

Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Ano 2 | Número 8



o Brasil na Missão PLATO

O Planetário do Rio ♦ Astroquímica em Encélado
O Universo em raios X ♦ Chuva de meteoritos em PE

Editorial

Novembro é o mês do quarto e último exemplar do ano de 2020, um ano marcado pela pandemia do COVID-19. Até o momento perdemos 150000 vidas no Brasil e isso não é banal – não podemos e não devemos esquecer. Corrigindo os erros do presente é que podemos imaginar um futuro melhor para todos.

Neste exemplar, a RBA vem lembrar os vários aspectos da divulgação científica e, por isso, apresentamos uma visão distinta do universo através das observações em raios X, que permitiu aos astrônomos entenderem um pouco mais sobre a natureza dos objetos que estudamos. Esta é uma forma de levar ao público geral o que astrônomos profissionais estão investigando, no Brasil e no mundo. Além disso, trazemos ao público informações detalhadas sobre o projeto PLATO, que tem efetiva participação brasileira. Este satélite buscará "outras Terras" em sistemas solares semelhantes ao nosso. Mas a astronomia é uma ciência de interesses amplos que cada vez mais alarga os horizontes de nossa espécie. Procuramos outras Terras e ao mesmo tempo estudamos a química no sistema solar que habitamos – Encélado, um dos satélites naturais de Saturno. Embora a ciência astronômica seja feita, como deve, por profissionais, astrônomos amadores desempenham um papel fundamental no estreitamento da relação entre profissionais e leigos. Afinal, ciência deve dar um retorno para toda a sociedade. A BRAMON nos apresenta um relato sobre a chuva de meteoritos em Santa Filomena. Novembro também o aniversário do Planetário do Rio. Excelente oportunidade para sabermos um pouco mais sobre esta instituição que representa fundamental elo de divulgação científica – vida longa ao Planetário do Rio de Janeiro!

Finalmente, este Novembro marca também a mudança na diretoria da SAB. Queremos agradecer a todos que contribuíram de alguma forma para o contínuo aperfeiçoamento da nossa sociedade. Desejamos à futura diretoria boa sorte na condução da SAB, lembrando sempre que a SAB é de todos para todos.

*Reinaldo Ramos de Carvalho
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira*

Esquerda

Telescópio Gemini Sul durante o entardecer (Crédito: WikiCommons).

Capa

Representação artística do satélite PLATO em sua viagem até o ponto L2 do sistema Terra-Sol (Crédito: H. J. Rocha-Pinto).

Contra-Capa

Nebulosa NGC 6357 em composição de cor para representar a emissão de raios X (púrpura), óptica (azul) e infravermelha (laranja). A imagem foi apelidada de *País das Maravilhas Cósmicas Invernais* (Crédito: NASA).

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 Encélado: Paraíso da Astroquímica

Por Alexandre Bergantini de Souza

12 O Universo em raios X

Por Tatiana Laganá

20 O Planetário do Rio

*Por Naelton Araújo, Flávia Pedroza Lima,
Leandro Guedes, Luís Guilherme Haun &
Wailã de Souza Cruz*

28 O Brasil no PLATO

*Por Eduardo Janot-Pacheco & Fábio de
Oliveira Fialho*

35 Choveu meteorito!

*Por Marcelo Zurita, Gabriel Gonçalves,
Carlos Di Pietro & Daniela Mourão*

44 Irineu G. Varela in memoriam

46 João E. Steiner in memoriam



Encélado

O paraíso congelado da química no Sistema Solar

As sondas espaciais enviadas pela NASA desvelaram mundos completamente fascinantes e distintos, que desafiam a Ciência a desenvolver novas técnicas para explorá-los e entendê-los.

Na mitologia grega, Encélado era um dos chamados *Gigantes*, filho de Gaia (Terra), e adversário de Atena durante a

Gigantomaquia, a guerra entre os Gigantes e os Deuses do Olimpo sobre o controle do Cosmos. Ainda segundo a mitologia grega, Encélado nasceu do sangue que pingou de Urano quando este foi castrado por seu filho, Cronos. Na as-

tronomia, Encélado é um dos satélites naturais do planeta Saturno, o planeta que apresenta os anéis mais proeminentes do Sistema Solar.

Com apenas 500 km de diâmetro, a lua Encélado apresenta características que fazem dela um dos mais interessantes objetos do Sistema Solar, principalmente sob o ponto de vista da astroquímica e astrobiologia. Note que a astro-

sistema planetário. Os outros são a Terra, e as luas Io, de Júpiter, e Tritão, de Netuno. Segundo, Encélado possui água líquida a apenas algumas dezenas de metros abaixo da superfície congelada, e sabemos que a água no estado líquido é um dos mais importantes ingredientes para existência da vida como a conhecemos. A confirmação da presença de água em Encélado foi feita por meio de dados coletados pela missão Cassini-Huygens, que explorou Saturno, seus anéis e luas, tendo sido coordenada pela NASA e pela Agência Espacial Europeia (ESA), com apoio da Agência Espacial Italiana (ASI).

A atividade geológica de Encélado faz com que a temperatura de sua superfície seja mais alta do que previsto por modelos que levam em conta apenas o aquecimento proveniente da radiação Solar. Este fato — que já era uma suspeita levantada há décadas pela sonda Voyager 2 — foi confirmado pela sonda Cassini, que demonstrou que a fonte anômala de calor era na realidade proveniente do interior de Encélado. Uma consequência extraordinária da atividade geológica de Encélado é a intensa ejeção de material a partir de fissuras localizadas no polo sul da lua. Tal fenômeno, conhecido como criovulcanismo (*crio* é a palavra grega para frio ou gelo), se caracteriza pela emissão de água e de outras espécies químicas na forma de gelo e de gás.

química é um ramo da ciência que estuda, entre outras coisas, os mecanismos de reações químicas que ocorrem em ambientes espaciais, e a astrobiologia estuda os aspectos relacionados ao surgimento, detecção e manutenção da vida fora da Terra. Assim como as luas Europa e Tritão, a superfície de Encélado é coberta por gelo e neve. Porém, em Encélado encontramos certas características extraordinárias, que vão além da presença de gelo: primeiro, Encélado é um dos apenas quatro corpos geologicamente ativos do nosso

Na página anterior
Saturno e Encélado.
Composição feita com
imagens da sonda Cassini
(Crédito: NASA, Kevin Gill;
distribuída sobre a Licença
CC BY-SA 2.0).

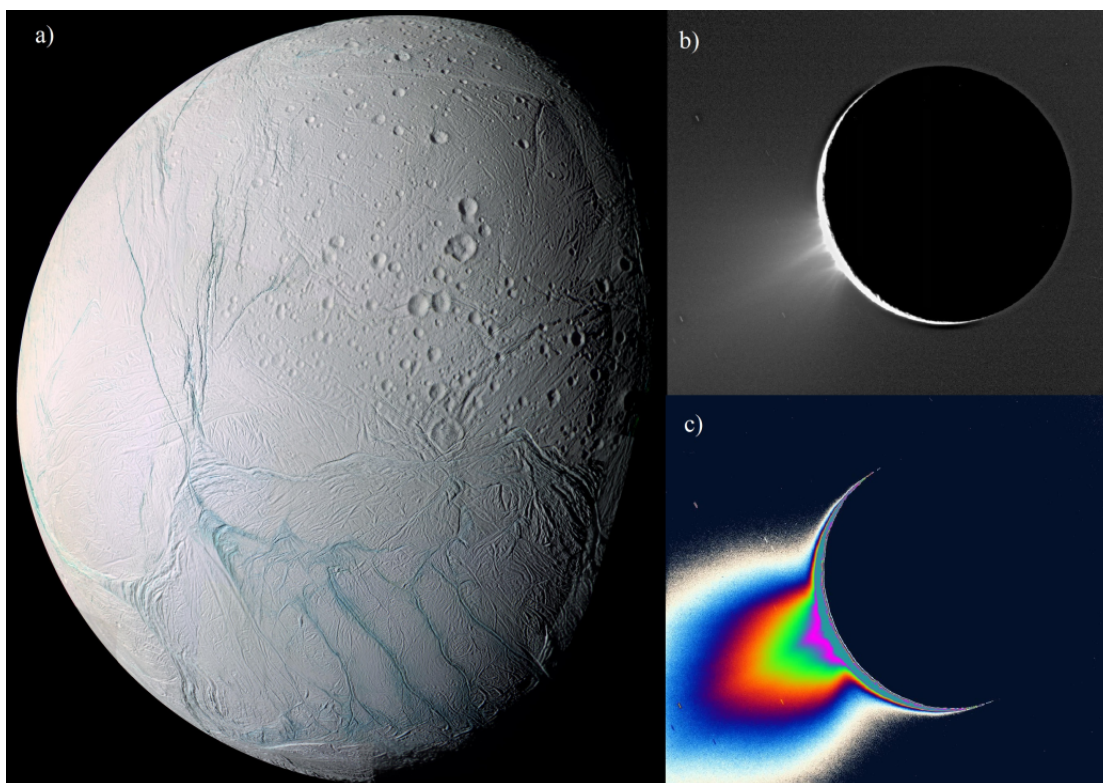
Abaixo

a) Imagem em cor falsa da lua Encélado, obtida pelo instrumento ISS da sonda Cassini, em 14 de julho de 2005. As quatro fissuras ativas (chamadas de *listras de tigre*) aparecem como linhas azuis-esverdeadas, no polo sul da lua; b) Imagem da pluma sendo ejetada da superfície de Encélado; c) versão em cor falsa de b), mostrando a extensão dos jatos que emanam para centenas de quilômetros acima da superfície de Encélado (Crédito: NASA/JPL/SSI).

A descoberta de que Encélado possui criovulcões foi um dos achados mais importantes da missão Cassini. Diante de tal fato, os controladores da missão decidiram que valia a pena alterar a órbita da sonda espacial para fazer com que ela atravessasse a pluma gerada pelo material ejetado pelos vulcões de gelo de Encélado, possibilitando assim que os espectrômetros da Cassini identificassem, *in situ*, quais espécies químicas estavam sendo expelidas do interior da lua em direção ao espaço. Esses dados permitiriam que se estimasse a composição química do material localizado logo abaixo da superfície congelada de Encélado, o qual até aquele momento não se sabia

que se encontrava realmente no estado líquido.

Os sobrevoos da Cassini através da pluma de Encélado forneceram dados relativos às propriedades físicas (como dimensão, temperatura e velocidade), bem como as propriedades químicas, do gás e partículas vindas do interior da lua. As primeiras análises foram feitas por meio de ocultação estelar, usando um espectrômetro na faixa do ultravioleta e visível (UVIS), que revelou que o polo sul de Encélado possuía atmosfera, e que esta região era a mais quente do que qualquer outra região dessa lua. Também se verificou que a densidade de coluna da água na tênue atmosfera do polo sul era de $1,5 \times 10^{16}$ moléculas.

