

Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 6 | Número 23
Ano 2024

Atmosferas de Exomundos

Espectroscopia

50 anos da SAB

Asteroides geocruzadores



Editorial

Em uma manhã de abril de 1974, 46 astrônomos se reuniram numa sala do Instituto de Matemática e Estatística da USP para fundar a Sociedade Astronômica Brasileira. Essa ação foi motivada pela necessidade de coordenar os esforços em prol do reconhecimento das linhas de pesquisa e maior profissionalização da área no contexto da Ciência Brasileira. Desde então, a SAB vêm realizando reuniões anuais, durante as quais diversas questões relevantes para a comunidade astronômica são discutidas, desde o financiamento a projetos de instrumentos à apresentação de resultados de pesquisa. Para comemorar essa data, trazemos o depoimento de 3 sócios que participaram dessa fundação; eles dão seu depoimento sobre como se construiu a ideia de fundar uma sociedade astronômica e quais foram as oportunidades que essa ação possibilitou.

Outros artigos deste número exploram temas interessantes para o público. O primeiro trata dos asteroides que potencialmente oferecem riscos à Terra. É inevitável que tais asteroides colidam com nosso planeta em algum momento do futuro; afinal, a Terra é o maior corpo celeste do Sistema Solar interno. Por isso, é preciso acompanhar as trajetórias de todos esses objetos e estudar formas de desviá-los, caso venham a estar em rota de colisão.

O segundo artigo descreve como funciona a Espectroscopia, a técnica que inaugura a Astrofísica propriamente dita, ao permitir que conheçamos a natureza física dos corpos celestes mediante a análise da luz que eles emitem ou refletem.

Por fim, temos um artigo que descreve uma nova técnica, que mistura fotometria e espectroscopia, voltada para a detecção e caracterização de atmosferas de exoplanetas.

À SAB, que neste momento presidimos, desejamos uma longa existência para que não apenas realize os objetivos de seus fundadores mas também contribua na promoção de valores democráticos e civilizatórios.

Helio J. Rocha-Pinto

Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira

Esquerda

Detalhe de NGC 6727, apelidada de Nebulosa do Babuíno Enfurecido (Crédito: Alpha Zhang e Ting Yu).

Capa

Representação artística de um exoplaneta rochoso (Crédito: YolGezer/Pixabay).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela

Sociedade Astronômica Brasileira

ISSN 2764-9423

Conselho Editorial Alan Alves Brito,
Reinaldo Ramos de Carvalho, Lucimara
Martins, Ramachrisna Teixeira,
Thiago Signorini Gonçalves

Editor Helio J. Rocha-Pinto

Assistente Hélio Dotto Perottoni

Contato secsab@sab-astro.org.br

Para anunciar Escreva ao email acima ou
ligue (11) 3091-8684,
Seg. a Sex. 10 às 16 h.

Para submissões

Contacte um membro do conselho editorial



Presidente

Helio J. Rocha-Pinto

Vice-Presidente

Lucimara Martins

Secretária-Geral

Marina Trevisan

Secretário

Matthieu Castro

Tesoureira

Paula Coelho

Endereço

Sociedade Astronômica Brasileira

Rua do Matão, 1226

05508-090 São Paulo – SP

<http://www.sab-astro.org.br>

4 Asteroides geocruzadores

Os asteroides que oferecem risco à Terra são descritos por Pedro Hasselmann neste interessante artigo. São justamente asteroides desse tipo que as missões espaciais ultimamente têm visitado.

12 Espectroscopia

Diogo Souto explica como funciona a técnica da espectroscopia, que nos permite analisar o espectro eletromagnético de astros distantes e estimar velocidades, composição química, atividade magnética, entre outros.

20 Atmosferas de outros mundos

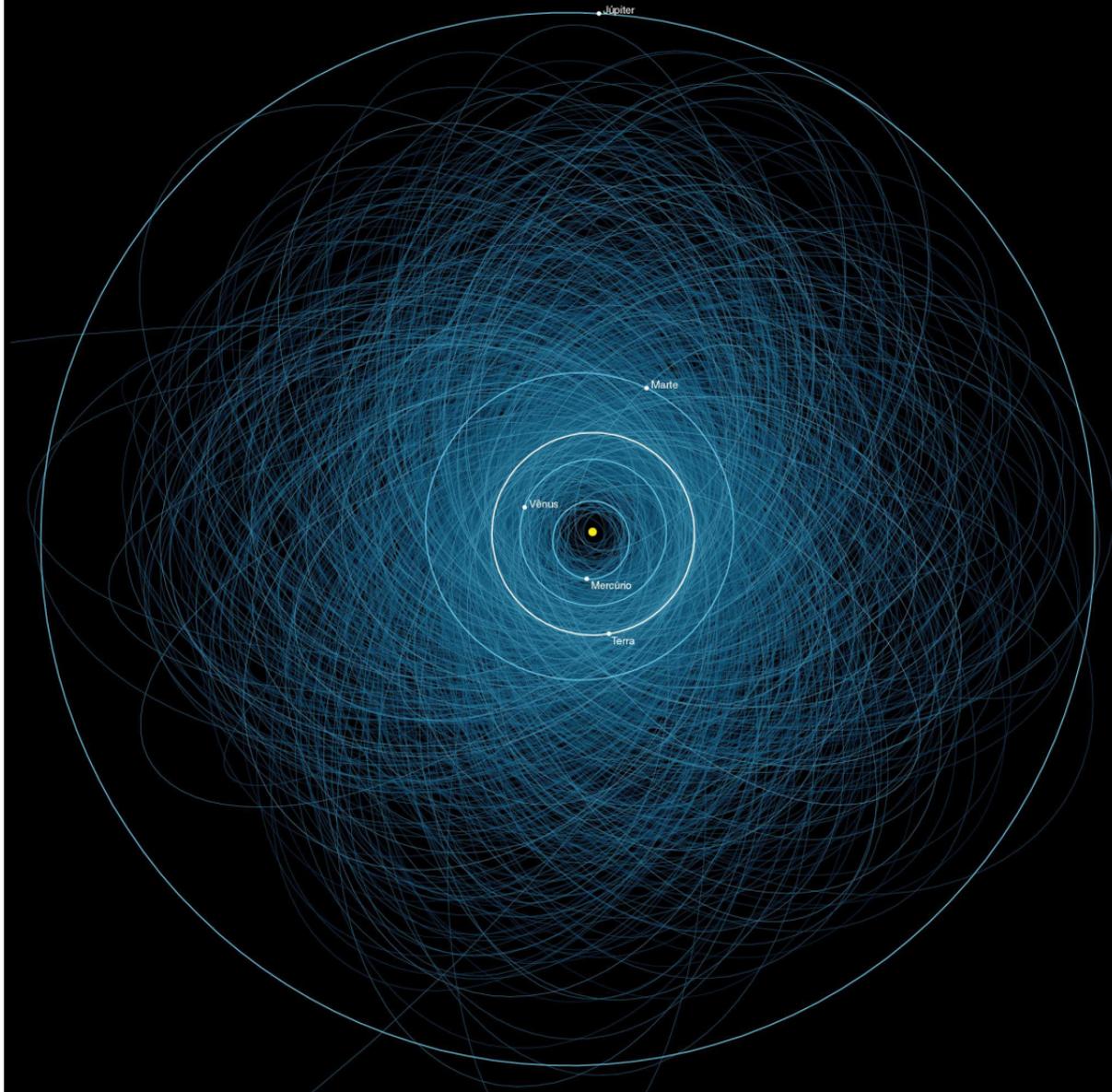
Aline Novais apresenta as técnicas pelas quais podemos detectar e caracterizar em termos físico-químicos as atmosferas de outros planetas.

28 50 anos da SAB

Três astrônomos fundadores da SAB contam o que levou à criação desta sociedade científica e como essa decisão tomada há meio século influenciou os rumos da Astronomia Brasileira.

Asteroides geocruzadores

De impactadores a impactados



Ao longo de sua história, a Terra já sofreu inúmeros impactos de asteroides e, certamente, ainda sofrerá mais. O que

Há cerca de 3500 a 7600 anos um meteoro com algo entre 400 a 1000 toneladas atingiu a ilha de Saaremaa, ao largo da costa da Estônia. O meteoro entrou na atmosfera com uma velocidade de 10 a 20 km/s, 20 a 40 vezes mais veloz que o avião militar mais rápido do mundo seria capaz de atingir. A energia cinética do impacto foi comparável àque-

la liberada pela bomba em Hiroshima, Japão, no final da Segunda Guerra Mundial. O evento deixou não apenas marcas na geografia local, com a formação de nove crateras de 8 a 110 metros de diâmetro, mas também na tradição oral do povo finlandês e estoniano, sendo parcialmente perpetuada desde a idade da pedra. A análise de resíduos do impacto como esferas de silicatos (produ-



tos da alta temperatura do impacto nas rochas) e a elevada contagem do elemento irídio confirmaram, por fim, a hipótese levantada desde 1922 de que tais crateras são produtos de um impacto de um pequeno asteroide. Hoje conhecidas como as crateras do lago Kaali, o evento foi o primeiro impacto de asteroide confirmado na Europa por estudo arqueológico conduzido durante a década de 1920. Era o resultado da revolução de paradigma em relação a crateras de origem não-vulcânicas da virada do século XIX ao XX. Tal revolução seria iniciada com proposta de origem asteroidal pelo engenheiro D. M. Barringer para a Meteor Crater no Arizona em 1903, e com os testemunhos do famoso e destruidor evento de Tunguska em território russo cinco anos depois. Os objetos culpados por tais impactos teriam não mais do que 80 metros de largura.

Voltando aos dias de hoje, a importância do estudo de corpos celestes que ameaçam a Terra é indiscutível para o que se compreende como “defesa planetária”. Tais objetos percorrem órbitas em

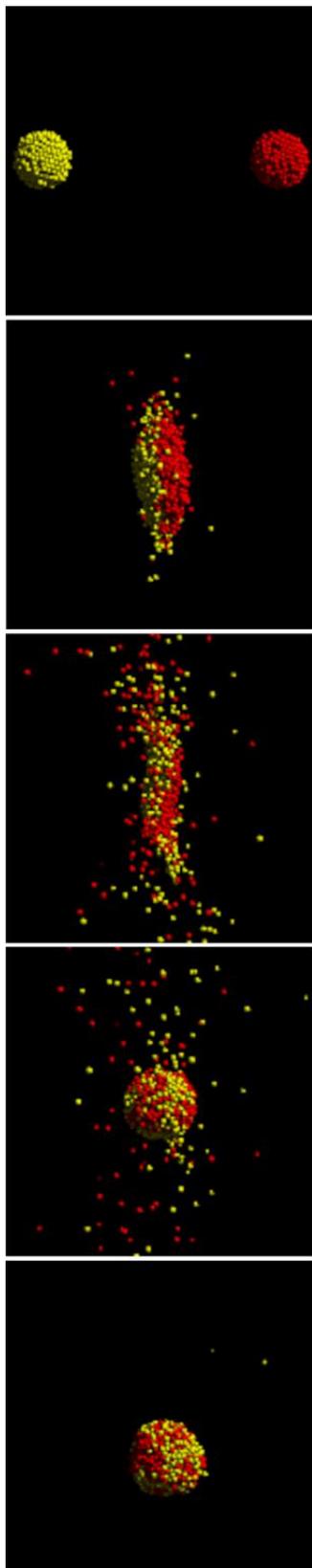
torno do Sol que parcialmente cruzam ou se aproximam da órbita da Terra; por isso são denominados geocruzadores. Atualmente, compõem uma população conhecida de 35 mil asteroides ou cometas, cujos diâmetros variam de algumas dezenas de metros a 35 km, sendo (1036) Ganymed o maior conhecido. No entanto, estimativas por modelos computacionais sugerem que o número total destes objetos é muito maior: algo próximo de 1 bilhão. A maioria desses deve possuir não mais do que cem metros de diâmetro. Neste regime de tamanho, o brilho refletido é tão tênue que tais pequenos corpos são descobertos apenas algumas semanas antes da sua aproximação com a Terra. Sabemos hoje que asteroides que têm mais de 400 m de diâmetro são, em sua maioria, o que chamamos de agregados gravitacionais: corpos compostos de fragmentos rochosos de até dezenas de metros mantidos coesos somente pela atração gravitacional mútua. São estruturas bastante deformáveis, podemos se desmantelar e se reacumular após uma passagem próxima de um

Acima

A cratera principal, o lago de Kaali, na ilha de Saremaa. Primeira cratera de impacto encontrada na Europa que deixou traços no folclore oral e pré-história local. O lago é considerado sagrado ao povo fino-estoniano e apresenta indícios arqueológicos de sacrifícios ritualísticos. No folclore, uma das “virgens do ar” causa “fagulhas” do Sol de caírem e atingirem o mundo, criando o lago sagrado (Crédito: Kaspars Priede/WikiMedia Commons).

Na página anterior

Órbitas de objetos potencialmente perigosos, em comparação com a órbita dos planetas internos e de Júpiter (Crédito: NASA/JPL-Catech).

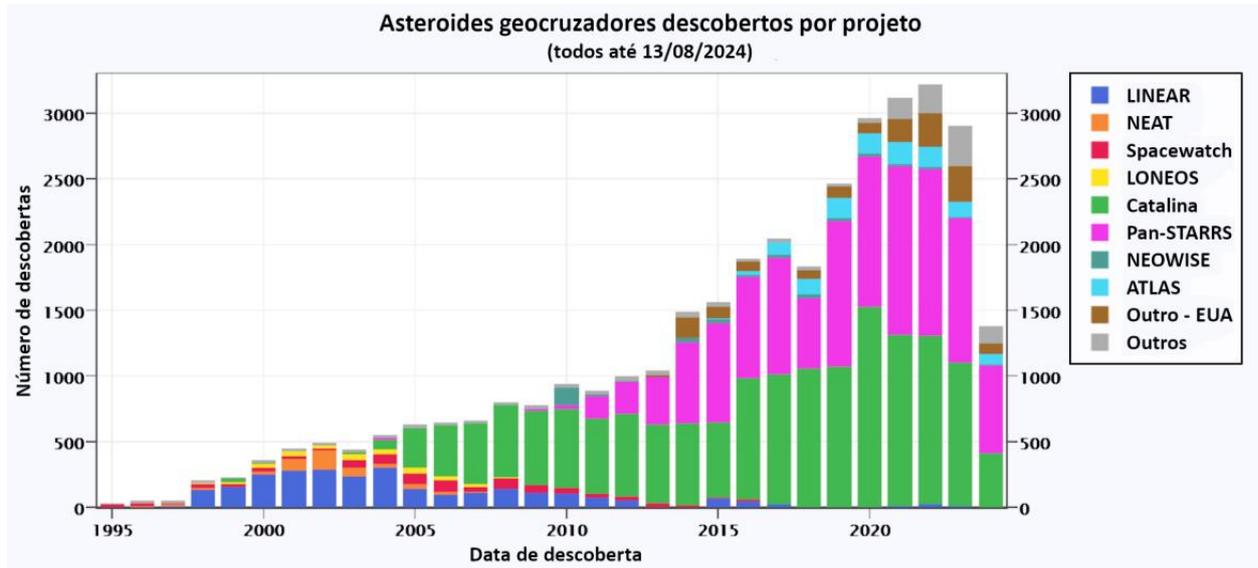


planeta ou mesmo após receber um impacto por outro corpo. Para corpos progressivamente menores, a probabilidade que seja composto de apenas um ou poucos blocos rochosos íntegros aumenta, são os chamados monolíticos. E, neste ponto, é a composição do asteroide que se torna importante para decidir a sobrevivência após a passagem em alta velocidade pela atmosfera. É neste mesmo intervalo de tamanhos que tivemos os impactos com a Terra nos últimos milhares de anos, ou seja asteroides de até 100 metros de largura.

