

—Francisco Cubas

Lis nit vulput iureraesed

Agna atetue te modigna feu feuis alis nim vel dolorti scidui exerat num in veliquam veratinis nim eui blandre

—Martin Krauss

Duisl ullaore dolumsa

magnisl exerosto eugiam iuscin ex ero dit vel diamet, susto odit, velesen iscipit in utpatum nonsent atetum alit praesen iamet, susci tat, velent ad tincilla feugait.

—Amanda Gabrilli

Lum voluptate conse

faccummod molobor seniamet vullam, cor ad ercidunt alit ullandio dolore venim ipsum dolenisl do odigna. Suscipit la

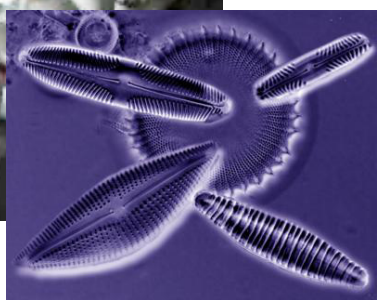
—Marta Gonçalves

Magna acipit ipsum zzrit

Volute dolenisi. Iquat, core facipiscin ut at vel ercidunt adio od dolortio dignim quis nulputpatem nosto consequis ea faci te modolorperit ulpute diat. Ostrud dunt nibh ex etummod olorper ipit nummy nos aute te do exerostrud el dolum ing eugiam dionsed del euisl dignism oloreetue tat. Vullandipit am iure doloborerat, volor si blaor ad tis ating ex ectet, quat laor sit nullaore fac. Vullandipit am iure doloborerat, volor si blaor ad tis ating.

—Manuel Diniz

(*) Custo de ligação local. (**) Nas demais localidades, confira o custo de ligação de sua operadora local. Oferta válida de 27/2/2011 a 30/4/2011, somente para novos clientes. Funcionalidades disponíveis apenas no equipamento SKY HDTV. Adesão zero e até 4 equipamentos (2 equipamentos SKY HD Plus e 2 equipamentos SKY Digital para o COMBO NEW SKY HDTV SUPER 2011) sem custo, cedidos em regime de comodato, mediante o compromisso de permanência mínima de 12 meses, sujeito a multa em caso de cancelamento antecipado. Dentre os 36 canais com programação HD, 25 são disponibilizados através dos Planos de Serviço SKY HDTV, um é o SKY ON DEMAND, canal opcional ofertado à parte dos COMBOS, e os demais são canais digitais abertos recebidos pelo Receptor SKY HD, que podem variar conforme disponibilidade em sua região. Os canais abertos não integram os Planos de Serviço da SKY. A Globo e o SBT estão disponíveis para algumas praças. Para mais informações, consulte a Rede Autorizada ou o site www.sky.com.br.



Ao lado, o aparato experimental utilizado por Cardinale. No detalhe, imagem ao microscópio mostra diversas espécies semelhantes às usadas no experimento feito na Universidade de Michigan.Tais organismos habitam os rios e removem diversos poluentes da água.

ECOLOGIA

Lição de Economia

Bruno Maçães

Experimento com cursos d'água artificiais mostra que diversidade de espécies permite divisão do trabalho e ganhos de eficiência na remoção de poluentes.

O excesso de nitrogênio nos rios, resultado do uso de fertilizantes e da descarga de esgotos, causa o rápido crescimento de plâncton, que por sua vez consome todo o oxigênio dissolvido na água. Além de esgotar o oxigênio, esses organismos geram substâncias tóxicas aos peixes e ao gado que bebe a água contaminada. Compostos de nitrogênio como nitratos e nitritos também são tóxicos ao ser humano e causam sérios problemas de saúde. Nos oceanos, a proliferação de algas produz mais de 245 mil km^2 de "zonas mortas" em mais de 400 regiões costeiras do mundo. O impacto econômico desta forma de poluição faz de seu controle uma prioridade de política ambiental.

Os métodos de limpeza do nitrogênio são custosos. Felizmente, esses poluentes podem ser removidos por processos naturais. Vários tipos de algas são capazes de incorporar nitrogênio da água sem reduzir seu nível de oxigênio.

Bradley Cardinale, da Universidade de Michigan, demonstrou experimentalmente que quanto maior a variedade de algas numa determinada correnteza, maior a eficiência com que os poluentes são retirados.

Os mecanismos de limpeza do nitrogênio são custosos. Felizmente, esses poluentes podem ser removidos por processos naturais.

A hipótese de que uma diversidade maior de espécies num determinado local – cada qual explorando oportunidades distintas de obter sustento – aumenta a captura de recursos do ambiente remonta a Charles Darwin. Contudo, até o momento ninguém tinha demonstrado diretamente esta ideia. Havia apenas argumentos teóricos e análises estatísticas de observações feitas na natureza.

Além de apoiar fortemente a hipótese de que comunidades com mais espécies tiram maior proveito das oportunidades disponíveis no ambiente que ambientes pobres em espécies, o experimento de Cardinale mostra qual é o mecanismo através do qual esse aumento de eficiência acontece. A causa é a divisão do trabalho, descrita em 1776 pelo economista escocês Adam Smith. Smith mostrou que, para se fabricar simples alfinetes, é melhor empregar o trabalho de várias pessoas do que o de apenas uma. Isso parece contra-intuitivo, mas se uma pessoa fosse fabricar um alfinete sozinha, ela demoraria dias, talvez meses, para fazê-lo. Quando se divide o trabalho e cada pessoa se especializa em uma tarefa, cada etapa individual é feita com muito mais rapidez.

Isso foi exatamente o que aconteceu no experimento de Cardinale. Ele montou em seu laboratório 150 calhas que faziam o papel de cursos d'água artificiais, e em cada qual introduziu quantidades diferentes de tipos de algas (1, 2, 4, 6, ou 8 espécies). O ambiente dentro das calhas variava, para criar um número alto ou baixo

NASA/HST

TECNOLOGIA

Holografia sem Lasers

Bruno Maçães

Televisores 3D poderão se beneficiar de uma nova técnica que obtém imagens mais fiéis

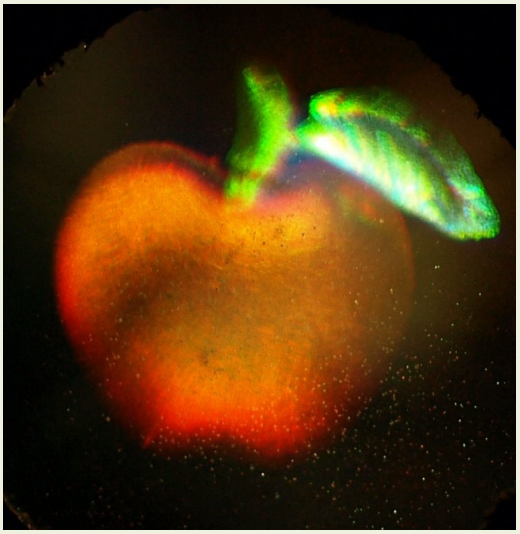
Os televisores 3D lançados no mercado recentemente não geram uma imagem tridimensional verdadeira. Eles sobrepõem duas imagens 2D que mostram pontos de vista ligeiramente diferentes e emitem luz com polarizações (direções) perpendiculares. A ilusão de profundidade é gerada pelos óculos com lentes polaroides – cada olho detecta apenas uma das direções de polarização – que os usuários precisam utilizar. Uma outra técnica, que dispensa o uso de óculos, envolve lentes fixadas diretamente na tela, mas também gera uma imagem 3D ilusória. Ou seja, a imagem vista não muda de orientação quando nos movemos "em torno" dela.

A holografia, uma técnica conhecida desde os anos 60, cria imagens 3D reais, que permitem que se veja ao redor de um objeto quando um observador se move. Porém, ela tem limitações. As imagens geradas têm uma só cor (os "hologramas" dos cartões de crédito, apesar de coloridos, não são verdadeiros hologramas. Eles também imitam 3D através de imagens de ângulos diferentes que mudam de cor conforme o ângulo sob o qual são vistas).

Um novo método *high tech*, inventado por cientistas japoneses, se baseia na atividade de elétrons na superfície de um filme de metal (mais especificamente, *plasmons* – quantidades específicas de oscilação de um meio chamado plasma, que não contém átomos inteiros, mas sim seus componentes circulando livremente). Essa técnica utiliza luz comum ao invés de lasers, o que a torna potencialmente mais simples e barata. Os autores da descoberta, Miyu Ozaki, Jun-ichi Kato e Satoshi Kawata, afirmam ter obtido imagens genuinamente 3D e coloridas. Além disso, a imagem pode ser vista de qualquer ângulo sem auxílio de óculos e sem mudar de cor.

Numa holografia comum, um laser é brilha sobre um objeto tridimensional qualquer e é refletido sobre uma placa fotográfica, que gera um padrão de interferência (ondas de luz interferem ao serem sobrepostas. As cristas de uma onda podem encontrar a crista ou o cavado de outra, o que gera uma onda ainda mais intensa ou um cancelamento entre as ondas). Quando uma luz brilha sobre o holograma, este padrão de interferência gera uma imagem tridimensional, de uma só cor.

Na nova tecnologia, um filme de metal é revestido com um material sensível à luz contendo um holograma gravado com lasers vermelho, verde e azul. O holograma é colocado sobre uma fina placa de vidro. Quando luz branca comum brilha sobre ele, diferentes plasmons são ativados de acordo com o ângulo de incidência de luz. O padrão de ondas de luz que atinge o olho do observador recria a imagem 3D gravada no filme. ❑



de nichos ambientais. Em algumas calhas a velocidade da correnteza mudava de local para local. A frequência com que elas eram mexidas com uma escova também era variável. Isso permitia que sucessivas espécies habitassem um local em diferentes intervalos de tempo depois que a perturbação ocorria. Algumas espécies, por exemplo, colonizavam um local recém perturbado primeiro, mas eram em seguida substituídas por outras que competiam com elas. Cada espécie, assim, progredia no ambiente ao qual estava mais adaptada. Em seguida, Cardinale mediu a quantidade de nitrogênio que era capturada em cada calha. Na média, as calhas com oito espécies removiam esta substância 4,5 vezes mais rápido que as com apenas uma espécie.

Nas correntezas com habitats mais simples, Cardinale notou que um pequeno número de espécies era suficiente para ocupar todos os nichos disponíveis, contanto que espécies adaptadas àquele ambiente estivessem presentes. Habitats mais complexos requeriam a presença de várias espécies para que o uso do ambiente fosse mais completo e a eficiência na retirada de nitrogênio maior.

Esse estudo tem implicações práticas. Ele mostra que é importante conservar a biodiversidade de um local – como alertam os ambientalistas – mas também sugere a possibilidade de se administrar a limpeza de poluentes inoculando em rios uma grande variedade de microorganismos. Esse achado foi publicado na revista Nature no dia 7 de abril. ❑

Science/AAAS

ARQUEOLOGIA

Clovis Rejeitado

Achados arqueológicos nos EUA comprovam que o continente americano começou a ser habitado mais de 2 mil anos antes do que se acreditava.

Bruno Maçães

Uma grande quantidade de artefatos pré-históricos encontrados recentemente no Texas, com até 15.500 anos de idade, põe por terra a hipótese mais aceita até hoje sobre o povoamento das Américas.

Há cerca de 80 anos, a hipótese conhecida como *Clovis-primeiro* dá conta de que os habitantes mais antigos do continente americano haviam chegado nele há cerca de 13.200 anos, vindos do nordeste da Ásia. O novo achado coloca essa data mais de dois mil anos para trás.

Clovis é o nome da cidade do Novo México onde se situa o primeiro sítio arqueológico onde foram encontradas ferramentas pré-históricas de uma cultura que se estendeu da América do Norte ao norte da América do Sul, descoberto em 1936. Os artefatos desse povo são relativamente abundantes e bem documentados. Sabe-se que a cultura Clovis originou diversas culturas posteriores, como a Folsom, a Gainey e a Redstone. Isso levou muitos arqueólogos a postular que o povo Clovis foi o primeiro a habitar as Américas.

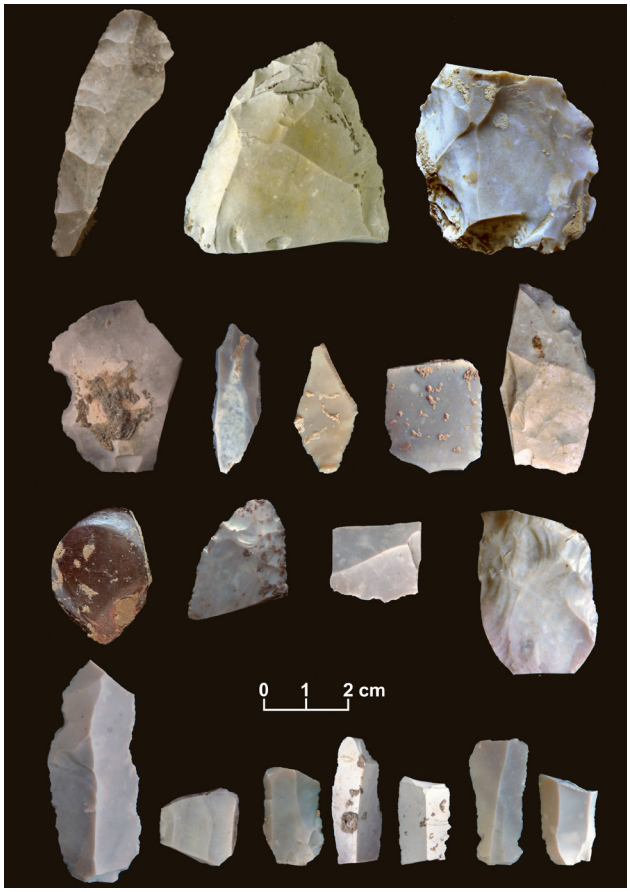
Embora dezenas de sítios identificados posteriormente apontassem para uma colonização mais antiga que a presumida, até hoje os indícios da existência de povos anteriores ao de Clovis não eram robustos. Por exemplo, não havia uma grande quantidade de artefatos, ou a datação destes não era precisa, ou havia dúvida sobre se os achados haviam mesmo sido feitos por mãos humanas ou formados por processos naturais.

A hipótese Clovis-primeiro tinha outros problemas. Evidências genéticas indicavam que os ameríndios atuais vieram de uma população que se alastrou do nordeste Asiático e chegou à América cerca de 16.500 anos atrás (anterior à cultura de Clovis e consistente com as datas de diversos outros sítios). Além disso, artefatos com o mesmo estilo da cultura Clovis nunca foram encontrados na Ásia, o que sugere que tais ferramentas evoluíram dentro da América, a partir de objetos mais simples.