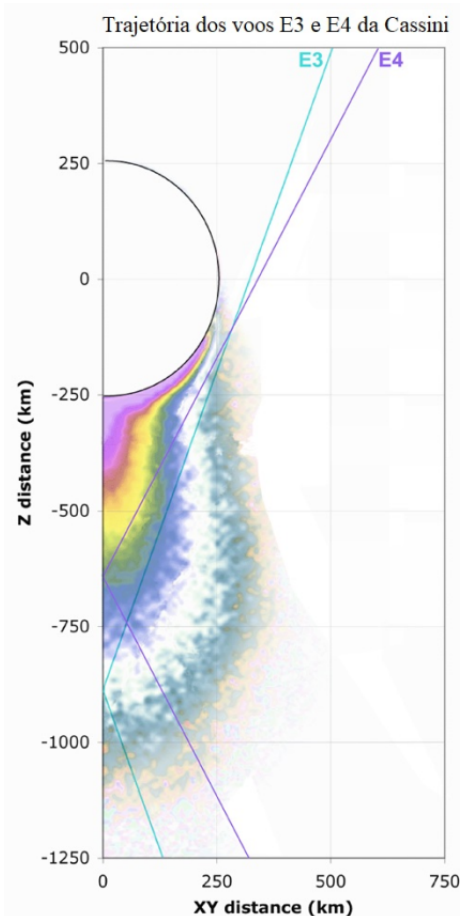


las cm^{-2} (compare com a densidade equivalente na Terra: 3×10^{23} moléculas cm^{-2}) e o gás e grãos de gelo eram ejetados das fendas a uma velocidade de 0,41 m/s, com temperatura média de 145 K. Portanto, apesar de tênue, a atmosfera de Encélado não é desprezível, e a temperatura das moléculas pode permitir que algumas reações químicas ocorram logo abaixo da superfície. A baixa velocidade do material ejetado implica que 99% do gelo e gás volta a cair sobre a superfície, o que explicaria o fato de que algumas regiões da lua são livres de crateras, pois foram recobertas por gelo e neve.

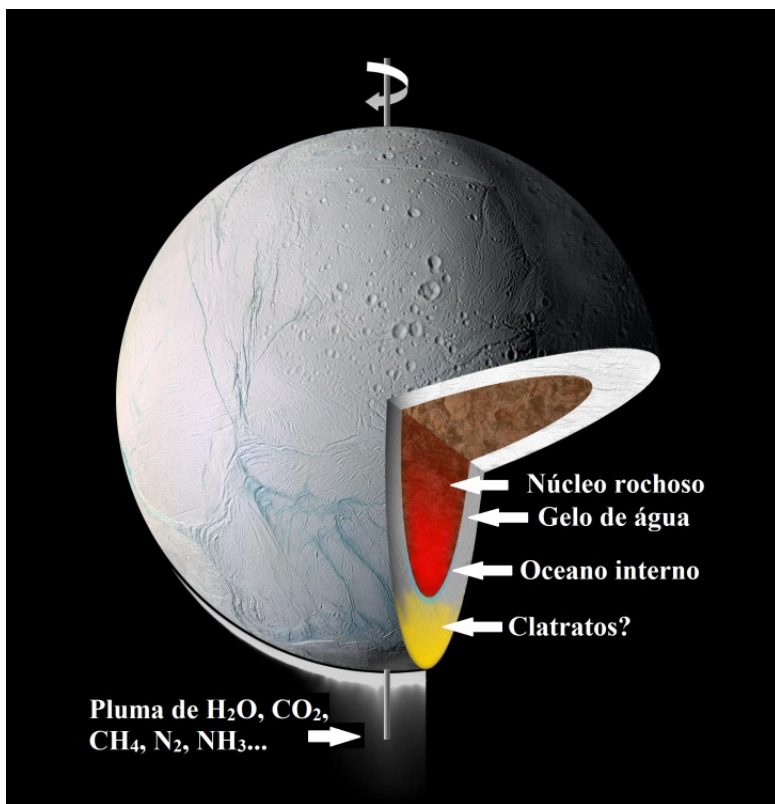
A composição química do material ejetado pelas fendas do polo sul de Encélado foi determinada principalmente por meio dos dados coletados pelo espectrômetro de massas por tempo de voo da Cassini, chamado de INMS. Os dados mostram que as espécies mais abundantes na pluma de Encélado são (em volume) a água (90,10%), seguido de dióxido de carbono (CO_2 ; 5,30%), nitrogênio molecular (N_2 ; 1,10%), metano (CH_4 ; 0,91%), amônia (NH_3 ; 0,82%), acetileno (C_2H_2 ; 0,33%), formaldeído (H_2CO ; 0,31%), hidrocarbonetos C_3H_6 (0,14%), argônio (^{40}Ar , 0,03%), hidrocarbonetos C_4H_8 (0,02%), metanol (CH_3OH ; 0,01%), além de traços (menos do que 0,01% cada) de hidrocarbonetos C_6H_6 , C_4H_6 , C_4H_2 , C_4H_4 , e, finalmente, sulfeto de hidrogênio (H_2S ;

0,002%). Os resultados também mostraram que o anel E de Saturno é composto majoritariamente pelo material ejetado por Encélado. No anel E foram detectadas pequenas quantidades de sódio (Na) e cloro (Cl) em sais como o NaCl (cloreto de sódio) e o NaHCO_3 (hidrogenocarbonato de sódio). Apesar de tais espécies não terem sido diretamente detectadas na pluma de Encélado, restam poucas dúvidas de que elas também se originam do interior da lua, um resultado importantíssimo para compreender a fonte do calor interno de Encélado, uma vez que ele pode ser gerado por decaimento radioativo de espécies como o sódio.

Portanto, ficou constatado que há em Encélado não apenas água em abundância, mas também moléculas orgânicas com potencial prebiótico, em um ambiente no qual há uma fonte interna de calor, e que está sujeito à ação constante de radiação ionizante. Todas essas características são extraordinariamente importantes, pois acredita-se que o surgimento da vida na Terra tenha ocorrido justamente porque fatores como estes estavam aqui presen-



Acima
Trajetórias dos sobrevoos realizados em março (chamado de E3) e outubro (E4) de 2008. A velocidade relativa da sonda Cassini com respeito a Encélado era de 17,7 km/s, ou aproximadamente 64.000 km/h (Crédito: NASA/JPL, adaptada pelo autor.).

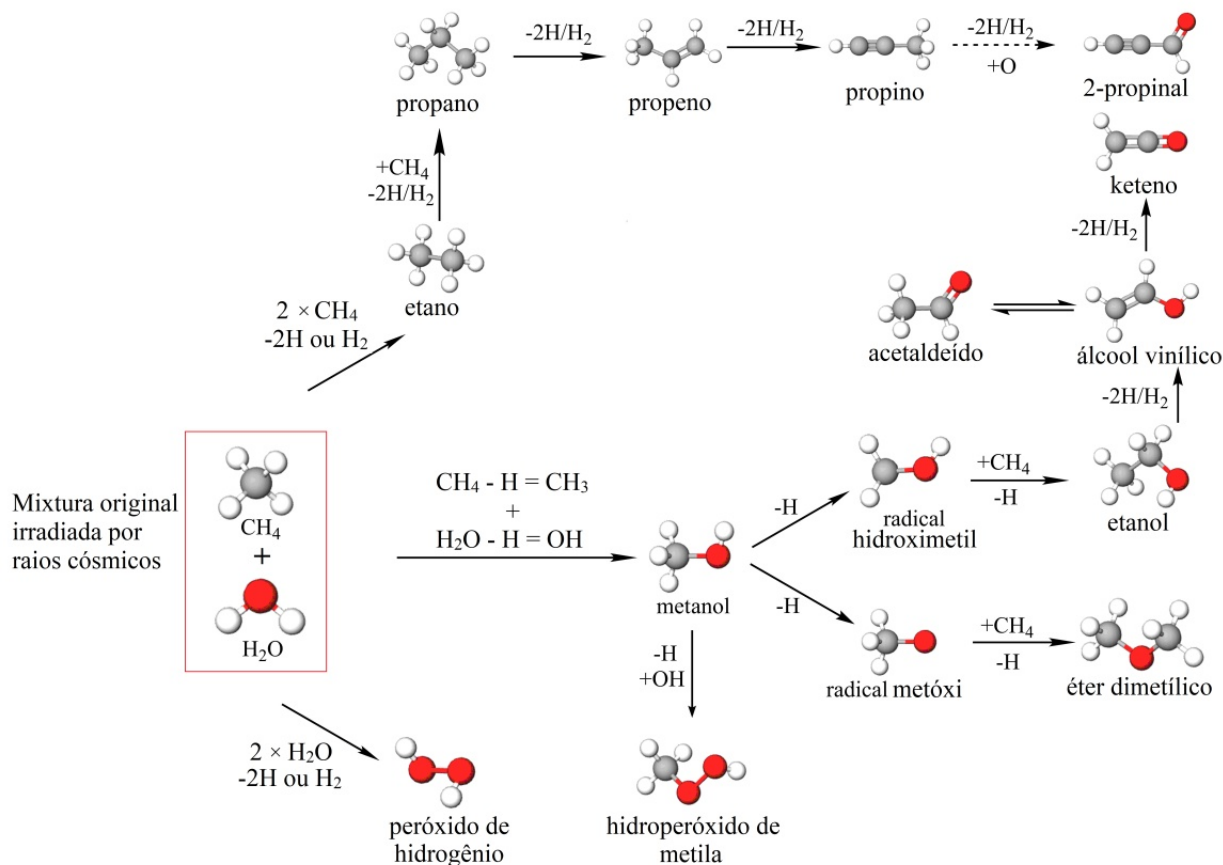


Acima
Desenho esquemático da possível estrutura interna de Encélado. A imagem não está em escala.

tes. É claro que são imensas as diferenças entre a Terra primitiva e Encélado, mas é impossível ignorar o raro potencial para o desenvolvimento de uma química prebiótica (isto é, “anterior à vida”) nessa lua de Saturno!

Contudo, para podermos estimar a complexidade química que Encélado pode abrigar em seu interior ou em sua superfície, precisamos antes entender o que ocorre quando a radiação ionizante interage com espécies químicas como as encontradas em Encélado — lembrando que radiação ionizante é aquela que tem potencial para quebrar ligações químicas. Os principais tipos de radiação ionizante encontrados nas vizinhanças do Sistema Solar

são fótons ultravioleta e de raios X, além de partículas energéticas como elétrons, prótons e raios cósmicos pesados, sejam de origem solar ou galáctica. Um fenômeno físico importante que ocorre quando esse tipo de radiação interage com a matéria é a excitação dos elétrons presentes nas ligações químicas entre os átomos das moléculas que absorvem a energia proveniente da radiação. Ao relaxarem, esses elétrons podem ser “ejetados”, quebrando assim a ligação química entre os átomos. Neste caso, a molécula pode se fragmentar, assumindo um estado momentâneo de desequilíbrio — dizemos então que a molécula está ionizada. Porém, sabemos que a Natureza não gosta de desequilíbrio, e o íon tende a refazer a ligação química perdida o mais rápido possível, para assim readquirir estabilidade. Contudo, a nova ligação não precisa ser, necessariamente, com os mesmos átomos ou íons que a molécula acabou de perder. Na realidade, desde que certas condições físicas estejam presentes, uma molécula ionizada pode se ligar com qualquer outro átomo ou molécula, seja ionizada ou neutra, que se encontre em sua vizinhança (os processos físicos envolvidos são bastante complexos, portanto não os discutiremos em detalhes aqui). Conseqüentemente, nesse processo de religação entre átomos, íons e/ou moléculas neutras, novas es-



pécies são produzidas, e essas podem ser muito mais complexas do que as moléculas individuais envolvidas no processo inicial — é quase como brincar com peças de Lego.

