

Revista
Brasileira de
**ASTRO
NOMIA**

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Ano 2 | Número 6

COMO OBSERVAR
um buraco negro

Astronomia e sociedade

O Laboratório Nacional de Astrofísica

Lélio Gama e o Observatório Nacional

Editorial

Esta sexta edição da Revista Brasileira de Astronomia chega às nossas casas no momento em que o mundo está paralisado, experimentando isolamento e distanciamento sociais, meio à maior crise sanitária global do nosso tempo, que expõe debilidades políticas, econômicas, sociais, éticas e morais da geopolítica do século XXI. A COVID-19 (do inglês, Corona Vírus Disease 2019), que já deixa milhões infectados e milhares de mortos mundo afora, números que seguem aumentando, propõe-nos novas reflexões sobre o valor e o papel da ciência, tecnologia, educação e divulgação científica no presente século, em que a pós-verdade – um vírus ideológico fomentado por notícias falsas, teorias conspiratórias, racismo e interesses políticos – tem sido o léxico do presente tempo.

Os artigos dessa edição são um convite especial para uma vez mais (re)pensarmos, por meio da Astronomia, o nosso lugar no Universo e o papel que cada um de nós tem para a construção coletiva de uma nova ordem global, pós-pandemia, em que a educação, a cultura e a ciência sejam capazes de nos revelar outros mundos possíveis. Os artigos nos lembram que a ciência e a tecnologia são uma construção humana, coletiva, histórica, social, política e culturalmente dependentes. Pessoas, espaços de ciência e de preservação de memória, imagens, documentos e objetos ajudam a desvendar algumas das perguntas mais fundamentais que nos perseguem há milênios e estimulam nossa curiosidade.

Resgatemos, pois, a sensação de comunidade que nos conecta ao Universo. Somos responsáveis pela instauração de uma nova cultura científica no Brasil e pela manutenção da vida na Terra, cada vez mais desigual.

Alan Alves Brito

Secretário-Diretor da Sociedade Astronômica Brasileira

Esquerda

Cometa C/2019 Y4 (ATLAS), observado em 08/04/2020, na constelação da Girafa (Crédito: Raman Madhira/Wikimedia Commons).

Capa

Antenas do Observatório ALMA (Crédito: ESO/José Francisco Salgado).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela
Sociedade Astronômica Brasileira

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

Editor Helio J. Rocha-Pinto

Equipe de colaboradores Hélio Dotto
Perottoni, Mylena Larrubia, Matheus
Bernini Peron, Douglas Brambila dos
Santos, Maria Luiza Ubaldo de Melo

Contato secsab@sab-astro.org.br

Para anunciar Fale com Rosana no email
acima ou ligue (11) 3091-8684,
Seg. a Sex. 10 às 16 h.

Para submissões

Contacte um membro do conselho editorial



Presidente

Reinaldo Ramos de Carvalho

Vice-Presidente

Helio J. Rocha-Pinto

Secretário-Geral

Ramachrisna Teixeira

Secretário

Alan Alves Brito

Tesoureira

Lucimara Martins

Endereço

Sociedade Astronômica Brasileira

Rua do Matão, 1226

05508-090 São Paulo – SP

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

4 Laboratório Nacional de Astrofísica

Bruno Castilho, ex-Diretor do LNA, apresenta um cativante resumo sobre a história e planos futuros da principal instituição que desenvolve instrumentação astronômica no Brasil.

12 Lélío Gama e o Obs. Nacional

Os cientistas brasileiros merecem ser reconhecidos. E entre eles, certamente Lélío Gama teve um papel decisivo, como nos contam Fábio Ferreira de Araújo e Antonio A. Videira Passos.

20 A "sombra" de um buraco negro

Anderson Caproni destrincha a ciência por trás da radiointerferometria, a técnica que possibilitou observar diretamente o buraco negro da galáxia M87.

32 Astronomia e sociedade

Qual o papel da astronomia e dos astrônomos na atual sociedade? Patrícia Spinelli mostra que a Astronomia está mais presente em nossas vidas do que muitos imaginam!

Laboratório Nacional de Astrofísica

Do observatório de montanha à vanguarda da instrumentação astronômica.



Hoje, o Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) é uma Unidade de Pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), sendo um laboratório nacional aberto a toda comunidade científica. A missão do LNA é fornecer à comunidade astronômica brasileira a infraestrutura e os meios para a pesquisa competitiva em Astronomia Observacional óptica e infravermelha. A clientela do LNA é formada por profissionais e estudantes de Astronomia do país inteiro e

alguns do exterior, que utilizam os telescópios e a instrumentação avançada disponibilizada pelo laboratório.

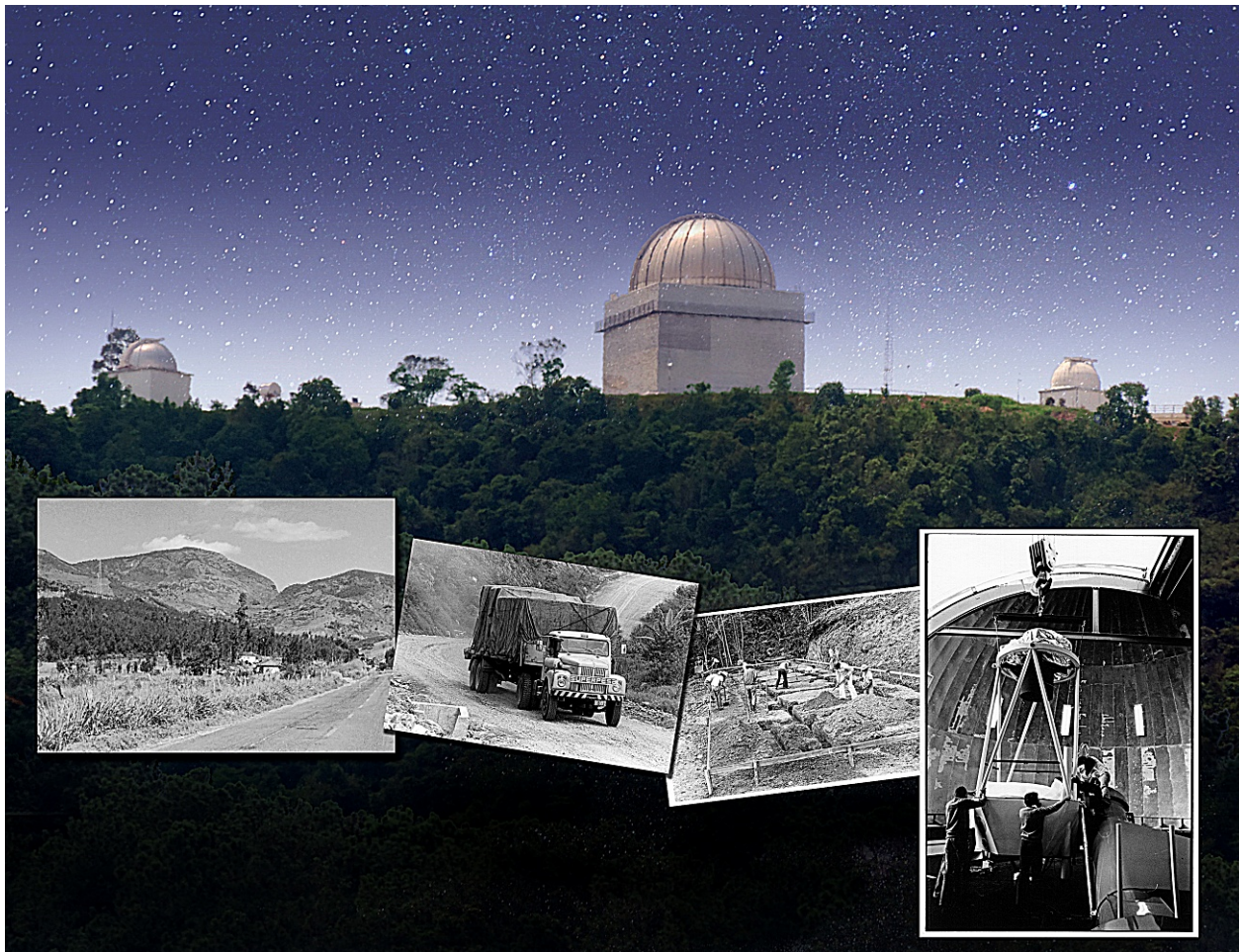
A Astrofísica é uma ciência que demanda grandes recursos observacionais. Mesmo a Astrofísica teórica precisa de dados observacionais de alta qualidade para confirmar suas teorias. Embora a Astrofísica brasileira do início do século XX viesse "namorando" os avanços da ciência mundial, esse ramo só começou a realmente se consolidar quando os primeiros astrônomos bra-

Abaixo

Observatório do Pico dos Dias hoje e fotos antigas de sua construção.
(Crédito: Bruno Castilho, Arquivo LNA).

Na página anterior

Montagem dos observatórios gerenciados pelo LNA. Da esquerda: Gemini, CFHT, OPD, SOAR.
(Crédito: Arquivo LNA; Consórcio Gemini e CFHT).



sileiros que foram para os Estados Unidos e Europa fazer seus doutorados em Astrofísica retornaram ao país nos meados da década de 1960.

Desde os anos 30 já havia ideias de que o Brasil precisava ter seu próprio observatório astronômico com equipamentos e condições para realizar pesquisas em Astrofísica, mas, com o retorno dos primeiros doutores, essa vontade se tornou uma necessidade. Com um observatório brasileiro bem equipado, a nossa Astrofísica seria independente das colaborações com pesquisadores de outros países e poderia criar suas próprias diretrizes de pesquisa.

Para estudar e viabilizar um observatório astrofísico brasileiro foi criada, no fim dos anos 1960, uma comissão com pesquisadores do Rio, São Paulo e Minas para estudar local e equipamento a serem adquiridos para o observatório. Em 1973, essa comissão apresentou os resultados e, com recursos da FINEP, iniciou-se a compra do telescópio de 1,6 m de diâ-

metro. O Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB), sob coordenação do Observatório Nacional, foi construído no Pico dos Dias, na divisa dos municípios de Brazópolis e Piranguçu, em Minas Gerais. Em 22 de abril de 1980, foi feita a primeira observação científica. Dessa primeira observação até hoje muita coisa mudou.

Até 1984, o OAB foi uma Divisão do Observatório Nacional, que por sua vez era um órgão do CNPq; em 1985, o CNPq criou o LNA para gerenciar o Observatório do Pico dos Dias e, em 1989, o CNPq instituiu oficialmente o LNA como um instituto de pesquisa independente (foi o primeiro laboratório nacional do país, como hoje são também o LNCC e o LNLS), dando-lhe a autonomia necessária para pleno funcionamento.

O Observatório do Pico dos Dias (OPD), localizado no sul de Minas a 1860 m de altitude, dispõe do maior telescópio óptico (diâmetro do espelho principal: 1,6 m) em território nacional. Opera também dois outros telescópios

Você sabia?

- Astronomia Observacional óptica é a forma mais antiga de se fazer Astronomia, pois, no passado, só era possível conhecer a luz visível emitida pelos astros. Hoje em dia, conhecemos mais intervalos do espectro eletromagnético (faixa composta por vários tipos, ou frequências, de radiação), mas, ainda assim, são necessários estudos na parte visível do espectro.
- Astronomia Observacional infravermelha também analisa um intervalo do espectro eletromagnético, mas na parte de radiação infravermelha. Essa é útil para estudar objetos que não emitem muita luz visível, como planetas, e objetos que têm sua emissão de luz visível bloqueada por nuvens de poeira, como estrelas jovens em nuvens moleculares (locais nos quais, em determinadas condições, há formação estelar).



com espelho de 60 cm de diâmetro, e um de 40 cm totalmente robótico. É o maior parque de recursos instrumentais astronômicos em solo brasileiro, colocando à disposição dos usuários vários instrumentos periféricos (espectrógrafos, fotômetros, câmaras de imagens etc.). Os principais usuários do OPD são os pesquisadores e estudantes de Astronomia e Astrofísica das universidades e demais instituições de pesquisa do país, que utilizam a infraestrutura do OPD para obter dados científicos, para depois analisá-los e publicar os resultados. Mas, com o crescimento da Astronomia brasileira nos anos 70 a 90 e com os novos telescópios de grande porte mundiais, ficou claro que somente o OPD não daria conta da demanda por dados astronômicos de nossa comunidade. Por isso, o LNA, em colaboração com a astronomia brasileira, começou a procurar alternativas para disponibilizar acesso a melhores telescópios.