É assim que nos últimos dez anos projetos internacionais relacionados à “defesa planetária” tomaram grande relevância. Aos olhos modernos e, principalmente, ao olhos do congresso americano, o evento de Chelyabinsk em 15 de fevereiro de 2013, foi o mais recente catalisador. O pequeno diâmetro do asteroide responsável, apenas 18 metros, provocou uma onda de choque atmosférica que causou centenas de feridos na Rússia, além de centenas de milhões de reais em danos estruturais. O evento motivou o congresso americano a fortalecer projetos de detecção de 90% dos asteroides acima de 140 metros de diâmetro, decisão que já havia sido firmada em 2005. A partir de 2014, a descoberta de 85 por cento de novos objetos geocruzadores é feita em sua maioria por dois telescópios financiados pelo

projeto programa de observação destes objetos pela NASA: o PanStarrs e o Catalina Telescope. O número de descobertas que era de mil por ano até 2010, triplica para 3 mil por ano em 2020.

Essa “febre” pelos geocruzadores culmina com duas novas missões espaciais nos anos de 2010 com objetivo de estudar dois diferentes asteroides: a missão OSIRIS-Rex da NASA para (101955) Bennu, e a missão japonesa da Hayabusa 2 para (162173) Ryugu. O objetivo de ambas missões não era somente aprimorar nosso conhecimento sobre a estrutura interna destes corpos, mas trazer amostras da superfície para estudos em laboratórios terrestres. A amostra proveniente destes corpos é de extrema importância para cientistas que estudam a formação do Sistema Solar e os processos que trouxeram os primeiros materiais orgânicos, bem como água, para a primitiva Terra. Pois ambos os asteroides têm composição rica em carbono, contendo compostos como grafite, aminoácidos e minerais alterados pela ação da água, que se formaram em regiões mais distantes e frias do Sistema Solar. Bennu e Ryugu, sendo ambos geocruzadores, teriam migrado de tais localizações a órbitas próximas a da Terra por interações gravitacionais com os planetas, principalmente Júpiter e Marte, ao longo de milhões de anos. Esta população de asteroides abrem as-



sim uma janela para o estudo de materiais provenientes de diversas regiões do Sistema Solar, materiais que nem sempre sobrevivem à fricção ocasionada pela entrada na atmosfera terrestre.

Tanto OSIRIS-REx quanto Hayabusa-2 obtiveram sucesso em seus objetivos principais de coletar amostras de asteroides. A sonda japonesa Hayabusa-2 foi a primeira a chegar em seu alvo, Ryugu, de aproximadamente 900 metros de largura, em junho de 2018. Sendo também a mais ambiciosa, durante o curso de um ano e meio de operações depositou na superfície quatro robôs exploradores, e disparou um projétil que produziu uma cratera de 14.5 metros de raio, revelando parte do material subterrâneo que foi prontamente coletado. Ela promoveu, portanto, o primeiro experimento de impactação contra um asteroide, demonstrando que eles possuem força de coesão não-gravitacional

na superfície bastante fraca, como esperado para tais “agregados gravitacionais”.

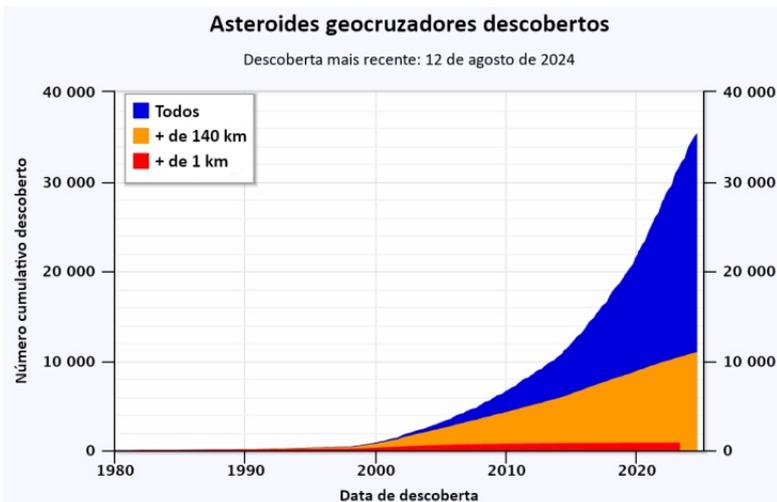
Em seguida foi a vez da missão americana chegar, no final de 2018, e monitorar com câmeras ópticas e térmicas a superfície de Bennu em detalhes. Impressionantemente, o asteroide de 490 metros de largura foi o primeiro observado por uma sonda espacial a demonstrar “atividade”, um termo técnico para significar perda de massa por ejeção de gás, partículas ou mesmo rochas para o meio interplanetário. O mecanismo físico que provoca tal fenômeno continua um mistério. Entretanto, dada a composição mineralógica contendo moléculas de água associada a minerais, a violenta sublimação de tais moléculas em vapor possivelmente participa de maneira importante do processo. A atividade detectada aponta para uma quantidade significativa de água neste tipo de asteroide,

Acima

Quantidade e taxa anual de asteroides geocruzadores descobertos até agosto de 2024, identificada pelo projeto de mapeamento do céu que os descobriu.

Na página anterior

Simulação de colisão de dois asteroides agregados. Dois corpos de massa e estrutura similares podem se fundir e formar um novo corpo quando as velocidades são suficientemente baixas (Crédito: Z. M. Leinhardt/ Univ. Maryland).



Acima

Taxa anual de descobertas de asteroides geocruzadores. As diferentes cores indicam asteroides com diâmetro em intervalos especificados na legenda (Crédito: Alan Chamberlin/JPL/Caltech).

indicando que a água na Terra não tenha vindo preferencialmente de cometas (objetos também ricos em água e outras moléculas voláteis), mas de uma fonte muito mais próxima no passado. O-SIRIS-REx deixou Bennu em maio de 2021, trazendo finalmente a sua amostra coletada de cerca de 120 gramas à Terra, em setem-

bro de 2023. Ambas amostras estão sob processo de análise. No entanto, os resultados até o momento mostram uma composição bastante prístina, com nenhum sinal massivo de alteração por alto aquecimento dos minerais, e consequente perda de gases, que se condensaram como rocha desde a formação desses materiais no meio interplanetário, há cerca de 4,56 bilhões de anos, muito próximo da idade do próprio Sistema Solar.

Enquanto ambas as missões permitiram saltos importantíssimos no conhecimento da composição, topografia e interação com o meio interplanetário, permanecem muitos mistérios sobre como tais corpos poderão ser desviados em caso de um hipotético impacto com a Terra em um futuro próximo. Além disso, Ryugu e Bennu adicionaram mais incerteza a esse problema pois, apesar de serem, no total, ambos corpos bastante porosos, com quase 60% de vazios no interior, a porosidade entre os blocos rochosos que compõem seus interiores é de apenas 15%. Os outros cerca de 45% devem-se, em realidade, ao que chamamos de microporosidade, a porosidade intrínseca à rocha. Como, por exemplo, uma pedra-pomes, que são condensadas a partir de lava superaquecida expelidas por vulcões. Isso significaria que caso fosse necessário dismantelar um asteroide perigoso utilizando técnicas como impactos com ex-

Para saber mais

Projeto ImpactON

<http://impacton.on.br/>

Projeto NEOROCKS

<https://www.neorocks.eu/>

Textos adicionais

The population of near-earth asteroids revisited and updated, Harris & Choda, 2021, Icarus 365, 114452

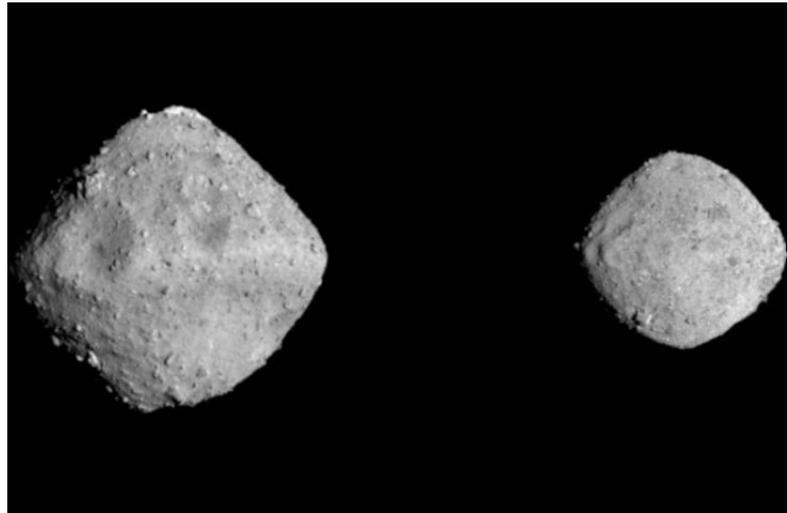
Internal rubble properties of asteroid (101955) Bennu, Tricarico et al., 2021, Icarus 370, 114665

Ejecta from the DART-produced active asteroid Dimorphos, Li et al., 2023, Nature 616, pp. 452–456

Physical properties of asteroid Dimorphos as derived from the DART impact, Raducan et al., 2024, Nature Astronomy 8, pp. 445–455

plosivos ou mesmo projéteis, há a possibilidade de, em vez de se fragmentar em pequenos pedaços, o asteroide absorver grande parte da energia do impacto através da sua própria deformação.

Foi com intuito de responder esse tipo de questão que a NASA e a agência espacial européia ESA propuseram em 2015 uma missão conjunta para, dessa vez, virar o jogo. Eles colidiriam o satélite natural de um asteroide geocruzador duplo e mediriam a mudança do período orbital do satélite para estimar a eficiência do experimento. Isso nos diria finalmente se a tal chamada técnica de deflexão é válida ou não como solução para nos proteger de um futuro impacto. Com a saída da ESA do projeto, esse experimento foi batizado Double Asteroid Re-



direction Test, ou DART, do inglês para Teste de Redirecionamento de um Asteroide Duplo.

A missão DART obteve sucesso em 26 de setembro de 2022 quando o satélite Dimorphos (177 metros de diâmetro) em sistema duplo com (65803) Didymos foi colidido pela própria sonda espacial de 610 quilogramas acelerada a-

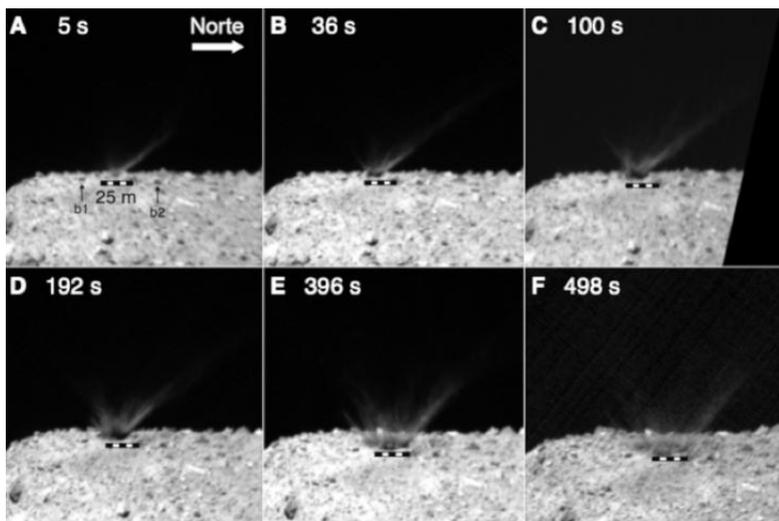
Acima

Os asteroides Ryugu (esquerda) e Bennu (direita) em escala proporcional de tamanho. Ambos asteroides apresentam uma forma do tipo “pião”, com um cinturão de regolitos ligeiramente pronunciado. Ryugu possui cerca de 900 metros de diâmetro, enquanto Bennu possui aproximadamente a metade, 490 metros.



Ao lado

Aspecto da superfície do asteroide Bennu. Agregados gravitacionais como Bennu não possuem uma superfície coesa; ao contrário, são formados por amontoados de rochas fracamente ligadas pela força da gravidade (Crédito: NASA, University of Arizona).