A figura acima mostra um exemplo real dos mecanismos de reação química que podem ocorrer quando água (H_2O) e metano (CH_4), duas espécies simples encontradas em Encélado, são submetidas à ação de radiação ionizante na forma partículas análogas a raios cósmicos. Note que a figura mostra apenas as espécies químicas cuja atribuição foi efetivamente confirmada por meio de uma série técnicas sofisticadas

de espectrometria (novamente em um processo bastante complexo, que não discutiremos em detalhes aqui), bastando saber que a quantidade de espécies químicas produzidas em um experimento tão simples quanto a irradiação de amostras de H_2O e CH_4 é muito maior do que apresentado na figura. Porém, muitas vezes os resultados são complicados demais para serem completamente desvendados, ficando como tarefa para os próximos cientistas fazer novas descobertas sobre o mesmo sistema.

É interessante notar também que muitas das espécies químicas encontradas em Encélado, tais

Acima
Mecanismo de reação de um gelo astrofísico de água e metano ($\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_4$), irradiado em laboratório por partículas análogas a raios cósmicos. Note a variedade de novas espécies químicas identificadas, no experimento, por espectrometria de massas (Crédito: Alexandre Bergantini de Souza).

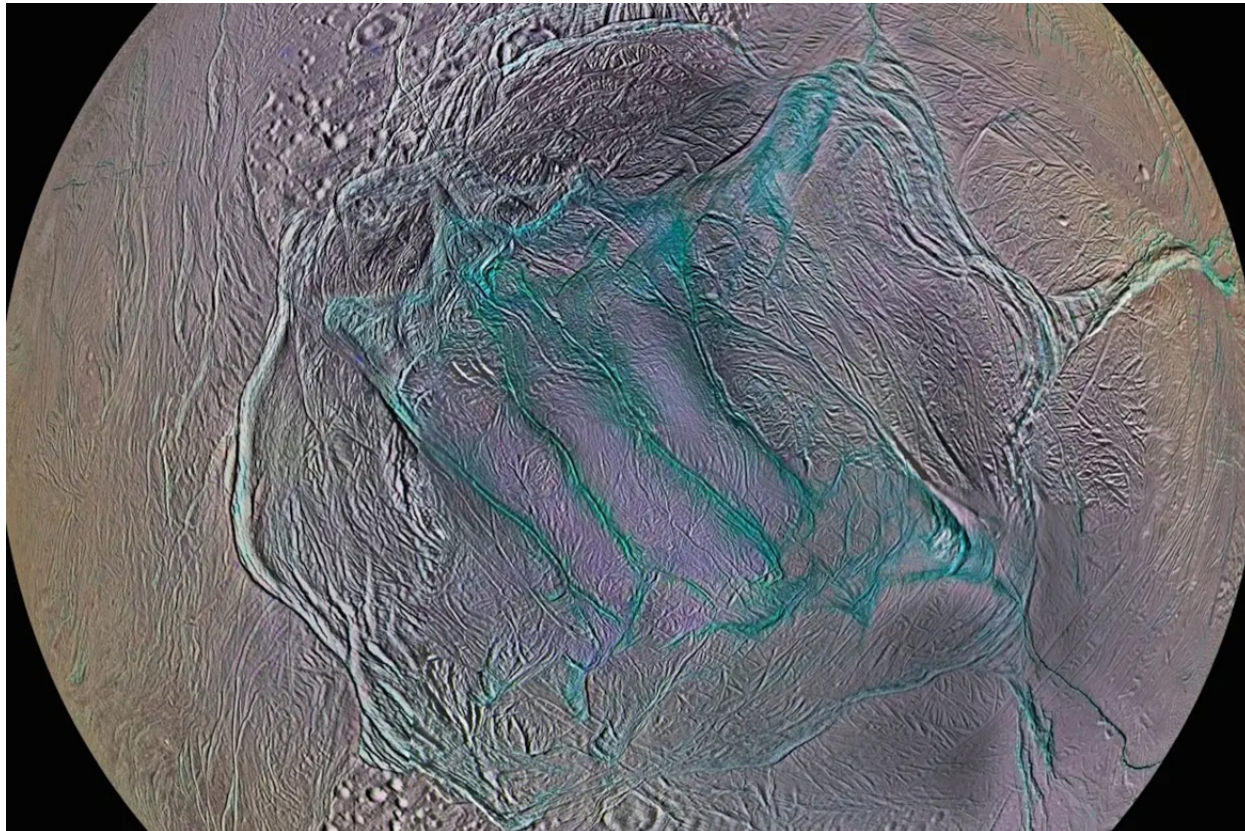
como CO_2 , CH_3OH , CH_4 , NH_3 e H_2O , são também comumente detectadas em objetos estelares jovens (*young stellar objects* — YSOs), ou seja, em estrelas em processo de formação ou que acabaram de se formar. Sabemos que as estrelas nascem do gás e poeira de uma nuvem molecular que colapsa. Portanto, o fato da química de Encélado ser semelhante à de YSOs indica que essa lua ainda guarda, de forma intacta, parte do material que deu origem ao Sistema Solar, podendo, portanto, fornecer pistas sobre o tipo de nuvem molecular que hoje constitui os objetos do nosso sistema planetário.

Em resumo, um lugar com tem-

peraturas “amenas”, água líquida e com disponibilidade de moléculas orgânicas complexas, é algo que muitos cientistas, principalmente de áreas como astroquímica e astrobiologia, sempre buscaram, e Encélado é um dos poucos objetos que reúne essas características no Sistema Solar. Esse fato tem implicações para a hipótese da panspermia, que se baseia na ideia de que a vida possa ter surgido em um ambiente fora da Terra, e pode ter sido trazida para cá por meio de meteoritos. Essa hipótese, que foi levantada pela primeira vez, segundo os registros, pelo filósofo grego Anaxágoras, não explica qual ambiente fora da Terra reuniria as con-

Abaixo

Imagem do polo sul de Encélado, mostrando as famosas listras de tigre, fissuras na superfície da lua associadas ao criovulcanismo (Crédito: NASA/JPL).

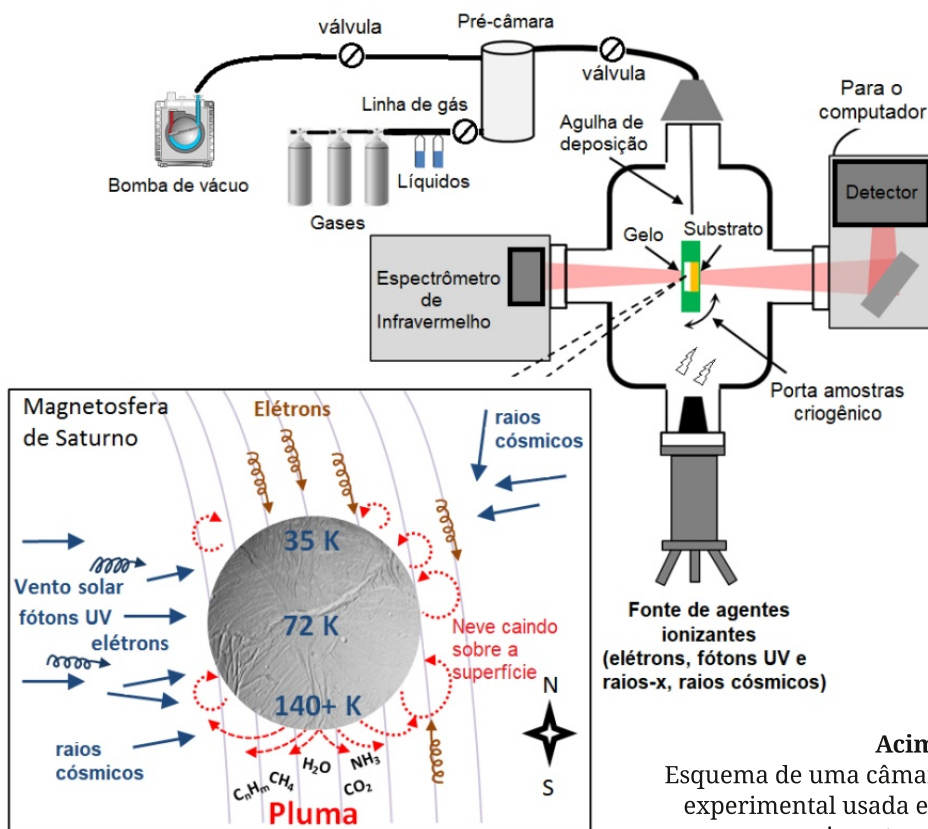


dições “ideais” para o surgimento da vida, daí a necessidade de investigar os objetos com maior potencial para abrigar vida nas nossas vizinhanças. Portanto, podemos afirmar que, apesar dos projetos de exploração espacial como as sondas Voyager 1 e 2, o telescópio espacial Hubble, a missão Cassini-Huygens, entre tantos outros, terem contribuído imensamente para a melhor compreensão do Universo, multiplicando o nosso conhecimento muitas vezes em um curtíssimo

espaço de tempo, eles são incrivelmente complexos e dispendiosos, e sua execução está restrita aos poucos países tecnológica e economicamente desenvolvidos o suficiente para tal. Neste sentido, simulações, feitas em laboratório ou em computadores, representam um desafio tecnológico e econômico muito menor, e podem produzir resultados que ajudam a prever, interpretar e explicar os dados coletados por essas incríveis missões espaciais. É claro que uma técnica não substitui a outra, mas não há dúvidas de que elas se complementam, não devendo jamais serem ignoradas, e é muito importante lembrar que algumas instituições brasileiras

de ensino e pesquisa estão na vanguarda desse tipo de estudo •

Alexandre Bergantini de Souza
 CEFET-RJ
 alexandre.souza@cefet-rj.br



Acima
 Esquema de uma câmara experimental usada em experimentos da astroquímica capazes de simular os mais diversos ambientes espaciais. No canto inferior esquerdo vemos um desenho esquemático dos principais fenômenos físico-químicos que ocorrem próximos à superfície de Encélado, ou seja, o campo de radiação, o gradiente de temperatura e a composição química da pluma (Crédito: acervo pessoal do autor).



O Universo em raios X

O uso de observações na faixa eletromagnética dos raios X permite a exploração de alguns dos ambientes mais extremos do Cosmos. Estamos apenas começando a descobrir esses fenômenos.