Em 1993, o Brasil se juntou a outros 6 países, liderados pelos Es-

tados Unidos, para construir e operar o Observatório Gemini. Esse observatório, que iniciou atividades em 2000, conta com dois telescópios gêmeos, com espelhos de 8,1 m de diâmetro, instalados em sítios de excepcional qualidade em cada hemisfério da Terra: o Gemini Norte, no vulcão extinto Mauna Kea (4220 m de altitude) no Havaí; e o Gemini Sul, em Cerro Pachón (2720 m de altitude) no Chile. Atualmente, o observatório é operado por Argentina, Brasil, Canadá, Coréia, Chile, Estados Unidos e Israel. Nessa parceria, o Brasil tem 6,5% de uso do tempo. As diversas inovações tecnológicas do projeto tornaram possível a construção de telescópios gigantes, capazes de produzir imagens que rivalizam com as do telescópio espacial. Assim, operam com ótica ativa e adaptativa que corrigem desde deformações mecânicas e térmicas do espelho do telescópio até perturbações atmosféricas. Dessa forma, os telescópios estão entre os instrumentos astronômicos maiores, mais modernos e mais com-

Acima
Montagem dos observatórios gerenciados pelo LNA. Da esquerda: OPD, SOAR, CFHT, Gemini. (Crédito: Arquivo LNA; Consórcio Gemini).



Acima
Foto aérea do Observatório do Pico dos Dias (Crédito: Clemens Gneiding, LNA).

petitivos do mundo. Da mesma forma como no OPD, todos os astrônomos brasileiros têm acesso (por mérito científico) ao Observatório Gemini para realizar pesquisas de ponta que não possam ser executadas com telescópios menores.

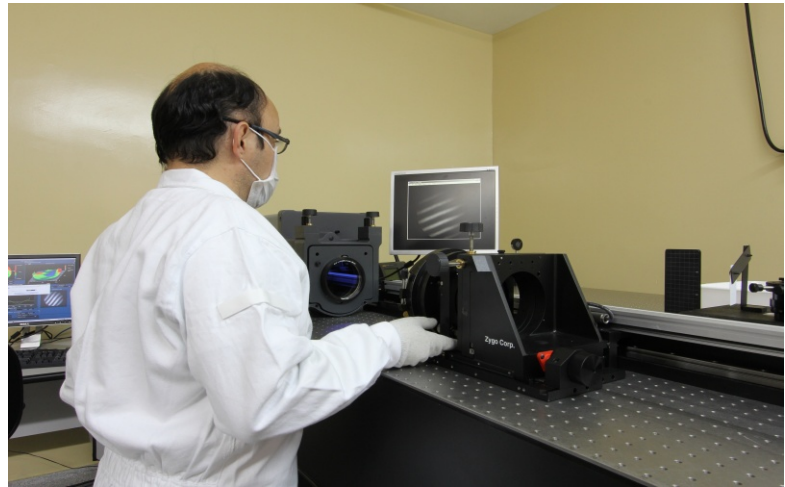
Em 1996, o Brasil se juntou ao Telescópio SOAR (*SOUthern Astro-physical Research Telescope*), começando a operar seu telescópio com espelho principal de 4,1 m de diâmetro e de tecnologia avançada em 2004. Ele fica instalado nos Andes chilenos, ao lado do Gemini Sul. Além do Brasil (que detém 31% do uso de tempo), são parceiros neste telescópio a University of North Carolina (com 15% de uso de tempo), a Michigan State University (16%) e National Optical Astronomy Observatories (30%) e o Chile (10%), como país sede. O SOAR é um dos meios observacionais mais importantes para a comunidade astronômica nacional. O LNA, como responsável pelo SOAR no âmbito nacional, tam-

bém está ativamente envolvido, em colaboração com demais instituições brasileiras, no desenvolvimento de instrumentação de ponta para o SOAR.

De 2009 a 2016 o LNA fez um acordo com o telescópio CFHT (*Canada-France-Hawaii Telescope*), como "Parceiro Associado", para dar acesso à comunidade brasileira a esse telescópio no hemisfério norte que tem instrumentação diferente dos demais. Ele é um instrumento muito competitivo, com abertura de 3,6 m, localizado na mesma montanha em que se encontra o Gemini Norte. É operado por um consórcio de países que deram o nome ao telescópio. Além da parte científica excepcional, esse acordo nos ofereceu a oportunidade de treinamento de pessoal e também de participar do projeto de desenvolvimento do espectrógrafo SPIROU. O acordo não foi renovado no fim de 2016 por questionamentos da área jurídica da União e, posteriormente, quando essas ques-

tões foram explicadas, houve indisponibilidade de verbas. Mas o LNA está trabalhando para refazer esse acordo, pois a comunidade brasileira tem interesse no instrumento e demonstrou sua produtividade científica.

Porém, não só o tamanho dos telescópios e suas tecnologias mudaram nesse tempo; a forma de realizar pesquisa em Astronomia também. Durante os anos 2000 ficou cada vez mais evidente a importância da Astronomia de levantamentos, em que, ao invés de obter dados variados de alvos específicos, obtém-se dados homogêneos para uma enorme quantidade de objetos. É a Astronomia de grande volume de dados (*big data*). Em cooperação com o LIneA, a RNP e a ANSP, em 2017 foi assinado um acordo com o *Large Synoptic Survey Telescope* — recentemente renomeado *Vera Rubin Observatory* em homenagem a essa importante astrônoma dos EUA —, o observatório que fará o maior levantamento desta década, para que 10 pesquisadores brasileiros e suas equipes (de até 4 pesquisadores jovens cada) tenham acesso a esses dados. A partir de 2023, o LSST operará um telescópio de 8,4 m de diâmetro no Chile (também instalado em Cerro Pachon) o qual mapeará todo o céu do hemisfério sul a cada 3 dias. Sua câmera consiste de um mosaico de CCDs com 3.2 bilhões de pixels e cada



exposição corresponde a uma área do céu equivalente a 40 vezes o tamanho da Lua cheia.

Em 2017 foi instalado no OPD um novo telescópio que, ao invés de se preocupar com a observação dos astros, varre todas as noites o céu à procura de detritos espaciais. O telescópio foi fabricado e é operado pela agência espacial russa, a Roscosmos. Técnicos brasileiros e russos detectam cerca de 800 detritos por noite, que são monitorados e adicionados ao mapa do lixo espacial em órbita da Terra para proteger sa-

Acima

1. Metrologia óptica por interferometria. (Crédito: Clemens Gneiding, LNA).
2. Laboratório de polimento e montagem de fibras ópticas. (Crédito: Bruno Castilho, LNA).

térites e voos tripulados. O LNA, por ceder o espaço e a infraestrutura, tem acesso a 100% dos dados obtidos por esse telescópio.

Como vimos, a infraestrutura de telescópios disponibilizada é variada, mas não só de telescópios se faz a Astronomia. São necessários instrumentos sofisticados acoplados aos telescópios para “mastigar” a luz que estes recebem e permitir os diversos tipos de análise feitas pelos astrofísicos. Fotômetros, câmaras digitais, espectrógrafos e polarímetros cada vez mais complexos e eficientes são necessários para acompanhar as pesquisas. Para isso, o LNA desenvolve um programa de desenvolvimento de instrumentação astronômica e tecnologia na área de instrumentação científica. Nos últimos 15 anos, foi criada uma infraestrutura laboratorial e capacitação de pessoal que permite que o LNA desenvolva instrumentos tanto para os telescópios brasileiros quanto para outros consórcios internacionais, além de poder disponibilizar acesso a alguns dos mais modernos e bem equipados laboratórios de metrologia óptica e fibras ópticas a outros institutos que precisem dessas capacidades. Os laboratórios de instrumentação do LNA ficam instalados em sua sede em Itajubá (MG), e vão de eletrônica e sistemas de controle — os instrumentos desenvolvidos no LNA e ins-

talados nos telescópios do exterior são todos operados via internet —, passando por mecânica de precisão até montagem e alinhamento óptico e polimento e montagem de sistemas de fibras ópticas para Astronomia. Pela capacitação alcançada, o LNA participa hoje, junto com a USP e outros parceiros nacionais, em grandes projetos de instrumentação, como o Prime Focus Spectrograph (para o telescópio japonês Subaru), e o espectrógrafo MOSAIC para o ELT (que será o maior telescópio do mundo com 39 m de diâmetro). A interação com várias instituições na área de instrumentação astronômica é uma necessidade, pois os recursos, tanto técnicos quanto de pessoal especializado ultrapassam, na maioria das vezes, a capacidade dos institutos de Astronomia do Brasil. Como laboratório nacional, abrimos nossos laboratórios e colaboramos com projetos realizados por outras equipes, como é o caso da USP, que participa do desenvolvimento dos espectrógrafos para o Giant Magellan Telescope, de 25 m de diâmetro.

O próximo passo do LNA na área de instrumentação é ampliar seus laboratórios, que têm capacidades únicas no Brasil e, em alguns casos, no hemisfério sul, e granjear-lhes o acesso a outros institutos de pesquisa e indústrias, fazendo parte do Parque Científico e Tecnológico de



Itajubá. O LNA será uma das instituições âncoras do parque, disponibilizando sua experiência e laboratórios de desenvolvimento de tecnologia para alavancar a tecnologia brasileira. O projeto executivo do novo prédio está em fase final de detalhamento e aprovação e o terreno para tal já está disponibilizado no parque tecnológico.

Toda essa tecnologia permite aos pesquisadores e estudantes brasileiros realizarem suas pesquisas e, embora o LNA não ofereça diretamente curso de graduação ou pós-graduação, todos os institutos e universidades do Brasil com graduação ou pós-graduação em Astronomia/Astrofísica utilizam a infraestrutura disponibilizada pelo LNA (seja instrumental ou laboratorial) para a realização de trabalhos, dissertações e teses.

Para esta década, a Astronomia mundial planeja dar novos grandes saltos. Estão sendo construídos novos telescópios ópticos

gigantes de 20 a 40 metros (GMT, TMT e ELT), rádio interferômetros de grandes proporções (ALMA e SKA), uma nova geração de telescópios espaciais e de telescópios de levantamento (como o LSST), entre outros. A participação do Brasil nesses projetos é real, embora menor do que poderia ser. Mas nossa comunidade pode se juntar e, demonstrando a importância dos resultados científicos para nossa sociedade, ampliar a participação nos futuros projetos da Astronomia e da ciência mundial •

Bruno Castilho
Lab. Nacional de Astrofísica
bruno@lna.br

Acima

Conceito arquitetônico do prédio do LNA no Parque Científico e Tecnológico de Itajubá.

A black and white portrait of Lelio Gama, a man with dark hair, wearing a dark suit jacket, a white shirt, and a dark tie. He is looking directly at the camera with a neutral expression. The background is a plain, light color. In the top left corner, there is a red circle and a horizontal red line extending across the top of the page.

Lélio Gama e o Observatório Nacional

Lélio Gama teve papel destacado na consolidação do Observatório Nacional. Conheça um pouco dessa história.

É comum e legítimo atribuírmos reconhecimento a um cientista a partir de critérios que reúnem formação, publicações e premiações recebidas ao longo da carreira. Há, contudo, aqueles que marcam sua trajetória não apenas pelos resultados obtidos, e sim pela dedicação e esforços destina-

dos às instituições pelas quais atuaram. Tamanho envolvimento, em geral, habilita tais personagens a servirem como fio condutor de narrativas sobre estas instituições, na medida em que suas histórias se entrelaçam. Falar de um nos obriga a falar do outro. Neste artigo, descreveremos a interação de sessenta anos entre o

engenheiro, matemático e astrônomo Lélío Itabuambyra Gama (1892-1981) e o Observatório Nacional (ON).

Anos iniciais no Observatório Nacional

Tudo começou no ano de 1917, quando Henrique Morize (1860-1930), diretor do Observatório Nacional e professor da cadeira de Física Experimental e Meteorologia na Escola Politécnica do Rio de Janeiro, percebendo o talento matemático de seu aluno, o jovem Lélío Gama, convidou-o para o cargo de calculador interino do observatório. Consciente do seu papel, Morize procurou atrair figuras que abraçassem sua principal causa: fazer da ciência pura e desinteressada uma ferramenta propulsora para o progresso do país. Fruto desses esforços surgiu, ainda em 1916, a Sociedade Brasileira de Ciências, posteriormente transformada em Academia. Além de abrigar intelectuais engajados no mesmo ideal científico, a Academia Brasileira de Ciências produziu o principal instrumento de difusão científica do Brasil durante décadas: os *Anaes da Academia Brasileira de Ciências*. Este foi o periódico científico mais utilizado por Lélío Gama na divulgação de seus resultados.