Acima

O experimento com o projétil SCI (do inglês *carry-on impactor*) pela missão japonesa Hayabusa-2. O projétil é feito de dois quilos de cobre, atirado a dois quilômetros por segundos contra a superfície do asteroide Ryugu. As imagens foram obtidas por uma câmera liberada pela própria sonda enquanto esta se posicionava em uma órbita de segurança (Crédito: JAXA).

té atingir uma velocidade de 6,6 quilômetros por segundo. A sonda não viajou sozinha; 15 dias antes do destino final, um pequeno cubo robótico produzido pela agência espacial italiana chamado LICIACube se destacou com objetivo de testemunhar de perto a colisão. O evento histórico foi também estudado por dezenas de telescópios a partir da Terra, inclusive o famoso telescópio espacial Hubble. Algumas dezenas de milhões de quilogramas foram expelidas pela violência do experimento, formando um cone aberto de fragmentos, blocos e poeira com estranha forma tentacular. Observações da variação do brilho do sistema duplo devido à órbita mútua e a própria rotação nas semanas e meses seguintes permitiram estimar uma mudança no período orbital de Dimorphos em torno de Didymos muito maior do que o esperado: uma redução de 33 minutos em vez de cerca de 10 minutos! Estes fa-

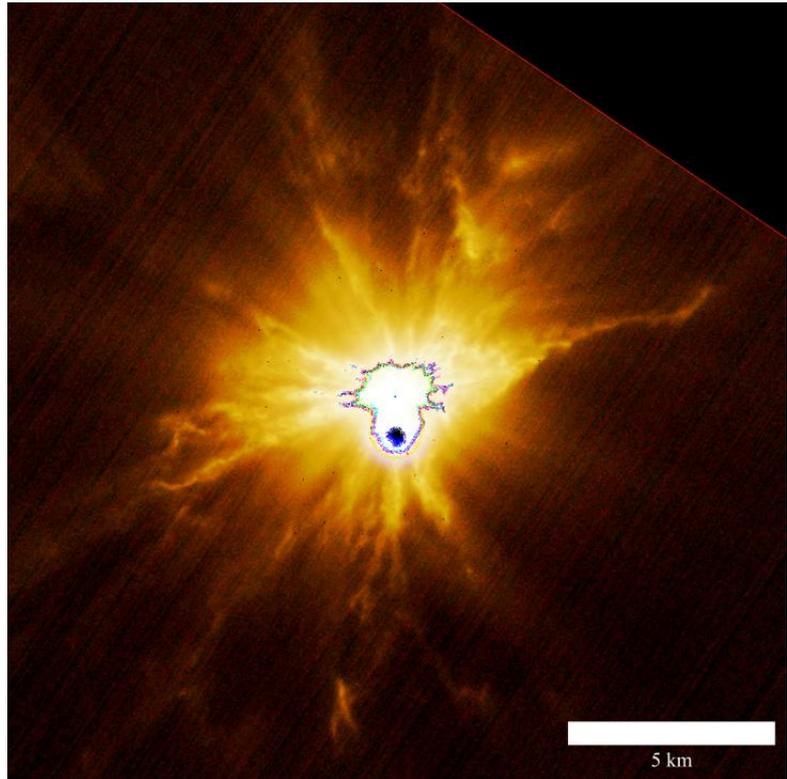
tores indicam um cenário onde a perda da massa por ejeção intensificou a transferência de energia causando modificação suficiente para reduzir o raio médio da órbita de 1,2 a 1,14 quilômetro, e deformar Dimorphos com uma enorme cratera em seu equador. A força mútua que mantém Dimorphos coeso não passa, portanto, da equivalente àquela entre grãos de areia numa praia.

DART operou o primeiro experimento de deflexão de um asteroide com a destruição da própria sonda espacial, mas o interesse pelo sistema Didymos-Dimorphos ainda não acabou. A tocha foi passada para uma nova missão espacial européia, chamada HERA, que, dessa vez, parte com uma sonda equipada de diversos instrumentos de estudo, incluindo dois outros cubos robóticos que permitirão monitorar diferentes hemisférios dos satélites ao mesmo tempo e estimar a distribuição de massas no interior de ambos os corpos. HERA deve ser lançada em outubro deste ano a partir de um sítio de lançamento não longe do Brasil, situado na Guiana Francesa. A sonda levará cerca de um ano para chegar no sistema duplo, e espera-se que mostre uma cratera de 20 metros de largura e até mesmo fragmentos de Dimorphos que tenha atingido o irmão próximo, Didymos.

Retornando outra vez ao planeta Terra, não é apenas de missões espaciais *in situ* que obte-

mos avanços e novas informações sobre os geocruzadores. Também durante últimos 10 anos, projetos de auxílio à defesa planetária através da caracterização da composição, rotação e tamanho desses objetos se desenvolveram em diferentes países. É o caso, por exemplo, do NEOROCKS, na Europa, que foi gerenciado pelo Observatorio Astronomico di Roma e coordenou as observações feitas por diversos grupos e telescópios europeus, além de análises de risco no caso de um impacto. No Brasil, temos o Observatório Astronômico do Sertão de Itapirica com um telescópio de 1 metro de abertura, perto da cidade de Nova Itarucuba, instrumento do projeto IMPACTON do Observatório Nacional. O projeto brasileiro faz observações frequentes de geocruzadores e outros corpos como cometas e é dedicado aos pequenos corpos do Sistema Solar.

O futuro do estudo de asteroides é claro. Estes objetos são compostos de materiais provenientes de épocas e regiões diversas do Sistema Solar e podem apresentar grande risco para qualquer região do nosso planeta. Novos telescópios e missões espaciais são esperadas para o futuro, como o Near-Earth Surveyor da NASA para 2027, enquanto Hayabusa-2 e OSIRIS-Rex (agora renomeada APEX) foram estendidas para visitar novos geocruzadores em 2026 e 2029, respectivamente. O novo



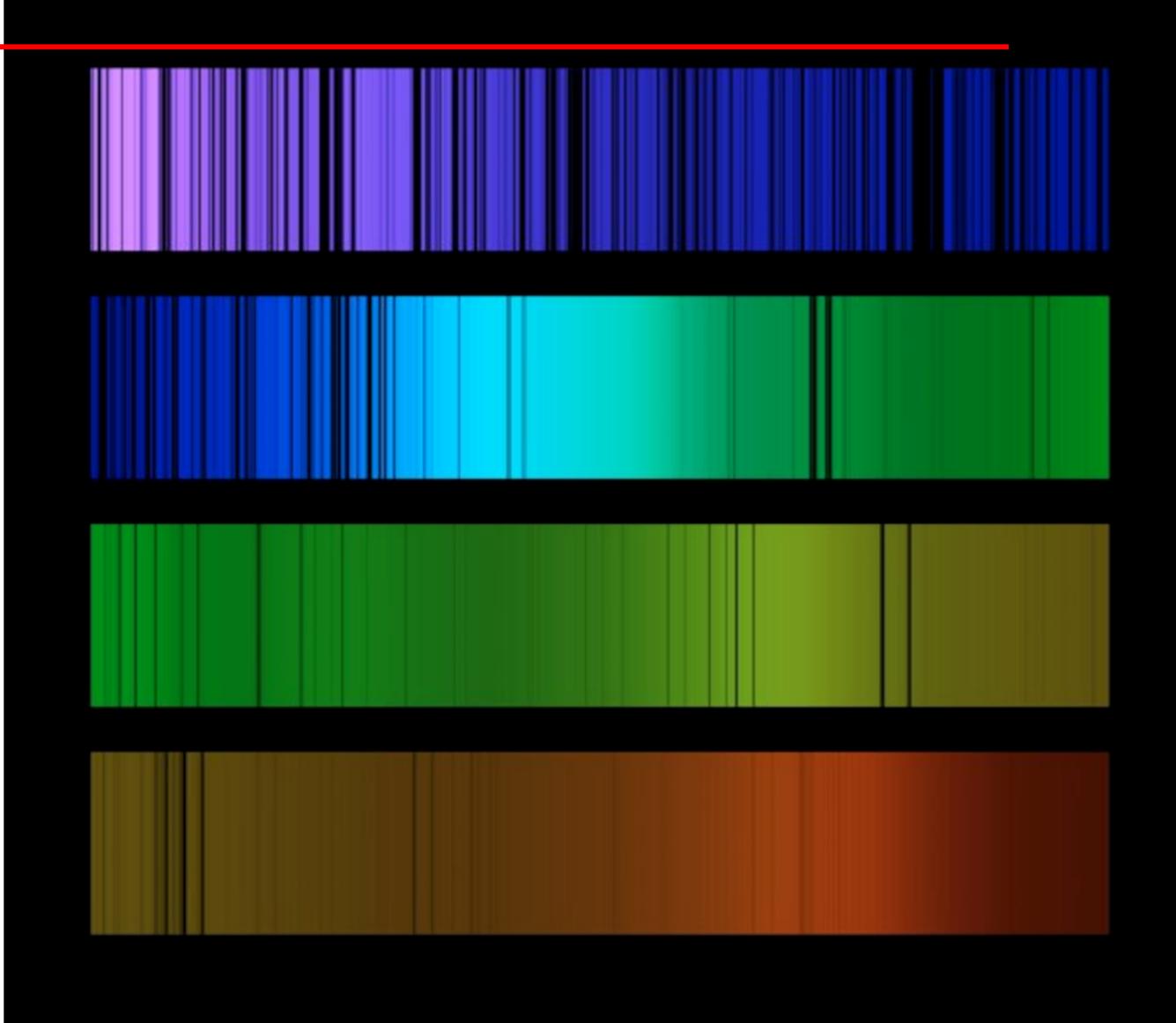
alvo da OSIRIS-APEX é o perigoso asteroide Apophis que passara a menos de 36 mil quilômetros da Terra (o diâmetro da Terra é de 12 mil quilômetros!) e será visível a olho nu em Abril de 2029 •

*Pedro Henrique Hasselmann
Osservatorio Astron. di Roma
pedro.hasselmann@inaf.it*

Acima
A pluma de poeira e rochas ejetadas pelo impacto da sonda DART e testemunhado pelo cubo robótico LICIACube. A imagem foi obtida de face apenas cerca de 2 minutos depois do impacto

Espectroscopia

Uma janela para o Universo



A espectroscopia é essencial para o avanço do conhecimento astrofísico, sendo usada desde no estudo de galáxias distantes até na busca por planetas potencialmente semelhantes à Terra.

As vezes me pergunto como os astrônomos sabem tanto sobre os planetas do nosso Sistema Solar — como Marte, Vênus, Júpiter e Saturno. Eles conhecem tanto sobre as estrelas da nossa Galáxia, a Via Láctea, e ainda mais sobre galáxias extremamente distantes. No entanto, há tantos mistérios que ainda desconhecemos sobre a própria Terra: as camadas internas da crosta, os oceanos mais profundos e até a história completa do nosso plan-

eta. Isso nos leva a uma pergunta natural: como é possível saber tanto sobre os céus e, ao mesmo tempo, tão pouco sobre a Terra? O mais impressionante é que conseguimos adquirir todo esse conhecimento sobre o universo sem nunca termos visitado ou coletado amostras desses lugares distantes. A resposta para essa pergunta é simples: nós conseguimos ver esses objetos celestes.

Quando tentamos estudar as profundezas dos oceanos terrestres, deparamos com duas dificuldades

principais: a alta pressão e a ausência de luz. Com a tecnologia atual, ainda é muito difícil enviar instrumentos para realizar estudos nessas condições extremas. Tampouco conseguimos enxergar regiões profundas devido à absorção e a dispersão da luz pela água à medida que a profundidade aumenta. Além disso, a presença de partículas suspensas em algumas regiões limita ainda mais a penetração da luz visível, tornando essas regiões praticamente invisíveis a olho nu.

No caso dos objetos celestes, podemos enxergar uma vasta gama de cores no céu apenas com nossos olhos. Vemos planetas e estrelas azuis brilhantes, estrelas distantes ou frias com tons avermelhados, nebulosas repletas de gás e poeira, e muito mais. Se utilizarmos instrumentos para ampliar o poder da nossa visão, como telescópios, essa diversidade de formas e cores se torna ainda mais rica e detalhada. A luz tem propriedades fascinantes que permitem aos astrônomos extrair informações além das suas cores e formas visíveis. Analisando apenas a luz emitida pelos astros, podemos determinar suas propriedades físicas e químicas, descobrir do que são feitos, medir sua massa, seu tamanho e tantas outras características. A ferramenta que possibilita esse estudo é a espectroscopia.

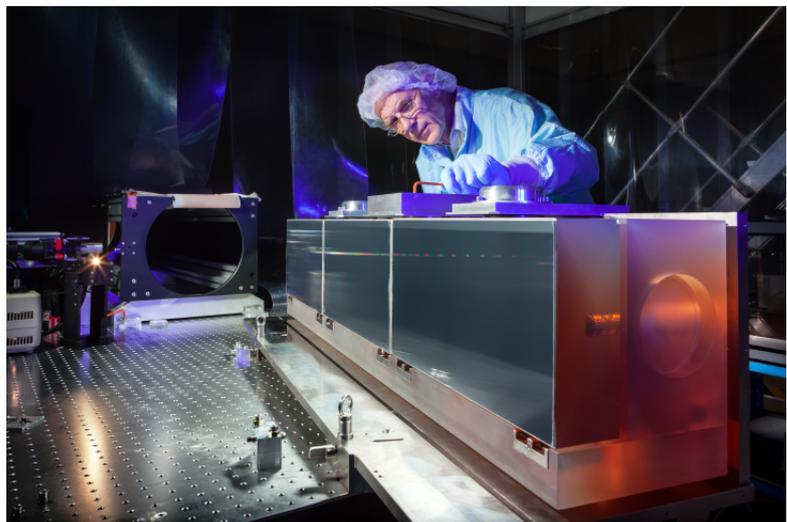
A palavra "espectroscopia" vem do latim *spectrum*, que significa

"imagem" ou "visão", e do grego *skopein*, que significa "observar" ou "examinar". Espectroscopia, portanto, literalmente significa "o exame do espectro". Mas o que exatamente é um espectro? O "espectro" refere-se à distribuição da luz ou de outra radiação em diferentes comprimentos de onda ou frequências. No contexto da luz visível, o espectro é o conjunto de cores que observamos, como no arco-íris, onde a luz branca do Sol é separada em diversas cores devido à refração. No entanto, o conceito de espectro vai além da luz visível, abrangendo toda a gama de radiações eletromagnéticas, desde as ondas de rádio até os raios X e gama. Ao analisar o espectro de um objeto, os cientistas podem obter informações detalhadas sobre suas propriedades, como composição química, temperatura e movimento, essencialmente transformando a luz em em grandezas físicas que são mensuráveis.

Um dos primeiros cientistas a

Na página anterior
Impressão Digital do Universo Primordial. A figura mostra o espectro do quasar HE0940-1050, capturado pelo UVES no VLT. As linhas de absorção indicam a passagem da luz por nuvens de gás no meio intergaláctico. A análise dessas linhas revela a composição do gás e fornece informações sobre o Universo primordial (Crédito: ESO).

Abaixo
Grade de difração do espectrógrafo ESPRESSO, testada no ESO. Esta componente divide a luz em cores para análise. Instalado no Observatório Paranal, o ESPRESSO buscará exoplanetas semelhantes à Terra e permitirá estudar possíveis variações nas constantes físicas ao longo do Universo (Crédito: ESO).