O céu noturno sempre serviu de fonte de admiração e mistério para as pessoas. Pode-se dizer que as primeiras impressões sobre o Universo estavam limitadas à sensibilidade do olho humano; ou seja, a uma estreita

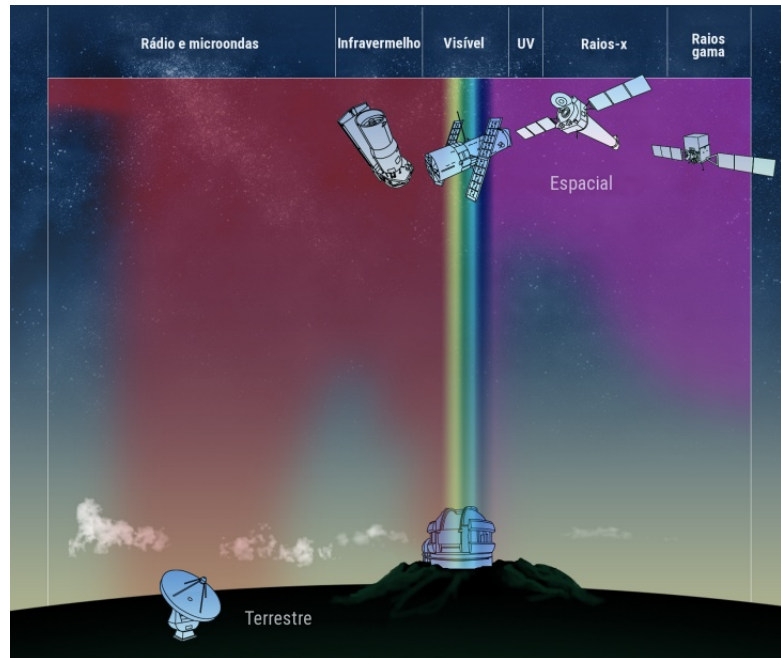
faixa de todas as possíveis frequências da radiação eletromagnética, chamada de *luz visível*. O alcance de visão foi ampliado com a invenção do telescópio mas ainda sim, ficou limitado à luz visível. Apenas recentemente o Universo pode ser observado

em várias frequências possibilitando assim uma compreensão mais abrangente e completa.

Observações em diferentes comprimentos de onda são complementares ao revelarem diferentes estruturas do mesmo objeto. Por exemplo, a galáxia Centaurus A quando observada apenas através do óptico se assemelha à uma galáxia elíptica gigante. Entretanto, observações em raio X revelaram um jato de partículas com velocidades comparáveis à da luz, o qual está associado a um objeto muito compacto no centro dessa galáxia, provavelmente um buraco negro supermassivo.

A dificuldade com os raios X é que eles nunca chegam à superfície da Terra. Então, para observar além do que os olhos são capazes, foram lançados balões e foguetes para fora da atmosfera terrestre, que é espessa o suficiente para barrar a radiação no infravermelho, ultravioleta e em raios X, garantindo assim, a vida na Terra.

No Universo, a maior parte da radiação observada é emitida pelo gás quente dos objetos astrofísicos e é conhecida como radiação térmica. Isto significa que a energia média de cada partícula desse gás é praticamente a mesma e pode ser determinada apenas pela temperatura. Assim, alguns desses objetos emitem principalmente radiação infravermelha, outros principalmente luz visível e outros ainda, emitem prin-



cipalmente em raios X. O que determina o tipo de radiação eletromagnética emitida por esses objetos é a temperatura. Quanto mais quente a fonte dessa radiação, maior a frequência da luz produzida. A frequência de ondas em raios X é cerca de 1 milhão de vezes maior que a da luz visível (aquela captada pelos nossos olhos), correspondendo à objetos com temperaturas superiores a 10 milhões de graus Celsius. Ou seja, observações em raios X irão revelar um Universo extremamente quente!

Mas quando pensamos em raios X, talvez a primeira imagem que venha à nossa cabeça é a de uma radiografia. Para radiografar um osso quebrado por exemplo, a máquina usada tem uma das extremidades composta por uma fonte que emite em raios X e na outra extremidade uma câ-

Acima

Representação da janela de transmissão atmosférica, em vermelho e púrpura. Apenas as frequências correspondentes à luz visível, infravermelho próximo e ondas de rádio são capazes de penetrar a atmosfera e serem observadas em solo. Para outras frequências, é necessário colocar o detector em balões estratosféricos ou mesmo no espaço circun terrestre (Crédito: NASA/Chandra).

Na página anterior

Cassiopeia A (Cas A) observada em raios X pelo telescópio espacial Chandra. Estima-se que esta supernova explodiu há aproximadamente 300 anos mas não há registros históricos de seu avistamento (Crédito: NASA/JPL, Caltech).

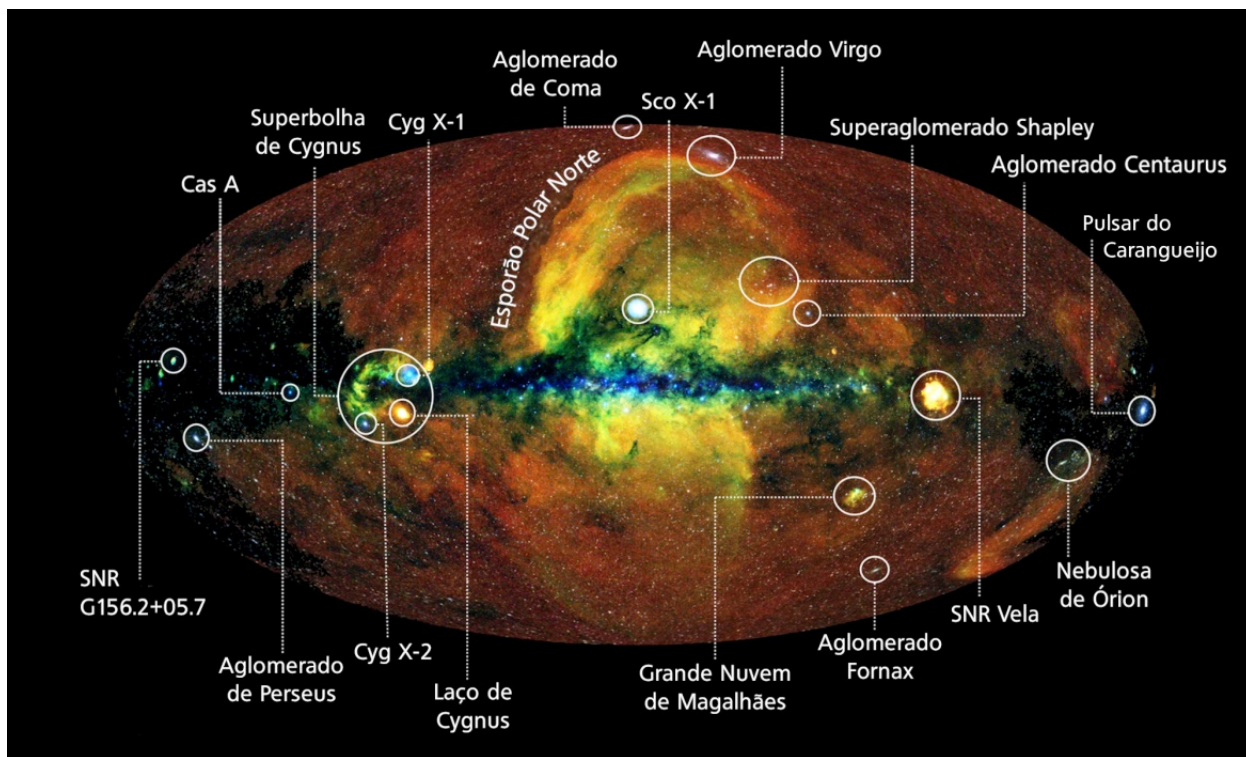
mera ou filme fotográfico. Entre as duas extremidades colocamos o que queremos examinar. No caso do corpo humano, o osso, por ser mais denso do que a pele, bloqueia parte da radiação. Dessa forma, poucos raios X atingirão o filme fotográfico criando uma sombra na imagem que, quando revelada, aparecerá mais clara que o restante da imagem. Fazendo um paralelo dessa situação mais cotidiana com os objetos astrofísicos, pode-se dizer que muitos deles atuam como a fonte emissora em raios X e os satélites fazem o papel da imagem radiografada.

Apesar da descoberta dos raios X ter ocorrido em 1895 (há mais de um século!) pelo físico alemão Wilhelm Roentgen, as observa-

ções astronômicas em raios X são muito recentes e começaram na década de 1960 com balões. Nas décadas de 1970 e 1980, satélites como o Uhuru, Ariel 5, EXOSAT, ROSAT, ASCA e BeppoSAX foram lançados, um atrás do outro, para observar os fenômenos energéticos do Universo. Já na década de 1990 foram lançados outros dois satélites, o americano Chandra e o europeu XMM-Newton, que continuam em operação até hoje e contribuem com o maior banco de dados de observações em raios X. O mais recente satélite para estudos nessa frequência, o eROSITA, lançado em 2019, divulgou em julho deste ano seu primeiro mapeamento do céu mostrando o que seria visto se tivéssemos olhos do super-homem. A-

Abaixo

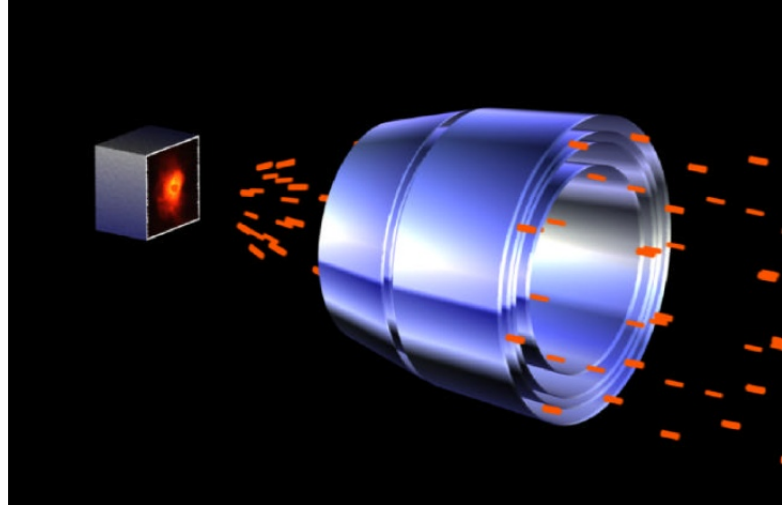
Mapa do céu visível em raios X, em coordenadas galácticas. Este mapa, publicado em julho de 2020, é o mais completo já feito em raios X, mas usa apenas os dados da primeira varredura completa do céu feita pela missão eROSITA, que fará ainda mais sete varreduras completas (Crédito: ESASS/MPE, IKI)



pós meio ano de observação, o telescópio eROSITA já registrou mais de 1 milhão de objetos que brilham nessa frequência, entre os quais encontramos buracos negros devorando a matéria circunvizinha, anãs brancas e estrelas de nêutrons, e gás que permeia as galáxias de um aglomerado de galáxias.

Podemos dizer que, para tais observações, os raios X são tão energéticos que atravessariam o espelho de um telescópio óptico sem nem mesmo perceber sua presença. Assim, os telescópios de raios X têm espelhos feitos de cerâmicas ou folhas metálicas para refletir esse fóton. Além disso, precisam ser orientados de forma que essa radiação atinja o espelho com uma incidência rasante. Para conseguir isso, ele é orientado de forma que as superfícies dos espelhos fiquem quase paralelas à luz incidente.