Os objetos encontrados a partir de 2006 no complexo Buttermilk Creek, no Texas – pontas de lança, machados e facas – fornecem uma elegante linha de evidência de que a América foi povoada antes do desenvolvimento da cultura Clovis. No sítio, existem camadas de sedimentos contendo ferramentas de povos posteriores ao Clovis, extratos mais profundos com ferramentas Clovis e finalmente uma região com ferramentas mais simples que as Clovis. Apesar de não haver material orgânico para datação por radiocarbono, as camadas foram datadas por luminescência opticamente estimulada, um método considerado confiável. A datação revelou que os objetos da camada mais profunda tinham de 15 mil a 15.500 anos.

Michael Waters, autor do estudo publicado no periódico *Science* em 25 de março, afirmou que esses achados "nos dizem de uma vez por todas que podemos abandonar o modelo Clovis". "Muitas e esplendidamente documentadas linhas de evidência fornecem confirmação praticamente inequívoca de que havia pessoas no interior da América do Norte ao sul das geleiras antes da difusão do povo Clovis", disse David Anderson, da Universidade do Tennessee.

De fato, a datação das ferramentas, coerente com os estudos genéticos, e seu estilo mais primitivo, o que é de se esperar com base nos achados oriundos da Ásia, parecem se juntar como peças de um quebra-cabeças e apontar para um povoamento das Américas pelo menos tão antigo quanto 15 mil anos atrás. ❑



Alguns dos artefatos encontrados em Buttermilk Creek, com até 15.500 anos de idade.

CORTESIA DE MICHAEL R. WATERS

LINGUÍSTICA

Onde a Fala se Originou?

Uma análise das línguas do mundo mostra que a fala humana surgiu apenas uma vez, no continente Africano.

Bruno Maçães

A diversidade genética e nos traços de aparência humanos diminui à medida que se distancia da África. Isso se deve ao chamado efeito fundador, que acontece quando um novo ambiente é habitado por somente alguns indivíduos de uma espécie, que carregam consigo apenas um subconjunto dos genes da população original. Isso diminui a diversidade de genes que fundam a nova população do local. Os descendentes dos fundadores em geral são mais homogêneos que os indivíduos da população original, e podem ser substancialmente diferentes destes. Um estudo publicado na revista *Science* sugere que o efeito fundador acontece também com a cultura e linguagem humanas.

O número de fonemas – as unidades distintas de som que diferenciam as palavras – em 504 línguas do mundo foi analisado. É comum que um idioma, ao longo de sua evolução, ganhe ou perca fonemas. Porém, na média, espera-se que depois de sucessivas migrações humanas povoando todo o globo, a quantidade de fonemas diminua, por causa do efeito fundador, à medida que se afasta do local de origem. O estudo mostrou que as áreas do planeta povoadas há menos tempo, como as Américas, apresentam línguas com menos fonemas que lugares onde as populações humanas convivem por muitos milênios. Estes últimos possuem a maior quantidade de fonemas entre todas as regiões do globo. A região que utiliza mais fonemas é a África subsaariana, o que indica que a linguagem humana se originou lá. Os tons de vermelho do mapa abaixo vão ficando mais escuros conforme a distância da África aumenta, indicando um número cada vez menor de fonemas usados numa língua. ❑

MICROBIOLOGIA

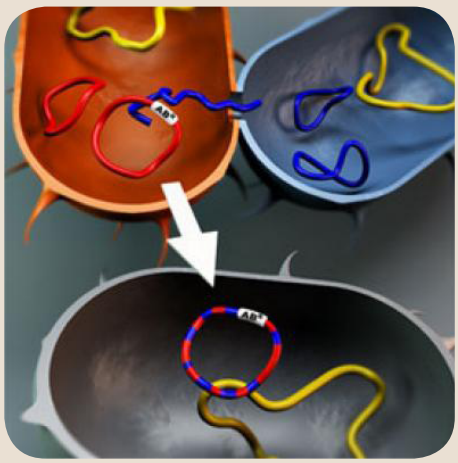
Trocando DNA

Porquê a resistência a antibióticos se alastra rápido entre bactérias

Bruno Maçães

A crescente resistência das bactérias a antibióticos é um problema cada vez mais preocupante no mundo. Diversas cepas de bactéria sobrevivem bem, não apenas a um tipo de antibiótico, mas a vários. Há algum tempo sabe-se que estes micróbios adquirem resistência rapidamente porque, ao contrário de organismos maiores, eles podem trocar pequenos anéis de DNA entre si, chamados plasmídeos. Esse método de troca de material genético é chamado de transferência horizontal de genes (a transferência vertical, mais comum, se dá de pais para filhos). A troca horizontal acontece não apenas entre organismos da mesma espécie, mas também entre espécies bem distintas. Se uma espécie desenvolve resistência a uma substância, ela pode transferir o DNA responsável por esta característica para outra espécie.

Cientistas na Suécia descobriram porque os plasmídeos são mestres em se mover entre diferentes grupos de bactérias e se adaptar a espécies muito difetentes. Eles investigaram 25 genomas da família de plasmídeos IncP-1, uma dos responsáveis pela resistência a antibióticos, e descobriram que os mesmos se recobinaram, o que significa que cada plasmídeo é uma mistura de genes provenientes de várias bactérias. Ao passar de espécie para espécie, um plasmídeo pode incorporar genes de cada tipo de bactéria por onde esteve. O resultado é um plasmídeo com adaptações a várias espécies. Isso facilita sua mobilidade, além de possibilitar a união de vários genes de resistência em um único plasmídeo.



O estudo, publicado por pesquisadores da Universidade de Gothenburg e da Universidade de Tecnologia Chalmers, foi publicado em 25 de janeiro na revista *Nature Communications* ❑

Na figura, o plasmídeo azul se encontra com o vermelho, trocando genes com ele e gerando um novo plasmídeo, composto por genes das duas bactérias. Ao ser inserido numa terceira bactéria, o plasmídeo contém genes adaptados a diferentes espécies.

BACTÉRIAS: BJORN NORBERG

NOVO FORD FOCUS COM MOTOR SIGMA FLEX.
O QUE A CATEGORIA TEM DE MELHOR AGORA NUM SÓ CARRO.

CONCORRENTE B

CONCORRENTE A

Os equipamentos descritos nas fotos e textos são opcionais, e podem ou não estar disponíveis nas versões apresentadas neste anúncio. Imagens somente para fins ilustrativos.

3 ANOS DE GARANTIA

WWW.NOVOFORDFOCUS.COM.BR

0800-703 FORD
3673

NOVO FORD FOCUS. O CARRO DA CATEGORIA QUE MAIS VENCE COMPARATIVOS. TAMBÉM VEM COM TRANSMISSÃO AUTOMÁTICA SEQUENCIAL, TRÊS ESTILOS DE DIREÇÃO, AR-CONDICIONADO DUAL ZONE, FORD POWER, PARTIDA SEM CHAVE, COMPUTADOR DE BORDO, SISTEMA DE ÁUDIO DE ÚLTIMA GERAÇÃO E MOTORES SIGMA 1.6L 16V FLEX E DURATEC 2.0L 16V.

Ford

VIVA O NOVO

NOVO FORD FOCUS

Um carro para quem entende de carro

REVOLUÇÕES

DNA ou Proteínas?

Até os anos 40, o papel do DNA como armazenador dos genes estava longe de ser definido.

Bruno Maçães

Há um certo modismo filosófico bizarro que afirma que as crenças de povos pré-científicos são tão válidas para explicar o mundo quanto as teorias da ciência moderna. Essa corrente, que assume vários nomes, como multiculturalismo, desconstrucionismo, estudos culturais etc., é às vezes agrupada sob o termo *pós-modernismo*. Os pós-modernistas vêm grande significação no caráter provisório das teorias científicas. Vez por outra, modelos universalmente aceitos – que eles gostam de chamar de "paradigmas" – são demonstrados falsos. Sendo assim, dizem eles, nenhuma ideia é eterna. Não há como demonstrar que uma ideia é verdadeira. Uma determinada teoria é tão boa quanto qualquer outra, mesmo que as duas sejam mutuamente contraditórias. Esta coluna procura mostrar, através de exemplos, que essa conclusão não se justifica e está equivocada. Os exemplos são numerosos e surgem a toda hora, em laboratórios e instituições científicas espalhadas pelo mundo. E são publicados todos os meses em revistas como *Nature*, *Science* e muitas outras.

> Dois experimentos, um marcado pelo detalhismo e pela persistência, e o outro famoso por sua simplicidade e elegância, decidiram a questão

Por sinal, "Revoluções", o nome desta coluna, é outra palavra querida dos pós-modernistas. Mas meu conceito de revolução científica é diferente do deles. Para os pós-modernistas, a atividade científica é pouco mais do que um fenômeno sociológico, em que não importa muito o mérito relativo de diferentes teorias. Uma revolução científica é a substituição, a muito custo, de uma teoria por outra. Antes de ser descartada, a teoria substituída é vigorosamente defendida por um grupo interessado em manter seu *status* na ordem social constituída. Casos assim acontecem, mas essa abordagem da História da Ciência é muito limitada. Para mim, uma revolução científica acontece quando a ciência resolve dúvidas sobre o mundo, melhorando nosso entendimento dele. O que é errado passa a ser conhecido e o que não era certo, em muitos casos, torna-se certo. Para sempre.

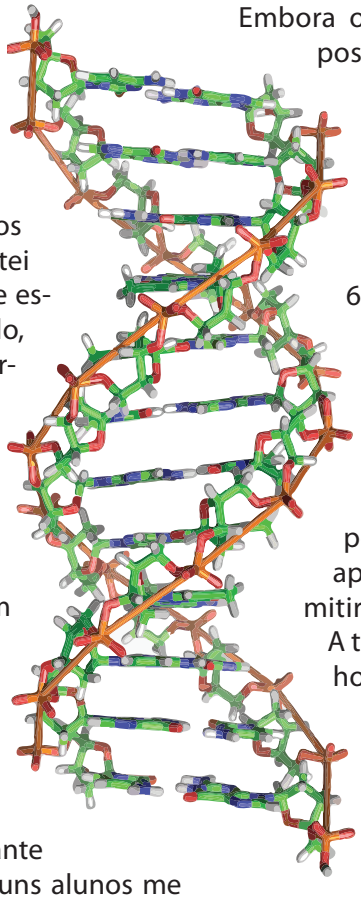
Em princípio, todo conhecimento científico é provisório. Isso reflete uma postura de humildade na prática científica. Diferentemente das ideologias políticas e das religiões, a ciência não se apega de maneira arrogante a nenhuma ideia. Qualquer noção pode ser descartada, a qualquer momento, se forem coletados dados sobre o mundo real que a contrariam. Muitas o são, ao serem refutadas por observações. O árbitro final da validade de uma teoria são os experimentos. *Em princípio*, a ciência pode não determinar com certeza qual é a verdade, mas ela determina com certeza, todos os dias, o que *não* é verdade. Isso, por si só, já a torna superior às crenças tradicionais.

A aplicação desse princípio saudável pelos cientistas na busca pela verdade não implica, *na prática*, que todas as teorias científicas serão infalivelmente descartadas. Muito pelo contrário. Com o tempo, muitas teorias passam a ser avassaladoramente apoiadas pelas evidências, a ponto de serem promovidas à categoria de *fatos*. Por exemplo, ninguém (com exceção de fanáticos e excêntricos) contesta o fato de que a Terra tem o formato próximo ao de uma esfera. Hoje em dia é possível confirmar isso diretamente. Basta fotografar nosso planeta de qualquer um dos milhares de satélites artificiais atualmente em sua órbita. No passado, entretanto, esta era uma questão debatida. O fato de a Terra se mover também já foi questionado. Esses são apenas dois exemplos óbvios. Porém, a maioria do que a ciência moderna revela já foi indeterminado no passado – da constituição dos menores pedaços da matéria até nosso lugar no Universo.

O erro dos pós-modernistas foi ter generalizado as coisas. O fato de algumas teorias científicas se tornarem obsoletas não quer dizer que todas terão o mesmo destino.

Para um pós-modernista, a teoria de que são espíritos maus que causam tuberculose é tão válida quanto a teoria de que essa doença é causada por germes. A ideia de que a Terra é esférica é tão boa quanto a ideia de que ela é plana. O *intelligent design* é tão válido quanto a evolução... você pegou a ideia.

Não estou aqui construindo um *straw man* – caricaturando ideias contrárias às minhas para que se tornem um alvo fácil. Sei que parece covardia citar os fatos de que a tuberculose é causada por germes ou que a Terra é esférica e contrapô-los a noções ridículas. Mas já vi pós-modernistas defenderem coisas igualmente absurdas. Um episódio que presenciei há muitos anos instigou o tema desta primeira coluna.



Durante uma aula de Filosofia da Ciência, um professor estava expondo o ponto de vista de alguns filósofos inspiradores do pós-modernismo, como Thomas Kuhn e Paul Feyerabend. O palestrante em questão parecia ser adepto, se não do pós-modernismo, pelo menos das ideias desses filósofos da ciência. Tentei argumentar a favor do ponto de vista que estou defendendo aqui e citei um exemplo, que eu achava incontestável, de como certas teorias viram fatos: o da descoberta de que o DNA (e não proteínas, como muitos cientistas pensavam) é o verdadeiro meio onde a informação genética dos seres vivos é armazenada. Depois de minha intervenção, o professor apenas retrucou: "e quem garante que um dia essa descoberta não será refutada?". Meus olhos se arregalaram e eu fiquei sem palavras diante de uma adesão tão obstinada a uma posição filosófica. Eu não podia fazer melhor. Foi mais ou menos como explicar que 2+2=4 e no final ouvir o seguinte comentário: "quem garante que 2+2 não será igual a 5 um dia?". Alguns alunos me olharam com uma expressão de *schadenfreude*, como se eu tivesse perdido o debate. Quanto carisma o pós-modernismo tem entre estudantes! De qualquer forma, vou contar agora a história dessa descoberta, para que você julgue por si mesmo se ela é um fato ou "apenas uma teoria" (por sinal, "teorias" em ciência não são meras hipóteses. Elas são apoiadas por copiosos indícios). Se esta história não o convencer, tenho muitas outras que, assim espero, o farão.

A molécula de DNA foi descoberta ao longo dos anos 1860 pelo bioquímico alemão Friedrich Miescher. Ao investigar indícios anteriores de que o núcleo da célula devia armazenar os caracteres hereditários dos seres vivos, Miescher conseguiu isolar um novo tipo de substância, com composição química diferente das proteínas (a nova molécula continha o elemento químico fósforo), que ele chamou de nucleína. Tentativas subsequentes de identificar a composição do núcleo celular levaram à identificação dos cromossomos, através do uso de corantes que os tornavam visíveis durante a divisão celular. Em 1881, Edward Zacharias mostrou que a nucleína estava presente nos cromossomos. Estudos posteriores mostraram que os ácidos nucléicos (esse nome foi introduzido em 1899 por um aluno de Miescher) eram formados por três tipos de moléculas: um açúcar (no caso do DNA, desoxirribose), um grupo fosfato (um átomo de fósforo rodeado por quatro de oxigênio) e uma de quatro bases, adenina (comumente abreviada "A"), guanina (G), citosina (C) e timina (T).