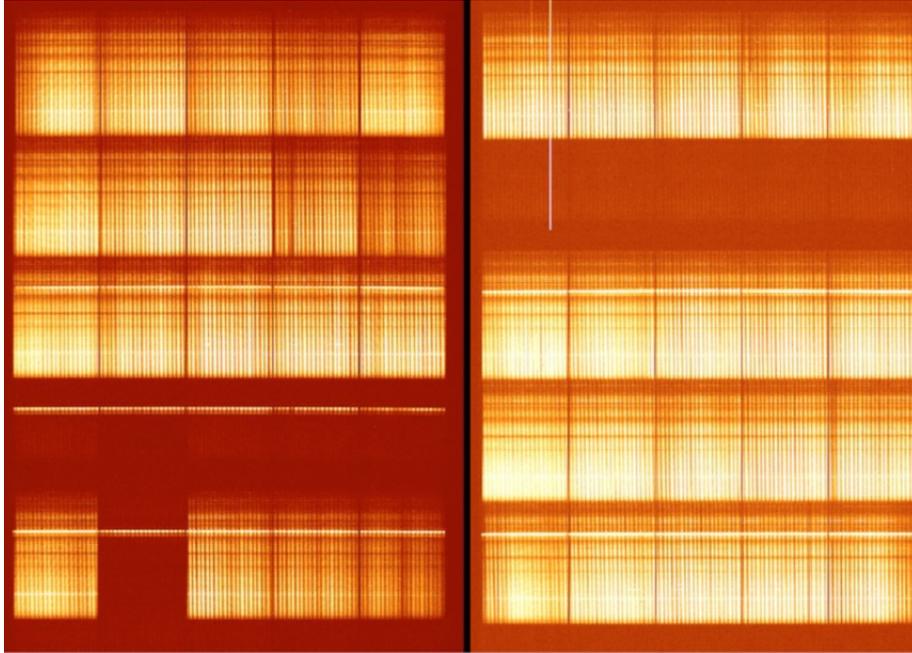
Acima
Experimentos de Isaac Newton com um prisma. Representação em litogravura (Crédito: J. A. Houston, The Granger Collection).

explorar sistematicamente o espectro foi Isaac Newton. Em 1666, Newton realizou experimentos que mudariam para sempre nossa compreensão da luz. Ao passar a luz solar através de um prisma de vidro, ele demonstrou que a luz branca do Sol é, na verdade, composta por uma variedade de cores diferentes, cada uma correspondendo a um comprimento de onda específico. Essas cores podiam ser separadas e, posteriormente, recombinaadas, mostrando que a luz é uma combinação de diferentes

comprimentos de onda. A descoberta de Newton foi um marco na física óptica, estabelecendo a base para os estudos futuros sobre os espectros de luz e, eventualmente, para o desenvolvimento da espectroscopia. A partir dessa descoberta, cientistas (principalmente astrônomos, físicos e químicos) começaram a investigar as características dos espectros de luz por diversos materiais, abrindo caminho para entender a natureza destes.

A exploração do espectro de luz, iniciada por Isaac Newton, evoluiu significativamente no início do século XIX, abrindo um novo capítulo na história da espectroscopia aplicada ao estudo dos astros. Em 1814, o físico alemão Joseph von Fraunhofer fez uma descoberta que mudaria a astronomia para sempre: ao passar a luz solar por um prisma, ele observou centenas de linhas escuras no espectro, conhecidas hoje como linhas de Fraunhofer. Essas linhas indicavam comprimentos de onda específicos da luz que eram capturados (absorvidos) por elementos na atmosfera do Sol. Embora Fraunhofer não soubesse de imediato a origem dessas linhas, sua descoberta foi crucial para o estudo da composição química das estrelas.

Em 1859, o campo da espectroscopia foi ampliado pelo químico Robert Bunsen e pelo físico Gustav Kirchhoff. Eles demonstraram que cada elemento químico, quan-

**Ao lado**

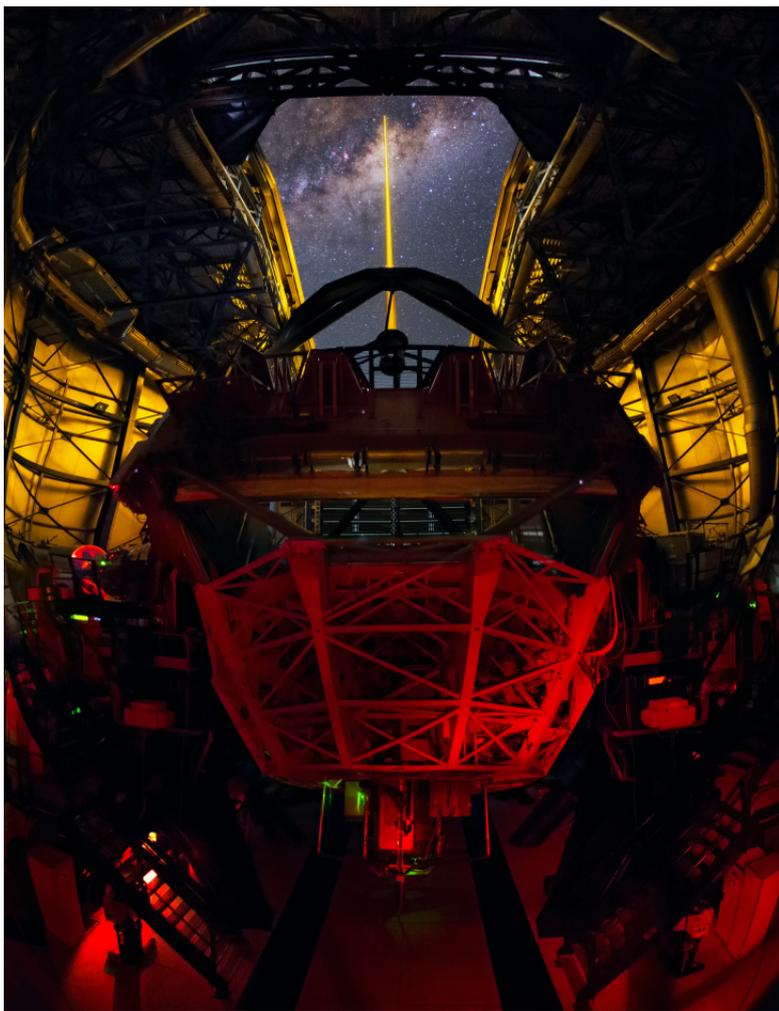
Espectro de campo integrado das Galáxias Antenas, capturado pelo VIMOS. Mais de 3000 espectros da área central foram obtidos em uma única exposição de 300 segundos, usando a grade de baixa resolução vermelha (Crédito: ESO).

do aquecido, emite luz em comprimentos de onda específicos, criando um espectro característico de linhas brilhantes. Da mesma forma, quando a luz de uma fonte quente atravessa um gás frio, esse gás absorve certos comprimentos de onda, gerando linhas escuras no espectro de absorção. Ao comparar essas linhas de absorção observadas nos espectros estelares com as linhas de emissão produzidas em laboratório, tornou-se possível identificar os elementos presentes nas estrelas.

Esses estudos revelaram que as estrelas são compostas principalmente por gases, os mesmos que encontramos na Terra. Entre 1859 e 1861, ao analisar os espectros estelares, os cientistas identificaram elementos como hidrogênio e hélio no Sol e em outras estrelas. Essa descoberta foi revolucionária,

pois demonstrou observacionalmente que os materiais que constituem os astros celestes são os mesmos encontrados em nosso planeta. Assim, ficou estabelecido que o universo é composto por elementos comuns, regidos por leis físicas universais, independentemente de estarem nas profundezas do espaço ou na superfície da Terra.

A espectroscopia tem sido fundamental para responder algumas das questões mais básicas sobre o universo, fornecendo respostas que vão desde a composição das estrelas até a estrutura e evolução do cosmos. Uma das aplicações mais fascinantes da espectroscopia é o estudo do movimento dos corpos celestes através do efeito Doppler, que descreve como a frequência da luz (ou som) muda à medida que a fonte se aproxima ou se afasta do observador. Quan-



Acima

A figura mostra o sistema de estrela guia a laser (LGS) do VLT em ação, criando uma estrela artificial para corrigir distorções atmosféricas. Isso permite imagens quase tão nítidas quanto as de um telescópio no espaço, revelando detalhes do núcleo turbulento da Via Láctea. (Crédito: ESO).

do um objeto se afasta de nós, as linhas espectrais que observamos são deslocadas para o vermelho (*redshift*); se o objeto se aproxima, elas são deslocadas para o azul (*blueshift*). Esse fenômeno jaz na base da formulação da Lei de Hubble, por exemplo, uma das maiores descobertas da astronomia moderna. Edwin Hubble, ao analisar o deslocamento Doppler na luz das galáxias distantes, observou que quanto mais longe uma galáxia está, mais rápido ela se afasta de nós, indicando que o universo está em expansão. Essa desco-

berta, possível graças à espectroscopia, mudou nossa compreensão do universo, sugerindo que ele teve um início — o Big Bang — e continua a se expandir desde então.

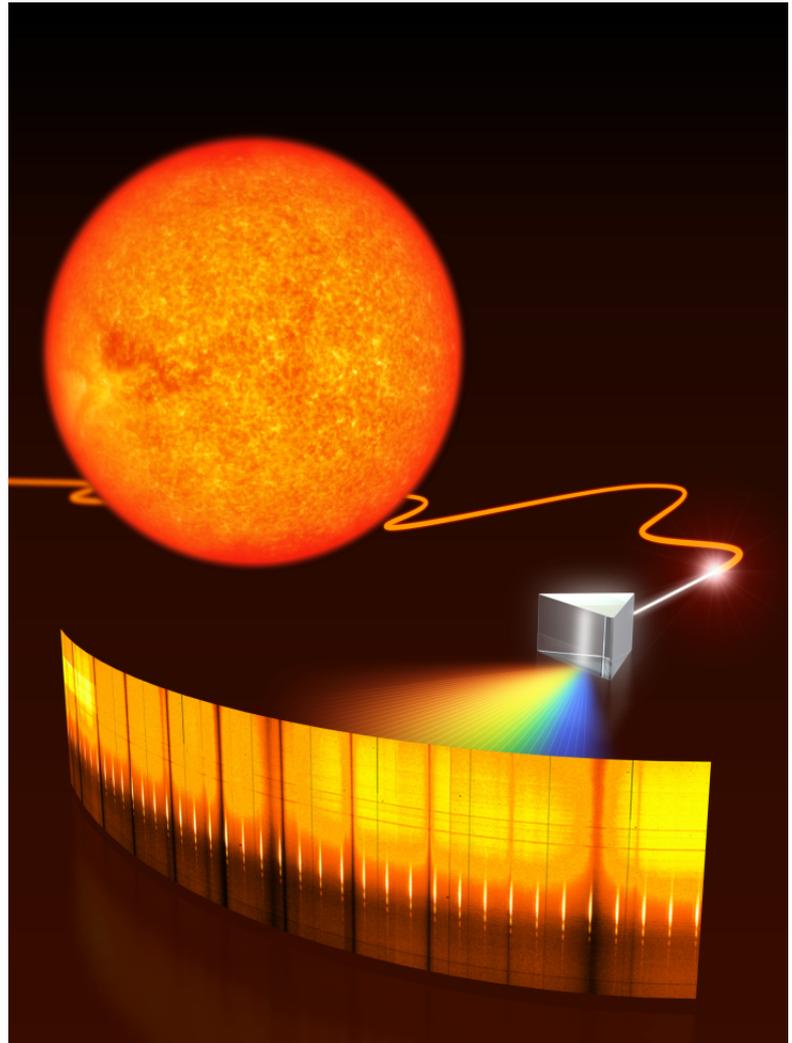
A descoberta da expansão do universo foi um marco na astronomia, mas a espectroscopia ainda tinha mais a revelar neste campo. Em 1998, observações detalhadas de supernovas distantes, realizadas por duas equipes independentes de astrônomos, levaram a uma constatação surpreendente: o universo não está apenas se expandindo, mas essa expansão está acelerando. Tal conclusão foi possível graças ao estudo do desvio para o vermelho dessas supernovas, novamente utilizando a espectroscopia. Ao comparar o brilho observado dessas supernovas com suas distâncias, foi possível perceber que as galáxias estão se afastando mais rapidamente do que o esperado. Daí veio a introdução do conceito de energia escura, uma forma de energia invisível à nossa tecnologia atual, que permeia todo o espaço e parece estar impulsionando essa expansão acelerada.

A espectroscopia desempenha um papel fundamental no estudo do passado do universo: uma área conhecida como Arqueologia Galáctica e Extragaláctica. Ao analisar a abundância de elementos químicos em estrelas, nebulosas e galáxias, os astrônomos podem traçar a história da forma-

ção e evolução dessas estruturas cósmicas. Estrelas mais antigas, por exemplo, tendem a ser pobres em elementos pesados, o que indica que se formaram em uma época em que o universo ainda era jovem e quimicamente menos enriquecido. Em contraste, estrelas mais jovens apresentam uma maior abundância de elementos pesados, resultado das gerações anteriores de estrelas que, durante suas vidas, sintetizaram novos elementos em seus núcleos e os liberaram no espaço ao fim de seus ciclos de vida. Esse processo contínuo de enriquecimento químico permite que os astrônomos reconstruam a evolução da Via Láctea e compreendam os eventos que a moldaram ao longo do tempo. Em escala extragaláctica, a espectroscopia nos permite mapear a distribuição e a evolução química das galáxias no universo distante, oferecendo uma visão única dos primeiros momentos após o Big Bang e da formação das primeiras estruturas cósmicas.

A espectroscopia tem sido uma ferramenta essencial na descoberta e estudo de exoplanetas, que são planetas em órbita de estrelas fora do nosso Sistema Solar. O primeiro exoplaneta observado, 51 Pegasi b, foi encontrado através da espectroscopia. Essa descoberta rendeu o prêmio Nobel para Michel Mayor e Didier Queloz em 2011.