Já vimos que os raios X são gerados sob condições físicas extremas: em regiões de altíssima temperatura e muito turbulentas onde a matéria chega a milhões de graus Celsius. A fonte mais intensa em raios X do Sistema Solar é, obviamente nossa própria estrela, o Sol. Mas planetas como Vênus, a própria Terra e Júpiter também emitem nessa frequência. Outros objetos observados em raios X são os remanescentes de supernovas: o estágio final da evolução de algumas estrelas que é caracterizado por uma explosão



que lança ao espaço cerca de 90% da massa da estrela. Essa nuvem de detritos estelares, que é chamada de remanescente de supernova, é rapidamente aquecida a temperaturas de milhões de graus podendo ser observada em raios X. Esse é um mecanismo de reciclagem de elementos mais pesados que o hidrogênio muito importante para a astrofísica. A parte que não foi ejetada, é na maioria dos casos, uma estrela de nêutrons (uma estrela que consegue ter a massa do Sol confinada em uma região de 15-30 km de diâmetro) que também emite radiação na frequência de raios X. Um exemplo bastante conhecido de uma estrela de nêutrons e um remanescente de supernova é Cassiopeia A. Um outro exemplo são as chamadas binárias de raios X que, como o próprio nome já diz, são compostas por duas estrelas. Uma delas é uma estrela "normal" e a outra, um objeto compacto que nada mais é que uma estrela no estágio final de sua evolução, co-

Acima
Esquema de construção de um espelho para focalização de raios X. Ao contrário de um espelho óptico parabolóide, um detector de raios X usa placas refletoras orientadas de modo a focalizar raios X rasantes (Crédito: NASA/Chandra).



Acima

Esquerda: imagem de Centaurus A no óptico do telescópio ESO (câmera WFI, Wide-Field Imager), em La Silla, Chile. Direita: uma imagem composta da observação no óptico, em rádio (em cor púrpura) e em raios X (em verde) fornecendo uma das melhores vistas até hoje dos efeitos de um buraco negro supermassivo ativo. Jatos opostos de partículas de alta energia (de cor púrpura na imagem) podem ser vistos se estendendo para os confins da galáxia (Crédito: X-ray: NASA/CXC/CfA/R. Kraft et al.; Radio: NSF/VLA/Univ. Hertfordshire/M. Hardcastle; Optical: ESO/WFI/M. Rejkuba et al.)

mo uma anã branca, uma estrela de nêutrons ou mesmo um buraco negro. Quando essas duas estrelas estão próximas o suficiente, a gravidade do objeto compacto consegue retirar material da companheira, formando um disco de acreção. Esse material é aquecido a temperaturas altíssimas, irradiando em raios X.

Como um último exemplo de objetos que emitem em raios X, podemos citar o gás intra-aglomerado. No processo de formação de um aglomerado de galáxias (um sistema de mais de mil galáxias ligado gravitacionalmente), o gás que permeia essas galáxias é aquecido à temperaturas elevadas e também pode ser visto nessa frequência.

Até aqui vimos vários objetos que emitem em raios X, mas ainda não falamos dos mecanismos pelos quais essas diferentes fontes emitem essa radiação. Existem

três processos para a produção de raios X no Universo: radiação térmica (*bremstrahlung*, que em alemão quer dizer radiação de freamento), radiação síncrotron e emissão de corpo negro.

Bremstrahlung térmico — Esta é a radiação térmica gerada por um gás quente. Quando a temperatura do gás atinge valores superiores à 100 000 K, os átomos desse gás de hidrogênio estão ionizados. Ou seja, podemos considerar que esse gás consiste de íons positivos e elétrons. Quando o elétron passa perto de um íon positivo a força elétrica é intensa o suficiente para alterar sua trajetória. O elétron é então, desacelerado e essa perda de energia cinética é liberada na forma de energia eletromagnética (fótons). Esse mecanismo é conhecido como *bremstrahlung* ou radiação de freamento. Quanto mais alta a temperatura, maior a velocidade

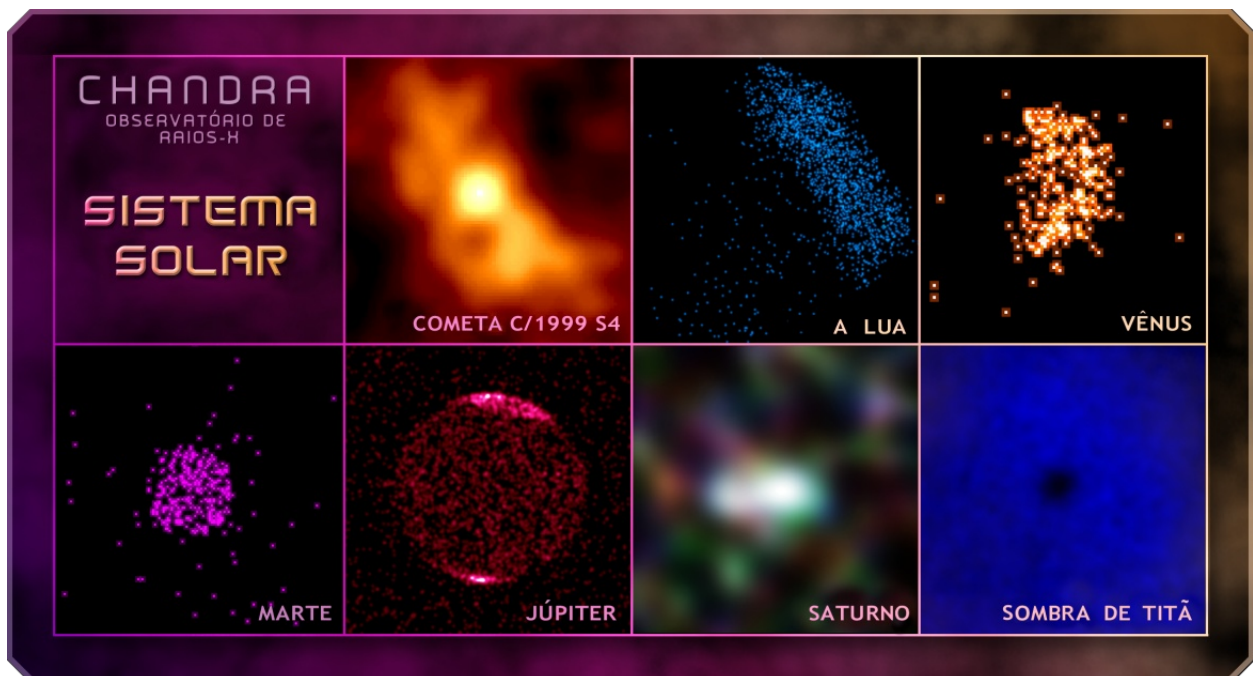
dos elétrons e maior será a energia do fóton emitido. Assim, para temperaturas acima de 1 milhão de graus, os fótons têm predominantemente a frequência em raios X. Nesse mesmo gás quente, também encontramos assinaturas de linhas de emissão. Para temperaturas superiores a 50 milhões de graus, elementos mais pesados que o hidrogênio não estão completamente ionizados (ou seja, nem todos os elétrons estão separados do núcleo). Assim, por exemplo, quando um elétron livre atinge um íon como o do ferro, ele transfere energia cinética para esse íon causando uma transição de um dos elétrons das camadas internas para uma camada mais externa que está vazia. O íon passa a ficar em um estado excitado que, por ser instável, não dura muito tempo. Quando o elétron decai para o es-

tado de menor energia (a camada interna onde ele estava inicialmente), ele libera um fóton com energia exatamente igual à diferença de energia das camadas eletrônicas. Esta radiação aparece como uma linha espectral com energia determinada pela espécie do íon. Podemos dizer que para um gás com 10 milhões de graus Celsius de temperatura, toda energia é irradiada em raios X: metade como *bremstrahlung* térmico, metade como linhas de emissão. Um exemplo desse tipo de radiação acontece no gás intra-aglomerado, já mencionado.

• **Radiação Síncrotron ou *Bremstrahlung* magnético** — Esse tipo de radiação eletromagnética ocorre quando partículas carregadas, como elétrons, são aceleradas radialmente. Ou seja, quando estão sujeitos a uma aceleração perpen-

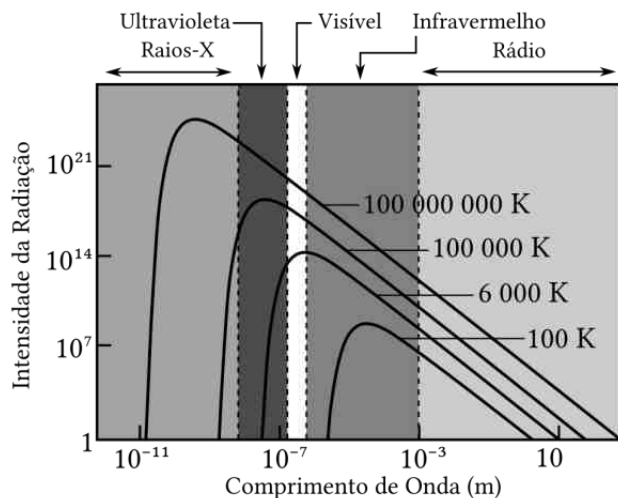
Abaixo

Alguns objetos bem conhecidos do Sistema Solar se tornam muito diferentes quando observados em raios X (Crédito: NASA/Chandra).



Abaixo

Intensidade da radiação em função do comprimento de onda. As curvas pretas mostram espectros de corpo negro para diferentes temperaturas, mostrando que quanto maior a temperatura do corpo emissor menor o comprimento de onda. O pico do espectro de corpo negro de 100 milhões de K está em raios X.