Embora o DNA tenha despertado interesse como o possível armazenador da informação genética pouco depois de sua descoberta, esse interesse diminuiu e continuou baixo por cerca de 60 anos. Mesmo sabendo que os cientistas da época tinham um conhecimento de bioquímica muito mais limitado que o atual, não seria muito injusto dizer que esses 60 anos até que a importância do DNA fosse reconhecida foram um intervalo de tempo longo demais. Talvez o motivo principal para isso tenha sido o fato de a molécula de DNA ter apenas as quatro bases que poderiam ser usadas como "letras" num código genético. As proteínas eram feitas de 20 tipos diferentes de aminoácidos. (Na verdade, apenas duas "letras" são suficientes para transmitir ou armazenar qualquer tipo de mensagem. A tecnologia digital, da qual tanto dependemos hoje, utiliza uma série de "0"s e "1"s para manipular a informação que faz nosso mundo funcionar. Na época, porém, os computadores não passavam de investigações matemáticas em pedaços de papel). Uma grande variedade de proteínas já era conhecida, enquanto o DNA, aparentemente monolítico, era comparativamente sem graça. As proteínas pareciam muito mais interessantes. A ideia era que proteínas poderiam produzir cópias de si mesmas no interior do núcleo. Este conteria um "gabarito" para cada uma delas. O DNA era visto como uma molécula estrutural, que provavelmente fornecia sustentação às proteínas nucleares. Além disso, uma hipótese, a do tetranucleotídeo, formulada pelo bioquímico Phoebus Levine, previa que as bases de DNA formavam uma sequência repetitiva do tipo AGCTAGCTAGCT... Com uma sequência assim, não se consegue comunicar nada. Essa hipótese se tornou muito influente devido à reputação de Levine, mas não era baseada em evidências sólidas e mais tarde foi refutada (mais um exemplo de ideia que não sobrevive ao escrutínio da ciência).

Contudo, as únicas proteínas encontradas no núcleo foram a protamina e as histonas. A protamina está presente nas células reprodutivas (boa parte da pesquisa inicial com ácidos nucleicos foi conduzida utilizando-se esperma de salmão) e as histonas são comuns em todas as outras células. A molécula de protamina, entretanto, é ainda mais simples que o DNA, sendo rica em um tipo de aminoácido, a arginina. Uma sequencia rica em "a"s parece tão ruim para armazenar informação quanto AGCTAGCT. Como, então, as histonas poderiam surgir da protamina? As histonas, por sua vez, são mais complicadas que a protamina, mas elas não se pareciam com um gabarito para todas as proteínas do corpo.

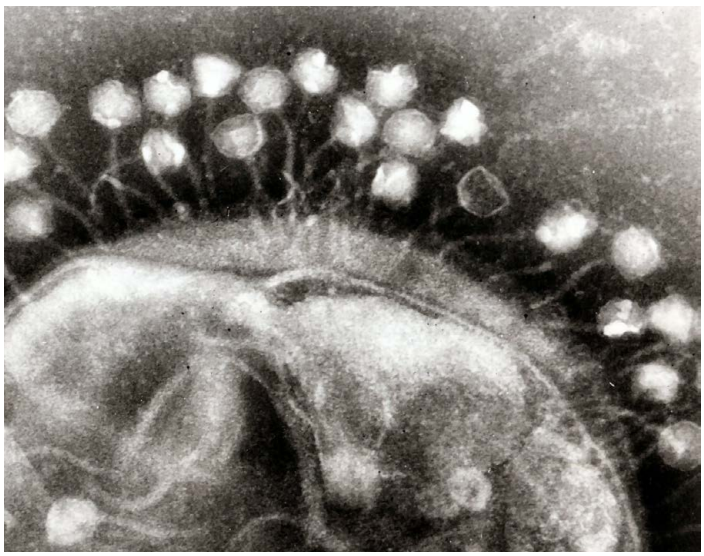
Assim, até os anos 40, embora a existência dos genes já houvesse sido há décadas estabelecida por experimentos, não se sabia exatamente o que eles eram e nem qual era sua base física. Dois experimentos, um deles marcado pelo detalhismo e pela persistência, e o outro famoso por sua simplicidade e elegância, mudaram esse cenário em poucos anos.

No Instituto Rockefeller, Oswald Avery e dois colegas, Colin Macleod e Maclyn MacCarty, começaram a investigar uma intrigante descoberta publicada em 1928 por Fred Griffith. Bactérias *Streptococcus pneumoniae* haviam sido classificadas em duas formas, a lisa (S de smooth, em inglês) e a rugosa (R). A primeira era virulenta, causando pneumonia. A segunda era relativamente inócua. Griffith observou que a forma S, depois de ser aquecida, morria e era incapaz de matar camundongos injetados com ela. Porém, se as bactérias S mortas fossem misturadas com bactérias R vivas, estas últimas se tornavam letais. Hoje sabemos que diversos microorganismos são capazes de incorporar genes de outras variedades ou até espécies – e foi exatamente isso o que ocorreu entre as formas S e R do pneumococo. Na época, a importância deste achado surpreendente foi imediatamente reconhecida por geneticistas.

Cientistas do Rockefeller logo descobriram que a transformação ocorria mesmo sem a utilização de ratos. Bastava colocar as duas variedades de pneumococo juntas num prato para que ela acontecesse. Avery e seus colegas passaram a tentar identificar qual era o fator responsável pela transformação da cepa R em S. Métodos de fragmentação das bactérias foram desenvolvidos, permitindo que os pedaços fossem colocados numa centrífuga (um instrumento que gira em alta velocidade e separa os componentes numa mistura, enviando as partículas mais pesadas contidas num líquido para o fundo de um tubo). A equipe de cientistas iniciou então um processo de eliminação: ao invés de tentar descobrir de cara qual era o agente transformador, eles procuraram saber o que ele *não* era. Primeiro, enzimas que destruíam proteínas foram usadas. O princípio ativo – que não era uma proteína – continuava no líquido centrifugado. Em seguida, polissacarídeos presentes nas cápsulas que envolviam as bactérias foram eliminados. Restou apenas DNA e RNA. Avery, Mcleod e McCarty usaram então a enzima ribonuclease para destruir o RNA. A solução continuava ativa. Por fim, a equipe utilizou desoxirribonucleodespolimerase, capaz de destruir DNA. A solução perdeu seu efeito. Esse experimento mostrou decisivamente que era o DNA, e não as proteínas, que armazenava a informação genética.

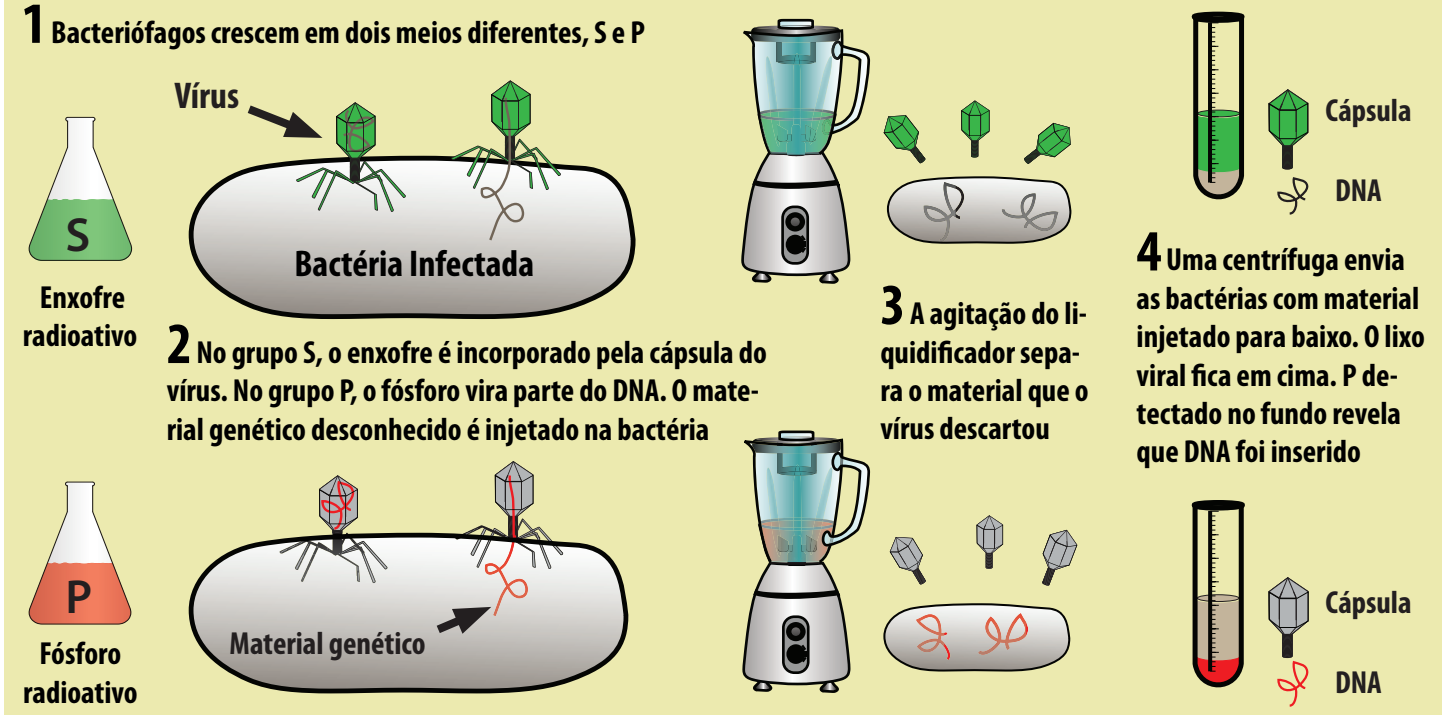
O mundo real "disse" a Hershey e Chase que as proteínas não são o material genético.

Se o experimento de Avery foi suficiente para mudar a opinião dos bioquímicos, um outro experimento, brilhante por sua simplicidade, convenceu toda a comunidade científica e impulsionou os estudos sobre a química do DNA que culminaram com a descoberta do seu formato em hélice por Francis Crick e James Watson, em 1953. Martha Chase e Alfred Hershey utilizaram um simples liquidificador e dois meios de cultura de bactérias ligeiramente radioativos para mostrar de uma vez por todas que o DNA era a molécula da vida. No experimento Waring Blender, como ficou conhecido (Waring era a marca do liquidificador), bactérias *E. coli* foram cultivadas em dois meios diferentes: um contendo enxofre radioativo e outro contendo fósforo radioativo. Isso foi feito porque proteínas contém enxofre, mas não fósforo, enquanto DNA contém fósforo, mas não enxofre. Em seguida, as bactérias foram infectadas com bacteriófagos, vírus que, por serem extremamente reduzidos, não possuem as es-



Nesta foto ao microscópio eletrônico, bacteriófagos se acoplam a uma bactéria e injetam DNA em seu interior. A bactéria passará a gerar novos vírus, que romperão sua vítima e escaparão.

O EXPERIMENTO DE HERSHEY E CHASE



truturas necessárias para se reproduzir (*ver foto na pág. anterior*). Bacteriófagos sequestram o maquinário de uma bactéria para fazer novas cópias de si mesmos. Portanto, eles necessariamente injetam dentro das bactérias seu material genético – as instruções para que elas produzam mais vírus. Hershey e Chase sabiam que os vírus eram compostos apenas por DNA e proteínas, mas ignoravam qual dos dois era injetado nas bactérias. Esse arranjo experimental permitiu que eles obtivessem duas amostras do mesmo vírus: numa delas as proteínas haviam incorporado enxofre radioativo e, na outra, o DNA havia incorporado fósforo radioativo. Por terem duas "assinaturas" radioativas diferentes, as duas substâncias utilizadas serviram, assim, para "etiquetar" os vírus (*ver quadro acima)*.

A seguir, eles infectaram novas bactérias *E. coli* com as duas amostras desses vírus. O material que fosse injetado dentro das bactérias continuaria nelas após o envelope do vírus ser removido de seu exterior. Hershey e Chase estavam justamente pensando em como eles iriam "lavar" o exterior das bactérias sem destruí-las e transformar todo o experimento num fiasco. Um colega emprestou-lhes o famoso liquidificador Waren, que se mostrou perfeito para a tarefa. O aparelho agitava as bactérias na medida certa para que os envelopes dos vírus fossem removidos, sem despedaçá-las.

A primeira amostra de vírus, contendo proteínas etiquetadas com enxofre radioativo, resultou em bactérias infectadas que não emitiam radiação após serem colocadas no liquidificador, o que indicava que o material genético no interior das células não era proteína. A segunda amostra, etiquetada com fósforo radioativo, resultou em bactérias com a assinatura típica desse elemento, o que mostrou definitivamente que o DNA era a molécula responsável pela transmissão do material genético.

O que esse exemplo e muitos outros ilustram é que a diferença entre ciência e superstição está no fato de a primeira fazer perguntas ao mundo e usar a engenhosidade humana afim de encontrar meios para que o próprio mundo as responda. O mundo real "disse" a Hershey e Chase que as proteínas não são o material genético. Não há como essa realidade mudar. Novas descobertas podem até modificar o que sabemos. Por exemplo, hoje se sabe que o RNA, a molécula prima do DNA, exerce uma série de funções no nosso organismo e nos de outros seres vivos. Em alguns vírus ele armazena o material genético. Em nós, além de desempenhar papéis na produção de proteínas a partir de DNA, ele também age como regulador da produção desses genes. Mas a humanidade sabe para sempre que proteínas não têm nada a ver com transmissão de características hereditárias – e que esse papel, com poucas exceções, é desempenhado pelo DNA.

A afirmação pós-modernista de que não há como descobrir verdades sobre o mundo é autocontraditória. Se ela for verdadeira, devemos incluir nessa brilhante constatação a própria filosofia pós-modernista. Em outras palavras, não há como saber se ela é válida. Então, por que acreditar nela? Os pós-modernistas não podem alegar que sua filosofia é a única exceção ao que pregam. Temos de concluir que, se o pós-modernismo é verdadeiro, ele é falso. Se, por outro lado, há como determinar fatos sobre a realidade (o método científico o faz), o pós-modernismo também é falso, por sustentar que isso não é possível. ❑

Imagem de alta definição do Hubble Deep Field. Os menores pontos avermelhados mostram como galáxias – milhares delas – eram até 13 bilhões de anos atrás. Devido à expansão do Universo, atualmente essas galáxias se encontram a 40 bilhões de anos-luz.