Um dos métodos mais eficazes

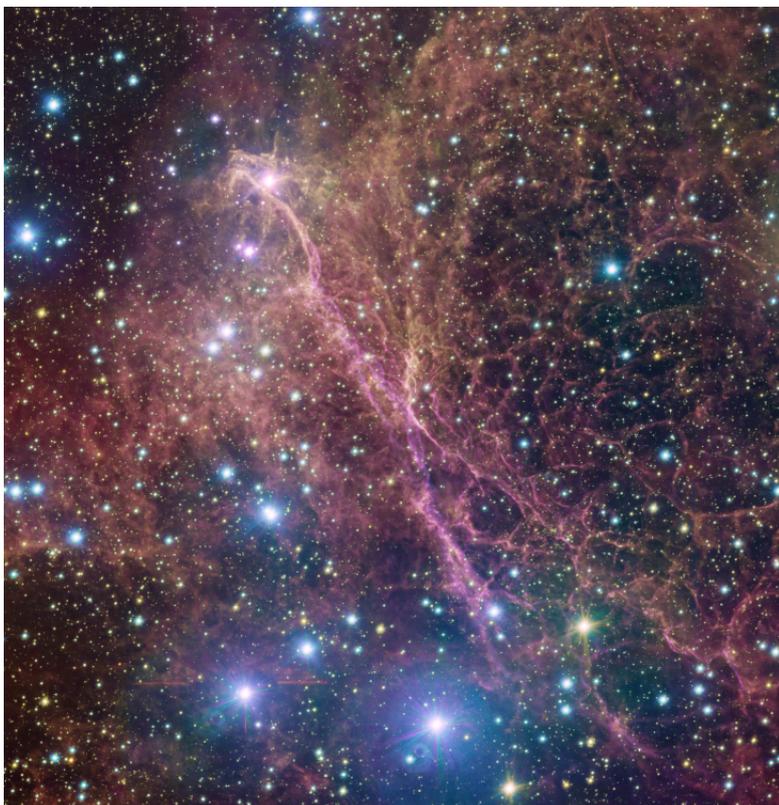


para detectar exoplanetas é o chamado método de velocidade radial, que utiliza o efeito Doppler. Quando um exoplaneta orbita uma estrela, ele exerce uma pequena força gravitacional sobre ela, fazendo com que a estrela se mova ligeiramente em resposta à sua gravidade. Esse movimento causa um deslocamento das linhas espectrais da estrela, que alternam entre o *redshift* (quando a estrela se afasta de nós) e o *blueshift* (quando a estrela se aproxima). Ao medir essas variações na

Acima
Impressão artística da régua *laser comb*, usada para calibrar espectrógrafos extremamente precisos, essenciais na busca por planetas semelhantes à Terra e na medição da expansão do Universo. O espectro do Sol é mostrado com linhas escuras de absorção, sobrepostas por linhas claras do *laser comb* para fins de calibração. (crédito: ESO).

Abaixo

Porção do remanescente da supernova Vela com filamentos rosados e alaranjados que lembram uma ave cósmica com asas abertas. Capturada pelo VLT Survey Telescope (VST), a imagem revela a estrutura resultante da explosão de uma estrela massiva há 11.000 anos, destacando filamentos brilhantes formados pelas ondas de choque (Crédito: ESO).

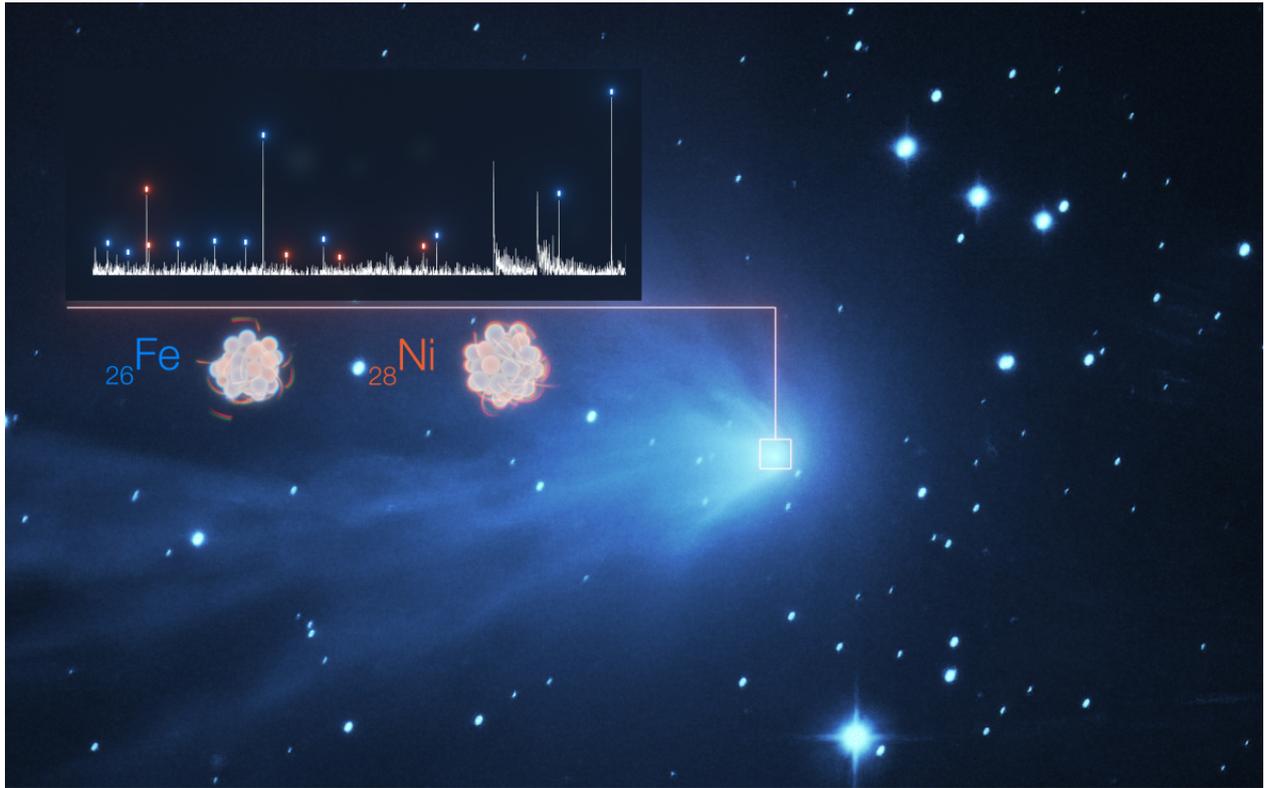


luz estelar com extrema precisão, os astrônomos podem inferir a presença de um exoplaneta, bem como determinar sua massa e a forma de sua órbita. Com os espectrógrafos mais modernos, que são os instrumentos responsáveis pelas medições espectroscópicas, é possível detectar variações de movimento na estrela de apenas alguns centímetros por segundo. Essa precisão é realmente impressionante, permitindo a detecção de exoplanetas cada vez menores e em órbitas mais distantes, algo que seria inimaginável há algumas décadas atrás.

Outra aplicação revolucionária para a espectroscopia é a espectroscopia de transmissão, uma nova técnica utilizada na caracteri-

zação das atmosferas de exoplanetas. Quando um exoplaneta passa na frente de sua estrela, durante um trânsito (eclipse), parte da luz estelar atravessa a atmosfera do planeta antes de chegar até nós. A espectroscopia de transmissão permite analisar essa luz filtrada pela atmosfera do exoplaneta, revelando a presença de diferentes moléculas e gases que compõem a sua atmosfera. Com o lançamento do telescópio espacial James Webb (JWST), essa técnica recebeu um impulso significativo. O JWST, com seus instrumentos altamente sensíveis, tem como um de seus objetivos estudar a atmosfera de exoplanetas com uma precisão sem precedentes, possibilitando a busca por bioassinaturas — indicadores de vida, como água, oxigênio, metano e dióxido de carbono — em exoplanetas potencialmente similares à Terra. As descobertas que faremos nas próximas décadas serão fundamentais para entender melhor esses mundos distantes e as possíveis condições para a existência de vida similar a que conhecemos aqui na Terra.

A espectroscopia, ao longo dos séculos, provou ser uma das ferramentas mais poderosas da astronomia, transformando a maneira como entendemos o universo. Desde os primeiros estudos de Isaac Newton sobre a decomposição da luz até as modernas análises de atmosferas de exoplanetas, a espectroscopia nos permi-



tiu explorar e compreender o cosmos de maneiras antes inimagináveis. Ela revelou a composição química das estrelas, mostrou-nos que o universo está em expansão e até nos deu pistas sobre a presença de planetas em torno de outras estrelas. Através do estudo do espectro de luz, conseguimos mapear a evolução química das galáxias e sondar os primeiros momentos após o Big Bang •

Diogo Souto
Universidade Federal de Sergipe
diogodusouto@gmail.com

Acima
 A figura mostra a detecção de metais pesados, como ferro (Fe) e níquel (Ni), na atmosfera do cometa C/2016 R2 (PANSTARRS). O espectro de luz, capturado pelo UVES no VLT do ESO, revela picos brancos correspondentes aos elementos, com ferro e níquel destacados em azul e laranja, respectivamente (Crédito: ESO)..



Detetando atmosferas

em outros planetas

A importância de observar e caracterizar propriedades atmosféricas de planetas além da Terra – e além do Sistema Solar – para a busca por vida em outros mundos.

Imagine que você seja um astronauta em uma espaçonave que acabou de sair da Terra. Quando você olha em direção à Terra, o que você vê? Talvez você reconheça o azul dos grandes oceanos, e talvez você até identifique alguns dos continentes, dependendo de onde estiver olhando. Mas existe uma parte importante do nosso planeta que pode passar despercebida: a atmosfera.

A atmosfera é uma camada de gás que envolve toda a Terra. Por isso, ela é o primeiro contato entre o observador (você, que está fora da Terra) e o planeta. É claro que, no caso da Terra, você perceberá a atmosfera como sendo transparente, com exceção apenas das nuvens em tons de branco e cinza. Isso ocorre porque a atmosfera da Terra bloqueia algumas faixas de comprimentos de onda,

como raio X, ultravioleta e infravermelho, enquanto outras faixas como o visível conseguem penetrar a nossa atmosfera e chegar até a superfície. Como nossos olhos enxergam no visível e essa radiação não é absorvida pela atmosfera, você que está de fora vê uma atmosfera transparente. Por outro lado, se você utilizasse um filtro para enxergar em infravermelho, por exemplo, você veria a atmosfera bastante opaca circundando o planeta.

Nem toda atmosfera é como a da Terra

Assim como a Terra, outros objetos como planetas e satélites também podem ter atmosfera. Algumas são substanciais e extremamente opacas, como a de Vênus ou a de Titã (satélite de Saturno), enquanto outras podem ser tênues ou praticamente inexistentes, como a de Marte, a de Mercúrio ou a da nossa Lua. Entretanto, a atmosfera de cada um desses objetos possui uma estrutura e uma composição química exclusiva, visto que a atmosfera de um corpo depende de características próprias desse corpo, como sua massa, diâmetro, e distância até a sua estrela.

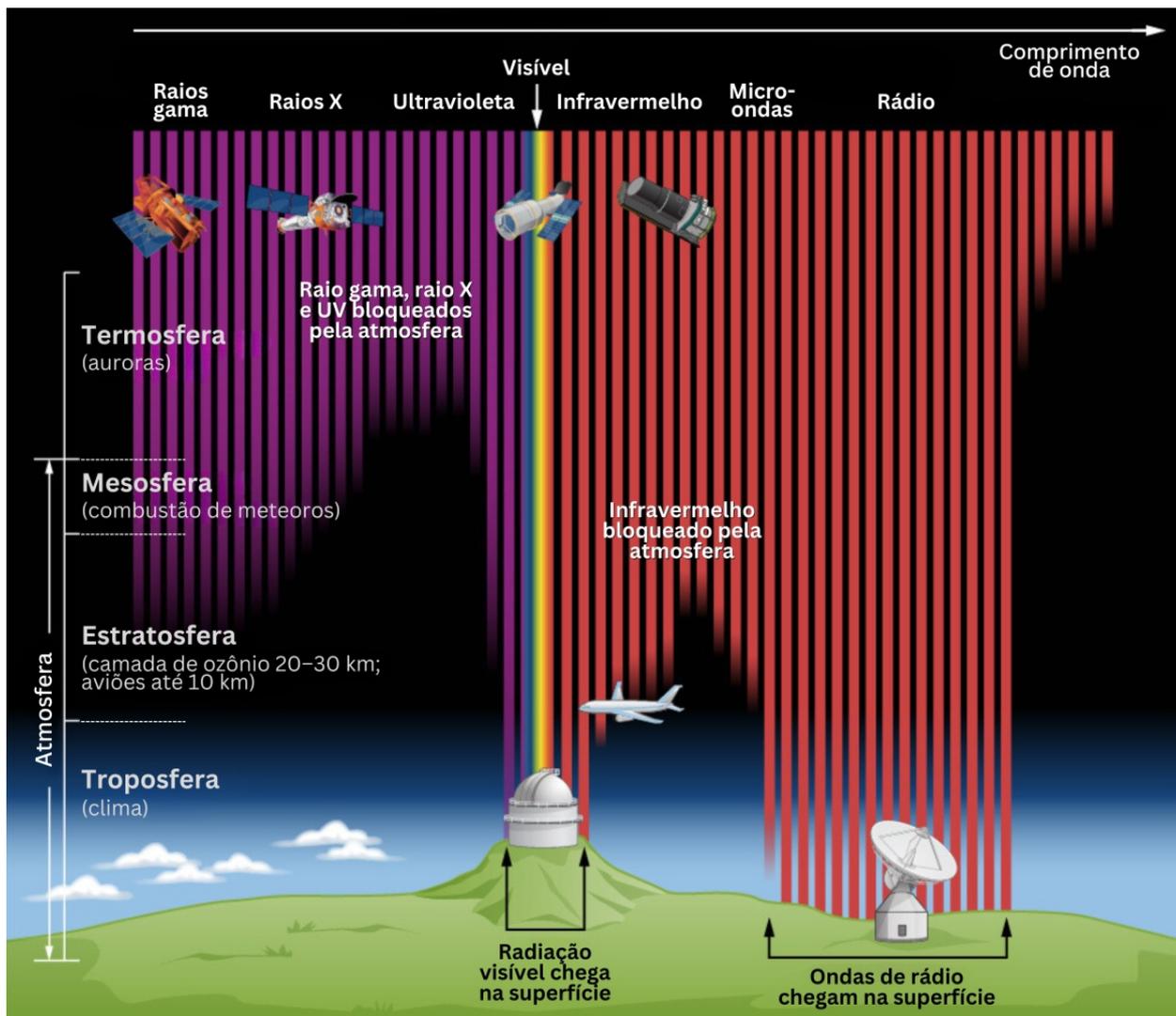
Supondo um planeta no Sistema Solar, a distância desse planeta até o Sol irá estabelecer quais espécies químicas estarão presentes na região onde se originará o planeta e, conseqüentemente, sua atmosfera. Por outro lado, a massa e o diâmetro irão determinar se

esse planeta é capaz de prender gravitacionalmente essas espécies químicas na atmosfera. É por isso que planetas maiores e de maior massa (como os gigantes Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) conseguem reter em sua atmosfera espécies químicas leves, como hidrogênio e hélio, enquanto planetas menores (como Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) retêm apenas espécies mais pesadas, deixando as mais leves se perderem para o espaço.