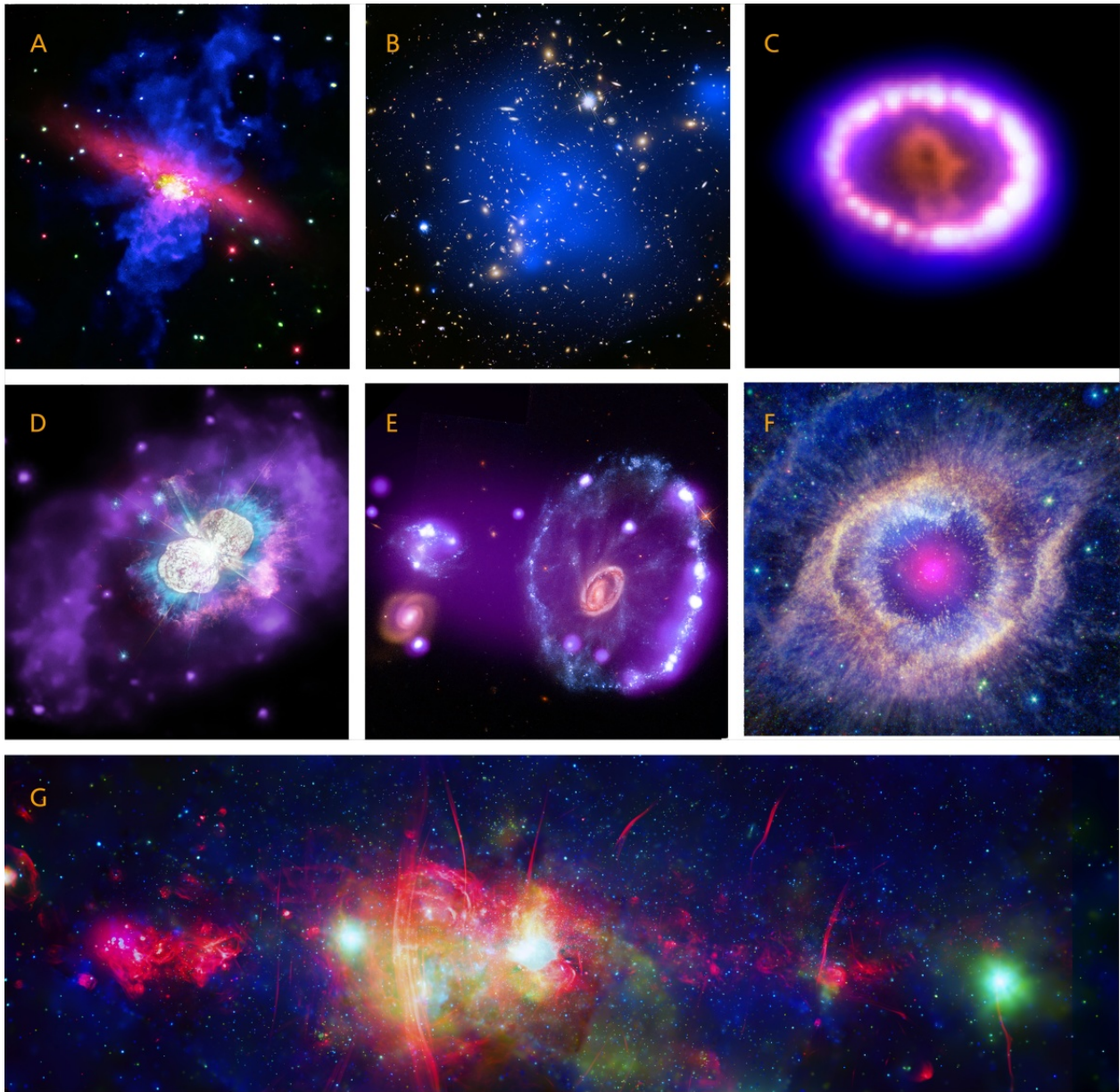
dicular à sua velocidade. Isso ocorre, por exemplo, quando elétrons se movem em uma região de campo magnético. Nessas situações, o campo magnético exerce uma força perpendicular à direção de movimento. Como o vetor velocidade (e aqui devemos lembrar que um vetor é uma grandeza que tem módulo e direção) muda de direção, o elétron é acelerado e, conseqüentemente, emite energia eletromagnética. Esse processo de emissão em raios X é observado em remanescentes de supernovas e buracos negros.

dependente apenas da temperatura, como pode ser visto na figura no canto desta página. Se a temperatura desse gás for da ordem de 1 milhão de graus ou superior, ele emitirá radiação de corpo negro com fótons na faixa de raios X, como é o caso de estrelas de nêutrons.

A frota de telescópios espaciais atualmente em órbita, juntamente com os observatórios terrestres, funcionam como olhos para os cientistas, permitindo com que eles detectem os diferentes comprimentos de onda. De ondas de rádio a raios gama, essa abordagem multifotométrica da astronomia é crucial para se obter uma compreensão completa dos diferentes objetos e dos fenômenos astrofísicos. Em particular, os telescópios de raios X revelaram um Universo extremamente energético, como as estrelas de nêutrons, buracos negros e os remanescentes de supernovas. Essas observações, relativamente recentes na história da astronomia, permitiram a exploração de alguns dos ambientes mais extremos em nosso Universo •

Tatiana F. Laganá
Universidade Cruzeiro do Sul
tflagana@gmail.com

• **Espectro de corpo negro** — Um **corpo negro** é um objeto hipotético que absorveria completamente qualquer radiação incidente sobre ele. O nome corpo negro deve-se ao fato dele ter reflexividade nula. Um corpo negro ideal irradia energia na mesma taxa que absorve e o espectro irradiado é uma curva contínua bem definida, com um máximo cuja posição



Acima

Mosaico de imagens que evidenciam o nível de detalhamento que as observações em raios X podem fornecer para a pesquisa astrofísica. Os painéis correspondem a: A) galáxia M 82 em composição de raios X (azul) e luz visível (vermelho e laranja); B) aglomerado de galáxias Abell 2744, a emissão em raios X (luz azul difusa) mostra a distribuição do gás quente intra-aglomerado; C) Supernova 1987A, a emissão em raios X mostra a localização da onda de choque da explosão da estrela, sob a forma de um anel brilhante; D) Eta Carinae, em composição de raios X (púrpura) com luz visível (branco) e ultravioleta (azul claro) observada pelo Hubble. Os raios X mostram um extenso halo de gás quente formado por erupções antigas desse sistema binário; E) Galáxia da Roda da Carroça, novamente os raios X mostram a presença de gás quente estendido ao redor desse conjunto de galáxias, que sofreu uma colisão há alguns bilhões de anos; F) Composição que usa infravermelho, visível, ultravioleta e raios X para estudar a estrutura da Nebulosa da Hélice; G) Imagem do centro da Via Láctea vista pela emissão em raios X (verde e azul) com ondas de rádio (vermelho). Crédito: NASA, Chandra, Hubble, SKA, Galex.



Planetário do Rio

50 anos de encantamento celeste

Às vésperas de completar meio século de divulgação da Astronomia, a Fundação Planetário se reinventa na pandemia, amplia sua atuação *online* e conquista corações e mentes além das fronteiras cariocas.

Em março de 1970 iniciaram as obras para a construção do Planetário do Estado da Guanabara, depois de muitas discussões do grupo de trabalho que procurava o local ideal para a instalação. O projeto arrojado, de concreto aparente, de autoria dos arquitetos Ricardo e Renato Menescal, começava a tomar forma à beira do Rio Rainha, no lugar do an-

tigo Parque Proletário da Gávea. A missão do futuro planetário era a divulgação científica para o público em geral, especialmente para os grupos escolares.

O projetor de planetário *Space-master*, fabricado pela empresa alemã Carl Zeiss, havia chegado ao Rio em 21 de outubro de 1969 e aguardava no Maracanãzinho até o momento do seu despertar em seu novo lar. As 25 caixas que



continham as partes da cúpula chegaram um pouco depois, em janeiro de 1970, e após a instalação teria 12,5 m de diâmetro e capacidade para 130 pessoas. Além deste espaço, o Planetário viria ainda a contar com um anfiteatro ao ar livre com arquibancadas, um auditório de 200 lugares e um terraço onde seriam instalados telescópios para a observação astronômica.

Os anos 70

A inauguração do Planetário da Gávea, como ficou conhecido, ocorreu no dia 19 de novembro de 1970, com as presenças do então governador Negrão de Lima, o ministro da Educação e Cultura, Jarbas Passarinho, e o secretário de Ciência e Tecnologia do Es-

tado da Guanabara, Arnaldo Niskier. A primeira sessão de planetário, exibida para as autoridades, se chamava “Pequeno Passeio ao Espaço Sideral”, e durava 30 minutos. Foi desenvolvida pela equipe técnica do Planetário, cujo primeiro diretor foi Miécio de Araújo Honkis, astrônomo amador que era também membro da diretoria da Associação Brasileira de Astronomia (A.B.A.).

Ao longo dos cinco dias subsequentes à inauguração, foi a vez dos convidados visitarem o Planetário. Em seguida, foi aberto para o público em geral e o sucesso foi imediato: era o auge da corrida espacial, tendo um homem pisado pela primeira vez o solo lunar no ano anterior. A euforia com os temas relacionados ao Cosmos e

Acima

Anos 70 — No alto à esquerda, vista aérea do prédio do Planetário da Gávea na época da inauguração; abaixo, duas concepções artísticas do Planetário da Guanabara anteriores à escolha da Gávea; no alto à direita, o projetor SpaceMaster e autoridades presentes na inauguração.

Na página anterior

Detalhe da *Nave Escola* mostrando uma projeção sobre Cosmologia.

Abaixo

As cúpulas — No alto à esquerda: cúpula D. Pedro II em Santa Cruz. Abaixo à direita: cúpula Galileu Galilei (em verde e em primeiro plano) e cúpula Carl Sagan (maior em azul ao fundo) na Gávea.

viagens interplanetárias era evidente na imprensa e no cinema. Apesar das obras de urbanização do entorno ainda estarem incompletas, as sessões de cúpula se tornaram um programa concorrido, com longas filas aos finais de semana. Os números são testemunhas deste sucesso: até o dia 31 de dezembro de 1970, o Planetário recebeu 11 mil pessoas em suas sessões. Em 1971, um total de 98 mil pessoas visitaram o Planetário, incluindo grupos escolares. Os programas de planetário foram-se diversificando ao longo da primeira década e se adaptando para receber o público infantil, incorporando personagens, desenhos animados e efeitos sonoros. Com dois telescópios, um Maksutov de 150/2250 mm e um Schmidt Cassegrain

200/2000mm, os astrônomos iniciaram uma das atividades mais tradicionais e queridas do público: a observação do céu. Ao final de 1973, com a passagem do cometa Kohoutek, o Planetário recebeu um grande número de interessados na observação do astro. Nos anos de 1976 e 1977, o Planetário sediou eventos de grande sucesso: a Semana de Ciência e Tecnologia, os ciclos de conferências Astronomia I e II, e o I Encontro de Astronomia e Astrofísica.

Unindo ciência e arte, em 1978 o Planetário entrou para o circuito musical carioca com o projeto “Encontro de Choros e Concertos com as Estrelas”, recebendo cerca de 9 mil pessoas nos eventos. Neste mesmo ano, foi instituída a profissão de astrônomo no município do Rio de Janeiro, sendo Ed-



gar Rangel Neto e Órmis Durval Rossi os primeiros astrônomos contratados. Em 1979 foi inaugurada a Biblioteca Giordano Bruno, com um acervo especializado em Astronomia e Ciências Afins.

Ao final da década de 1970 o Planetário já havia conquistado definitivamente o coração dos cariocas, cumprindo sua pioneira missão de divulgação da Astronomia na cidade do Rio de Janeiro e atraindo, ao todo, mais de 500 mil pessoas.

Os anos 80

A chegada dos anos 1980 prometia grandes conquistas para o Planetário e para a Astronomia: o cometa Halley, as sondas Voyager chegando aos planetas gigantes e o lançamento dos ônibus espaciais.

Logo no início da década, foram oferecidos cursos de curta duração para o público em geral, amantes da Astronomia, criando assim um novo modelo de divulgação científica. Diversos cursos foram criados e aquele que atraiu o maior público foi o “Identificação do Céu”, o mais procurado ainda hoje.

Já no ano de 1986, com a expectativa da passagem do cometa Halley, foram preparadas uma grande exposição, palestras, observações diárias e um novo programa de planetário: “Eu vi o cometa Halley”. Foi criado um sistema de auxílio, o “Disk-Halley”, que informava os melhores locais,

dia e horário de observação. Pena que o cometa não colaborou!

Ao fim desta década, após anos de desgastes, uma ampla reforma foi executada e o Planetário pode melhorar seus serviços retornando à sua excelência no oferecimento de conteúdos voltados para a difusão da Astronomia. Assim, foram intensificados os oferecimentos dos cursos: Introdução à Astrofísica, Sistema Solar, Mestre amador e Capitão amador; além do Centro Fotográfico do Planetário (FOPLA), que oferecia cursos de astrofotografia.