As Colossais DISTÂNCIAS CÓSMICAS

Dois fatos sobre a realidade física – a imensidão do Universo e a velocidade finita da luz – têm importantes consequências. Primeiro, futuras comunicações e viagens interestelares sofrerão profundas limitações. Segundo, e mais surpreendente: da Terra, é possível observar diretamente o início dos tempos.

Quando criança, eu costumava passar as férias escolares na então tranqüila ilha de Itamaracá, no estado de Pernambuco. Os habitantes locais viviam em vilarejos muito pobres e obtinham seu sustento principalmente da pesca. O filho de um pescador, Duda, estava entre meus companheiros de brincadeira. Naquela época, o ensino fundamental já era oficialmente obrigatório, mas Duda, de dez anos, havia abandonado a escola. Por causa disso, ele, assim como a maioria dos ilhéus, vivia imerso num oceano de superstições. Eu sabia desse triste estado de coisas porque já me entusiasmava por astronomia e conversava com eles sobre os objetos celestes. Duda era uma amostra representativa da visão de mundo predominante em Itamaracá. Suas crenças, por sinal, guardavam uma notável semelhança com as de alguns povos antigos, como os gregos. Para eles, as estrelas eram pequenas luzes coladas no céu, a uma distância talvez não muito maior do que a que um avião podia voar. Quando eu dizia que astronautas já haviam caminhado sobre a Lua, ele respondia com um *Varêi!*, interjeição que mistura espanto e desaprovação usada apenas pelos itamaracaenses, e afirmava que a Lua era território reservado a Deus. Portanto, eu cometia uma blasfêmia ao dizer que nosso satélite havia sido visitado.

Eu me divertia com essas opiniões inocentes e errôneas. Mas se tentarmos por um momento descartar tudo o que aprendemos e apenas observarmos o céu a olho nu, ele se apresenta exatamente como certas culturas pré-científicas o descrevem. As estrelas se parecem mesmo com luzinhas, todas elas mais ou menos à mesma distância de nós, fixadas a uma espécie de esfera invisível que nos rodeia. Para mim, era uma sensação maravilhosa saber a verdade: as estrelas não são luzinhas, mas sim gigantescas bolas de gás incandescente tão grandes quanto o Sol, algumas possivelmente contendo planetas e seres inteligentes olhando em nossa direção e se perguntado se por aqui haveria alguém (nenhum planeta extrasolar havia sido descoberto até então. Hoje, os astrônomos sabem da existência de milhares deles).

Desde a antiguidade já se conheciam indícios de que os planetas e o Sol estavam muito distantes. Em torno de 250 AEC (antes da era corrente), Aristarco de Samos empregou um engenhoso método para deduzir que o Sol era bem maior que a Terra (ver quadro na pág. 32). Isso o levou a propor o modelo heliocêntrico pela primeira vez. No século XVI, ainda antes do telescópio, o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe utilizou instrumentos de precisão inventados por ele para determinar as posições exatas dos planetas no céu, o que permitiu que seu sucessor, o alemão Johannes Kepler, calculasse suas trajetórias e posições relativas em torno do Sol. As distâncias reais, no entanto, só foram calculadas no século XIX, quando a separação entre o Sol e a Terra foi finalmente medida observando-se passagens do planeta Venus na frente do Sol. As distâncias até as estrelas também só se tornaram conhecidas no século XIX, com a medição da primeira pa-

NASA/STScI

ralaxe estelar (ver quadro na pág. ao lado). Infelizmente, em pleno século XXI, esse conhecimento ainda é pouco difundido, mesmo em sociedades afluentes.

Viagem Demorada

O que se descobriu é que as distâncias até as estrelas são imensas. A estrela mais próxima de nós (depois do Sol, é claro), apropriadamente chamada Próxima Centauri, está a cerca de 40 *trilhões* de quilômetros de distância. Pronunciar um número tão grande é fácil. Compreendê-lo adequadamente não é tão simples. Para colocar os valores envolvidos em perspectiva, imagine-se viajando de carro até uma cidade próxima, a 100 km de distância. Numa boa estrada, esse percurso leva em torno de uma hora. Essa mesma distância é coberta em pouco mais de doze segundos por uma espaçonave em órbita da Terra. Rodando dia e noite, sem parar, a 100 km/h, o carro levaria 158 dias para percorrer 380 mil quilômetros, distância equivalente à da Lua (se bem que, tipicamente, um carro demora cerca de vinte anos, se durar todo esse tempo, para atingir tal quilometragem). Essa mesma distância foi percorrida em pouco mais de 8 horas pela sonda New Horizons, que se dirige a Plutão, em 2006. A New Horizons continua a acelerar; sua viagem até Plutão deverá durar nove anos. Plutão está em média 15 mil vezes mais afastado de nós que a Lua. Um dado sem dúvida impressionante, mas insignificante comparado à distância para Próxima Centauri. Essa estrela está mais de 105 milhões de vezes mais distante que nosso satélite, e a New Horizons levaria quase oitenta mil anos para chegar até lá! Diante disso, vale lembrar que as primeiras civilizações humanas, como a sumeriana e a assíria, e os primeiros registros escritos, datam de "apenas" 6 mil anos. Utilizando o melhor de nossa tecnologia atual, viajar para Próxima Centauri – de preferência um percurso de ida e volta – levaria 26 vezes mais tempo do que toda a história humana desde a invenção da escrita (ver quadro na pág. 24). É desnecessário dizer que um projeto com esse objetivo, no momento, é inviável. Além do tempo gasto, há outras dificuldades ainda mais intimidantes (ver "Missão Impossível?", Scientia, Edição 8). É provável que seres humanos, pelo menos na sua forma atual, nunca deixem a vizinhança de nossa estrela, ao contrário do que levam a crer inúmeros contos de ficção científica.

Viajar para Próxima Centauri levaria 26 vezes mais tempo do que toda a história humana desde a invenção da escrita.

A distância até Próxima Centauri, por sinal, é só o começo de nossa progressão. Ela é na verdade minúscula comparada com as dimensões de nossa galáxia e do Universo como um todo. Se nossa galáxia fosse vista de longe, o Sol e Próxima Centauri estariam praticamente no mesmo lugar. Pensemos agora na coisa mais rápida que existe no Universo: a luz. Um feixe de luz vai da Terra à Lua em pouco mais de um segundo e leva apenas quatro anos para ir até Próxima Centauri. Esse mesmo feixe, se apontado em direção ao centro de nossa galáxia, demoraria 26 mil anos para chegar lá. Para atingir a borda oposta à nossa na galáxia, ele demoraria quase 100 mil anos viajando.

A galáxia mais próxima da nossa, excluindo-se galáxias satélites como as Nuvens de Magalhães, é a de Andrômeda, que os astrônomos acreditam ser semelhante à Via Láctea (ver figura à esquerda). Se apontássemos um feixe de luz na direção de Andrômeda, ele chegaria lá depois de ter viajado por 2,3 milhões de anos. Completando a progressão de distâncias que se iniciou com a Lua, em relação ao Universo *observável* – mais sobre isso adiante – a Via Láctea e Andrômeda estão praticamente encostadas uma à outra. Se o Universo visível tivesse uma extensão comparável à do Brasil, as duas galáxias em questão estariam localizadas não apenas na mesma cidade, mas no mesmo quarteirão (ver quadro na pág. 25). Há galáxias muito mais distantes que Andrômeda e a luz precisa viajar por bilhões de anos para chegar até elas.

Portanto, há enormes espaços va-

Andromeda é a galáxia mais próxima da nossa. Os dois objetos estão em possível rota de colisão, mas mesmo se aproximando a 120km/s, eles só se encontrarão daqui a 4,5 bilhões de anos.

Foto: Robert Gendler.

A FITA MÉTRICA DOS ASTRÔNOMOS

A defesa da teoria heliocêntrica por Nicolau Copérnico (1473-1543) gerou oposição por parte da Igreja e de outros astrônomos. A Bíblia sugere que o mundo é plano e que o Sol gira em torno dela. Além disso, desde seus primórdios a igreja havia adotado como doutrina oficial as teorias de Aristóteles, que supunham, por razões metafísicas, que a Terra estava no centro do Universo. Mas os ataques ao heliocentrismo não aconteciam apenas por motivos dogmáticos. Os astrônomos da época seguiam o modelo razoavelmente bem sucedido do grego Ptolomeu, que previa as posições dos planetas de forma satisfatória. Havia uma razão mais persuasiva para se rejeitar o heliocentrismo: se a Terra se movimentasse em torno do Sol, poderíamos ver as estrelas mudando de posição umas em relação às outras. As comparativamente próximas se movimentariam mais que as muito distantes. Esse movimento não era detectado. Hoje sabemos porquê: as estrelas estão muito mais distantes do que se imaginava, e sem telescópios potentes não é possível ver seu deslocamento relativo.

O movimento aparente de uma estrela no céu em relação ao fundo é chamado de paralaxe. O mesmo fenômeno ocorre quando colocamos o dedo a uma certa distância dos olhos e passamos a abrir apenas um olho de cada vez. O dedo parece mudar de posição em relaçao a objetos no fundo.

Ao orbitar o Sol, a Terra se encontra em posições diametralmente opostas a cada seis meses. Como a distância média do nosso planeta ao Sol é de 150 milhões de quilômetros, em junho, por exemplo, a Terra se encontra a 300 milhões de quilômetros de onde estava em janeiro. Essa grande separação permite que a paralaxe para as estrelas mais próximas seja medida. A primeira paralaxe estelar foi obtida em 1838 por Friedrich Bessel. ❑

zios entre as estrelas e também entre as galáxias. E o número de estrelas no Universo é, como vários livros de popularização científica nos lembram, maior que o número de grãos de areia em todas as praias da Terra. O Universo contém centenas de bilhões de galáxias, cada qual reunindo centenas de bilhões de estrelas. Nenhum mito de criação humano jamais chegou sequer longe de descrever o tamanho real do Universo.

Diálogo Interplanetário

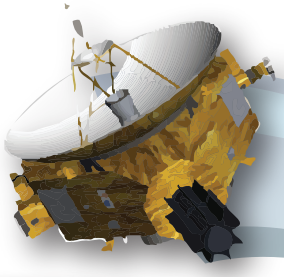
A vastidão do cosmos tem implicações bizarras. Imagine-se conversando com um astronauta em Marte, quando este planeta se encontra próximo ao nosso (quando os dois astros estão "do mesmo lado" em suas órbitas em torno do Sol). Ao mesmo tempo em que conversa, você o observa andando sobre o planeta vermelho através de um telescópio ultra-potente. Você saúda o astronauta, mas percebe que ele continua suas tarefas como se não tivesse ouvido nada. Você tenta novamente chamar sua atenção. Tenta repetidas vezes, mas nenhuma reação. Frustrado, você desiste de contatá-lo, mas continua observando o que se passa lá longe. Aparentemente, houve algum problema com seu aparelho de rádio. Oito minutos depois você se surpreende com o som e a imagem do astronauta respondendo, com irritação, a seus repetidos chamados. Agitado, você se desculpa e tenta prosseguir a conversação, perguntando sobre a temperatura em Marte. Porém, o astronauta novamente parece ignorá-lo. Depois de algumas repetições desse comportamento estranho, você conclui que é possível dialogar com seu interlocutor distante, mas por algum motivo ele só responde às suas perguntas oito minutos depois que elas são feitas. Meses depois, Marte se encontra mais distante da Terra e você decide iniciar outra comunicação com o astronauta. Desta vez, já acostumado com essa estranha propriedade das conversas radiofônicas com Marte, você espera os oito minutos por uma resposta, mas não ouve nada. A resposta finalmente chega, mas somente depois de vinte minutos. Intrigado, você arrisca uma hipótese para explicar esses acontecimentos. Provavelmente, sua imagem e voz levam alguns minutos para viajar até Marte, e qualquer resposta de Marte leva mais alguns minutos para chegar até a Terra. Ao dialogar, o tempo entre uma pergunta e sua resposta é igual

INFOGRÁFICO: Agência Explora

JORNADA NAS ESTRELAS

A New Horizons atingiu uma velocidade superior a 23 km/s ao passar por Júpiter. Abaixo, distâncias até diversos locais e o tempo aproximado que esta sonda levaria para chegar até eles.

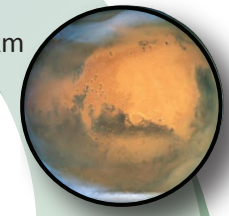
São Paulo-Rio
450 km
22,5 segundos



Lua
380.000 km
8 horas

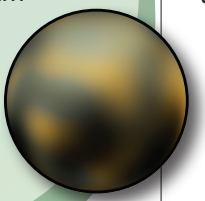
Andrômeda
2,3 milhões de anos-luz
46 bilhões de anos

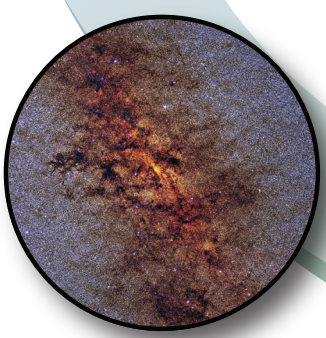
Marte
70.000.000 km
2,7 meses



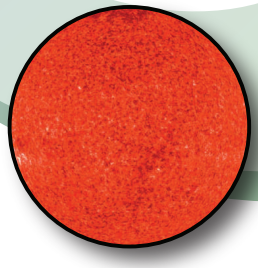
Na prática, a New Horizons não conseguiria escapar da gravidade da nossa galáxia. Para isso, ela precisaria viajar a mais de 525 km/s.

Plutão
4.950.000.000 km
8,7 anos





Centro da Via Láctea
26 mil anos-luz
520 milhões de anos



Próxima Centauri
40 trilhões de km
80 mil anos

ao necessário para a pergunta, e em seguida a resposta, viajarem entre a Terra e Marte. Além disso, esse tempo varia conforme muda a distância entre os planetas. Ao observar o astronauta ao telescópio, você não está vendo o que ele está fazendo agora, mas o que ele fazia há quatro minutos. Por isso ele não responde imediatamente.

Você finalmente conclui que qualquer tipo de informação demora um tempo para ir de um lugar para outro. Assim como, no passado, uma caravela levava meses para cruzar o oceano e trazer a notícia da morte do rei e da ascensão do príncipe herdeiro ao trono – e nesse ínterim as pessoas na colônia agiam por meses como se o rei ainda estivesse vivo – as comunicações com Marte, mesmo dispensando caravelas e sendo "diretas", demoram a se efetuar. Depois de perguntar algo ao astronauta distante, ele continua atuando por alguns minutos como se não soubesse que a pergunta foi feita. Você suspeita que esse efeito aconteça também quando nos comunicamos na Terra, porém de maneira muito mais sutil e praticamente imperceptível. Normalmente, as comunicações entre duas pessoas parecem ser "instantâneas". Elas são assim porque nosso intercâmbio de mensagens viaja em alta velocidade e por distancias relativamente curtas. Para grandes distâncias, porém, a informação sobre um evento qualquer, que viaja no máximo à velocidade da luz, só é recebida momentos – ou mesmo anos – mais tarde.