Além dos fatores que inicialmente determinam como será a atmosfera de um objeto durante sua formação, a atmosfera pode ser posteriormente modificada por processos que ocorrem em seu interior e superfície. A transformação dessas atmosferas, denominadas secundárias, ocorre especialmente em planetas terrestres, onde atividades geológicas como vulcanismo liberam gases que, com o tempo, vão se acumulando na atmosfera, como dióxido de carbono, metano e dióxido de enxofre. No caso do nosso planeta, observamos ainda uma atmosfera terciária, consideravelmente afetada pela presença de vida. Hoje sabemos, por exemplo, que a atmosfera da Terra possuía uma pequena quantidade de oxigênio quando se formou, e que a alta concentração medida atualmente (quase 21% da composição total) foi resultado de uma intensa produção de oxigênio por organismos fotossintetizantes como cianobactérias

Na página anterior

Concepção artística da atmosfera do planeta WASP-39b (Crédito: Melissa Weiss/Center for Astrophysics, Harvard & Smithsonian)



Acima

Quando os gases atmosféricos são capazes de absorver determinados comprimentos de onda, esses comprimentos de onda não chegam até a superfície. Para observar luz em comprimentos de onda bloqueados pela atmosfera, fazemos uso de telescópios espaciais (Crédito: OpenStax/Rice University; modificado por STScI/JHU/NASA; tradução e adaptação de Aline Novais).

há cerca de 2,4 bilhões de anos atrás.

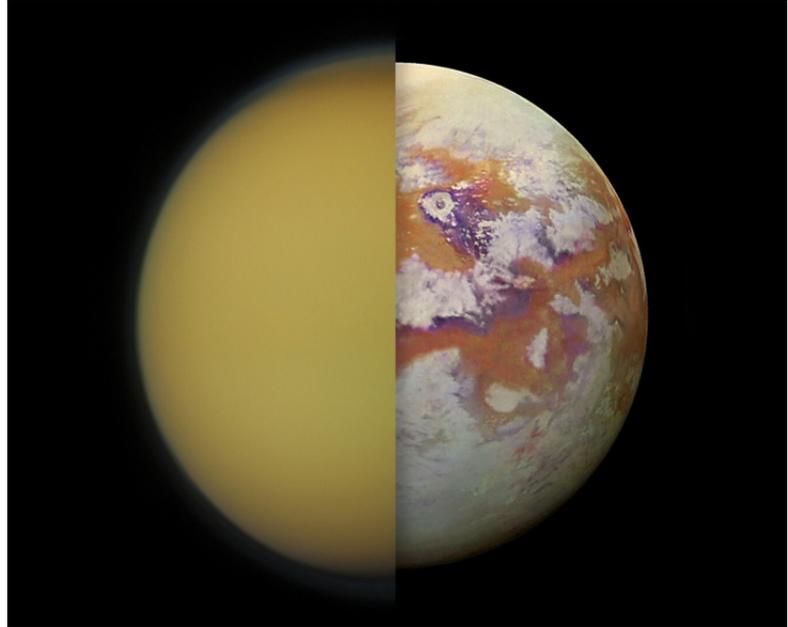
À procura de outros mundos possivelmente habitáveis

A Terra é o único local em todo o universo onde sabemos que a vida existe. Por isso, quando cogitamos a possibilidade de haver vida em outros mundos, geralmente partimos do pressuposto de que essa vida deve se comportar assim como a vida no nosso plane-

ta, baseando-se, por exemplo, na disponibilidade de água líquida. Isso não significa que outras formas de vida diferentes das que conhecemos não possam existir; significa apenas que é mais fácil procurar o que a gente já conhece e já sabe como funciona. Além disso, ao buscar por vida fora da Terra, precisamos ter em mente que essa vida, caso encontrada, provavelmente será na forma de organismos microscópicos. É por isso que, em vez de tentar observar

seres vivos a olho nu, nossa melhor aposta é procurar por sinais indicadores de vida, como água líquida na superfície ou oxigênio na atmosfera, assim como na Terra.

Dentro do nosso Sistema Solar, alguns corpos celestes são cogitados como ambientes possivelmente favoráveis para o desenvolvimento de vida. Dentre os oito planetas, nossos vizinhos mais próximos, Vênus e Marte, são as primeiras apostas, por serem os mais semelhantes à Terra em termos de tamanho e proximidade do Sol. Entretanto, apesar de terem um histórico de formação comparável ao da Terra, a estrutura de suas respectivas atmosferas fizeram com que os três planetas seguissem caminhos evolutivos diferentes. Evidências apontam que tanto Vênus quanto Marte podem ter tido lagos e oceanos de água líquida em sua superfície no passado, mas que evaporaram ao longo do tempo. No caso de Vênus, acredita-se que essa água evaporou para a atmosfera à medida que o Sol foi evoluindo e aumentando sua luminosidade, e o acúmulo de vapor de água em sua atmosfera contribuiu para que o planeta enfrentasse um efeito estufa descontrolado. Hoje, sua densa atmosfera de dióxido de carbono aprisiona tanto calor que as temperaturas na superfície podem passar dos 400°C. Por outro lado, a pequena massa e ausência de campo magnético em Marte resultou em uma atmosfera tênue, incapaz de reter



água líquida na superfície, fazendo com que a água dos lagos e oceanos inicialmente formados se perdesse para o espaço, para o subsolo, ou congelasse na superfície.

Uma alternativa para a ocorrência de água líquida é o que ocorre em diversos satélites e planetas anões do Sistema Solar, como Europa (lua de Júpiter), Ganimedes (lua de Júpiter), Titã (lua de Saturno), Encélado (lua de Saturno), Tritão (lua de Netuno) e Plutão. Esses objetos se encontram mais distantes do Sol, em regiões mais frias, mas que possibilitam a existência de água no estado líquido abaixo da superfície. Um desses mundos, Titã, consegue ser ainda mais surpreendente, pois além de um provável oceano abaixo de sua superfície, possui uma atmosfera extremamente densa composta principalmente por nitrogênio, metano e traços de outros compostos orgânicos. Esses compostos, inclu-

Acima

Mosaico de imagens de Titã. A metade esquerda mostra Titã no visível, onde é possível ver sua densa atmosfera em tons de amarelo. A metade direita mostra o satélite no infravermelho, onde a atmosfera é transparente, evidenciando os seus rios e lagos de hidrocarbonetos em tons de marrom e roxo (Crédito: NASA/JPL-Caltech/University of Nantes/University of Arizona; Mosaico por Jason Major).

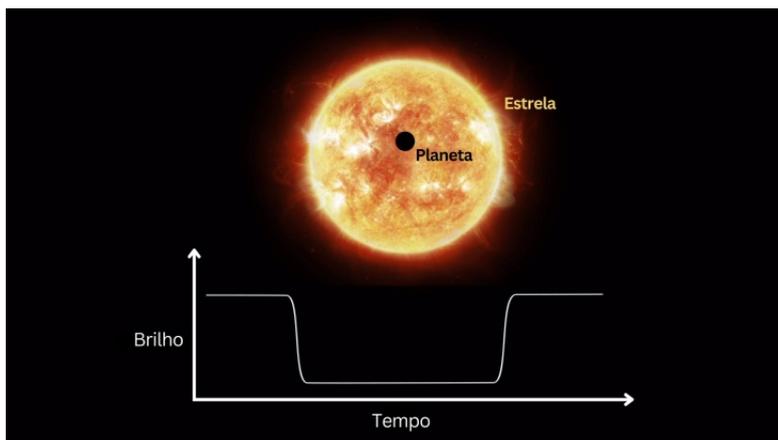
**Acima**

Ilustração do trânsito de um planeta. Quando o planeta passa na frente de sua estrela, a intensidade da luz observada diminui, pois o planeta está ocultando uma pequena parte da estrela (Crédito: ESA).

sive, são os responsáveis por Titã ter uma atmosfera extremamente opaca, sendo impossível enxergar sua superfície no visível. E como se isso não bastasse, as condições atmosféricas de Titã ainda permitem que na superfície existam compostos orgânicos no estado líquido, formando rios e lagos de espécies como metano e etano.

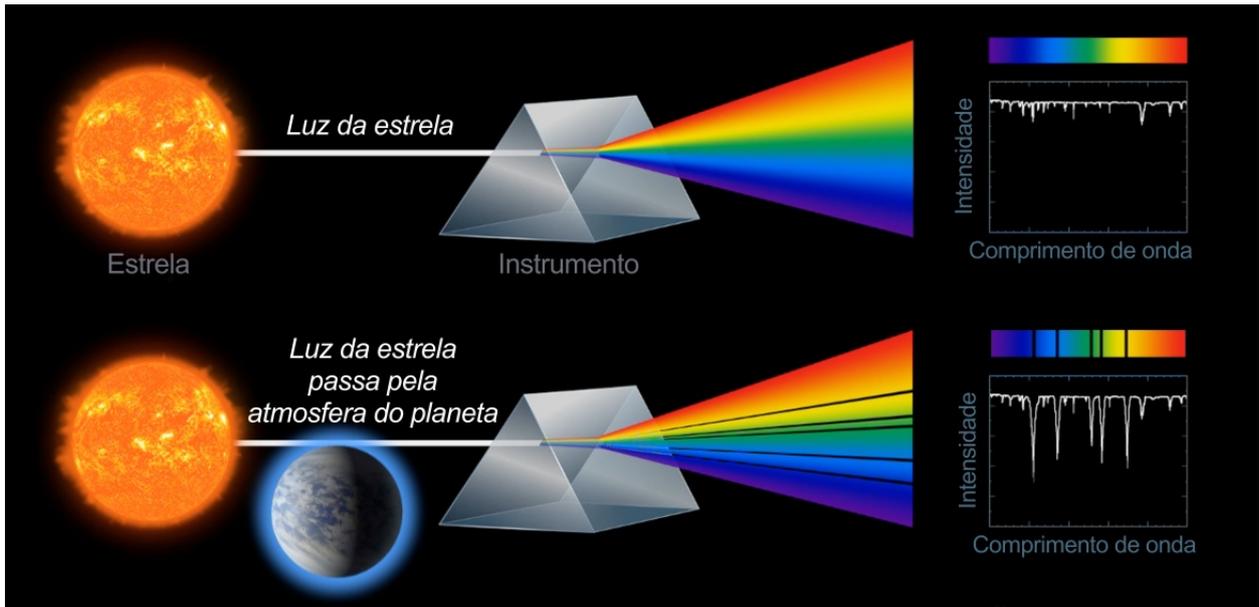
Além do Sistema Solar: estudando atmosferas de exoplanetas

Agora que sabemos como as características atmosféricas podem interferir na habitabilidade de planetas e satélites da nossa vizinhança, somos capazes de explorar as atmosferas de mundos ainda mais longínquos: os exoplanetas, planetas que estão fora do Sistema Solar. Surpreendentemente, fora do nosso sistema existem planetas bastante diferentes dos que já conhecemos, desafiando todos os conceitos pré-estabelecidos sobre como as atmosferas funcionam. Assim, desde os primeiros exoplanetas descobertos nos anos 1990, enfrentamos a difícil porém indis-

pensável missão de tentar caracterizar esses mundos, começando pelas suas atmosferas. E não é à toa, já que estudar exoplanetas também nos ajuda a compreender ainda melhor os objetos do nosso Sistema Solar, incluindo a própria Terra e os mundos possivelmente habitáveis anteriormente citados.

O estudo de atmosferas de exoplanetas expandiu significativamente nas últimas três décadas, quando deixamos de pensar em planetas extrassolares apenas na teoria e finalmente passamos a obter dados que nos permitissem investigar esses objetos. Instrumentos terrestres como o HARPS, HIRES e ESPRESSO, juntamente com missões espaciais como o Hubble, CoRoT, Kepler, TESS, CHEOPS e JWST, foram responsáveis por revolucionar o estudo de exoplanetas, em especial de suas atmosferas. E, apesar de ainda estarmos em uma era onde os telescópios são mais suscetíveis a observar objetos maiores, de tamanhos como o de Júpiter e Saturno, tudo indica que instrumentos futuros serão capazes de examinar adequadamente objetos cada vez menores, como planetas rochosos e até exoluas.

Para observar exoplanetas, fazemos uso de métodos que, em sua maioria, não observam diretamente a luz do planeta, como em uma foto. Na verdade, a presença do planeta é verificada indiretamente, a partir da luz da estrela central. A técnica mais bem



sucedida consiste em observar o trânsito do planeta, ou seja, a passagem periódica do planeta na frente da estrela, como um eclipse. Durante o trânsito, como o planeta está bloqueando parte da estrela, a intensidade da luz da estrela medida pelo telescópio diminui, voltando à intensidade normal quando o planeta termina de passar na frente dela. É por isso que planetas maiores e de menor período orbital (mais próximos de sua estrela) são observados com mais facilidade via trânsito.

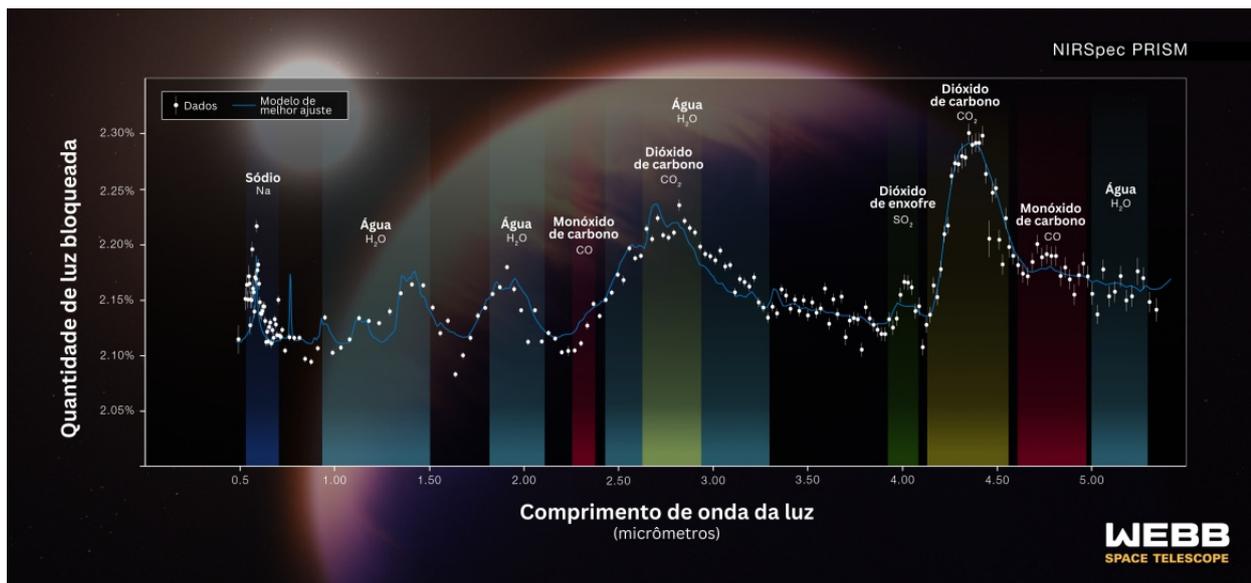
No caso de planetas com atmosferas, a técnica se torna ainda mais interessante, já que a atmosfera filtra parte da luz da estrela que passa por ela, assim como ocorre na Terra. Desse modo, é possível ver no espectro da luz da estrela algumas linhas, que correspondem às espécies químicas que filtraram aquela luz. Isso porque, quando analisamos a profundidade do trâ-

sito (em termos técnicos, o quadrado da razão entre o raio do planeta e o raio da estrela) em função do comprimento de onda observado, vemos que a profundidade do trânsito é maior em comprimentos de onda onde a quantidade de luz bloqueada é maior. Supondo que estamos testando a presença de uma molécula X naquela atmosfera. Se a opacidade da atmosfera for maior nos comprimentos de onda em que a molécula X absorve a luz da estrela, então significa que tem X naquela atmosfera!