A despeito das dificuldades, Lélío Gama teve a sorte de compor a equipe brasileira que participou



de um importante evento astronômico: o Eclipse Solar de 1919, observado em Sobral (Ceará). Este evento confirmou a Teoria da Relatividade Geral, ao verificar a curvatura da luz. A comprovação colocou Sobral no mapa científico mundial. A equipe brasileira ficou responsável em investigar “a forma e a disposição da coroa solar, assim como a indagação espectroscópica de sua composição”. A Lélío Gama foi atribuída a tarefa de cronometrar o tempo de duração do eclipse em sua totalidade.

O Programa da Variação de Latitude do Rio de Janeiro

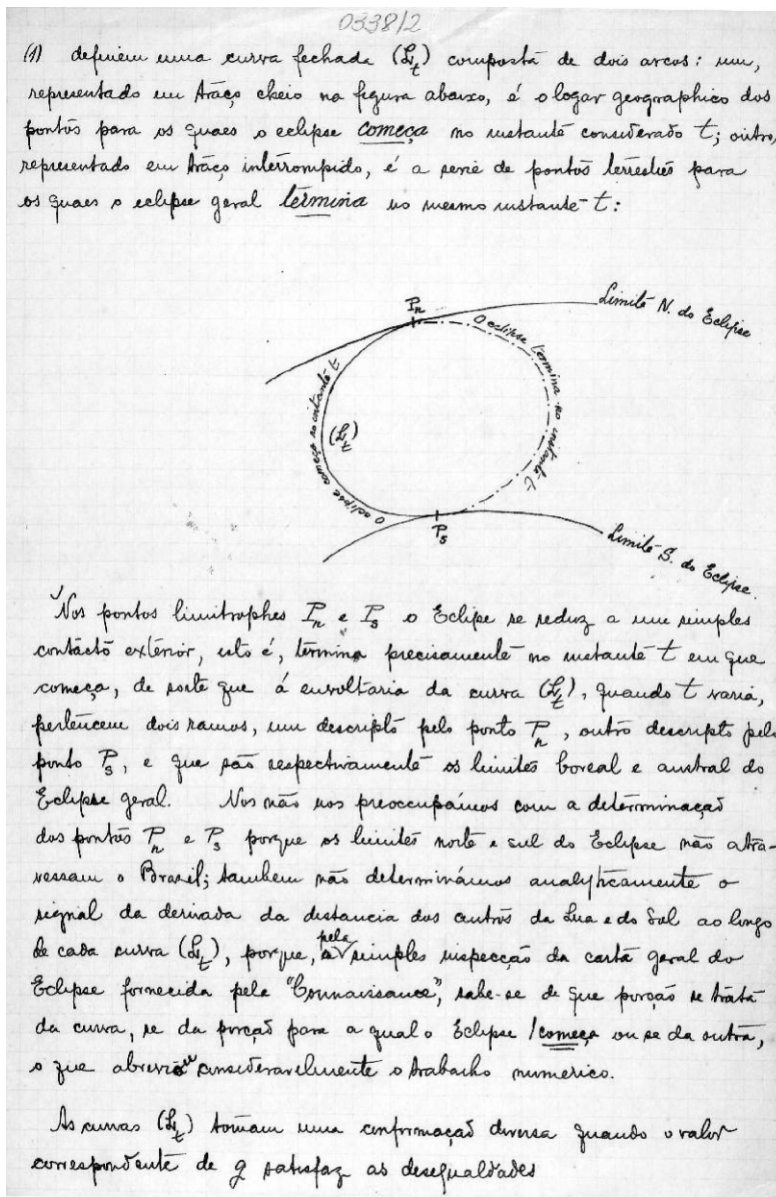
A precisão cada vez maior dos instrumentos de medição utilizados pelos astrônomos no final do século XIX trouxe uma série de dados que refutaram afirmações

Acima

Equipe brasileira do Eclipse Solar de 1919. Da esquerda para direita: Arthur Almeida, Luiz Rodrigues, Theophilo Lee, Henrique Morize, Domingos Costa, Allyrio de Mattos, Lélío Gama e Primo Flores (Crédito: Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais do Observatório Nacional).

Na página anterior

Lélío Gama durante homenagem feita pela turma de Engenharia Civil de 1943 da Escola Nacional de Engenharia (Crédito: Acervo pessoal de Fábio Ferreira de Araújo)



da astronomia clássica, entre elas a de que o eixo de rotação da Terra era fixo. Em 1899, foi criado o Serviço Internacional da Latitude (SIL), um projeto de cooperação entre observatórios astronômicos, cujo objetivo era pesquisar o movimento dos pólos da Terra, medindo sistematicamente latitudes locais por processos que

apurassem variações do arco formado pelo eixo de rotação da Terra, na ordem de alguns décimos de segundo. Após uma espera de quase oito anos, a transferência do Observatório Nacional para o Morro de São Januário, em 1921, permitiu que novas atividades pudessem ser realizadas, principalmente pela aquisição de novos instrumentos. No mesmo ano, Lélío Gama foi promovido ao cargo de astrônomo.

Com a aquisição do telescópio zenital Heyde, nos mesmos moldes do que era utilizado pelo Serviço Internacional da Latitude, Lélío Gama encaminhou um projeto para que Morize pleiteasse junto ao SIL a participação do Observatório Nacional no programa. Foi uma decisão acertada para os dois lados, pois o observatório era o primeiro localizado no hemisfério sul a participar do programa, contribuindo com dados sobre a variação da latitude. Já para o ON, foi uma oportunidade de estabelecer interlocução sistemática sobre temas de pesquisa com países de outros continentes, mostrando a capacidade científica de seus membros.

A colaboração do Observatório Nacional teve início em 1924. O sucesso das observações de Lélío Gama determinou o avanço de pesquisas já iniciadas do programa, além de ofertar diferentes temas que foram aproveitados por ele a partir de 1925, quando re-

tornou à Escola Politécnica do Rio de Janeiro como assistente da cadeira de Mecânica Racional e Cálculo das Variações.

Quatro teses em 4 anos

O convite do catedrático de Mecânica Racional e Cálculo das Variações, Sebastião Sodré da Gama (1883-1950), que apesar do sobrenome não possuía parentesco com Lélío Gama, deu início à tentativa de estabelecer um tipo de prática que superasse o estilo conservador de Licínio Cardoso (1852-1926), antigo catedrático da disciplina. A principal novidade implementada pelos “Gamas” foi o uso do cálculo vetorial como ferramenta didática para o estudo de grandezas relacionadas à ideia de movimento, como deslocamento, velocidade, aceleração e força. Outro fato que chama atenção na atuação de Lélío Gama como professor da Escola Politécnica foi a produção de quatro teses de livre-docência no período 1926-1929.

A primeira tese, imposta pelo regulamento da instituição para que Lélío Gama se tornasse livre docente da cátedra na qual já atuava como assistente, intitulada *Oscilações internas do eixo da Terra, supposta rígida*, foi defendida em 1926. O rigor matemático utilizado nesta pesquisa levou a que fosse reconhecido como um matemático competente ao ser eleito membro da Academia Bra-

sileira de Ciências para a Secção de Ciências Mathematicas. As demais teses (“*Contribuições para o estudo da variação das latitudes*”, “*Estudos sobre as linhas Geodésicas*”, e “*Determinação da Latitude*”) foram defendidas em 1929 para as cátedras de Astronomia, Geodésia e Construções de Cartas Geográficas. Todas tiveram ligação com as pesquisas desenvolvidas no programa de variação da latitude, no Observatório Nacional.

Professor e cientista

O ambiente político gerado pela Revolução de 1930 contribuiu para que a colaboração do Observatório Nacional com o Serviço Internacional da Latitude fosse interrompida em 1931, antes dos dez anos previstos de observações. Em contrapartida, as mudanças políticas conduziram Lélío Gama a uma nova fase em sua carreira.

Desde a criação da Academia Brasileira de Ciências houve a reivindicação por espaços para a discussão e produção de ciência no país. Este movimento ganhou força com a criação da Associação Brasileira de Educação (ABE), em 1924. Durante as Conferências Nacionais de Educação, promovidas pela ABE desde 1927, seus membros pleiteavam a criação de Faculdades de Ciências para a formação especializada de pesquisadores e professores. A res-

Na página anterior

Para uma melhor organização das equipes que participariam das observações do eclipse, Lélío Gama produziu o trabalho “*Eclipse Solar de Maio de 1919: previsão geral para o Brasil*”, onde apresentou pleno domínio técnico sobre todo o processo de duração do eclipse (Crédito: Arquivo Lélío Gama – MAST).

posta dada pelo governo de Getúlio Vargas foi a criação do estatuto geral universitário, pela Reforma Francisco Campos. Nele, ficavam estabelecidos padrões de organização para a criação de universidades brasileiras, exigindo-se a presença de pelo menos três das seguintes Faculdades: Direito; Medicina; Engenharia; Educação; Ciências e Letras. A primeira universidade criada nesses moldes foi a Universidade de São Paulo (USP), em 1934, reunindo as já existentes Faculdade de Direito, Escola Politécnica, Escola Superior de Agronomia, Faculdade de Medicina e Escola Veterinária, e criando a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL), primeira experiência brasileira de cursos com formação especializada de pesquisadores e docentes nas áreas de ciências humanas e exatas. No ano seguinte, foi criada

no Rio de Janeiro por iniciativa de Anísio Teixeira a Universidade do Distrito Federal (UDF), organizada em Escolas (Ciências, Educação, Economia e Direito, Filosofia) e no Instituto de Artes. Diferente da USP, que priorizou a contratação de professores estrangeiros, a UDF mesclou brasileiros e estrangeiros no seu corpo docente. Lélio Gama fez parte da lista de brasileiros, que também contou com a presença de Villa Lobos, Portinari, Lúcio Costa, Gilberto Freyre, Sérgio Buarque de Holanda, Luiz Freire, Joaquim da Costa Ribeiro, Mário de Andrade, entre outros.

A convite do diretor da Escola de Ciências, Roberto Marinho de Azevedo, Lélio Gama foi escolhido para a cadeira de Análise Matemática. Sua preocupação inicial foi, tal como fizera na Escola Politécnica, dar ao curso uma a-

Abaixo

Comunicação do Observatório Nacional com os participantes do Serviço Internacional da Latitude no período 1924-1931 (Crédito: RASC Calgary Centre – Map of the World's Observatories)





bordagem moderna, o que gerou uma mudança de foco de suas pesquisas a partir de 1935, quando passou a publicar sobre temas discutidos nas aulas de análise da UDF.

O golpe de Estado de Getúlio Vargas em 1937 afetou as atividades da UDF, culminando com sua total dissolução dois anos depois. Alunos e professores da UDF foram transferidos para a recém-criada Faculdade Nacional de Filosofia (FNFfi). Lélío Gama atuou no primeiro período como cate-drático de Análise Matemática e Superior, mas logo percebeu que a interferência política na organização da FNFfi afetaria a instituição. Em abril de 1940, solicitou ao reitor da Universidade do Brasil e ao Ministro da Educação seu desligamento da cátedra. Com

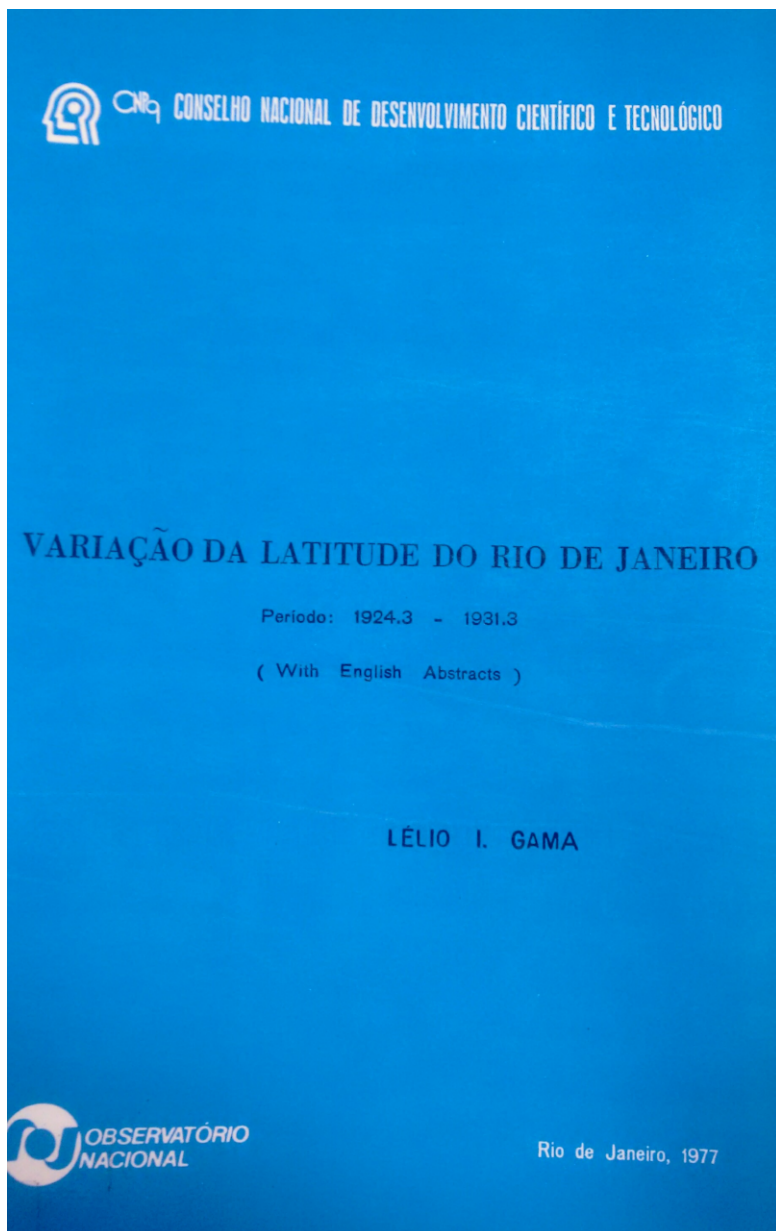
o pedido, Lélío Gama encerrou sua trajetória de quinze anos no magistério. Mesmo afastado da universidade, ele prosseguiu suas pesquisas em Análise e Topologia Geral até 1946.