Ainda faziam parte do espaço do Planetário a Galeria Espaço, a Livraria Iuri Gagarin, a Sala de Estudos Manoel Maurício de Albuquerque e o Teatro Bertolt Brecht.



Os anos 90

O Planetário continuava a se destacar por seus eventos. Em 1991, recebeu a exposição itinerante do ESO (European Southern Observatory). Depois de passar por cidades como Paris e Madri,

Abaixo

Interior da cúpula Carl Sagan com 277 lugares. Detalhe à direita: escola pública municipal assistindo uma sessão de planetário.



chegou ao Rio de Janeiro e integrou ao ciclo de palestras e fórum de debates “Planeta Terra — Nosso Destino Comum”, que discutia Astronomia e meio ambiente. Recebeu cerca de 100 mil visitantes.

No ano seguinte, outro acontecimento extraordinário foi organizado pelo Planetário: o “Voo do Eclipse”. Um eclipse total do Sol aconteceu a 900 km da costa brasileira e uma comitiva de 80 pessoas foi reunida para observar e estudar o fenômeno do avião. O grupo contava com cientistas, jornalistas e estudantes selecionados em um concurso promovido por um jornal. Houve uma

grande repercussão nos meios de comunicação nacional e internacional.

Uma importante mudança na instituição aconteceu em 1993, com a alteração de seu status jurídico e administrativo: foi transformada em fundação. A reformulação possibilitou maior autonomia aos processos, à gerência e à captação de recursos. Um novo caminho começava a ser traçado para a Fundação Planetário da Cidade do Rio de Janeiro.

Em 1996, mais um atividade foi inserida em sua programação voltada para crianças, a colônia de férias “Brincando e Aprendendo

Abaixo

Rampa para o segundo piso com os planeta em escala de tamanho no alto e os experimentos interativos ao fundo.



Astronomia”, oferecendo de forma didática e lúdica conceitos astronômicos. Seu sucesso foi tão grande que até hoje ela é oferecida às crianças fascinadas por ciências. Foi neste ano também que um concurso público permitiu a incorporação de mais astrônomos aos seus quadros.

No ano seguinte, em 1997, o Planetário passou a organizar uma série de palestras chamada “Ciclo XXI”, que debatia questões científicas, sociais e a chegada de um novo milênio. O sucesso era medido pelas centenas de pessoas que participavam do evento que passou a ser anual e durou, com algumas interrupções, até 2007.

Com uma procura cada vez maior, o Planetário chegava no limite da sua capacidade. A ideia de uma nova edificação com um novo equipamento tornou-se a meta da década. Em setembro de 1998, um passo definitivo em sua trajetória foi dado com a inauguração de um prédio de quatro pavimentos que abrigaria um museu interativo, o Museu do Universo, e um dos planetários mais modernos da época, o *Universarium VIII*. Este modelo recria um céu com 9100 estrelas, em uma cúpula de 23 m de diâmetro, com capacidade para 277 pessoas. No prédio foram implementadas a Sala de Observação Solar, um Pêndulo de Foucault e uma Meridiana: o embrião do museu que viria no novo milênio.



Os anos 2000

Ao completar 30 anos, o Planetário preencheu o prédio novo com atividades memoráveis, ocupando um lugar de destaque na vida cultural carioca. Cursos, palestras e exposições se sucederam trazendo milhares de pessoas de todas as idades ávidas por conhecimento. Espaços novos, como o “Cinema Contínuo”, abasteceram uma miríade de visitantes com divulgação científica de qualidade. A instituição não se restringiu aos seus muros: visitou destinos distantes de forma itinerante.

Em 2001, foi lançado o projeto “Música nas Estrelas”: um recital musical gratuito em meio à projeção de estrelas, planetas e constelações na cúpula Carl Sagan. Ao inaugurar a Praça dos Telescópios, os visitantes tinham um lugar mais amplo para observar o céu acompanhados por uma equipe de astrônomos. A observação astronômica orientada e gratuita é um ponto forte do Planetário.

Mais que um desfile de exposições, essa década assiste à fun-

Acima

Praça dos telescópios, onde semanalmente o público avulso tem oportunidade de observar os astros orientados pelos astrônomos.

damentação do Museu do Universo. Baseado em interatividade, o museu enriqueceu a visita ao Planetário muito além do show das estrelas. Em 2004, a Nave Escola foi inaugurada. Um ambiente inspirado em ficção científica que estimula a imaginação. Ali são tratados assuntos como Cosmologia, Astronautica, Astrobiologia e Sistema Solar através de recursos tecnológicos mantendo uma ambientação futurista. Ainda naquele ano aconteceu o último concurso para astrônomos na instituição.

Em 2008 foi inaugurada a terceira cúpula da Fundação Planetário: a cúpula Dom Pedro II, na *Cidade das Crianças* no distante bairro de Santa Cruz. Esta cúpula abrigou o primeiro planetário digital público no Brasil. A imersão, a versatilidade e o dinamismo de uma sessão *fulldome* trouxeram novas perspectivas ao espetáculo de planetários.

Nesta década, várias exposições de curta duração foram elaboradas para o Museu do Universo. A exposição "Filhos do Sol, Filhos da Lua — O Céu e o Tempo para os povos nativos das Américas",

inaugurada em 2008, foi uma exposição pioneira nesta temática no Brasil.

Quando a 62ª Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) declarou 2009 o Ano Internacional da Astronomia, a Fundação Planetário teve uma oportunidade de ouro. Naquele ano foi comemorado o 4.º centenário das observações telescópicas de Galileu e da publicação do livro "Astronomia Nova" de Kepler. O Planetário sediou o evento de Abertura do Ano da Astronomia no Brasil. A instituição participou da XXVII Assembleia Geral da União Internacional de Astronomia, ocorrida no Rio de Janeiro, e sediou o III Simpósio de Cometas da LIADA (Liga Iberoamericana de Astronomia), reunindo astrônomos amadores e profissionais.

2010 até hoje

No início da última década tivemos a confirmação de que a divulgação científica precisa andar junto à arte quando recebemos, em 2012 e 2013, cerca de 17 mil pessoas em duas JEDICON (Con-

Abaixo

Entrada do Planetário do Rio de Janeiro.



venção Nacional de Fãs de *Star Wars*). Ali, lotando um centro de ciências, estavam milhares de fãs de uma saga de ficção científica, alguns pela ciência envolvida na ficção, outros apenas pela dramaturgia, mas todos dentro de um planetário.

Esta última década foi marcada por profundas transformações internas. Os primeiros astrônomos que participaram da criação da instituição começam a se aposentar, deixando o legado de experiências que deram parâmetros importantes para o futuro. Em 2018 o Planetário intensifica seu atendimento ao público, passando a oferecer a atividade de observação do céu também aos sábados. Na mesma época a instituição abre suas portas para a realização de eventos culturais em diversas áreas como shows de jazz, música eletrônica e feiras de *food truck*. A maior quantidade de eventos fez o Planetário estar mais presente nas mídias e a instituição experimenta um aumento de público sem precedentes. Em paralelo, o Planetário aumenta sua produção científica.

Em 2020, ano em que completa seu cinquentenário, o Planetário do Rio e o mundo inteiro vivem tempos difíceis ou turbulentos que não deixam outra alternativa senão a reinvenção. A pandemia de Covid-19 que marcou este ano obriga a criar um outro Planetário, que se soma ao Planetário já existente. A instituição age com

muita rapidez para se adaptar à realidade e atingir um público em quarentena. Ofereceu os primeiros cursos on-line de Astronomia em português, gratuitos e abertos ao público. Lança o concurso de fotografia “O Céu da Sua Janela” e inicia na Astronomia a aproximação das atividades de observação do céu com o público cego e com baixa visão através de audiodescrição. Desde janeiro de 2020 até o momento, os seguidores no Youtube aumentaram em 1885% e cerca de 400 mil pessoas frequentam nossas redes sociais.

Dentre os vários aprendizados obtidos nesses 50 anos, talvez o principal tenha sido que a divulgação científica deve, em primeiro lugar, ser inspiradora, ou seja, tocar corações. Nenhuma ciência é compreendida, nem sequer respeitada, se for dura em sua relação com os leigos. O Planetário do Rio de Janeiro continuará preenchendo as lacunas que existem entre a população e a ciência pelos próximos 50 anos •

*Naelton Mendes de Araujo, Flavia
Pedroza Lima, Leandro Guedes,
Luís Guilherme Haun & Wailã de
Souza Cruz
Planetário do Rio de Janeiro
naelton@yahoo.com*



PLATO

Astrofísica e Engenharia brasileiras no espaço

Um novo satélite europeu promete revolucionar a busca por planetas extrassolares na próxima década. E há brasileiros envolvidos neste projeto! Seria este o engenho humano que consagrará nossa busca por um mundo similar ao nosso?

O estudo de planetas em órbita de outras estrelas que não o Sol (os chamados planetas extrassolares, ou exoplanetas) é um dos temas mais interessantes da ciência do século XXI. Um dos objetivos-chave dessa área de pesquisa é descobrir e entender as pro-

priedades de outros mundos semelhantes à Terra e, no futuro, verificar se possuem alguma forma de vida. Isso atende a uma das mais antigas questões que o ser humano já se pôs: “estamos sozinhos no Universo?”. A nova missão espacial PLATO (*PLANetary Transits and Oscillations of stars*),

da Agência Espacial Europeia — ESA, irá detectar exoplanetas do tipo terrestre na Zona Habitável de estrelas semelhantes ao Sol e determinar suas propriedades físicas e suas idades com grande precisão. Seu lançamento está previsto para 2026, e será o resultado de um tremendo esforço científico e tecnológico de centenas de europeus e brasileiros. Esse esforço resultará numa precisão fotométrica nunca antes atingida por um instrumento no espaço e, complementarmente, está impulsionando o desenvolvimento em solo de instrumentação em espectroscopia de altíssima resolução e estabilidade, garantindo assim as observações complementares de solo (“*follow-up*”), indispensáveis para a determinação das massas dos exoplanetas. Astrofísicos e engenheiros brasileiros participam da missão PLATO, e o Brasil terá acesso privilegiado aos dados.

Exoplanetas e a Zona Habitável

A molécula orgânica do ADN (ácido desoxirribonucleico) caracteriza cada ser vivo do planeta Terra e é a responsável por transmitir suas características a seus descendentes. Mesmo que todo o cenário para a formação da vida em nosso planeta não seja conhecido, não há dúvida de que ela foi baseada no carbono, e utilizou a água em estado líquido como solvente. Mais ainda, a manutenção desse tipo de vida (a única que co-

nhecemos), para a grande maioria dos seres vivos terrestres necessita de água em estado líquido para sobreviver. É natural supor que, o que deu certo química e fisicamente aqui, possa se repetir em outros planetas, não se podendo perder de vista a imensa diversidade de formas que a vida terrestre pode assumir.