Analizando os sinais que a atmosfera nos dá

É evidente, então, que a atmosfera de um planeta ou satélite carrega informações valiosas sobre a estrutura daquele objeto, especialmente se o objeto abriga seres vivos, como é o caso do nosso planeta. Ademais, essa é uma

Acima Esquema mostrando a técnica de espectroscopia de transmissão. O topo da figura mostra a luz da estrela decomposta em diferentes comprimentos de onda após passar pelo instrumento (espectrógrafo). A parte de baixo mostra o que ocorre com a luz da estrela quando ela passa através da atmosfera de um planeta antes de ser observada pelo instrumento: a intensidade da luz decai em determinados comprimentos de onda, que correspondem aos comprimentos de onda absorvidos pelas espécies químicas presentes na atmosfera do planeta (Crédito: NASA/JPL-Caltech; tradução por Aline Novais)



Acima

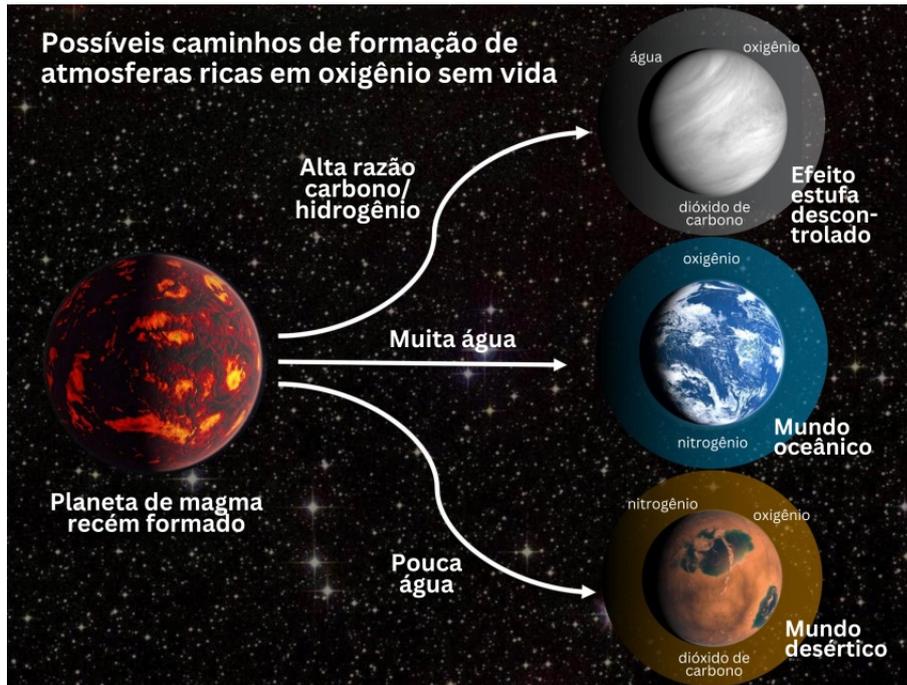
Espectro de transmissão da atmosfera do planeta WASP-39b, pelo instrumento NIRSpec PRISM do Telescópio Espacial James Webb (JWST), mostrando as assinaturas químicas existentes (Crédito: NASA/ESA/CSA, J. Olmsted/STSci)

via de mão dupla, pois ao mesmo tempo que a vida afeta a atmosfera terrestre, a existência de uma atmosfera circundando a Terra também é indispensável para a habitabilidade do nosso planeta. A estrutura da nossa atmosfera permite que a temperatura e a pressão na superfície sejam adequadas para a existência de água líquida, sem a qual a vida como conhecemos provavelmente não existiria. Além disso, a atmosfera disponibiliza o oxigênio necessário para a respiração de grande parte dos seres vivos, além de atuar como um "escudo" que nos protege de raios solares prejudiciais, como o ultravioleta.

Considerando a importância da atmosfera terrestre para a vida que aqui existe, o estudo das atmosferas de outros planetas e satélites é fundamental para investigar a possibilidade de vida fora do nosso planeta. Ao examinar as características da atmosfera de ou-

tros objetos, detectamos algumas pistas que podem nos ajudar a compreender melhor como foi a formação e evolução daquele objeto, e se existem evidências de que aquele ambiente já foi, é, ou pode vir a ser habitável.

Voltando ao experimento inicial, imagine agora que você é um astronauta procurando por sinais de vida, e você decidiu observar a Terra como se fosse um exoplaneta. Como sua nave possui instrumentos capazes de medir a composição química da atmosfera de um planeta, você observou o espectro da luz do Sol filtrada pela atmosfera da Terra, e através das assinaturas no espectro você foi capaz de identificar uma alta concentração de oxigênio na atmosfera terrestre. Você, então, decidiu investigar melhor esse fato, levantando hipóteses para explicar como o oxigênio se acumulou na atmosfera da Terra. Será que você seria capaz de concluir



que o oxigênio observado é um sinal de atividade biológica, produzido por seres vivos através de fotossíntese? Ou será que existe algum processo abiótico (não relacionado à vida) também capaz de produzir essa quantidade de oxigênio, coincidentemente imitando um sinal de vida?

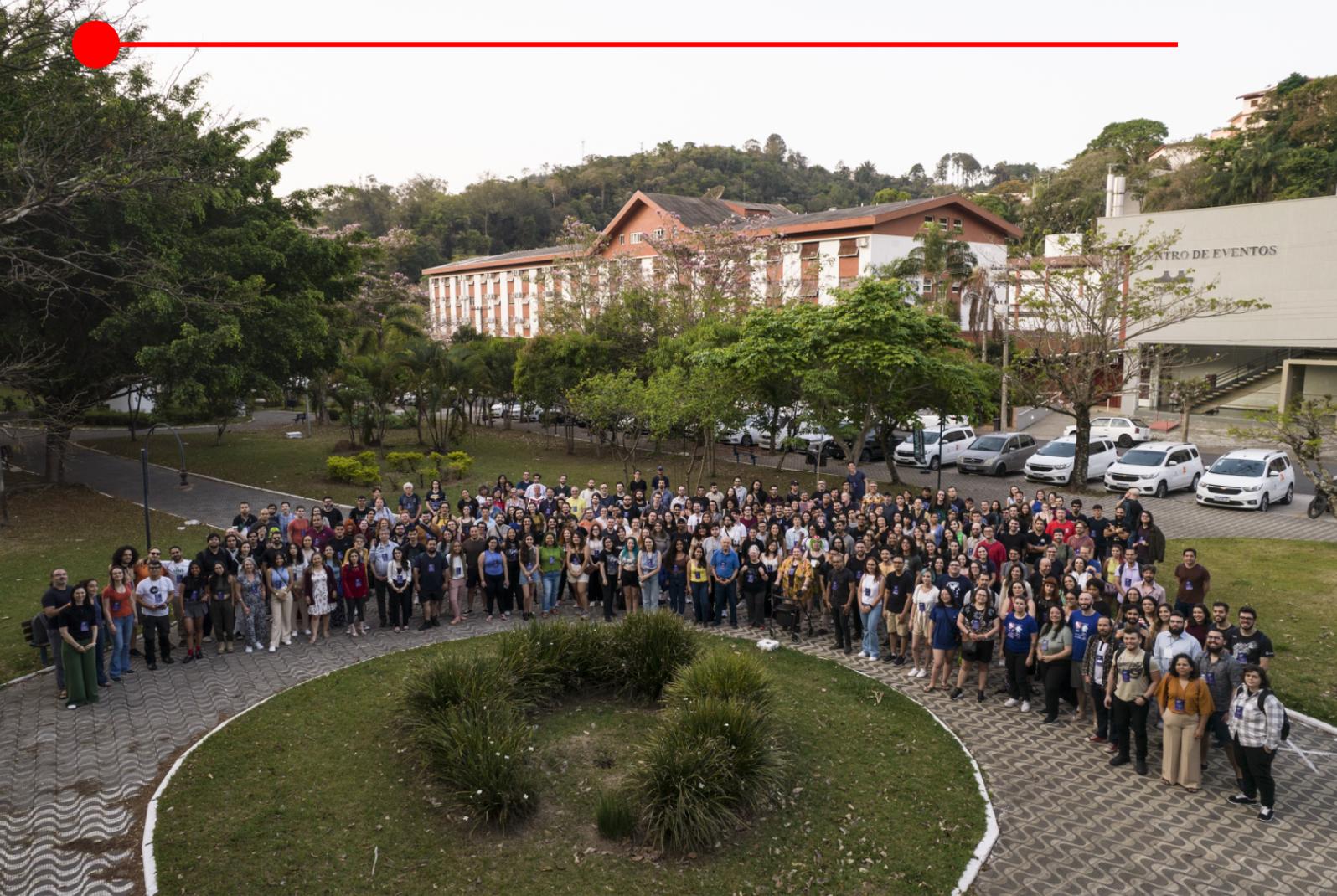
Infelizmente, a resposta não é nada simples, já que existem diversos fatores durante a formação e evolução do planeta que podem acarretar na formação de uma atmosfera rica em oxigênio. E o mesmo ocorre com outros possíveis bioindicadores, como ozônio, água, metano e dióxido de carbono. Portanto, o grande propósito de investirmos no estudo de atmosferas é justamente tentar identificar evidências inequívocas de vida em outros mundos, para que possamos enfim confir-

mar se estamos ou não sozinhos no universo. Apesar dos recursos tecnológicos limitados, é incrível perceber a quantidade de informações que conseguimos obter de objetos tão distantes de nós, informações essas que podem estar possivelmente relacionadas a seres vivos. Será que estamos perto de finalmente encontrar esses sinais em algum mundo lá fora? Por enquanto não sabemos responder, mas a atmosfera dele certamente sabe! •

Aline Novais
Lunds Universitet
aline.novais@fysik.lu.se

Ao lado

A partir de um planeta recém formado, pelo menos três possíveis cenários podem resultar em atmosferas ricas em oxigênio, mas cujo oxigênio não tenha sido formado por atividade biológica. Quando há muito carbono em comparação com hidrogênio, como no caso de Vênus, o planeta passa por um efeito estufa descontrolado, onde o planeta é quente demais para a água condensar para a superfície. Caso o planeta seja completamente tomado por água, a profundidade dos oceanos faz cessar atividades geológicas, que deixam de remover o oxigênio da atmosfera. Por último, se o planeta se forma com pouca água, o vapor de água tende a permanecer na alta atmosfera ao invés de condensar na superfície, como ocorreu na Terra. Desse modo, a água na atmosfera eventualmente é quebrada em átomos de hidrogênio, que escapam para o espaço, e oxigênio, que se acumulam na atmosfera (Créditos: J. Krissansen-Totton; tradução por Aline Novais)



50 anos da SAB

Depoimentos

Neste ano, a Sociedade Astronômica Brasileira completa 50 anos. Para comemorar esta data, pedimos que alguns de nosso sócios fundadores escrevessem um depoimento sobre como avaliavam a criação da sociedade.

A Astronomia Brasileira à época da criação da SAB

Astronomia Brasileira teve seu início institucional com os trabalhos de Emmanuel Liais e, depois, de Louis Cruls, no Observatório Imperial, por iniciativa de Dom Pedro II. Mas as atividades perderam ímpeto no século seguinte e só prosseguiram até os

anos 1930! O último trabalho realizado envolveu as 16500 observações de pares de estrelas feitas por Lélío Gama, com a luneta zenital do Observatório. Mas mesmo esse trabalho ficou incompleto. As observações foram feitas, porém não foram usadas para o seu

objetivo que era a determinação das variações da latitude do Rio de Janeiro. Um único estudo foi feito, 40 anos depois, pelo Prof. Lélío Gama, mas não foi publicado.

No final dos anos 1950, os trabalhos que se faziam no Brasil (todos no Observatório Nacional) eram observações visuais de planetas (desenhados à crayon como no século XIX), determinação da hora de passagem meridiana de planetas com um instrumento de trânsito destinado à determinação da hora sideral, observação de eclipses e medidas de estrelas duplas visuais com um micrômetro filar. Estas, a cargo de Ronaldo Mourão, eram as únicas observações que se aproximavam do que se fazia na época em outros observatórios.

Nessa época algumas novas iniciativas ocorreram nas Universidades. Primeiro foi a instalação por A. Postoiev, de uma câmara lunar no IAG que, graças a Paulo Marques, foi usada de modo contínuo entre 1958 e 1968 para a observação da Lua. As observações foram sistematicamente feitas e enviadas ao Observatório Naval de Washington onde estava a coordenação do programa. Os resultados obtidos com as fotografias das câmaras lunares não mostraram, porém, a qualidade necessária e não se prestaram à determinação precisa do tempo das efemérides, sua finalidade precípua. O programa foi abandonado nos observatórios em que vinha sen-

do realizado.

Depois foram os estudos teóricos de Abrahão de Moraes sobre a influência da forma da Terra no movimento dos primeiros satélites artificiais da Terra. Os trânsitos pelo meridiano de São Paulo, medidos com um rádio-interferômetro experimental instalado no Observatório de São Paulo, permitiram observar a precessão do plano orbital e assim detectar a desigualdade na forma dos dois hemisférios da Terra.