Dirigindo o Observatório Nacional

Ao mesmo tempo em que se dedicava ao magistério, Lélío Gama permaneceu no Observatório Nacional. A década de 1920 foi marcada por sucessivos atrasos no pagamento da cota do observatório à União Geodésica e Geofísica Internacional para que o Brasil pudesse permanecer como membro dessa instituição, o que levou ao fim da colaboração com o Serviço Internacional da Latitude. Em 1940, houve uma mudança no regulamento interno, pos-

Acima

Observatório Nacional à época em que Lélío Gama iniciou as pesquisas para participação no Serviço Internacional da Latitude (Crédito: Acervo do MAST).

**Acima**

Última publicação de Lélío Gama (Crédito: Biblioteca Henrique Morize –MAST)

sibilitando a contratação de 13 novos funcionários e a reformulação na carreira dos astrônomos. Apesar do crescimento de contingente, os recursos permaneceram reduzidos no período da guerra. Somente em 1946, os rumos do Observatório Nacional passariam, ainda em ritmo lento, a mudar.

No mesmo ano, Lélío Gama assumiu a chefia da Divisão dos Serviços Meridianos e Anexos. Entre as atribuições do cargo estava organizar as pesquisas no setor de geomagnetismo — uma área de pesquisa que exigiria muito trabalho pelo território brasileiro, ocupando substancialmente seu tempo. Mesmo assim, Lélío Gama seguiu participando de ações em favor da institucionalização da pesquisa no Rio de Janeiro. Após a experiência em liderar, entre 1945 e 1946, o Núcleo Técnico-Científico de Matemática — um grupo de pesquisas criado no interior da Fundação Getúlio Vargas —, ele seguiu dirigindo o periódico *Summa Brasiliensis Mathematicae* (1945-1960), um legado do Núcleo que permitiu a circulação de assuntos de matemática, aproximando cientistas para produzir ciência de ponta no país, e contando com a participação de matemáticos estrangeiros.

No ano seguinte, Gama foi convencido a assumir a direção do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), primeiro centro de pesquisas criado com recursos e por decisão do CNPq. Seu senso de equilíbrio serviu para que os jovens pesquisadores contassem com um espaço estável para desenvolver suas pesquisas. Sua gestão durou até 1965. A atuação como conselheiro do CNPq permitiu que obtivesse recursos para empreender uma sé-

rie de ações no Observatório Nacional: atualização dos equipamentos (1951-1956); mapeamento gravimétrico do território brasileiro (1955); participação nas observações por ocasião do Ano Geofísico Internacional (1957); construção do Observatório Magnético de Tatuoca, no Pará (1957); início das discussões para a criação da Comissão Brasileira de Astronomia (1961); participação no Eclipse Solar de Bagé, no Rio Grande do Sul (1966).

Em 1967, Lélío Gama foi aposentado do Observatório Nacional. No entanto, seu vínculo com a instituição permaneceu, uma vez que continuou como membro do conselho deliberativo do CNPq, que determinava a obtenção de recursos do Observatório Nacional.

Após a aposentadoria, Lélío Gama retomou seu primeiro projeto de pesquisa realizado no ON, contando com condições distintas das enfrentadas décadas antes, como, por exemplo, aparelhagem mais moderna e um nível de consciência científica capaz de reconhecer a importância da conclusão das observações do programa de variação da latitude no Rio de Janeiro. Essa foi uma excelente oportunidade de reforçar o compromisso com valores que conduziram sua prática científica durante toda carreira. No período entre 1973 e 1977, ele recebeu pelo CNPq uma bolsa como pesqui-



sador e finalizou suas pesquisas em astronomia, interrompidas quarenta anos atrás, além de orientar trabalhos em gravimetria e geomagnetismo. Ao final de 1977, como parte das comemorações do sesquicentenário do Observatório Nacional, Lélío Gama publicou o trabalho *Varição da Latitude do Rio de Janeiro*. Foi uma despedida à altura daquele que dedicou o que possuía de melhor para o progresso da ciência no Brasil •

Fábio Ferreira de Araújo
Inst. Fed. do Rio de Janeiro
Campus Paracambi
fabio.ferreira@ifrj.edu.br

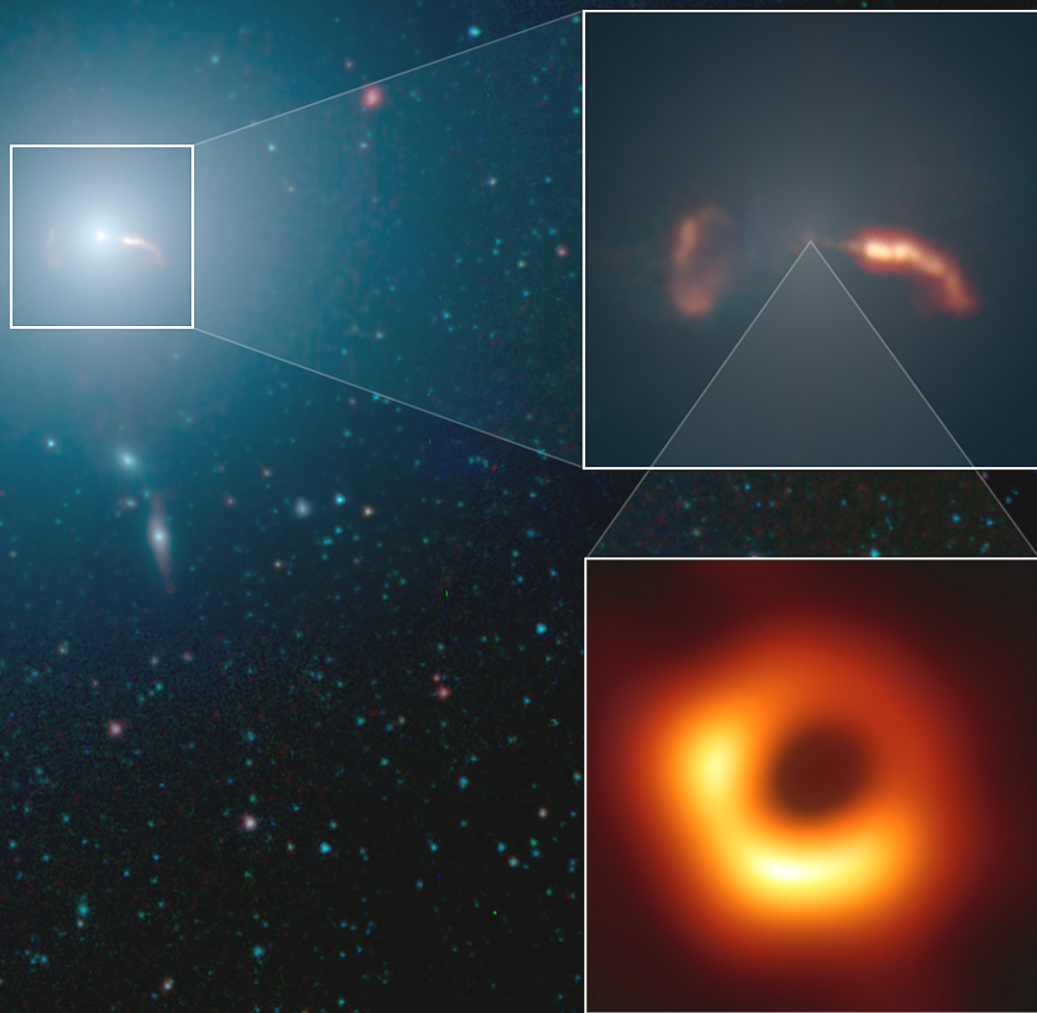
Antonio Augusto Passos Videira
Univ. Est. do Rio de Janeiro e
Centro Bras. de Pesquisas Físicas
guto@cbpf.br

Acima

Antigo prédio do Observatório Nacional, que atualmente sedia o Museu de Astronomia e Ciências Afins (Crédito: Bruno L'Astorina/Wikimedia Commons).

A "sombra" de um buraco negro

Conheça um pouco sobre a ciência e os desafios tecnológicos por trás da fascinante observação radioastronômica que perscrutou o centro de uma galáxia distante.



No dia 10 de abril de 2019, um comunicado científico, emitido simultaneamente em vários países mundo afora pela colaboração internacional *The Event Horizon Telescope* (EHT), nos brindou com um conjunto de 4

imagens radioastronômicas. Obtidas no início do mês de abril de 2017, cada uma dessas impressionantes imagens mostra um buraco negro de bilhões de massas solares, rodeado por uma estrutura assimétrica em forma de anel na região central de uma

longínqua galáxia na direção da constelação de Virgo. Conhecida como M87 ou Virgo A, essa galáxia de formato elíptico está localizada a uma distância aproximada de 16,8 milhões de parsecs da Terra. Isto significa que a luz emitida por esta galáxia demora por volta de 54,8 milhões de anos para chegar até nós. Para dar ao leitor uma melhor perspectiva deste intervalo de tempo, as ondas detectadas pelos radiotelescópios usados no referido imageamento deixaram M87 há aproximadamente 10,7 milhões de anos após o provável evento cataclísmico que induziu a extinção em massa Cretáceo-Paleogeno de vários seres vivos, entre eles os dinossauros.

Neste texto apresento um panorama geral das técnicas e aparatos científicos extremamente sofisticados que possibilitaram a obtenção das imagens das cercanias do buraco negro central de M87, ou simplesmente **M87***, bem como o processo de análise e interpretação dos dados observacionais que sugerem, de fato, a existência deste “monstro” supermaciço nessa galáxia.

Monitorando o céu através dos tempos

Comumente, pensa-se na Astronomia como uma ciência que busca entender os fenômenos físicos “vistos” no firmamento. No passado remoto, esta frase traduzi-

ria a essência do trabalho de um astrônomo: olhar o céu e registrar o comportamento dos corpos celestes na tentativa de entender o porquê de seus movimentos e natureza física. O instrumento usado na exploração do cosmos nos primórdios da Astronomia foi o próprio olho humano, capaz de detectar luz num intervalo muito pequeno de comprimento de onda, relacionado às cores vistas num arco-íris. Ainda que o olho humano seja um instrumento fantástico, sofisticado do ponto de vista biológico, ele é limitado no que se refere à capacidade de detecção de objetos pouco intensos e/ou muito pequenos. Para dar uma ideia mais quantitativa destas limitações, basta lembrar que o olho humano, em média, consegue observar objetos com magnitude aparente limite da ordem de 6, ou seja, um fluxo aproximadamente mil vezes menor que aquele associado à estrela Sirius (a estrela mais brilhante no céu noturno e localizada na constelação do Cão Maior). Em relação à separação angular mínima entre duas fontes luminosas que o olho humano consegue distinguir, o valor médio é da ordem de dois minutos de arco. Isto corresponde à separação angular entre as travessias verticais de um gol de futebol que uma pessoa medirá se colocadas a uma distância aproximada de doze quilômetros.