A luz percorre cerca de 300 mil quilômetros em um segundo. Quando falamos ao telefone com alguém, mesmo numa ligação internacional de "longa distância", o sinal sai do aparelho, vai até uma central telefônica, e dela até um satélite a 36 mil quilômetros da Terra. O sinal retorna para a Terra e é captado por outra estação num país distante, que o retransmite a outro aparelho telefônico, percorrendo ao todo cerca de 72 mil quilômetros. Tudo isso demora 1/5 de um segundo, o que não é percebido pelos usuários de telefones, que conversam como se suas vozes fossem transmitidas instantaneamente. Mesmo numa comunicação com a Lua, os sinais de rádio demoram pouco mais de dois segundos para ir e voltar, o que é perceptível mas não chega a sugerir aos interlocutores que eles estão diante de umas das limitações mais fundamentais do Universo.

Ilusão Persistente

Para entender essa limitação à capacidade de comunicação no Universo, retornemos ao diálogo com o astronauta em Marte e investiguemos mais a fundo o que aconteceu. Sua voz, assim como sua imagem falando ao rádio, saíram de onde você estava e viajaram em todas as direções na velocidade da luz. As ondas de luz (incluin-

Ilustração: Estúdio Scientia. Feita utilizando-se imagens da NASA, STScI e Rober Gendler (galáxia).

do sinais de rádio, que são uma forma de luz) deixaram a Terra e chegaram a Marte quatro minutos depois. Só então o astronauta respondeu à sua saudação. A resposta dele demorou mais quatro minutos para retornar. Oito minutos depois de saudá-lo, você o viu respondendo. É interessante imaginarmos uma imagem que contém você fazendo a pergunta viajando entre a Terra e Marte, sendo por algum tempo ignorada pelo astronauta. Essa imagem constitui um momento no tempo, "carregado" pelos fótons (as partículas de luz) de um lugar a outro.

Estritamente falando, a sensação de que há um tempo presente em todo o Universo é uma ilusão. No exemplo aqui apresentado, nosso presente difere do vivido pelo astronauta. Quando o observamos agora, vemos o que ele estava fazendo alguns minutos atrás. Por isso ele parece não responder à saudação inicial. Porém, esse mesmo momento da sua saudação só será visto por ele alguns minutos adiante. Cada um observa o que o outro estava fazendo no passado. O que levanta uma questão interessante: existe uma maneira de calcular um "agora" universal? Por exemplo, suponha que comemos um chocolate enquanto olhamos o astronauta desempacotar um instrumento científico. Quatro minutos depois, observamos que ele está instalando o instrumento no solo, e deduzimos que no mesmo instante em que comíamos o chocolate, o astronauta estava na verdade instalando o instrumento, e não o desempacotando. Assim, haveria um momento presente universal que poderíamos computar se descontássemos os atrasos causados pela velocidade finita da luz.

Isso só aconteceria se todos os objetos do Universo mantivessem suas posições relativas intactas: se as coisas não se movessem umas em relação às outras. Mas a teoria especial da relatividade, de Albert Einstein, mostrou que não é possível, nem em princípio, sincronizar nossos relógios com o de outra pessoa que esteja se movendo em relação a nós – nem mesmo se ela estiver passando ao nosso lado, em vez de se encontrar no distante planeta Marte. No dia a dia, julgamos poder sincronizar nosso relógio com alguém passando de carro por nós. Porém, se tivéssemos relógios extremamente precisos veríamos que seria impossível concordar com o motorista do carro sobre se duas coisas aconteceram ao mesmo tempo. Os efeitos da relatividade só são fáceis de notar a velocidades muito superiores às que estamos acostumados no dia a dia (ver "A Realidade não Percebida", Scientia, Edição 7). Se a velocidade da luz fosse infinita, haveria de fato um tempo universal, pois os atrasos descritos aqui não aconteceriam e todos os observadores se veriam "em tempo real", não importando a distancia entre si. Mas esse não é o caso.

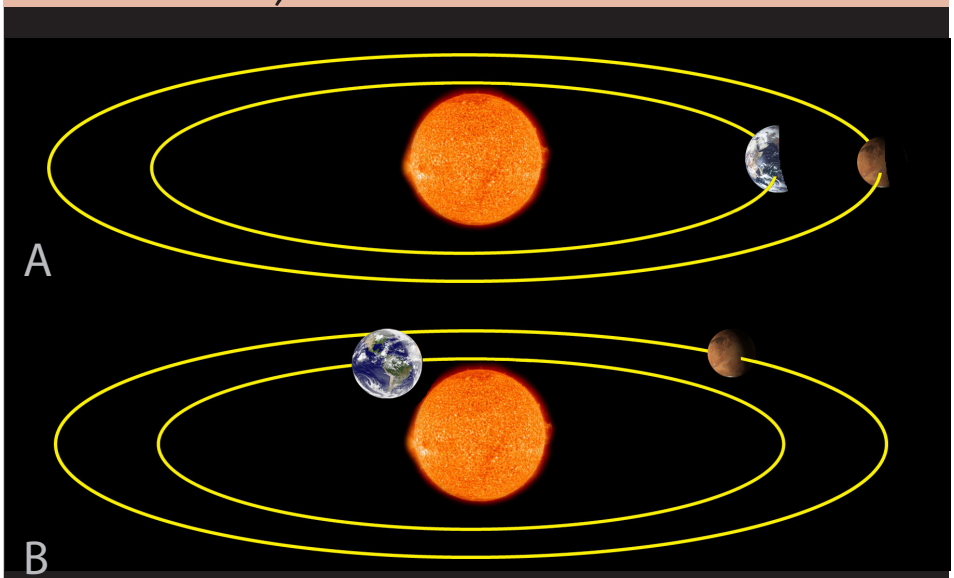
Mesmo assim, intuitivamente acreditamos que existe um "agora" em todo o cosmos; que o que acontece aqui pode basicamente ser visto ao mesmo tempo por qualquer um, independentemente de sua localização no Universo. Como acabamos de ver, no dia a dia, temos essa impressão porque as distâncias envolvidas em nossas comunicações são muito curtas. A luz chega quase instantaneamente a qualquer lugar, e as coisas parecem transcorrer "em tempo real". Entretanto, como uma caravela, ainda que ultrarrápida, a luz demora para ir

DISTANTES OU PRÓXIMOS?

É uma questão de ponto de vista. Impossivelmente distantes para nós, o Sol e Próxima Centauri estão no mesmo ponto da galáxia, na escala em que a Via Láctea é mostrada ao lado. O mapa do Brasil mostra que se a extensao do Universo observável fosse igual ao de nosso país, a galáxia de Andrômeda e a nossa estariam apenas a cerca de 100 metros de distância. Na escala do mapa, também é impossível separar os dois pontos, a não ser com um aumento adicional de cerca de 50 mil vezes.

Ilustração: Estúdio Scientia. Mapa utilizado © 2011 Google. Galáxia: NASA/JPL.

COMUNICAÇÃO DIFÍCIL



Em (A), Terra e Marte se encontram em aproximação máxima, distantes 70 milhões de quilômetros. Um diálogo com um astronauta no planeta vermelho leva oito minjutos entre pergunta e resposta. Alguns meses depois (B), a Terra se encontra bem mais distante de Marte, e o tempo de diálogo aumentou para 20 minutos.

de um lugar a outro. E o exemplo do astronauta nos mostra que, depois de alguns meses, quando Marte se afastou da Terra, o tempo de comunicação entre a Terra e Marte mudou para vinte minutos. Isso porque a luz passou a ter de percorrer uma distância maior (isso vale para qualquer outra forma de transmissão de informação, já que nada viaja mais rápido que a luz. Ver quadro acima). Imagine agora o que aconteceria se estivéssemos nos comunicando com alguém a uma distância muito maior que a do planeta Marte. Suponhamos que nosso interlocutor é um astronauta nas redondezas de Próxima Centauri. Depois de saudá-lo, poderíamos esperar uma resposta não alguns minutos depois, mas sim oito anos mais tarde! Se houvesse um telescópio suficientemente potente, poderíamos observar o astronauta, mas veríamos o que ele estava fazendo há aproximadamente quatro anos. O mesmo pode ser dito sobre Próxima Centauri. A imagem da estrela que vemos hoje mostra na verdade como ela era há quatro anos.

Assim, quando olhamos para longe, estamos olhando diretamente para o passado.

O Fim é o Começo

A profundidade desse passado aumenta com a distância. Quando observamos o centro de nossa galáxia, a 30 mil anos-luz de nós (um ano-luz é a distância que a luz percorre em um ano, equivalente a 9,4 trilhões de quilômetros), estamos captando luz e informações que deixaram aquele local há 30 mil anos. Portanto, estamos vendo como o núcleo galáctico era 30 mil anos atrás. No caso de Andrômeda, vemos como esta galáxia era há 2,3 milhões de anos. E assim por diante: podemos ver como uma infinidade de galáxias era até bilhões de anos atrás.

A essa altura, talvez você esteja se perguntando se poderíamos observar objetos com trilhões de anos ou até mesmo infinitamente antigos. Em princípio, isso seria possível. Mas não vemos esses objetos. Eles não estão lá. O Universo parece chegar ao fim, depois de cerca de 14 bilhões de anos-luz (a estimativa mais recente é 13,7 bilhões, mas aqui arredondamos este valor para 14 bilhões. Usamos esse número temporariamente. As distâncias envolvidas são maiores e veremos o motivo logo mais. A distância exata não é importante para o presente raciocínio). Não se trata de uma limitação dos nossos telescópios atuais. Também não é o caso que a distância torne os objetos celestes "pequenos" ou "pálidos" demais. Simplesmente, além de 14 bilhões de anos-luz não há mais galáxias. Podemos literalmente ver o fim ou a borda do mundo, por assim dizer. Depois dela, não há nada. Isso *não* significa, porém, que o Universo, além desses 14 bilhões de anos luz, se estende até o infinito num profundo vácuo. Isso seria realmente estranho, pois implicaria que estamos no centro do mundo, cercados por uma esfera de galáxias com raio de 14 bilhões de anos-luz (ver quadro na pág. 30). Essa localização especial no cosmos contrariaria o princípio Copernicano, que diz, em suma, que nosso sistema solar e nossa galáxia são típicos no Universo e não possuem localização privilegiada no espaço ou no tempo.

Para entendermos a causa deste limite cósmico, temos de levar o tempo em consideração. Dizer que não há nada além de 14 bilhões de anos-luz de distância é o mesmo que dizer que nada existia antes de 14 bilhões de anos atrás. Que o Universo iniciou-se há 14 bilhões de anos.

Escuridão Noturna

Curiosamente, nunca foi necessário construir supertelescópios para deduzir isso. O fato de o céu ser escuro à noite indica que o Universo não existiu eternamente. Até o final dos anos 20, era consenso entre os astrônomos que o Universo sempre foi como é atualmente. Quando se olha para o céu plácido, parece razoável supor que o Universo é estático – infinito e infinitamente antigo. Porém, cerca de cem anos antes, Heinrich Olbers, um médico alemão e astrônomo amador,

Ilustração: Estúdio Scientia

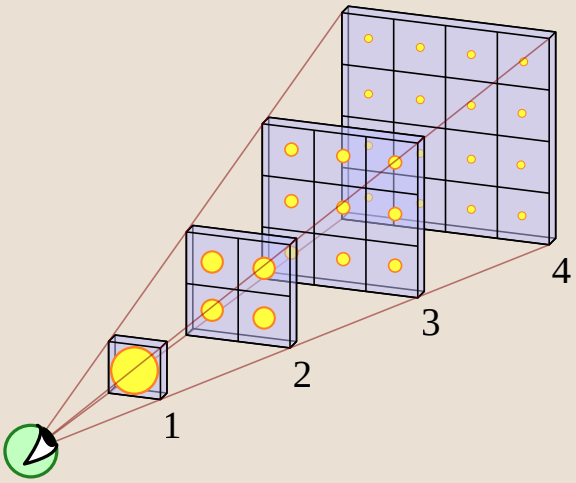
havia argumentado que num Universo infinito e eterno, para qualquer lado que se olhe, a linha de visada deveria terminar na superfície de uma estrela. Num Universo infinito, deve haver uma quantidade infinita de espaço em torno de qualquer ponto. Podemos tomar qualquer local arbitrariamente e considerá-lo o "centro" do Universo. Se a matéria do Universo está distribuída uniformemente (o que é uma boa aproximação da realidade – dizemos que o Universo é isotrópico e homogêneo, ou seja, para qualquer lado que olhemos, e independentemente de onde estejamos, ele parece igual), então num Universo infinito não existiria nenhuma direção para onde olhássemos sem encontrar uma estrela no caminho, pois haveria um número infinito delas. Portanto, o céu noturno deveria ser tão brilhante quanto o Sol, o que contradiz o fato dele ser escuro.

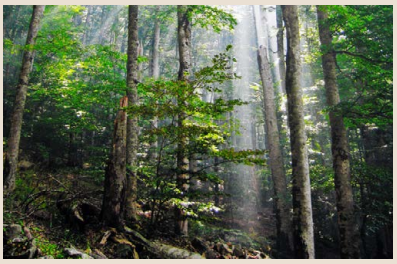
Ou não deveria? Sabemos que o brilho e o calor das estrelas diminui com a distância. A escuridão do céu noturno poderia ser causada por esse efeito? Pelo fato de as estrelas estarem distantes demais de nós? Para entender porque esse não é o caso, é preciso se familiarizar com duas propriedades do espaço tridimensional. A primeira é que o brilho de um objeto diminui a uma taxa específica: o quadrado da distância entre nós e ele. Imaginemos duas estrelas de mesmo brilho: uma delas distante dez anos luz e a outra localizada a 20 anos-luz. Para nós a segunda estrela teria um brilho aparente quatro vezes menor do que a primeira. Mas esta perda de brilho com a distância é exatamente compensada pela segunda propriedade: a uma distância duas vezes maior, o número de estrelas numa determinada área do céu também se torna quatro vezes maior. De forma que num Universo infinito, seria impossível olhar para qualquer direção sem que a superfície de uma estrela fosse finalmente encontrada. Todas as direções seriam brilhantes (ver quadro abaixo). A uma distância muito grande, o brilho das estrelas seria diminuto, mas seu número seria muito elevado.

Além disso, num Universo infinitamente extenso e antigo, o brilho e o calor das estrelas já teriam tido tempo para se distribuir uniformemente pelo espaço. O calor sempre "flui" de um lugar quente para lugares mais frios. Por exemplo, se adicionarmos gelo a uma xícara de água quente, depois de um tempo veremos que o gelo foi derretido pela água, que também esfriou. Uma temperatura de equilíbrio entre a do gelo e a da água é atingida no final. Esse fato é expresso na física pela segunda lei da termodinâmica. Da mesma forma, o calor das estrelas se dissipa o tempo todo para o espaço, que é muito frio. Um Universo infinitamente antigo já teria há muito atingido o equilíbrio termodinâmico e deveria estar uniformemente "morno". Não existiriam diferenças de temperatura entre espaços vazios e estrelas.