Outra iniciativa importante foram convites a astrônomos estrangeiros para que visitassem o Brasil e propiciassem um primeiro contacto de nossos estudantes com pesquisadores de renome. Em 1961 tivemos a visita de Carlos Varsavsky, professor da Universidade de Buenos Aires e ex-aluno de Martin Schwarzschild, que ministrou na USP um curso sobre Estrutura Interna e Evolução Estelar. Ele também tentou fomentar algumas pesquisas, o que não foi adiante por falta de uma mínima estrutura para os extensos cálculos necessários. No mesmo ano ocorreu a visita de Jean Delhaye ao Observatório do Valongo da UFRJ. Essa visita deu origem ao intenso intercâmbio com a França que serviu como orientação ao desenvolvimento inicial da moderna Astronomia Brasileira com o engajamento do IAG em um intenso programa astrométrico com a instalação de um astrolábio impessoal que operou de

Na página anterior

Foto oficial dos participantes da XLVII Reunião Anual da SAB, realizada em Águas de Lindóia, SP, entre 22 e 26 de setembro de 2024 (Créditos: Wandeclyt Martins de Melo/Céu Profundo).



"Uma iniciativa importante foram convites a astrônomos estrangeiros para que visitassem o Brasil e propiciassem um primeiro contacto com nossos estudantes"

modo sistemático durante várias décadas.

Uma iniciativa importante ocorreu no início dos anos 1960 no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) onde dois espelhos de 52 cm foram talhados e dois telescópios foram feitos, um dos quais ficou no ITA. Para abrigá-lo, um pequeno observatório foi construído. Esse observatório e o telescópio Young-Szulc (nomes de seus construtores), serviu para o início da astrofísica observacional no Brasil. Em 1967, o Prof. Lacaz Neto, reitor do ITA contratou vários pesquisadores para trabalhar no Observatório Astronômico do ITA. Dois recém-formados: Germano Quast, do ITA, e José Pacheco, da USP, e eu, que recém-concluía meu doutoramento na Universidade de Paris. Autorizou também a compra de uma fotomultiplicadora, filtros *UBV*, um padrão de quartzo e vários acessórios. Em pouco tempo Germano Quast construiu nosso fotômetro fotoelétrico e começou a utilizá-lo na observação de diversos objetos do hemisfério Sul

(Nova Vulpeculae, RR Cen, GL Carinae, HD 116994, etc.). O apoio institucional do reitor do ITA e do Prof. Carlos Borges, chefe da Divisão de Pós-Graduação, permitiu em seguida criar a primeira pós-graduação em Astronomia do Brasil. O primeiro mestrado "em Astronomia" foi concluído pelo Germano Quast em 1970. A ele seguiram-se muitos outros (Caio Rodrigues, Jair Barroso Jr., Carlos Alberto Torres, Roberto Vieira Martins, Eduardo Janot Pacheco, Tada-shi Yokoyama, Massae Sato, Masayoshi Tsuchida, Wagner Sessin e José Manuel Baltazar), todos realizados integralmente no ITA.

A pós graduação em Astronomia do ITA também serviu para formar pesquisadores da USP, já que a pós-graduação do IAG só viria a ser instalada em 1972. Fizemos seu mestrado no ITA, primeiro, Luis Bernardo Clauzet, orientado pelo prof. Paulo Benevides, e depois Walter Maciel, que após um primeiro ano de cursos no ITA, passou a ser orientado pelos primeiros pesquisadores visitantes que trabalharam no IAG. O saldo do ITA nessa atividade foram 13

mestrados sendo 5 em Astrofísica, 7 em Astronomia Dinâmica e 1 em Astrometria.

Quatro teses de mestrado observacionais foram elaboradas com o uso do telescópio Young-Szulc. A primeira, de Germano Quast, foi baseada em 2 anos de observações e nos trabalhos de calibração e testes do fotômetro fotoelétrico. O estudo do período de RR Cen foi publicado. A segunda, de Jair Barroso Jr., teve por tema o estudo de várias estrelas binárias eclipsantes e envolveu dois anos de observações e outro longo ano de análise das curvas de luz resultantes e de determinação de parâmetros geométricos e fotométricos. A terceira tese observacional do ITA, de Eduardo Janot Pacheco, nasceu de uma conversa de meus tempos de doutoramento em Paris, com Ronaldo Mourão. Ronaldo havia visitado o Observatório de Bordeaux e de lá trouxera vários artigos que poderiam servir de modelos a futuros trabalhos de fotometria no Brasil. Um deles (de P. Mianes), sobre cefeídas, efetivamente serviu de inspiração para essa tese de mestrado do Janot. Antes desse trabalho, novos filtros foram instalados reproduzindo 5 cores do sistema de Lick (*UVBGR*). Foi 1 ano de observações analisadas depois, quando Janot já estava trabalhando no IAG. Dessas observações resultaram uma *research note* e um artigo publicados no *Astronomy & Astrophysics* além de uma letter

posterior no *Astrophysics & Space Sciences*.

A última tese observacional do ITA foi a do Carlos Alberto. Um artigo recém-publicado me chamou a atenção por tratar de pesquisa factível com os equipamentos de que dispúnhamos. Assim nasceu a pesquisa sobre variabilidade de anãs vermelhas do tipo BY Draconis, ou variáveis dMe. O principal artigo com o conteúdo da tese de mestrado do Carlos Alberto foi publicado no *Astronomy & Astrophysics* e teve de imediato dezenas de citações (hoje com 120 citações). Outros dois artigos foram publicados no *Astronomy & Astrophysics* e no *Astrophysical Journal Letters*. Esse trabalho foi a origem vários programas posteriores envolvendo estrelas jovens desenvolvidos no LNA. O Observatório do ITA foi a incubadora que a moderna Astronomia Brasileira precisava para começar a existir.

Outro tópico que caracterizou o período em que se fundou a SAB foi a escolha de sítio para o Observatório Astrofísico Brasileiro (atual LNA). O projeto de ter um Observatório Astrofísico de caráter nacional nasceu das visitas de Jean Delhaye ao Brasil e de suas prolongadas conversas com Abrahão de Moraes e Luiz Muniz Barreto. A escolha de sítio começou com a visita de uma comissão francesa ao Brasil que analisou os dados geográficos e climatológicos existentes e sobrevoou diver-

sas áreas. Uma conclusão errada da comissão foi a de que seria necessário se afastar da costa e eles selecionaram os morros da Piedade (1250 m) e Mateus Leme (1100 m), na vizinhança de Belo Horizonte. Em 1968 já estava claro que esses locais não se prestariam para o fim proposto, mas havia um forte envolvimento emocional, sobretudo com a Piedade, tornando difícil o desengajamento. Entre 28 e 30 de abril de 1969, uma reunião para avaliar os rumos da escolha de sítio foi realizada em Belo Horizonte. A responsabilidade passou então para o ITA e o programa passou a focar alguns picos na Serra da Mantiqueira. Em junho, Germano Quast estava na estação montada em Maria da Fé e, olhando a redondeza com um binóculo, "descobriu" um pico alto e esguio, o Pico dos Dias, entre Brazópolis e Piranguçu. Isso merece explicação. Esse pico não aparecia com clareza nas cartas geográficas usadas. Logo em seguida começaram os trabalhos de análise daquele local.

Em 1971, após o falecimento do Prof. Abrahão de Moraes, um projeto mais amplo foi elaborado e encaminhado à FAPESP. Nesse projeto se propunha o estudo de 4 locais no Sul de Minas. Dois deles foram vetados pelo assessor da FAPESP e sobraram dois: o Pico dos Dias e a Pedra Branca, em Caldas. A história que se seguiu foi relatada em detalhes no meu livro sobre a escolha de sítio para

o OAB. Foram alguns anos de trabalho intenso que culminaram na escolha do Pico dos Dias, em Brazópolis, para ali instalar o telescópio de 1.60 m.

À mesma época, o problema da institucionalização do IAG se complicava. A recém-concluída reforma universitária deixara o IAG de fora! Por volta de 1970 eu fui chamado pelo professor Josué Carmargo Mendes, diretor do recém-criado "Instituto de Geociências e Astronomia" da USP, para discutir a situação e a organização de um Departamento de Astronomia no "IGA". Tivemos uma conversa bem franca. Ficou claro para mim que os docentes de Geociências não estavam muito felizes com a obrigação estatutária de ter um Departamento de Astronomia. E eu deixei claro que, para nós, o lugar da Astronomia na USP era o IAG. Em 1972 com o decisivo apoio do Prof. Waldyr Muniz Oliva, o IAG foi transformado em unidade de ensino pesquisa. Os astrônomos que lá já se encontravam trabalhando como contratados para prestação de "serviços técnicos especializados" tiveram, enfim, um contrato como docente. E logo em seguida se criava a pós-graduação em Astronomia do IAG.

Por fim chegamos à criação da SAB. Inicialmente éramos poucos para criar uma sociedade e optamos por uma organização com algum respaldo oficial que facilitasse a consecução de nossos pro-

pósitos. Tentamos ter uma Comissão Brasileira de Astronomia nos moldes da existente em vários países europeus, que cuidasse do progresso da disciplina no Brasil, e organizasse a cooperação entre os astrônomos brasileiros, mas não conseguimos. Em janeiro de 1974 tivemos uma reunião para preparar o capítulo da Astronomia do Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do governo federal, estando presentes: Pierre Kaufmann, Muniz Barreto, José Pacheco e eu mesmo. Terminada a reunião sobre o PBDCT aproveitamos a ocasião para discutir nossos problemas. Concluímos que para satisfazer as

necessidades da nascente Astronomia Brasileira, uma sociedade científica, a SAB, deveria ser criada. José Pacheco ficou encarregado de organizar a reunião de fundação, o que aconteceu em abril de 1974, em uma sala de aulas do Instituto de Matemática e Estatística da USP.

O que se seguiu é de conhecimento de todos. O fato mais marcante e que merece ser testemunhado é que nem os mais otimistas dentre nós tinha a menor ideia da pujança que a Astronomia Brasileira, e por consequente a SAB, viria a adquirir 50 anos depois. — Sylvio Ferraz-Mello, IAG/USP.

A SAB e a criação do Observatório Astronômico Brasileiro

No final da década de 1960 a Astronomia Brasileira teve um crescimento importante devido a alguns eventos singulares. Resumidamente foram eles: a aprovação, pelos órgãos financiadores do Governo Federal, da construção do Observatório Astronômico Brasileiro (OAB) que se propunha a instalar um telescópio de 1.6 metros no Brasil; o retorno de jovens pesquisadores que acabavam de concluir doutorado no exterior e a consequente dinamização dos observatórios tradicionais existentes no Rio, São Paulo e Rio Grande do Sul e, ainda, a compra de pequenos telescópios

(de 0.6 m em diâmetro) a partir de transações comerciais do Brasil com a então Alemanha Oriental. Como consequência destes eventos, vários jovens, entre os quais me incluo, foram atraídos pela Astronomia, iniciando então a sua formação de pós-graduação. Vários deles se aproximaram da Astronomia se engajando nos grupos que desenvolviam um trabalho de procura e estudo meteorológico do local adequado para instalação dos equipamentos do OAB. no território brasileiro

Esta dinâmica, impactando a Astronomia, incentivou uma relação mais estreita entre estes grupos



"As reuniões da SAB permitiram comunicações formais regulares sobre os resultados científicos, definições de investimentos importantes e o desenvolvimento de interações científicas."

levando a uma proposta de formalização que foi realizada na fundação da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB). Esta funcionaria nos moldes das sociedades científicas existentes como a Sociedade Brasileira de Física (SBF) e a Sociedade Brasileira de Matemática (SBM). Nós, estudantes de mestrado e doutorado, aderimos rápida e entusiasmadamente à ideia.

Na prática a fundação da SAB, que passou a se reunir anualmente como as sociedades científicas similares, se mostrou rapidamente uma iniciativa acertada. Em par-

ticular, as reuniões da SAB permitiram que fossem feitas, regularmente, as comunicações formais sobre os resultados científicos obtidos, as definições dos investimentos importantes e o desenvolvimento de interações científicas entre os vários grupos existentes.

Em resumo a SAB, além de propiciar a formalização da relação científica entre os vários grupos, levou à formulação da organização da comunidade astronômica brasileira a partir de um consenso sobre os grandes investimentos a serem feitos. — Roberto V. Martins, ON/MCTI.

A SAB e o ensino da Astronomia em diversos níveis

A Fundação da SAB em 1974, refletiu o amadurecimento da comunidade astronômica brasileira, permitindo que os astrônomos passassem a ter voz e não ficassem mais restritos as opiniões de uns poucos dirigentes. O clima era favorável porque havia

um otimismo devido à aprovação da construção do telescópio de 1.60 m e a chegada de vários instrumentos e telescópios menores para as universidades, fruto do chamado Acordo do Café.

Para minha instituição (Observatório do Valongo) abriu-se um

"Havia um otimismo com a aprovação da construção do telescópio de 1.60 m e a chegada de vários instrumentos e telescópios menores para as universidades."



canal de acesso para defender a ideia do curso de graduação em Astronomia como o primeiro de grau na formação do astrônomo, que com o tempo mostrou-se uma ideia vencedora, com os seus alunos sendo aproveitados em todas as instituições.

Outro aspecto importante da criação da SAB foi a realização de Reuniões Anuais e a consequente publicação dos resumos de pesquisas, que vieram a dar visibilidade aos trabalhos realizados pelas instituições facilitando a identificação das áreas de atuação e a colaboração entre os astrônomos. Este fato deu maior peso à comunidade astronômica para defender suas ideias.

Quando foi fundada, o pensamento dominante era todo voltado para pesquisa; só ela importava. Com o passar do tempo — e a muito custo —, conseguiu-se mostrar a importância do ensino de Astronomia no processo de formação de profissionais habilitados. A criação do Comitê de Ensino da SAB (CESAB) em 1993 foi o início da consolidação da ideia de que o ensino era fundamental

no processo e que a educação em Astronomia era importante para a formação dos cidadãos. Esta compreensão sobre o papel da educação em Astronomia fez com que a SAB passasse, meio relutantemente no início, a atuar na divulgação da Astronomia através da Olimpíada Brasileira de Astronomia, que congrega cerca de 1 milhão de alunos de escolas públicas ou privadas.

Quando eu poderia imaginar que seria um dos 49 astrônomos a participar da fundação da SAB? Vida longa para SAB! — José Adolfo S. de Campos, OV/UFRJ.

Contracapa

Noite de observação no Observatório do Pico dos Dias (Crédito: Luan Catani).



S.A.B.