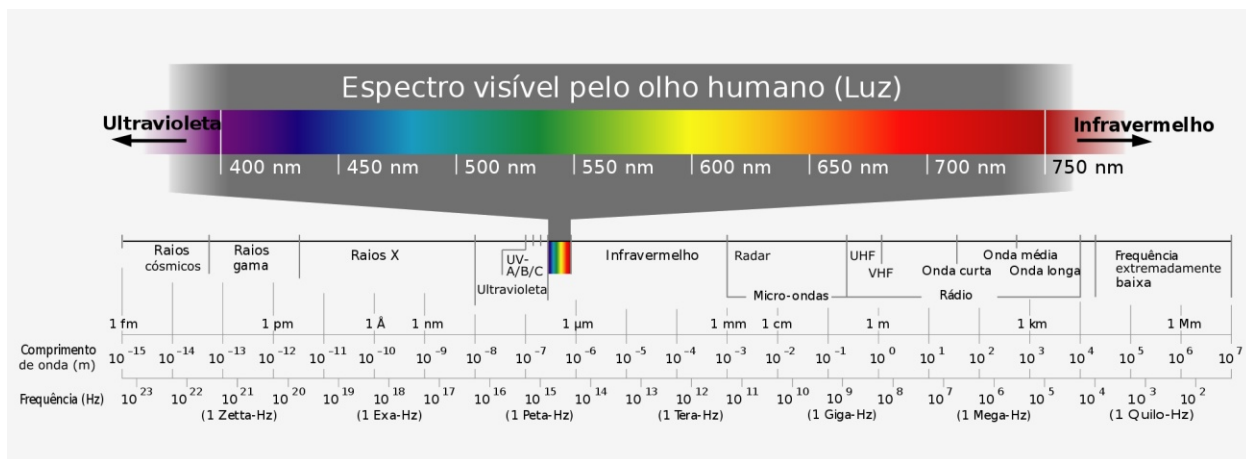
Com o advento dos telescópios,

Na página anterior

Imagem infravermelha da galáxia M87 obtida pelo telescópio espacial Spitzer.

A galáxia M87 habita o centro do aglomerado de galáxias de Virgo, e algumas delas podem ser vistas na mesma imagem.

Um “zoom” no núcleo de M87 revela a presença de jatos produzidos nas cercanias do buraco negro supermaciço M87*, cuja imagem em rádio em tons de laranja, logo abaixo à do jato, mostra a “sombra” de M87* (região enegrecida) envolta num anel luminoso produzido pela luz originada nas partes mais internas do disco de acreção que o orbita (Créditos: NASA/JPL-Caltech/Event Horizon Telescope Collaboration).



Acima
 Representação do espectro eletromagnético e seus diversos regimes de radiação. O olho humano é sensível a uma estreita faixa de comprimento de onda, representado pelas cores do arco-íris (Crédito: Horst Frank/WikiCommons).

Na próxima página
 Topo: esquema de um radiotelescópio, mostrando seus principais elementos e componentes. Abaixo: Large Millimeter Telescope (LMT), um dos radiotelescópios usados pela colaboração EHT; localizado no topo do vulcão mexicano Sierra Negra, a 4600 metros de altitude, possui espelho primário de 50 metros de diâmetro (Crédito: Aleks PopStefanija).

bem como do emprego de placas fotográficas e posteriormente de detectores CCD (sigla, em inglês, para Dispositivo de Carga Acoplada) no registro das imagens astronômicas, a nossa capacidade de explorar o cosmos cresceu enormemente, possibilitando a observação, por exemplo, de sistemas formados nos primórdios do Universo, indetectáveis à olho nu. Posteriormente, a extensão das observações para outras faixas do espectro eletromagnético, como rádio, infravermelho, ultravioleta, raios-X e raios gama, além dos detectores de ondas gravitacionais e de partículas (como os neutrinos, por exemplo) permitiram o estudo de fenômenos físicos inaccessíveis no óptico. Esta verdadeira revolução na maneira de olharmos para o céu possibilitou, entre outras descobertas, observar diretamente a “sombra” de um buraco negro em ondas de rádio. Mas antes de entrar nos detalhes da obtenção dessas imagens, concentremos nossa aten-

ção no funcionamento geral de um radiotelescópio.

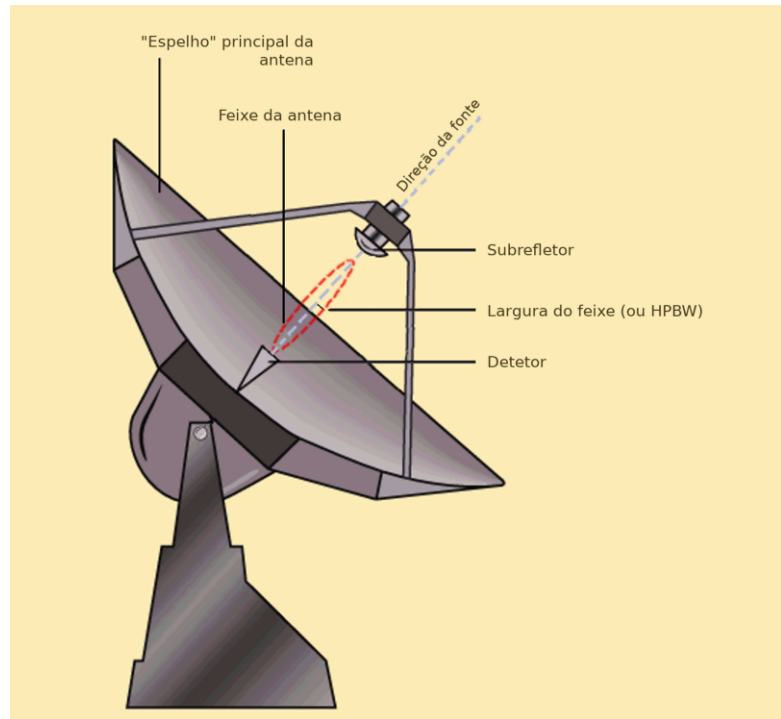
Observando com um único radiotelescópio

O termo *radiotelescópio* é reservado aos análogos dos telescópios ópticos que detectam a radiação eletromagnética em ondas de rádio (tipicamente entre algumas dezenas de milhões de Hertz até alguns trilhões destes). Tal como os telescópios ópticos, eles usualmente possuem uma superfície refletora que orienta a luz diretamente para um detector (o foco primário) ou para um sub-refletor (análogo ao espelho secundário usado na faixa óptica), o qual redireciona a luz para o plano focal do radiotelescópio onde se encontram os instrumentos de detecção. Um exemplo de radiotelescópio ou antena com foco primário é o Lovell Telescope, localizado em Jodrell Bank, Inglaterra, o qual conta com uma superfície refletora de 76 metros de diâmetro. O Rádio Observató-

rio do Itapetinga (ROI), localizado em Atibaia, no interior do Estado de São Paulo, é um bom exemplo de radiotelescópio que possui um subrefletor.

Após a luz do objeto alvo da observação ser direcionada ao plano focal, ela passa por um aparato eletrônico complexo que inclui guias de onda, filtros, atenuadores, etc., até o sinal ser digitalizado para posterior análise. É importante salientar que o radiotelescópio é, em linhas gerais, uma espécie de detector de diferenças de potencial elétrico, as quais são convertidas posteriormente para uma grandeza física usual em Astronomia denominada densidade de fluxo (quantidade de energia, por unidade de frequência, por unidade de área).

Quão sensíveis são os radiotelescópios? A resposta a esta pergunta não é tão simples assim, dependendo do diâmetro da antena, do comprimento de onda em que se observa (por exemplo, a atenuação atmosférica varia com o comprimento de onda), da temperatura que os receptores se encontram (costuma-se refrigerá-los próximo ao zero absoluto para reduzir o ruído introduzido por estes nas observações), etc. Para se ter uma ideia da sensibilidade das observações radioastrômicas de hoje, considere uma lâmpada de 60 W de potência que emitisse uniforme e isotropicamente num certo intervalo de frequên-



cia. Um detector colocado a 10 m de distância dessa lâmpada mediria uma densidade de fluxo que seria aproximadamente cinco quintilhões de vezes maior do que aquelas usualmente detectadas pelos radiotelescópios atuais.

Abaixo

Um exemplo de imagem produzido por radiointerferometria é o mapa de emissão em 1,4 GHz da radiogaláxia Centaurus A, observada pelo ATCA. (Crédito: Ilana Feain, Tim Cornwell & Ron Ekers, CSIRO/ATNF.)



Isso seria análogo a colocar a mesma lâmpada do nosso exemplo a uma distância aproximada de 22 milhões de km (cerca de 57 vezes a distância média entre a Terra e a Lua!).

Uma diferença importante com relação aos telescópios ópticos é o modo pelo qual são produzidas as imagens de uma determinada região do céu. A imagem ou o mapa de uma fonte extensa com o uso de um único radiotelescópio é feita a partir de vários apontamentos discretos, amostrando o sinal emitido pela fonte em diferentes posições no plano do céu.

Desta forma, a radioimagem final é gerada pela interpolação das medidas individuais ponto a ponto realizadas durante toda a observação.

A resolução angular nominal de um telescópio (seja ele ou não um radiotelescópio) é proporcional ao comprimento de onda da radiação eletromagnética por este detectada e inversamente proporcional ao diâmetro de sua superfície refletora primária. No caso dos radiotelescópios, a resolução angular nominal corresponde à largura à meia altura do seu pa-

drão de resposta, conhecido como feixe da antena. Quantitativamente, o telescópio espacial Hubble é capaz de produzir imagens com resoluções angulares da ordem de alguns centésimos de segundos de arco, enquanto que o radiotelescópio do Itapetinga, possuindo um diâmetro quase seis vezes maior que o espelho do telescópio Hubble, produzirá imagens com resolução de aproximadamente 2 minutos de arco (similar ao olho humano!) na frequência de 22 GHz (ou 1,36 cm em termos de comprimento de onda). Não é à toa que o emprego de técnicas interferométricas que conseguem melhorar muito a resolução angular de observações astronômicas tenha iniciado exatamente na Radioastronomia.

“Todos por um!”: a interferometria em ondas de rádio

Para superar as dificuldades de obter imagens de alta resolução angular com um único radiotelescópio, buscou-se uma alternativa elegante e relativamente complexa: a interferometria de radiotelescópios. A ideia básica está em utilizar simultaneamente várias antenas espalhadas por uma certa área em vez de um único radiotelescópio com diâmetro correspondente a esta mesma área. Além de ser uma alternativa economicamente viável, evitaria o problema técnico e pro-



ibitivo de construir telescópios que tivessem quilômetros de diâmetro.

Considere duas antenas separadas por uma distância b , conhecida no jargão astronômico como linha de base, observando um dado objeto celeste. Esta separação introduz um atraso no sinal recebido por uma das antenas em relação à outra, o qual é proporcional à b (quanto maior a linha de base, maior o atraso do sinal detectado). Quando os sinais das duas antenas são combinados, observa-se a formação de padrões de interferência similares aos observados na superfície de um lago perturbado pelo impacto de gotas de chuva. Este é o mesmo princípio do experimento de fenda dupla realizado por Thomas Young em 1801, o qual mostrou que as distâncias entre os máximos de interferência são proporcionais ao comprimento de onda

da luz que incide nas fendas e inversamente proporcionais à separação dessas fendas. No caso dos radiotelescópios, estes seriam os análogos das fendas do experimento de Young, enquanto a linha de base entre eles corresponderia à distância entre as fendas. Assim, a resolução angular é aumentada ao longo da linha de base (nas outras direções, a resolução dependerá do diâmetro das antenas envolvidas no experimento).