Por que então o céu noturno não é incandescente? Três explicações vêm à mente: ou o Universo termina em algum lugar ou as estrelas não estiveram brilhando sempre, não tendo tempo ainda para esquentar todo o céu. Ou ambas as coisas. A terceira explicação prevaleceu, por estar de acordo com a teoria do big bang, desenvolvida no século XX. Porém, essa mesma teoria tornou a explicação incompleta. A história é mais complicada – e fascinante. Isso porque no paradoxo de Olbers supõe-se que

O PARADOXO DE OLBERS

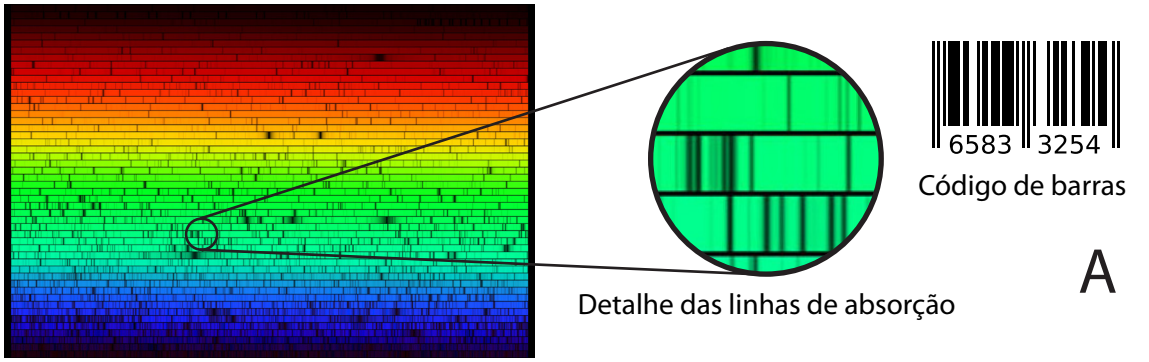




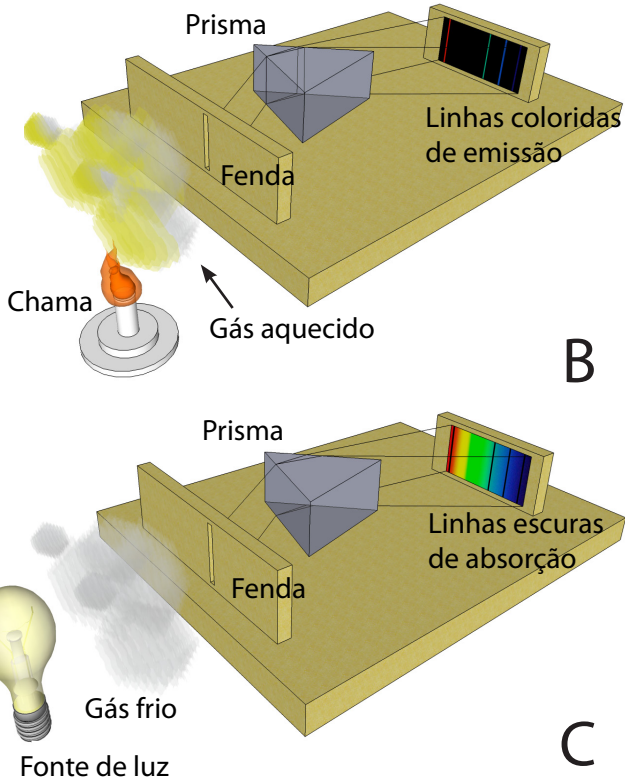
O brilho das estrelas (e galáxias) diminui com o quedrado da distância até elas. Esse efeito é exatamente compensado por um aumento no número de estrelas também proporcional ao quadrado de sua distância. Isso acontece por causa da geometria do espaço. Um mesmo ângulo de visão capta 1, 4, 9, e 16 quadrados de mesmo tamanho, sendo que a distância deles em relação ao primeiro quadrado é 2, 3 e 4 vezes maior. A luminosidade de cada esfera imaginária em volta de nós teria de ser igual em todas as distâncias. Num universo infinito, nossa linha de visada sempre acabaria sobre a superfície de alguma estrela (ou galáxia). À direita, troncos de árvores numa floresta mostram este efeito. Na foto de cima, pode-se ver o céu porque o trecho de floresta adiante é curto. Se a extensão da floresta á suficientemente grande, os troncos preenchem todos os espaços vazios, e não é possível ver o céu. Todas as direções encontram troncos, mesmo os muito distantes e pequenos.

Ilustração: Htkym, fonte: Wikimedia Commons. Fotos: Acima: W. B. Wilson. Abaixo: Snežana Trifunović.

INFORMAÇÕES VALIOSAS



O espectro é o arco íris de cores que vemos quando passamos uma luz por um prisma de vidro. Se a luz de uma estrela é passada por lentes apropriadas, uma série de faixas escuras aparece. Essas faixas escuras são como um código de barras (A). Cada elemento químico gera linhas diferentes. Esse código foi decifrado em laboratórios na Terra. Se um gás, por exemplo, é aquecido, ele emitirá apenas as linhas do espectro que correspondem a ele (B). Se o mesmo gás estiver bloqueando a luz de uma lampada, linhas escuras, no mesmo local das linhas que ele emite quando aquecido, surgirão (C). A espectroscopia foi uma das invenções mais importantes de todos os tempos para ciência, pois a análise da luz feita nos laboratórios também vale para estrelas e galáxias. O espectro também diz se um objeto celeste está se afastando ou se aproximando. As linhas espectrais se deslocam para a cor vermelha quando ele se afasta, e para o azul, quando ele se aproxima.



vivemos num Universo estático. Esta suposição está incorreta.

Big Bang

Após 1915, ano da publicação da Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, começaram a ser estudadas as implicações dessa ideia. Modelos matemáticos descreviam como a gravidade afetava o espaço, o tempo, a distribuição de matéria e energia no Universo como um todo. Em particular, o físico russo Alexander Friedmann chegou à conclusão de que as soluções das equações da relatividade geral apontavam para um Universo instável, que deveria estar aumentando ou diminuindo de tamanho. Como à época se acreditava que o Universo em larga escala era imutável, este resultado criou uma situação incômoda. O próprio Einstein, como resposta à idéia de que o Universo era instável, incorporou às suas equações uma "constante cosmológica", que traria estabilidade ao Universo. Pouco tempo depois, descobriu-se que o Universo inteiro estava de fato expandindo (ver "O Big Bang", Scientia, Edição 5), o que levou Einstein a classificar sua constante cosmológica como o maior erro de sua vida. (Ironicamente, sabemos hoje que Einstein não estava errado, afinal. A constante cosmológica é tida como a provável causa da aceleração da expansão do Universo, descoberta no fim dos anos 90).

No começo do século XX, vários astrônomos, entre eles Vesto Slipher e James Keeler, descobriram que todas as galáxias, com exceção de algumas mais próximas, estavam se afastando de nós. Essa descoberta foi possível graças a uma técnica chamada espectroscopia, ou análise da luz. A luz branca é, na verdade, uma combinação de fótons de diversas energias, cada qual percebida por nós como uma determinada cor. Quando se juntam, essas luzes de diferentes energias são vistas como a cor branca. A espectroscopia consiste em decompor a luz branca emitida por um objeto distante através de instrumentos ópticos que revelam valiosos detalhes sobre a fonte emissora desses fótons. É graças a essa técnica que podemos conhecer a composição química de objetos astronômicos que provavelmente nunca teremos a chance de visitar (ver quadro na pág. ao lado). A análise da luz também permite saber se um objeto está se afastando ou se aproximando de nós. Quando um objeto se aproxima de nós, sua luz fica azulada. Objetos que se distanciam, por sua vez, sofrem um avermelhamento, apropriadamente chamado de desvio para o vermelho. Inicialmente, os astrônomos pensaram que este desvio para o vermelho era causado pelo chamado efeito Doppler. Apesar do nome obscuro, o efeito Doppler é um fenômeno fami-

Espectro: obtido no Wikimedia Commons. Domínio público. Fonte: Kitt Peak National Observatory. Ilustrações: Estúdio Scientia

liar. Quando ouvimos o apito de um trem ou a sirene de uma ambulância em movimento mudarem de tom, estamos presenciando o efeito Doppler, um achatamento ou alongamento de ondas sonoras e luminosas causado pelo movimento (ver quadro abaixo). Normalmente, não podemos notar o efeito Doppler da luz porque este é suave demais para ser percebido. Apenas objetos muito rápidos mudam sua cor de maneira apreciável. De qualquer forma, o importante a entender é que o efeito Doppler permite medir deslocamentos no espaço. As galáxias se movimentam, mas elas o fazem em todas as direções. Então, porque a espectroscopia mostrava que todas elas estavam se afastando de nós?

Em 1929, o americano Edwin Hubble publicou resultados que causariam uma revolução e o tornariam o astrônomo mais famoso do século XX. À frente do telescópio Hooker, de 2,5 metros de diâmetro, no observatório de Mount Wilson, o maior do mundo à época, Hubble e seu ajudante Milton Humason descobriram que o afastamento das galáxias seguia um padrão. Esse telescópio foi o primeiro a permitir que se identificassem estrelas variáveis em outras galáxias. Essas estrelas possuem um brilho intrínseco conhecido. A comparação entre este brilho conhecido e o brilho observado permite que se determine a que distância elas e as galáxias que as abrigam estão. Assim, Hubble e Humason foram os primeiros a conseguir medir a distância até outras galáxias (isto, em si, já representou uma descoberta momentosa; ver coluna "Revoluções", Scientia, edição 3). Agora, combinando as medições de desvios para o vermelho realizadas por outros astrônomos com suas próprias estimativas de distâncias, os dois astrônomos encontraram uma relação entre a distância de uma galáxia e sua velocidade de afastamento. Havia um aumento de velocidade diretamente proporcional à distância até uma galáxia, e esse aumento foi calculado por Hubble. Imediatamente, dados aparentemente sem sentido tornaram-se claros para os astrônomos (mesmo após os cálculos de Hubble passarem por drásticas correções nas décadas seguintes). Outra coisa, que não o efeito Doppler, estava gerando a maior parte dos desvios para o vermelho observados. Tratava-se da expansão do espaço. Ao se propagar de uma galáxia para outra, um fóton é esticado ao longo do caminho, pelo aumento do próprio "tecido" do Universo. Esse alongamento das ondas é semelhante ao provocado pelo movimento, mas sua causa é completamente diferente.

As galáxias se movimentam para todos os lados no espaço, mas o próprio espaço se expande, e como essa expansão acontece em todo lugar, ela se acumula com a distância. O fato de quase todas as galáxias estarem se afastando pode dar, mais uma vez, a impressão de que estamos no centro do mundo, emitindo uma força repulsiva que aumenta com a distância. Na verdade, a expansão do espaço está por toda parte e de qualquer galáxia pode-se ver quase todas as outras galáxias se afastando (ver quadro na pág. 30).

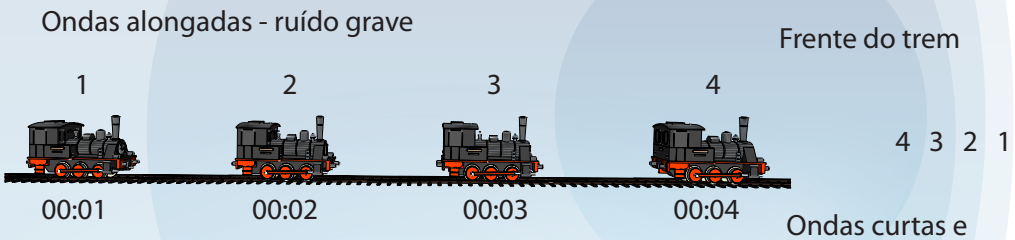
Se o Universo está ficando cada vez maior, isso implica que no passado ele foi muito pequeno. De fato, hoje os astrônomos afirmam confiantemente, com base em indícios numerosos e fortes, que há cerca de 14 bilhões de anos tudo o que há no Universo hoje estava agrupado num espaço extremamente reduzido, a uma temperatura de trilhões de graus (a unidade, Kelvin, Celsius ou Fahrenheit, realmente não importa quando falamos em números tão altos). Esse corpo de teoria é conhecido como Big Bang. O Big Bang resolve parte do paradoxo de Olbers (não havia nada brilhando antes de 14 bilhões de anos), mas cria uma outra dificuldade. Os físicos calculam que houve uma época, aproximadamente 300 mil anos depois do Big Bang, em que todo o céu se tornou brilhante. Todo o espaço tinha um brilho comparável ao da superfície das estrelas. Se todo o céu era incandescente e se, como vimos, a natureza do espaço permite que olhemos diretamente para o passado, por que então não vemos esse brilho até hoje? Como no paradoxo de Olbers, o big Bang parece implicar que o céu noturno não poderia ser escuro.

Paradoxos Resolvidos

O alongamento das ondas de luz é

O EFEITO DOPPLER

Quando um trem se desloca, as ondas sonoras são achatadas à frente dele, e alongadas depois que ele passa. Isso é percebido como uma mudança no timbre sonoro, de agudo para grave. Esse efeito também acontece com a luz. Uma galáxia que se aproxima fica violeta (ondas curtas), enquanto outra que se afasta fica vermelha (ondas longas). As galáxias possuem movimentos aleatórios que geram efeito Doppler, mas o desvio para o vermelho cosmológico é causado pela expansão do espaço, e não pelo efeito Doppler.



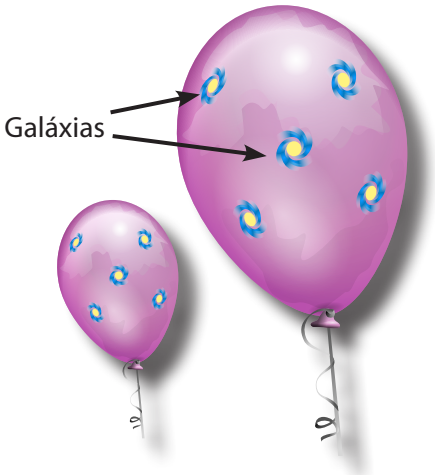
Os números representam posições do trem em quatro instantes diferentes e as ondas sonoras emitidas em cada posição.