A inclusão de outras antenas no experimento interferométrico permite melhorar a sensibilidade das observações e aumentar o poder de resolução em outras direções. Mais especificamente, a inclusão de linhas de base de tamanhos distintos permite mapear a estrutura de uma fonte de uma maneira mais fidedigna: linhas de base mais curtas acessam estruturas da fonte de maior dimensão angular, enquanto linhas de base

Acima

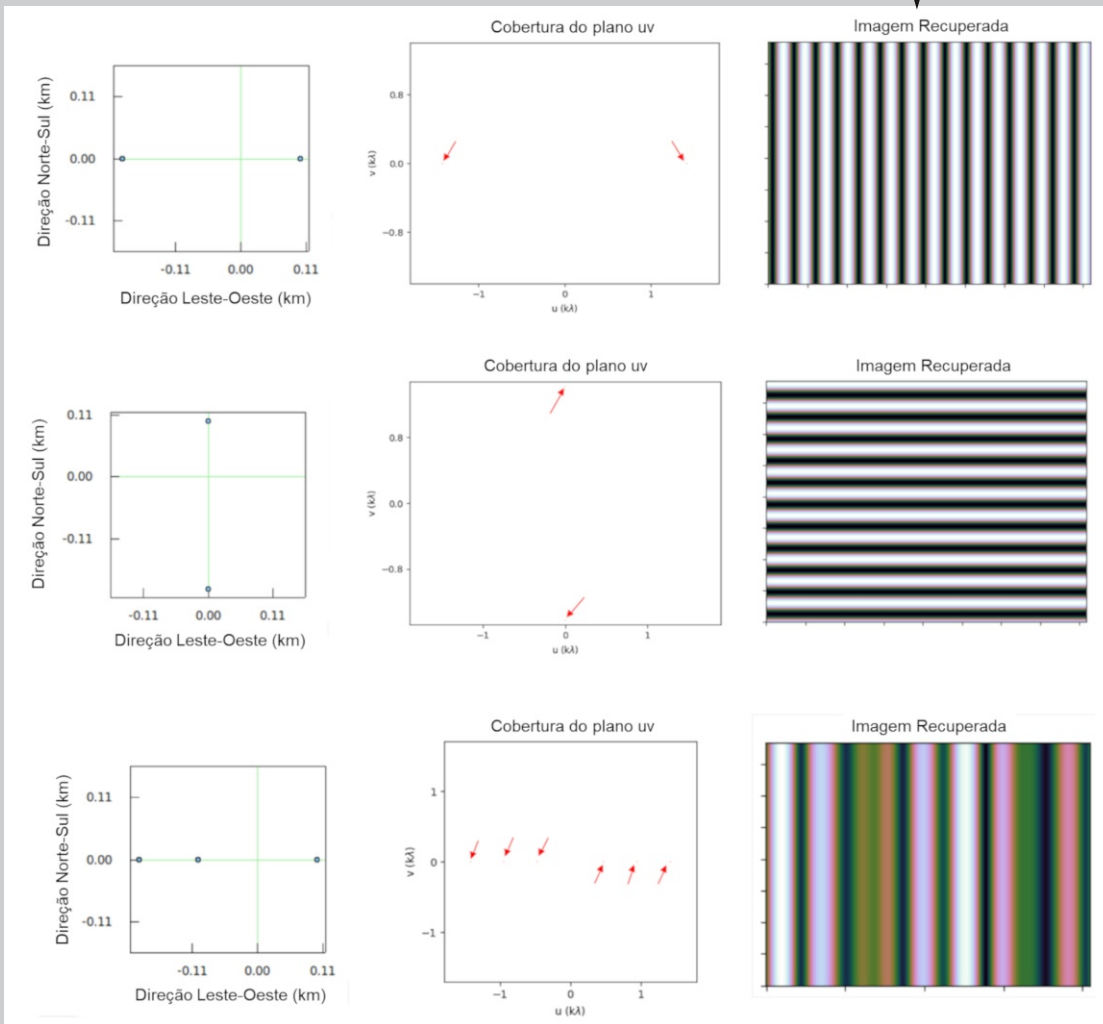
O interferômetro ALMA, localizado no Chile, um dos instrumentos usados na obtenção das imagens da “sombra” de M87* (Crédito: ESO/C. Malin).

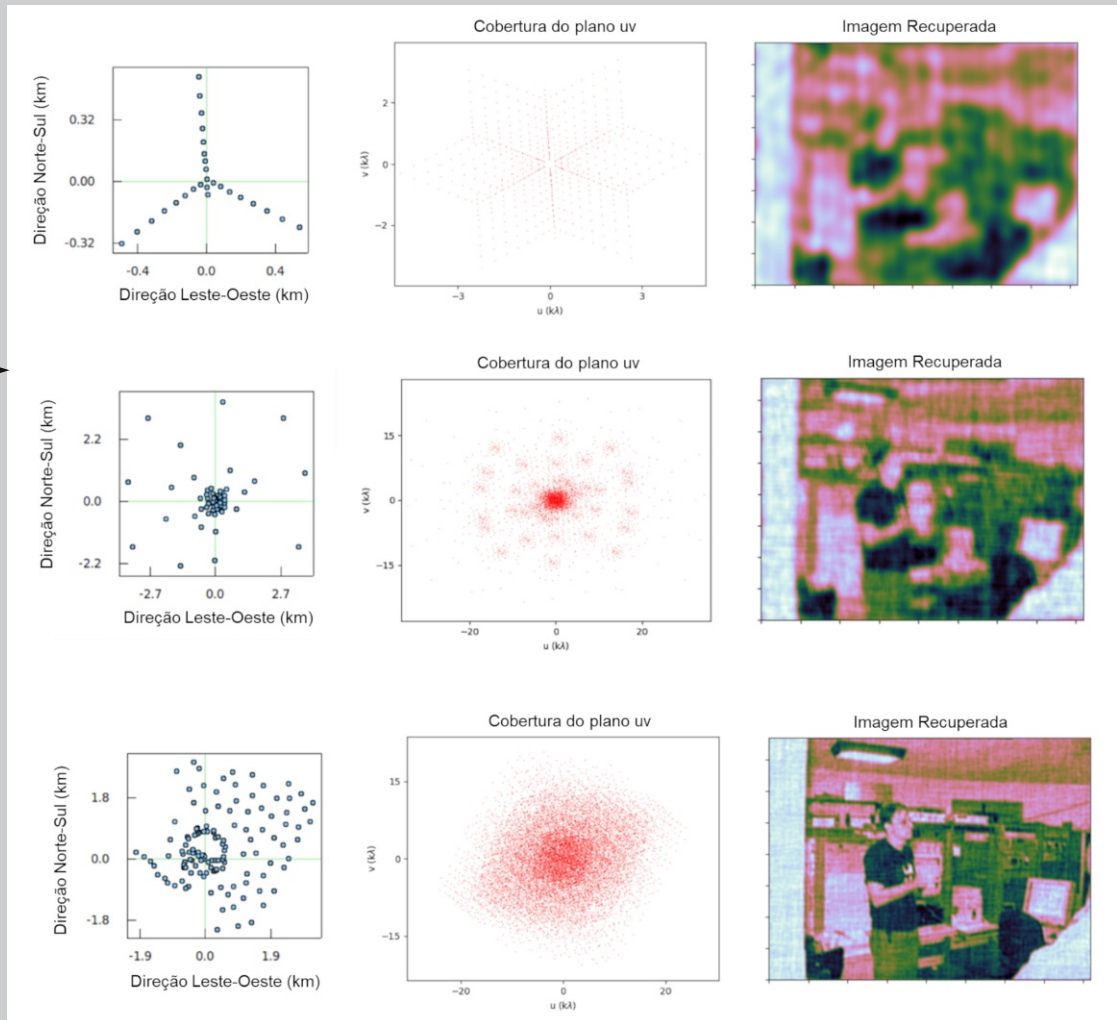
Imagem Real



À esquerda

“Objeto celeste” observado em nosso experimento interferométrico: foto tirada durante visita guiada na sala de controle do Rádio Telescópio do Itapetinga no ano de 2009. Nota-se a presença de vários equipamentos eletrônicos, computadores, cadeiras e o próprio autor deste texto próximo ao centro da imagem.





Página dupla

Distribuição espacial de antenas num experimento interferométrico e sua influência na cobertura do plano uv , bem como na recuperação da imagem original de nosso “objeto celeste”. Da esquerda para a direita, posição das antenas usadas no experimento interferométrico, cobertura do plano uv associada à observação (setas em vermelho nos três primeiros painéis apenas para melhor indicar as posições do plano uv cobertas pelo experimento), e imagem recuperada pelo experimento. Os três últimos arranjos se referem, de cima para baixo, às 27 antenas do VLA (Karl Guthe Jansky Very Large Array) em sua configuração D, às 64 antenas do interferômetro MeerKAT na configuração AR-3, e às 128 antenas do interferômetro MWA (Murchison Widefield Array) em sua configuração estendida. É evidente que quanto maior for a cobertura do plano uv — maior número de pontos vermelhos nos painéis intitulados “Cobertura do plano uv ” —, mais fidedigna a imagem recuperada será em relação à original. Foi utilizado o código aberto “The Friendly Virtual Radio Interferometer” (<https://crpurlcell.github.io/friendlyVRI/>) na simulação desses experimentos.

Na próxima página

Topo, à esquerda: localização das antenas usadas na obtenção das imagens de M87* (posições conectadas por linhas contínuas em azul). Topo, à direita: cobertura do plano uv após a junção dos quatro dias de observação de M87*. Abaixo: imagens (em termos de temperatura de brilho – temperatura que um objeto teria se o seu brilho fosse igual a de um corpo negro) de M87 em cada dia de observação. As circunferências em branco no canto inferior esquerdo em cada imagem denotam a resolução angular das observações. (Crédito: Imagens extraídas do artigo científico da colaboração EHT intitulado "First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole", publicado no ano de 2019 no periódico científico *The Astrophysical Journal Letters*.)

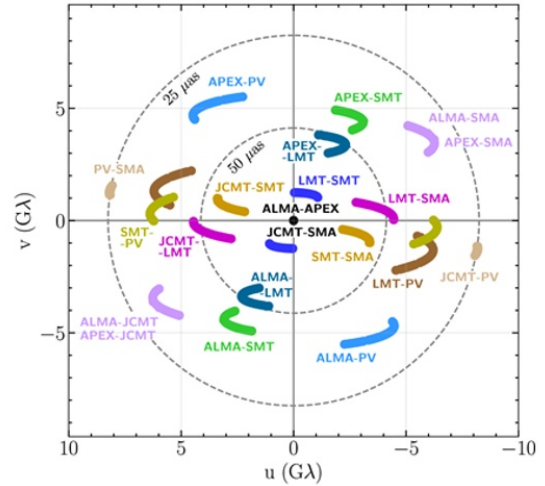
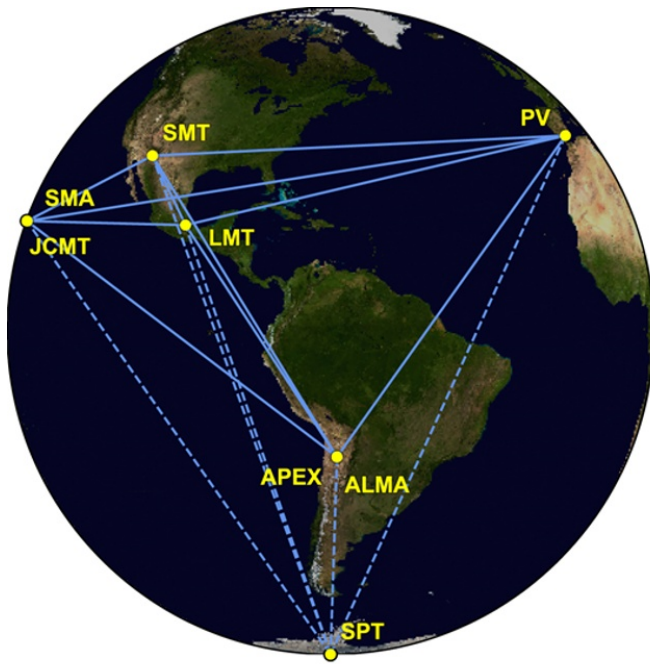
mais longas revelam pequenas estruturas dessa mesma fonte. Fazendo uma analogia simplificada com a foto de uma casa, linhas de base mais curtas mapeariam as paredes desta casa, enquanto linhas de base mais longas mapeariam a fechadura da porta de entrada desta mesma casa. Talvez, este seja um ponto importante de diferenciação com o que ocorre nos imageamentos em óptico: não é possível ter uma cobertura completa do chamado plano uv no caso de arranjos interferométricos (as direções u e v estão orientadas, respectivamente, nas direções Leste-Oeste e Norte-Sul, formando um plano perpendicular à direção em que se encontra o objeto celeste estudado). Isto significa que, a partir dos dados amostrados, são realizados procedimentos adicionais para preencher os "buracos" na cobertura do plano uv e obter a imagem final do objeto estudado (no caso dos telescópios ópticos é como se todo o plano uv fosse simultaneamente amostrado). Usando novamente a mesma analogia anterior, é como se tivéssemos acesso direto a alguns poucos pixels da foto da casa no caso de observações interferométricas.

Imageamento da "sombra" de M87*

Uma pergunta perfeitamente válida é por que a colaboração EHT concentrou seus esforços em

observar a galáxia M87, bem como o centro de nossa Galáxia (a Via Láctea), onde se localiza o buraco negro supermaciço SgrA*, e não qualquer outro candidato a buraco negro? A resposta é simples: foi um compromisso entre resolução angular, tamanho de buracos negros supermaciços e sua distância à Terra. O horizonte de eventos de um buraco negro (região que delimita o não retorno da luz que o cruzar) é proporcional à sua massa, o que implica que buracos negros supermaciços (massas entre milhões e dezenas de bilhões de massas solares) são maiores que os de origem estelar (massas menores que algumas dezenas de massas solares). Por outro lado, quanto maior a distância a um dado objeto, menor o seu diâmetro angular, uma vez que este é proporcional ao inverso de sua distância. O parâmetro distância também influencia no fluxo aparente medido por um observador, caindo com o quadrado da distância ao objeto (para uma mesma luminosidade, estar mais distante implica em ser aparentemente mais fraco em brilho). Desta forma, elegeu-se SgrA* e M87* como os dois candidatos mais prováveis para a detecção de suas respectivas "sombras".

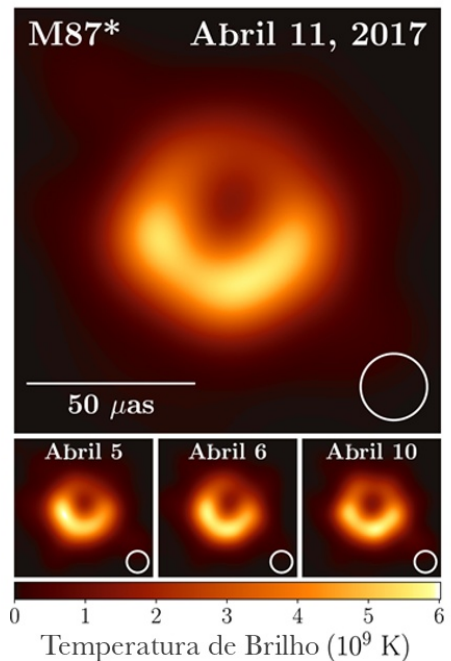
No caso de M87, a colaboração EHT utilizou sete radiotelescópios para mapear as cercanias do núcleo desta galáxia na frequência de 230 GHz, ou 1,3 mm em termos



de comprimento de onda. Separados por algumas centenas de metros até dezenas de milhares de km, estas antenas observaram M87 nos dias 5, 6, 10 e 11 de abril de 2017 através de escaneamentos com duração individual de alguns minutos. Mesmo após a junção destes quatro dias de observação, a cobertura do plano uv se mostrou relativamente esparsa, exigindo um grande esforço da colaboração para produzir imagens fidedignas de M87*.

Para garantir a confiabilidade das imagens oriundas dos dados interferométricos, a colaboração EHT decidiu implementar duas etapas de análise. Primeiramente, quatro grupos de pesquisadores da colaboração trabalharam independentemente no processo de reconstrução das imagens. Para isto, dois algoritmos distintos fo-

ram utilizados para converter os dados interferométricos em imagens, processo este suscetível a um razoável número de parâmetros livres à escolha do pesquisador que realiza este procedimento. Como resultado, cada time produziu uma imagem com uma estrutura em forma de anel com diâmetro da ordem de 40 microssegundos de arco e mais intenso em sua parte mais ao sul. Esta coincidência — tremendamente desejável! — argumenta em favor dos dados interferométricos serem suficientes para gerar uma imagem crível do núcleo de M87, independente do possível viés introduzido por cada grupo no pro-



cesso de confecção dessas imagens. Posteriormente, a colaboração empregou rotinas automáticas de imageamento usando diferentes softwares e metodologias para gerar milhares de imagens que fossem compatíveis simultaneamente com os dados interferométricos e com alguma imagem sintética de uma fonte com geometria conhecida (por exemplo, anel, disco, etc.). O resultado de toda esta análise é a identificação da fonte em formato anelar sendo mais intensa em sua parte mais ao sul!

Até o término da redação deste texto, nenhuma imagem de SgrA* foi divulgada pela colaboração EHT, embora seja uma questão de tempo para que conheçamos a sombra de mais um buraco negro em nosso Universo.

A importância dessas imagens no contexto astronômico

As icônicas imagens interferométricas de M87* permitiram aos astrônomos observar diretamente, pela primeira vez na história da Astronomia, a atividade do motor central dos chamados núcleos ativos de galáxias (AGN, do inglês *Active Galactic Nuclei*). Estes produzem enormes quantidades de energia que, em muitos casos, são capazes de ofuscar completamente o brilho das estrelas que compõem as suas respectivas galáxias hospedeiras. Acreção

de material em buracos negros supermaciços são invocados para explicar o fenômeno AGN uma vez que este processo é um dos mais eficientes na natureza do ponto de vista energético. Evidências prévias da existência de buracos negros supermaciços no centro de galáxias remonta décadas, baseadas, por exemplo, em movimentos estelares, como no caso de SgrA*. Movimento do gás nas proximidades de buracos negros (distâncias menores que algumas unidades de anos-luz) também evidencia a existência desses fascinantes objetos, como no caso de AGNs com emissão *maser* associados a moléculas de água (o fenômeno *maser* é o análogo do laser em micro-ondas, no qual a intensidade das linhas espectrais produzidas são amplificadas por processos radiativos no gás).

Além disso, as características gerais da imagem de M87* são compatíveis com o esperado na Teoria da Relatividade Geral, proposta por Albert Einstein em 1915. O anel luminoso vistos nas imagens é produzido por efeito de lente gravitacional devido ao buraco negro supermaciço no núcleo de M87. A região quase circular enegrecida e circunscrita pelo anel corresponde à “sombra” do buraco negro, a qual é produzida pela captura dos fótons gerados no disco de acreção que orbita M87*. No caso de buracos ne-

gros sem rotação é esperado que o anel tenha um raio igual a cerca de 5,2 vezes o raio gravitacional do buraco negro (o qual é proporcional a sua massa). Desta forma, fótons que passarem a distâncias menores que este raio, conhecido como raio de captura de fótons, serão tragados pelo buraco negro, produzindo a tal “sombra” vista nas imagens rádio. Aqueles fótons que passarem a distâncias próximas ao raio de captura orbitarão o buraco negro em trajetórias instáveis, possibilitando que parte deles possam escapar do sistema e serem detectados por observadores aqui na Terra. A não uniformidade da distribuição de brilho do anel (mais brilhante ao sul) pode ser interpretada como efeito de amplificação devido a movimentos relativísticos do próprio disco de acreção nas proximidades de M87*. Além disso, as características das imagens de M87* são incompatíveis ao esperado no caso de um buraco negro sem rotação, denominado buraco negro de Schwarzschild (em homenagem ao físico e astrônomo alemão Karl Schwarzschild), indicando que M87* é um buraco negro com rotação, conhecido também como buraco negro de Kerr (em homenagem ao matemático neozelandês Roy Patrick Kerr).

Seguramente, as imagens de M87* abrem uma nova fase na exploração da natureza física de

buracos negros supermaciços no centro de galáxias. A adição de novos radiotelescópios terrestres e em órbitas espaciais poderão melhorar a qualidade e resolução dessas imagens, assim como tornar outras galáxias candidatas a monitoramento de sua atividade nuclear. Observações subsequentes de M87* poderão delinear a evolução temporal das propriedades do disco de acreção e/ou do buraco negro e sua relação, por exemplo, com a formação do jato relativístico visto em imagens rádio interferométricas desta galáxia •

Anderson Caproni
Universidade Cidade de São Paulo
and_caproni@yahoo.com.br



Astronomia e Sociedade

A Astronomia fascina e encanta pelas suas diversas formas de contemplação e inserção social. Mas essa é uma das suas características pouco valorizadas no mundo atual.

A observação do movimento repetitivo de astros no céu possibilitou que muitas civilizações elaborassem metodologias avançadas de medição da passagem do tempo. Este conhecimento foi vital para a manutenção e sobrevivência das sociedades não nômades, já que o plantio e colheita de alimentos dependia, e ainda depende, das intempéries sazonais.

O conhecimento do movimento

dos objetos da esfera celeste foi também importante para fins de orientação. Em tempos pretéritos, nos locais de horizonte limpo e repetitivo, sem paisagens fixas, o deslocamento de um ponto a outro dependia do conhecimento da posição das estrelas, do Sol e da Lua. Por exemplo, os viajantes árabes do deserto, e posteriormente os exploradores europeus que se lançavam aos mares nos séculos XV e XVI, apontavam seus astrolábios para estrelas brilhan-

tes e conhecidas, responsáveis por guiá-los na direção desejada.

Não podemos afirmar que todos povos ancestrais tenham contemplado o céu com tais fins práticos, mas quanto mais os especialistas estudam as diferentes sociedades e culturas, mais relações são encontradas entre o “mundo de cima” e o terreno.

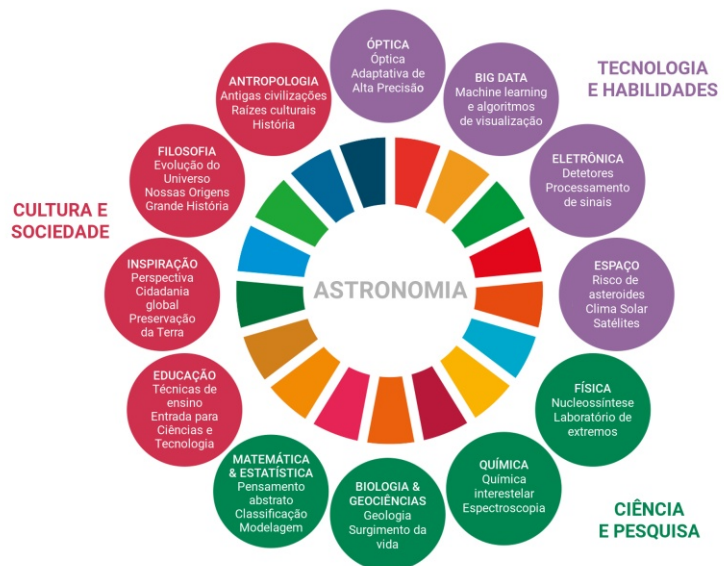
Muitas vezes, os elaborados contos de mitologias celestiais têm funções sociais, como a transmissão de valores de uma comunidade. Em culturas onde a oralidade desempenha um papel importante na passagem do conhecimento de geração a geração, a lembrança de mitos e lendas ajuda nessa transmissão. Afinal de contas, é mais fácil se recordar de uma boa história que ter uma conversa de teor severo com crianças e jovens. Um exemplo são as associações que muitas etnias indígenas do tronco Tupi atribuem às crateras e mares da Lua com o incesto. Embora haja variações dessa história, conta-se que Lua teve o rosto marcado com tintura de jenipapo pela irmã Sol, que buscava saber quem era o homem que a violentava enquanto dormia. Como punição, ambos foram enviados para o céu.

É interessante perceber como a astronomia pode tecer relações com diversos segmentos da sociedade e campos do saber. Se por um lado, ela encontra-se na fronteira do conhecimento, graças à

sua natureza multidisciplinar, entrelaçada com a matemática, física, química, ciências da computação e engenharias, por outro lado, ela ocupa um lugar diferenciado no imaginário das pessoas, seja pela sua dimensão filosófica, estética ou afetiva. Perguntar-se sobre o universo infinito, sobre nossas origens e destino como habitantes do cosmos faz parte da natureza humana. Contemplar as estrelas ou uma bela noite de luar ao lado de pessoas queridas também é uma experiência de vida. Maravilhar-se com as paisagens cósmicas, o colorido das nebulosas ou formatos estonteantes de galáxias, é uma reação típica de pessoas que veem imagens astronômicas pela primeira vez.

Na página anterior
Festa estelar realizada no Parque do Grand Canyon em 2008 (Crédito: Grand Canyon National Park, Flickr).

Abaixo
Conexões da astronomia com outras disciplinas. (Crédito: Plano Estratégico da União Astronômica Internacional para a década de 2020-2030.)



Por esses motivos, a astronomia é capaz de despertar o interesse pela ciência moderna ou sus-

Abaixo

Luneta Meridiana.
Utilizada de 1847 a 1920 na determinação de longitude, coordenada geográfica base para a elaboração de mapas e definição da hora civil brasileira (Crédito: Museu de Astronomia e Ciências Afins).



citar questionamentos profundos, contribuindo para o espírito crítico dos indivíduos. Além disso, são muitas as contribuições e aplicações da astronomia no dia a dia, embora nem sempre essas contribuições apareçam de forma tão explícita.

Há muito mais astronomia na sua vida do que poderia imaginar...