Ilustração: Estúdio Scientia

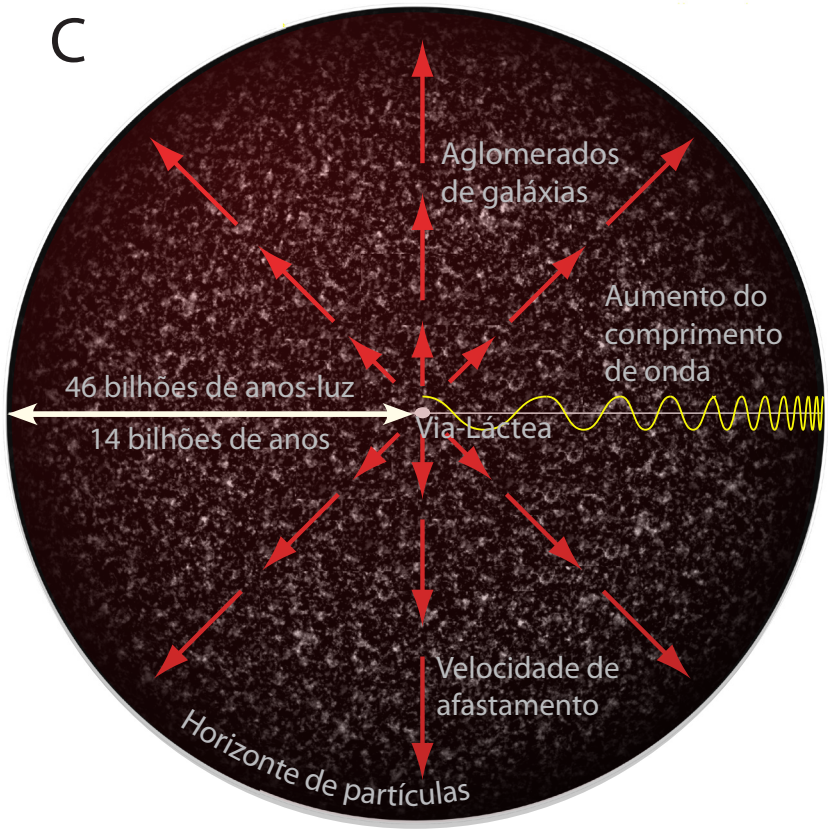
NO CENTRO DO UNIVERSO?

A

B



C



O universo observável é uma esfera que engloba todas as galáxias cuja imagem teve tempo de chegar até nós desde o início da expansão cosmológica. Apesar de estarmos no centro desta esfera **(C)**, não estamos no centro do Universo. A analogia é com uma ilha no meio do oceano. Devido à curvatura da Terra, vemos um horizinte em todas as direções **(A)**, formando um círculo em torno de nós. Mas esta região não é todo o planeta, nem podemos dizer que estamos no centro dele. A maior parte da Terra não é vista por nós nem consegue nos ver. Cada ponto do planeta tem um horizonte diferente do outro. No Universo observável, a velocidade de afastamento de uma galáxia aumenta com sua distância **(C)**. Isso também não implica que estamos no centro do mundo, com todas as galáxias "correndo" de nós. Na verdade, cada galáxia vê as outras se afastando cada vez mais rápido com a distância. Neste caso, a analogia é com a superfície de um balão sendo inflado. Se pintássemos galáxias no balão **(B)**, veríamos elas se afastando mutuamente e a velocidade de afastamento cresceria com a distância entre elas. No Universo observável, as ondas de luz saídas das galáxias mais distantes vão se esticando ao longo do caminho, acompanhando e expansão do próprio espaço ao longo do tempo **(C)**. As regiões mais distantes estão na verdade a 46 bilhões da anos-luz, e não a 14. Este último número é o tempo retrospectivo, que para objetos muito longínquos não pode ser transformado numa distância, como normalmente se faz.

capaz de explicar porque o céu parece escuro à noite – para os nossos sentidos, pelo menos. A luz emitida no período de brilho intenso do Universo foi esticada até que suas ondas atingissem um comprimento correspondente a uma forma de radiação chamada microondas, conhecida principalmente por causa dos populares fornos que utilizam esse tipo de energia. Diferentemente de um forno comum ou de fornos elétricos, que emitem luz visível sob a forma de chamas ou de ferro incandescente, fornos de microondas emitem uma radiação que o olho humano não consegue enxergar. Porém, microondas podem ser "vistas" por detectores apropriados. Nessa modalidade de luz, o céu está longe de ser escuro. Ele está repleto dessa radiação que não enxergamos. Assim, a causa da escuridão noturna – para nós – é a expansão do espaço e não o fato de o Universo ter tido um início no tempo. Com a tecnologia atual, não é possível explorar distâncias além dessa cortina luminosa em microondas, que forma o limite do "visível". De qualquer modo, não haveria muito que ver, além de partículas elementares vagando soltas pelo espaço até o instante, pouco anterior à cortina, em que o Universo iniciou (os físicos, porém, dariam tudo para obter essa visão do Universo primordial e estão se empenhando em construir telescópios que detectam ondas gravitacionais, para as quais a cortina é transparente). Não fosse pelas microondas, este limite seria dado pela próprio surgimento do Universo, há 14 bilhões de anos. Além dessa "época", não seria possível ver nada, pelo simples fato de que não haveria nada para ver.

Foto:Bruno Maçães. Ilustrações: Estúdio Scientia.

O Tamanho do Universo

Como há uma relação entre a velocidade de afastamento de uma galáxia e sua distância, determinar o desvio para o vermelho no espectro de galáxias longínquas é uma forma de medir sua separação de nós. Ou seja, distâncias crescentes resultam em afastamentos mais rápidos, o que se traduz em maiores desvios para o vermelho. De fato, os astrônomos preferem falar de desvios para o vermelho, ao invés de distâncias. Isso porque os primeiros podem ser medidos diretamente, enquanto as últimas são calculadas com base em estimativas da taxa de expansão do universo. Utilizando-se uma estimativa dessa velocidade de expansão e de como ela mudou ao longo da história (ela diminuiu, mas agora volta a aumentar (ver "Universo Acelerado", Scientia, Edição 12), também é possível calcular, para cada desvio para o vermelho medido, há quanto tempo a luz de uma galáxia foi emitida. Por exemplo, um desvio para o vermelho igual a 0,06 (ondas 6% maiores que o normal) indica que a luz passou 800 milhões de anos viajando até nós, enquanto um desvio de 1 (o dobro do comprimento normal) significa que a luz foi emitida há 7,7 bilhões de anos. Há pouco, ao discutir a aparente "borda" do Universo a 14 bilhões de anos-luz, eu ressalvei que a distância verdadeira é maior que essa. De fato, o Universo não contém nada mais antigo que 14 bilhões de anos. Mas para galáxias com um alto desvio para o vermelho, não se pode automaticamente transformar o tempo de viagem da luz numa distância em anos-luz. Isso poderia ser feito apenas se o Universo fosse estático, o que não não é o caso.

O que ocorre é que a cada milhão de anos-luz, a velocidade de expansão cósmica aumenta em cerca de 21,5 quilômetros por segundo (essa é a estimativa mais recente da constante de Hubble, ou a taxa de expansão do Universo). Para uma galáxia próxima, como a do Sombreiro (ver figura abaixo), situada a "apenas" 30 milhões de anos luz (desvio= 0.003), esse aumento de velocidade não é importante. A diferença entre a distância real da galáxia e a estimativa de quando a luz dela foi emitida é de somente cerca de 6 anos luz. Portanto, grosso modo, é lícito dizer que a galáxia emitiu sua luz há 30 milhões de anos e que ela se situa a 30 milhões de anos-luz. Para galáxias distantes, porém, a diferença se torna enorme. Uma galáxia com desvio de 4, que emitiu sua luz há 12 bilhões de anos, está hoje a mais de 23 bilhões de anos-luz. Sua luz começou a viajar pelo cosmos quando ela estava a apenas 4,6 bilhões de anos-luz de nós e o universo tinha apenas 1,5 bilhões de anos. É interessante notar que a luz não passou 4,6 bilhões de anos viajando, mas 12 bilhões de anos, por causa da rápida expansão do universo. O fóton saído da galáxia teve de viajar uma distancia muito maior do que ele teria de percorrer se o universo não estivesse expandindo. A região do Universo que detectamos como microondas localiza-se hoje não a 14 bilhões, mas a cerca de 44,5 bilhões de anos-luz de nós. Quando sua luz foi emitida, ela estava mil vezes mais próxima, a 40 milhões de anos luz.

NASA/ESA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

A galáxia do Sombreiro.

Aqui há uma aparente inconsistência: como uma galáxia poderia estar a 4,6 bilhões de anos-luz quando o universo tinha apenas 1,5 bilhão de anos? Isso implica que a galáxia estava se afastando a uma velocidade superior à da luz, que, dizem os físicos, nunca pode ser ultrapassada! Na verdade, as galáxias não estão se movendo no espaço (não tão rápido, pelo menos). Seu afastamento não apresenta nenhuma contradição com a relatividade especial, que demonstra que movimentos no espaço mais rápidos que a luz são impossíveis (ver "A Realidade não Percebida", Scientia, Edição 7). As galáxias distantes se afastam de nós mais rápido que a luz porque o próprio espaço está expandindo. Nada impede que dois objetos em dois cantos distintos do universo em expansão se afastem mais rápido que a luz quando o próprio espaço está crescendo. Em livros e artigos de popularização científica, este ponto é bastante confuso. A confusão acontece porque normalmente quando se fala em desvio para o vermelho, não se leva em conta o fato de que o espaço expande. O desvio para o vermelho do efeito Doppler não é idêntico ao causado pela expansão do espaço. Diversos autores afirmam que o esticamento das ondas de luz se torna praticamente infinito quando a velocidade de afastamento se aproxima da da luz. Isso não acontece. Objetos que se afastam de nós diversas vezes mais rápido que a luz são rotineiramente observados. Mesmo assim, como vimos, é verdade que o desvio para o vermelho fica cada vez maior para objetos que emitiram sua luz perto de 14 bilhões de anos atrás, e se torna teoricamente infinito um pouco depois do início da radiação de microondas. Esse seria o verdadeiro limite do Universo? Não. Essa região de desvio para o vermelho tendendo ao infinito é chamada de horizonte de partículas. O horizonte de partículas marca o tamanho daquilo que os astrônomos chamam de universo

observável, ou seja, as galáxias que podemos ver da Terra hoje porque sua luz teve tempo de nos atingir desde o início da expansão do cosmos. Assim, o horizonte de partículas é a distância máxima que a luz conseguiu viajar desde que o Universo começou até hoje (ver quadro na pág. 30). Para todos os fins práticos, este horizonte atualmente estaria situado a cerca de 46 bilhões de anos-luz, portanto além da cortina de microondas. (A distância até o horizonte muda com o tempo e tem profundas implicações sobre o destino do Universo (ver "Triste Fim do Universo", Scientia, Edição 14, e "Universo Acelerado", Scientia, Edição 12).

Para Sempre Inacessível

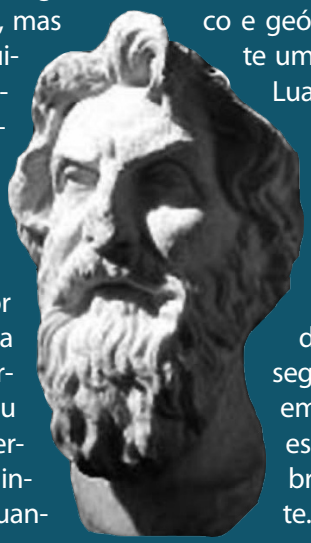
O termo *universo observável* implica a existência de regiões que não são observáveis; que o cosmos é maior do que aquilo que podemos ver dele. O tamanho do Universo não é limitado pelo que é observável. Existem regiões cuja imagem, desde que o Universo começou, nunca teve tempo de nos atingir. Um fato concreto ilustra muito bem isso: a foto que ilustra a primeira página deste artigo foi tirada pelo telescópio espacial Hubble em 1995. Chamada Campo Profundo Hubble Norte, ela mostra com clareza galáxias longínquas e revela alguns dos objetos mais distantes já vistos. Três anos depois, o Hubble obteve uma imagem semelhante, o Campo Profundo Hubble Sul, numa direção oposta à da sua correspondente ao norte. Nessas fotos, há alguns pontos minúsculos avermelhados. Esses pontos são galáxias muito afastadas, com um desvio para o vermelho elevado. Elas estão próximas do limite do que para nós é o universo observável. Do ponto de vista de qualquer uma dessas galáxias, nós é que estamos próxi-

NO CAMINHO CERTO

Como Aristarco estimou as distâncias e tamanhos relativos do Sol e da Lua.

O astrônomo e matemático grego Aristarco de Samos (310 AEC - ca. 230 AEC) foi provavelmente a primeira pessoa a defender o modelo heliocêntrico (o Sol no centro) do Sistema Solar. Suas idéias não prevaleceram, e por aproximadamente 1.800 anos o mundo adotou a hipótese geocêntrica (a Terra no centro) de Aristóteles e Ptolomeu, que era consistente com passagens da Bíblia. Apenas uma de suas obras chegou até nós, *Sobre os tamanhos e distâncias do Sol e da Lua*. Nesse tratado, ele calculou os tamanhos relativos do Sol e da Lua, bem como suas distâncias em raios terrestres. Os cálculos de Aristarco estavam corretos. Entretanto, medições imprecisas feitas a olho nu introduziam uma enorme margem de erro. Aristarco deduziu que o Sol era cerca de 19 vezes maior que a Lua (o correto é 390 vezes). Mesmo assim, foi o tamanho avantajado do Sol que o levou a concluir sobre sua localização central no Sistema Solar.

Para calcular a distância relativa entre o Sol e a Lua, Aristarco raciocinou que durante a meia Lua, esta forma um triângulo retângulo com o Sol e a Terra (ver figura A). O ângulo α deve medir exatamente 90°. Da Terra, é possível medir diretamente o ângulo β entre a Lua e o Sol. A partir daí, consegue-se encontrar também o ângulo γ (porque o valor total dos ângulos internos de um triângulo é 180°). De posse da magnitude dos três ângulos, Aristarco utilizou conceitos básicos de trigonometria para determinar distâncias relativas entre os lados do triângulo formado pelos três astros (na época, ainda não havia as funções trigonométricas que conhecemos, mas métodos geométricos equivalentes a elas eram conhecidos). O equivalente ao valor do seno de vários ângulos era sabido. O seno do ângulo γ nada mais é que LT (distância entre a Terra e a Lua) dividido por TS (distância entre a Terra e o Sol). Essa divisão determina quanto LT é menor ou maior que TS. Devido a diversas dificuldades (o brilho intenso do Sol, a incerteza quanto ao momento exato da ocorrência da meia Lua), Aristarco errou ao medir o ângulo β. O valor a que ele chegou foi 87°, o que dá ao ângulo γ um valor de 3°. O seno de 3° dá uma relação de LT/TS igual a 1/19. Assim, o Sol estaria, segundo essa medição, 19 vezes mais distante da Terra que a Lua. O ângulo β correto é 89°51´,muito próximo de 90°, o que implica uma proporção LT/TS igual a 1/400.