A hora do relógio, tal como co-

nhecemos nos dias de hoje, deve-se ao trabalho dos astrônomos. No Brasil, a determinação da hora legal é uma atribuição do Observatório Nacional desde sua fundação, em 1827.

Inicialmente, para determinar a hora, observava-se a passagem meridiana de estrelas brilhantes. Posteriormente, passou-se a usar relógios de pêndulo. Nos dias atuais, a precisão na determinação do tempo exige o uso de relógios atômicos. Paradoxalmente, a famosa hora de Brasília é determinada por relógios salvaguardados pelos astrônomos do Observatório Nacional no Rio de Janeiro.

Falando em Brasília, a determinação da localização de nossa capital, muito provavelmente, foi influenciada pelas expedições ao Planalto Central do século do XIX, lideradas pelo então diretor do Observatório, Luiz Cruls.

A exemplo de outros observatórios do mundo, o nosso também tinha entre suas funções determinar posições geográficas, já que astrônomos eram aptos a calcular latitudes e longitudes – um problema danado de difícil. Por tal razão, participaram de diversas expedições ao interior do país com o intuito de demarcar o território nacional. No caso de Brasília, a astronomia ocupou um lugar central no trabalho das expedições já que, com a queda da monarquia, havia o desejo de interiorização da capital, levando-

para o Planalto Central e exigindo que a localização ideal fosse calculada. A primeira expedição de Cruls ocorreu em 1892 e seus itinerários foram publicados no Relatório Parcial da Comissão de Estudos da Nova Capital da União (1986).

Expressões mais contemporâneas das contribuições da astronomia podem ser atribuídas, majoritariamente, às tecnologias desenvolvidas e empregadas nos instrumentos usados na compreensão do universo, tais como telescópios, câmeras fotográficas, sistemas de armazenamento de dados, entre outros.

Podemos citar os sensores da década de 1970, muito avançados e caros à época, que foram desenvolvidos para gravar as imagens dos astros e hoje estão amplamente distribuídos nos *smartphones* e câmeras digitais. Esses sensores, denominados de dispositivos de carga acoplada ou CCD (abreviação do nome em inglês), criados para transformar a energia da luz débil de um objeto distante em sinal digital, desde a última década encontram-se na palma de nossas mãos e eternizam nossos rostos em selfies.

As metodologias de análise de imagens astronômicas também são usadas na medicina. Para um computador encontrar uma galáxia em uma imagem de grande campo, onde aparecem também milhares de outros objetos e ar-

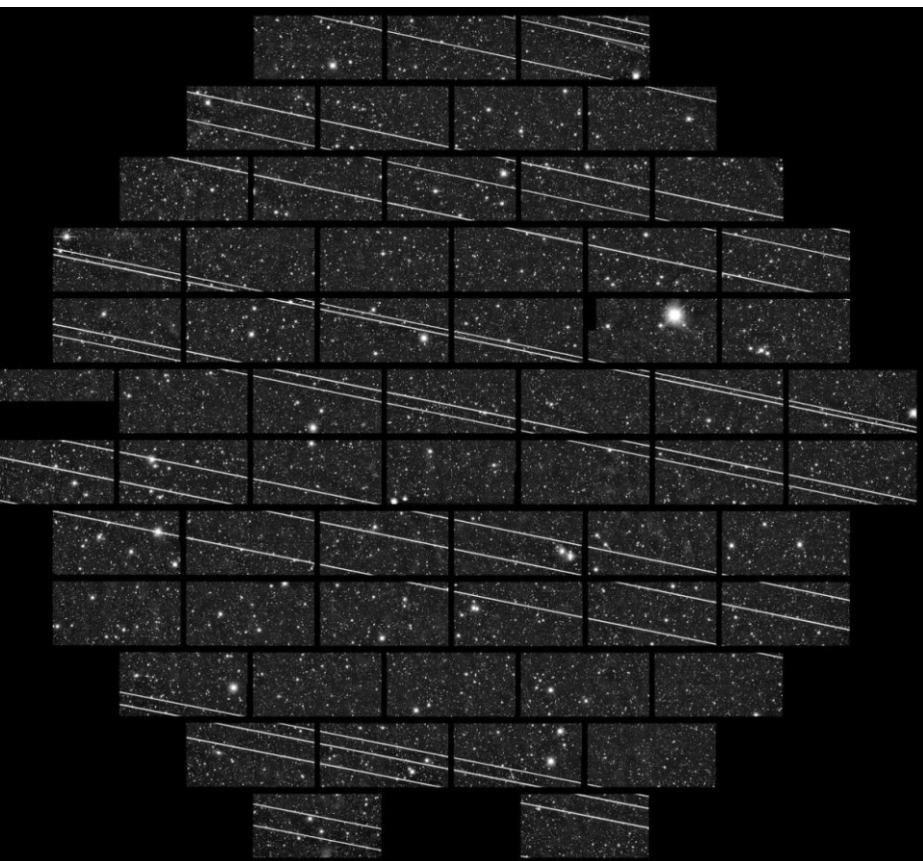
tifícios espúrios, ele deve buscar por pixels brilhantes aglomerados em uma forma específica. Imageticamente falando, o problema é exatamente o mesmo quando escaneamos um cérebro para buscar um possível câncer: nas imagens obtidas, os pixels aglomerados e brilhantes podem indicar o tumor. Por isso, alguns programas astronômicos como o Source Extractor e o Iraf, tão usados pelos profissionais da área, também têm sido de grande valia para médicos.

Seguindo com mais exemplos, a radioastronomia é creditada como principal responsável pela invenção do wi-fi. O estudo das ondas de rádio ruidosas provenientes de um buraco negro distante fez com que cientistas australianos inventassem um dispositivo de transmissão de dados sem fio para evitar a perda de sinal. A patente do dispositivo abriu o caminho para o desenvolvimento da internet sem cabos.

Abaixo
Membros da primeira expedição ao Planalto Central chefiada pelo astrônomo Luiz Cruls. (Crédito: Biblioteca Digital do Senado Federal.)



Embora a astronomia, assim como outras ciências básicas, não tenha pretensões de descobertas com aplicações iminentes, temos referências suficientes que indicam que ela pode trazer frutos e benefícios para a coletividade a longo prazo.



Acima

Imagem de um campo estelar na direção das Nuvens de Magalhães riscado por traços de satélites do Starlink, obtida em novembro de 2019. (Crédito: NOAO, CTIO, AURA, DELVE.)

Crises na ciência

Mesmo diante deste cenário aparentemente benevolente, algumas oportunidades de diálogo entre a ciência e a sociedade foram perdidas. Em parte por isolamento dos acadêmicos, em parte por ausência de escuta. Não podemos

nos esquecer de que a ciência é um empreendimento humano, e como tal, suscetível a conflitos e disputas. Tais disputas podem ter consequências na percepção pública da ciência e refletir na confiança que a população deposita nos pesquisadores. E isso, por sua vez, pode desencadear uma diminuição nos investimentos em pesquisa. Essa crise se agrava ainda mais em tempos de terraplanismo, movimento antivacinas, negacionismo das mudanças climáticas e cortes severos em educação. A desconfiança na ciência só parece crescer.

Na última década, a astronomia tornou-se protagonista de uma polêmica com moradores de regiões próximas a sítios onde grandes telescópios estão hospedados. O caso do Thirty Meter Telescope (TMT) que deveria ter sua edificação no topo da montanha-vulcão Mauna Kea, Havaí, ganhou as páginas de diversos jornais e colocou muitas pessoas numa posição favorável a dos habitantes nativos, que são contra a execução da obra pelo que a montanha para eles representa. Se perguntam: por que é necessário mais um telescópio? por que deveriam aceitar naquela bela paisagem uma estrutura com altura equivalente a um prédio de 18 andares e tamanho de 6 campos de futebol? por que não houve diálogo por parte dos cientistas sobre o instrumento com a-



queles que seriam mais afetados?

Os conflitos no Havaí são tão sérios que o consórcio do TMT já pensou em se mudar para as Ilhas Canárias, Espanha, mas tudo indica que lá enfrentará uma batalha com os ecologistas, já que o telescópio ficaria localizado numa área de proteção ambiental. As maravilhas astronômicas que poderão ser descobertas e os 500 empregos que o TMT gerará parecem não ser suficientes para convencer os habitantes a ignorarem o impacto do empreendimento na paisagem. A astronomia é essencial para o avanço do conhecimento. Mas a natureza é essencial para a nossa sobrevivência.

Para mencionar um caso nacional deste tipo de conflito, lembremo-nos do centro de lançamento de foguetes na base de Alcântara, Maranhão, cuja constru-

ção tentou remover cerca de 800 famílias quilombolas do território, o qual elas têm direito assegurado pela Constituição Federal. O caso é tão grave que as famílias lutam pelos seus direitos em tribunais internacionais.

Em breve, a astronomia vai estar novamente no centro de outra disputa. A flotilha de 12000 satélites que serão enviados ao espaço no âmbito do projeto Starlink pode comprometer severamente as observações astronômicas profissionais. Uma dezena deles já foi colocada em órbita e o resultado foi catastrófico. Por conta de seu brilho, a passagem de satélites aparece como um “risco” nas imagens, dado o tempo de exposição que são obtidas. Entretanto, o projeto justifica-se por levar internet de baixo custo e alto desempenho a todos cantos

Acima
Objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. (Crédito: ONU.)

do planeta. Será que o apelo dos astrônomos para que não “estraguem o céu” será ouvido frente à promessa de internet barata e rápida para todos? Agora somos nós, astrônomas e astrônomos, que nos perguntamos: por que não houve diálogo por parte da empresa que lidera o projeto conosco?



Acima
Projeto educativo GalileoMobile-Amanar com refugiados sarauís em Tindouf, Argélia. (Credito: GalileoMobile.)

Astronomia para um mundo melhor

Aceitar que os avanços científicos e tecnológicos possam violar o direito de grupos minoritários é necessário para que projetos sejam elaborados tendo em conta sua responsabilidade social. Só assim, de fato, a ciência poderá tentar ser benéfica para todos.

Tomando esse desafio como um compromisso, a União Astronômica Internacional criou um escritório dedicado a financiar projetos que contribuam para erra-

dicar problemas graves da sociedade e que estão alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS foram acordados pelos países que integram o consórcio das Nações Unidas e visam concretizar os direitos humanos e tornar o mundo um lugar menos desigual até o ano de 2030.

Para citar algumas iniciativas já financiadas entre muitas, há um projeto no Chipre que usa o fato de o céu não ter fronteiras para promover a paz entre as comunidades grego e turco cipriotas que vivem separadamente na ilha pelo conflito étnico que durou décadas. Outro, que capacita as comunidades do Himalaia a usar telescópios amadores para que possam promover ecoturismo com observação do céu na região e gerar renda. Há uma série de projetos direcionados a meninas, com o intuito de incentivá-las a desenvolver suas habilidades científicas, contribuindo para o balanço de gêneros na área. Há ainda, um número incontável de ações dedicadas a reelaborar os currículos escolares em ciências, melhorando habilidades e competências técnicas necessárias para o século XXI. Recentemente, o escritório fez uma convocação geral para que os astrônomos e astrônomas pudessem se engajar em ações de enfrentamento à covid-19.

Como diria Carl Sagan, a as-

tronomia nos dá grandes lições de humildade. Não somos o centro do nosso sistema solar, nem da nossa galáxia, nem do nosso grupo local, muito menos do universo. Habitamos um pequeno planeta em torno de uma estrela comum. Nosso planeta tem bilhões de anos de vida pela frente. Entretanto, nós humanos como espécie, temos menos, muito menos. Por isso, devemos usar sabiamente nossos conhecimentos. Não podemos nos utilizar da ciência para discursar em prol a um desenvolvimento tecnológico que esmaga e desrespeita outros companheiros de espécie e outras espécies. E sim, lembrando com humildade que somos todos passageiros da mesma nave cósmica, devemos usar os potenciais da astronomia, sejam tecnológicos, sejam afetivos, para que todos possam tirar proveito dessa ciência que nos fascina •

Patrícia Figueiró Spinelli
 Museu de Astron. e Ciências Afins
 patriciaspinelli@mast.br



Acima

Crianças paquistanesas observam um mapa celeste durante as celebrações da campanha IAU100 Pale Blue Dot, um dos eventos que comemoraram o centenário da União Astronômica Internacional. (Crédito: Ahmad Kamal Janjua, IAU OAE/Flickr.)

Contra-capa

Pilares da Nebulosa Carina. Imagem obtida em 2010 em 1 de fevereiro, dia do aniversário de lançamento da Revista Brasileira de Astronomia. (Crédito: NASA/Hubble)



S.A.B.