Aristarco também determinou, novamente com erros, porém seguindo um raciocínio correto, o tamanho relativo entre a Terra e a Lua e entre a Lua e o Sol (a circunferência da Terra seria calculada com grande precisão, cerca de um século mais tarde, pelo matemático e geógrafo Eratóstenes). Durante um eclipse da Lua (quando a Lua entra na sombra da Terra, sendo obscurecida por esta), Aristarco mediu o tempo transcorrido entre o momento em que a Lua começou a escurecer e o momento de obscuridade total (ver figura B). Em seguida, ele mediu o tempo em que a Lua permaneceu escura, até que o primeiro brilho aparecesse novamente. Como estes dois tempos eram aproximadamente iguais, Aristarco concluiu que a sombra da Terra tinha um diâmetro duas vezes maior que o da Lua. Portanto, a Lua teria metade do diâmetro da Terra. Na verdade, nosso planeta é cerca de quatro, e não duas vezes, maior que a Lua. Onde Aristarco errou? Sua suposição sobre o formato

http://sunearthday.nasa.gov/2006/multimedia/gal_007.php

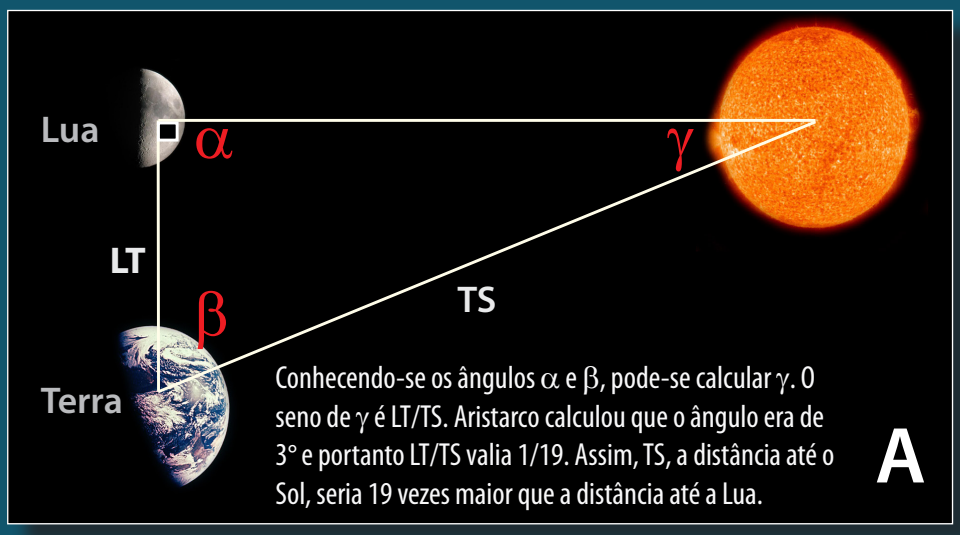
mos do seu limite observável. Nós as vemos como elas eram há 11 ou 12 bilhões de anos. Eles vêm a imagem de nossa galáxia ainda jovem, com 2 ou 3 bilhões de anos de idade. Para o lado Sul, a situação é a mesma. Algumas galáxias estão próximas ao nosso horizonte, o que significa que nossa galáxia está próxima ao horizonte delas. Agora vem a parte surpreendente: como as galáxias em ambos os lados estão próximas ao nosso horizonte, as localizadas ao sul estão além do horizonte das que estão ao norte, e vice-versa (ver quadro na pág. 34). Uma região não consegue ver a outra. Para um dos lados, é impossível saber qualquer coisa sobre o outro lado. Isso demonstra, de maneira simples, que o Universo é maior do que conseguimos ver. Assim como vemos galáxias que estão fora do horizonte do Campo Profundo Norte, provavelmente há regiões vastas do Universo fora do nosso próprio horizonte. O Universo pode muito bem ser infinito, e para todo o sempre conheceremos uma minúscula região dele (que para nós parece imensa).

Em cosmologia, há uma teoria que descreve a expansão do Universo nos seus primeiros momentos, a chamada Inflação. A Inflação prevê que o Universo é muito maior do que aquilo que podemos ver. Embora nunca possamos provar isso diretamente, nem saber o tamanho real do Universo que está fora de nosso horizonte, existem diversas evidências que apoiam o modelo inflacionário, a ponto dele ser o mais disseminado entre os cosmólogos (ver "O 'Bang' do Big Bang, Scientia, Edição 9).

Brooklyn Não Expande

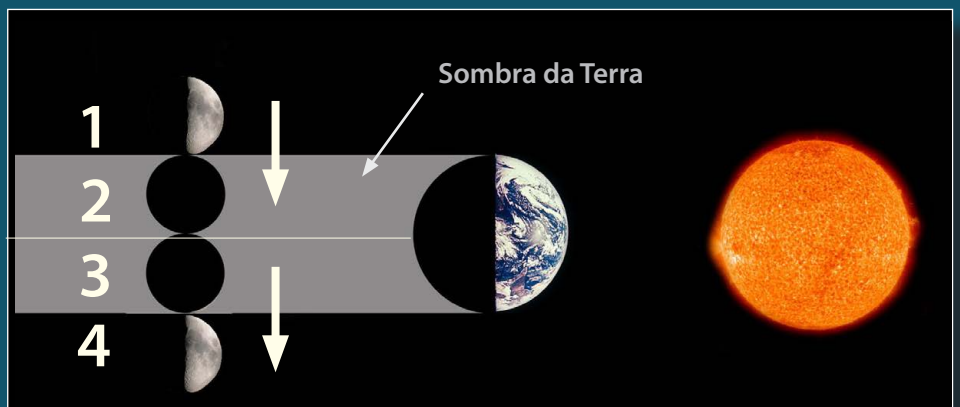
A expansão do Universo tem algum efeito direto sobre nós? No filme *Annie Hall*, de Woody Allen, o garoto Alvy

da sombra da Terra estava errada. Esta não é um cilindro perfeito, e sim uma espécie de cone bem alongado. Isso acontece porque os raios do Sol chegam até a Terra quase paralelos, mas não *perfeitamente* paralelos. Apesar de estar a 150 milhões de quilômetros de distancia, o Sol é tão grande que ocupa certa extensão no céu (30 minutos de arco, ou meio grau). Isso faz com que seus raios se espalhem cerca de 15 minutos de arco para um lado e para o outro, em relação a um centro imaginário. A Lua, estando bem distante de nós, cruza esta sombra onde seu diâmetro é apenas metade do original. Daí o erro de Aristarco. Tendo determinado os tamanhos relativos da Terra e da Lua, Aristarco determinou também o tamanho relativo do Sol em relação aos outros dois astros. Estando 19 vezes mais distante que a Lua, o Sol tem um diâmetro aparente igual ao desta (por pura coincidência. Este feliz acaso é responsável pelos eclipses totais do Sol. Se o Sol tem o mesmo tamanho aparente da Lua, mas se encontra 19 vezes mais distante, ele deve ser 19 vezes maior que esta. Assim, o Sol é cerca de 9,5 vezes maior que a Terra. (bem mais que isso, na verdade. Os diâmetros reais são: Lua 3400 km, Terra, 12.700 km, Sol 1.200.000 km). ❑



Conhecendo-se os ângulos α e β, pode-se calcular γ. O seno de γ é LT/TS. Aristarco calculou que o ângulo era de 3° e portanto LT/TS valia 1/19. Assim, TS, a distância até o Sol, seria 19 vezes maior que a distância até a Lua.

A

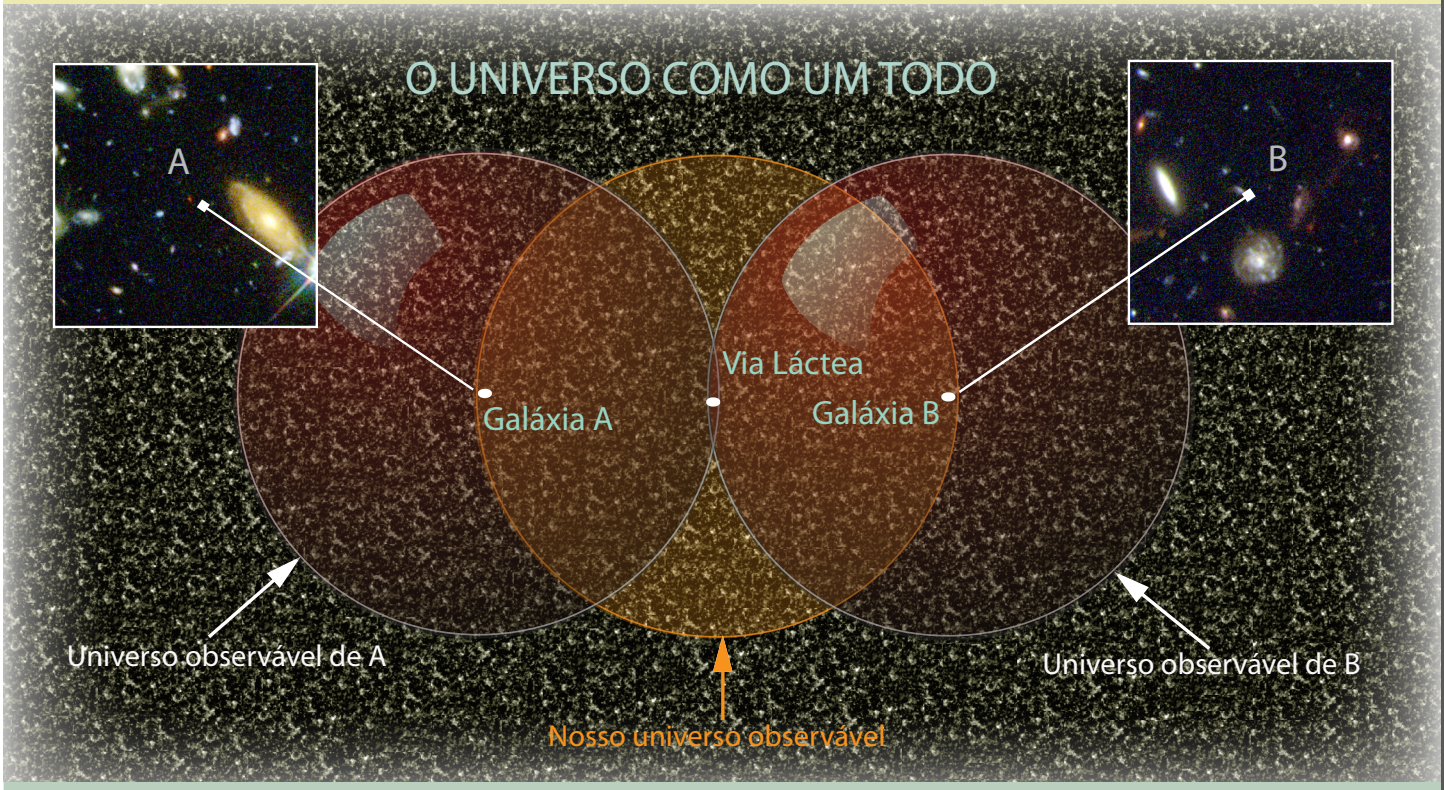


1 A Lua começa a entrar na sombra da Terra e a escurecer; 2 e 3 Lua totalmente escura; 4 Lua começa a clarear em 3 e está brilhante em 4. O tempo transcorrido entre 1 e 2 é o mesmo que entre 2 e 3. Aristarco conclui que a Lua tem metade do diâmetro da Terra. Contudo, a sombra da Terra não é um cilindro, e sim um cone.

B

Ilustração: Estúdio Scientia.

MUITO ALÉM DO HORIZONTE



O fundo desta imagem, que se parece com a tela de uma televisão fora de estação, representa a estrutura em grande escala do cosmos. Cada ponto branco contém milhões de galáxias. O Universo nesta figura é mostrado de uma maneira que nunca conseguiríamos ver, com regiões fora do nosso horizonte (a esfera alaranjada, em volta de Via-Láctea). As galáxias também são mostradas com sua idade "atual", ou seja, 14 bilhões de anos – o que também nunca vemos devido à velocidade finita da luz.

As fotos à esquerda e à direita, obtidas pelo telescópio espacial Hubble, mostram partes do Universo localizadas em direções opostas. No centro de cada uma, há pontos vermelhos muito pálidos, que chamamos de galáxias A e B. Estas galáxias estão próximas do limite de nosso universo observável. Do ponto de vista delas, estamos perto do limite observável de cada uma (esferas vermelhas). Embora possamos ver as duas galáxias, uma se encontra fora do horizonte da outra. Portanto, vemos regiões do Universo invisíveis a A e a B. Isso prova que, tanto para os habitantes de A quanto para os habitantes de B – assim como para nós – o Universo como um todo é maior que o observado.

Singer é levado a um psiquiatra. Ao ser perguntado sobre o motivo de sua depressão, ele responde: "O universo está expandindo. O Universo é tudo, e se ele está expandindo, algum dia todas as coisas irão se despedaçar e será o fim de tudo". Sua mãe intervém: "Por que você se preocupa com isso?" E, para o psiquiatra, ela relata: "Ele deixou de fazer a lição de casa". O menino indaga: "De que adianta?" Impaciente, a mãe responde: "O que o Universo tem a ver com isso? Você está aqui no Brooklyn. O Brooklyn não está expandindo!" O psiquiatra, então, recomenda que o garoto aproveite a vida porque ainda vai demorar bilhões de anos até que o mundo acabe. É verdade que o universo terá um melancólico fim daqui a trilhões de anos, e pode-se encarar essa questão com pessimismo, como o garoto, ou com otimismo, como o médico. Porém, a mãe de Alvy está absolutamente certa. O Brooklyn, nosso planeta, nosso sistema solar e mesmo nossa galáxia não estão expandindo. Esses objetos mantêm-se coesos, seja pela atração entre seus átomos, seja por estarem presos um ao outro pela gravidade.

Daqui da Terra, podemos apenas nos maravilhar com a imensidão cósmica e com nossa pequenez diante do Universo. Esse conhecimento só foi revelado pela ciencia há algumas décadas. Duda, meu companheiro do início desta história, sem dúvida perdeu muito ao ignorar tais fatos. Compreendê-los pode não mudar nada no Brooklyn ou no nosso dia a dia. Mas nos deixa orgulhosos da capacidade humana de desvendar tantas coisas surpreendentes sobre o mundo. Gradualmente, a ciência nos livra de séculos de superstição. E nos torna melhores por isso. ❑

LEIA MAIS

Big Bang, por Simon Singh. São Paulo, editora Record, 2006. 499 páginas. ISBN 8501072133. Uma das melhores introduções à cosmologia para o leigo e um dos poucos títulos sobre o assunto no Brasil.

Ilustração: Estúdio Scientia. Fotos: NASA/STScI.