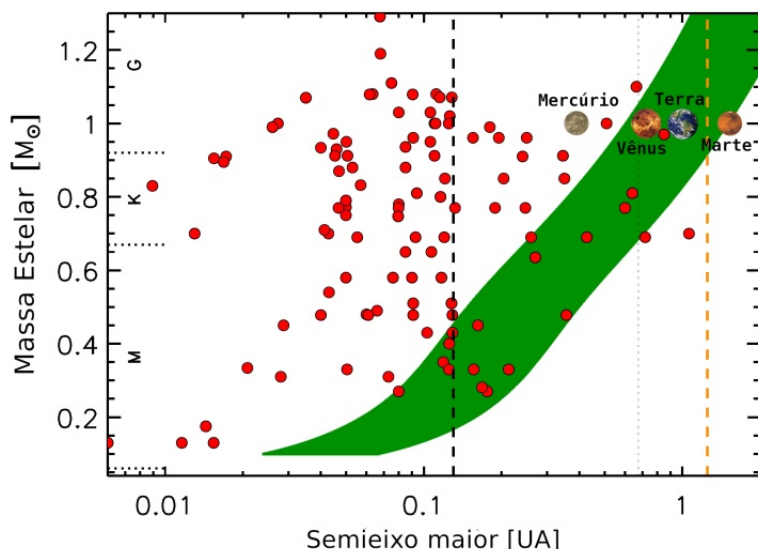
O conceito de Zona Habitável surge naturalmente do exposto acima: a Zona Habitável de uma estrela é a região a seu redor onde a temperatura na superfície de um planeta aí situado permite a existência de água líquida (isto é, aproximadamente entre 0 e 100°C), como é o caso da Terra. Não discutiremos aqui os vários aspectos físicos subjacentes e importantes a essa condição, como a presença e as características da atmosfera do planeta, a existência de um campo magnético e de luas, a massa do planeta, etc...

Graças sobretudo a observações com satélites, descobrimos até hoje cerca de 4500 exoplanetas e outros tantos candidatos. Já identificamos mais de 3000 sistemas planetários com mais de um planeta. Essas descobertas, realizadas em grande parte pelo satélite Ke-

Na página anterior
Composição artística que mostra o satélite PLATO no espaço, diante de um campo estelar cruzado pela Via Láctea.

Abaixo
Logotipo oficial da missão (Crédito: ESA, PLATO).





Acima

Diagrama semieixo maior de exoplanetas de baixa massa conhecidos até hoje, versus a massa das estrelas hospedeiras, em relação à posição da Zona Habitável (ZH), mostrada em verde. Mercúrio, Vênus e a Terra estão representados. Vê-se que não há exoplanetas conhecidos na ZH, com exceção de alguns poucos que giram em torno de estrelas anãs vermelhas (de pequena massa). O objetivo principal do PLATO será descobrir planetas na zona verde deste diagrama, determinando com grande precisão seus parâmetros físicos e idades. A grande expectativa para a astrobiologia, é a descoberta de planetas pequenos e rochosos como a Terra, girando em torno de estrelas parecidas com o Sol, com períodos orbitais próximos de um ano. Eles seriam “gêmeos” de nosso planeta (Crédito: Consórcio PLATO).

pler da NASA, se limitam a uma região diminuta da Via Láctea, e estima-se que existam em nossa galáxia algo como 6 bilhões de planetas semelhantes à Terra em órbita que os colocam na Zona Habitável de estrelas parecidas com o Sol.

O Satélite PLATO

PLATO terá um tipo de telescópio espacial completamente novo: ele vai usar uma rede de telescópios, em vez de um único conjunto óptico. Utilizará também câmeras de alta qualidade, e terá a vantagem de observar continuamente a partir do espaço, pois ficará estacionado no ponto de Lagrange L2, sem a interrupção causada pelo nascer do Sol e sem sofrer os efeitos causados pela turbulência atmosférica como ocorre com observações do solo. Ao longo de sua vida, o satélite observará cerca de um milhão de estrelas!

Essa missão se concentrará na busca por planetas tão pequenos quanto a Terra, situados a distâncias de suas estrelas semelhantes à da Terra ao Sol (“gêmeas da Terra”). Até agora, apenas alguns exoplanetas um pouco maiores do que a Terra (“super-Terras”) foram descobertos nessas condições.

Ela irá determinar, com precisão nunca atingida, os tamanhos, massas e idades dos sistemas planetários que irá encontrar. Por isso, comparações detalhadas com nosso próprio Sistema Solar serão feitas. Assim, poderemos responder a questões do tipo: “*Como os sistemas planetários se formam e evoluem?*”, “*Nosso Sistema Solar é especial, ou existem outros sistemas como o nosso?*” e “*Existem outros planetas potencialmente habitáveis?*”.

Cientistas de algumas das principais universidades e centros de pesquisas em astronomia do país (p. ex., UFRN, UFMG, UFRJ, Observatório Nacional, Univ. Mackenzie, Instituto Mauá de Tecnologia, USP, UEPG, etc...) estão engajados, pelo lado brasileiro, na missão espacial PLATO. Em astrofísica, assuntos dos mais variados serão abordados pelos brasileiros: sismologia estelar, estrelas variáveis, anãs brancas, rotação estelar, evolução comparada do Sol, e exoplanetas (incluindo determinações orbitais e marés).

O satélite irá encontrar planetas através da obstrução periódica da luz da estrela causada por um pla-

neta que atravessa em sua frente, como num mini-eclipse, no que é chamado de método dos trânsitos.

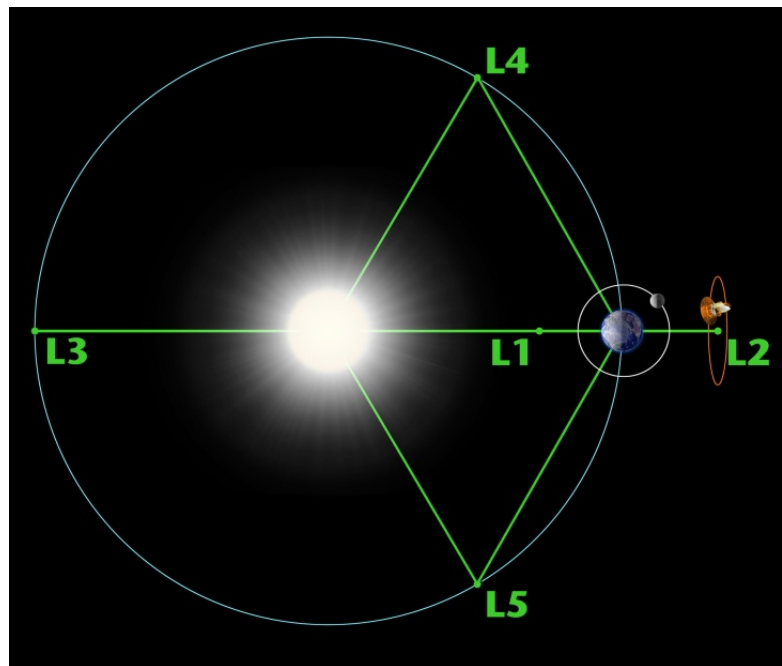
Ele vai também medir pequenas variações na luz das estrelas, causadas por pulsações não-radiais, uma área da astrofísica chamada de astrossismologia. Assim como se estuda o interior da Terra via sismologia terrestre, essas pulsações fornecem dados sobre a estrutura interna das estrelas, permitindo uma determinação ultraprecisa de suas características físicas e, por extensão, das de seus planetas também. A precisão dessas medidas asterossismológicas com o PLATO será maior do que todos os experimentos anteriores de busca por planetas, particularmente nos casos de sistemas planetários semelhantes ao nosso Sistema Solar.

PLATO e a próxima década

Os objetivos científicos do PLATO foram baseados em projetos anteriores de sucesso, como o telescópio espacial franco-europeu-brasileiro CoRoT e a missão Kepler da NASA. Serão também levados em conta os conceitos das missões espaciais atuais, como o TESS da NASA, e o CHEOPS da ESA.

O consórcio dessa nova missão da ESA é o resultado de uma forte colaboração sobretudo europeia, mas que inclui também o Brasil. Ela vai assumir um papel de liderança na busca por planetas extrassolares habitáveis na próxima

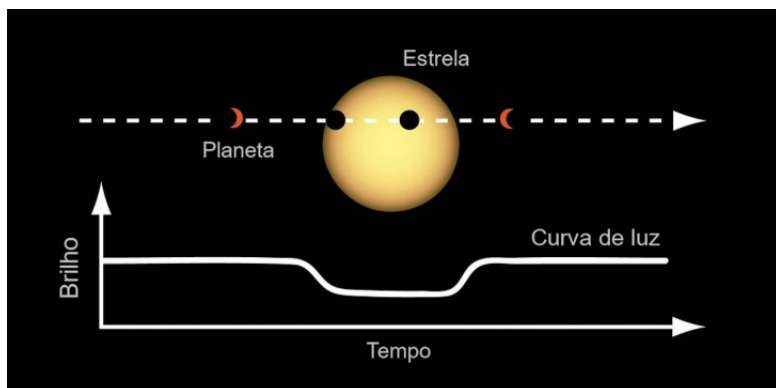
década. A missão irá gerar um catálogo de planetas potencialmente habitáveis, que será a base para observações complementares, visando estudar suas atmosferas. Isso será feito através dos telescópios gigantes contemporâneos, como o ELT-ESO e os americanos TMT e GMT (do qual o Brasil terá cerca de 4% do tempo), além, naturalmente da próxima geração de grandes telescópios espaciais, como o telescópio espacial James Webb da NASA, e a missão Ariel da ESA.



Descobrir se um planeta é rochoso como a Terra

Somente através da medida da massa e do raio de um planeta é que conseguimos distinguir entre um "mini-Netuno", com um alto teor de gás, mas uma baixa den-

Acima
Ponto de Lagrange L2 do Sistema Sol-Terra. Na figura é representado o satélite Gaia da Agência Espacial Europeia (ESA). O satélite PLATO será posicionado na mesma região (Crédito: ESA).



Acima
Ilustração do método de trânsito planetário. Ao passar em frente à estrela hospedeira, o planeta provoca a ocultação da luz, percebida pela queda no brilho observado da estrela.

sidade, e um planeta rochoso com um núcleo de ferro, como a Terra. Sem essa informação, a habitabilidade de um planeta não pode ser determinada. O raio de um exoplaneta é determinado quando ele passa diante de sua estrela, e o PLATO nos fornecerá essa informação. Mas a massa só pode ser determinada através da diminuta perturbação gravitacional que o planeta causa em sua estrela, ao orbitar em torno dela. Quanto menor um planeta e mais distante está de sua estrela, menor é a perturbação. Assim, esse efeito só pode ser medido através de observações do solo em grandes telescópios durante muitos dias, com aparelhos extremamente precisos chamados espectrógrafos, como o HARPS (no visível) e o NIRPS (no infravermelho próximo) do ESO, instalados no Chile. Essas medidas, chamadas em inglês de *follow-up*, são, portanto, indispensáveis para um estudo completo dos exoplanetas, e constituem a maior dificuldade que os cientistas têm nesse estudo.

Um grupo brasileiro da UFRN participou ativamente da constru-

ção do NIRPS (Near Infrared Planet Searcher), num consórcio com vários parceiros internacionais (as universidades de Montreal, de Genebra, do Porto, de Grenoble e o Instituto de Astrofísica das Canárias. O instrumento deverá estar operacional no segundo semestre de 2021. O consórcio terá direito a 720 noites durante os 6 primeiros anos, já negociou trocas com os satélites TESS e JWST, e fará o mesmo com o PLATO.

A engenharia brasileira no PLATO

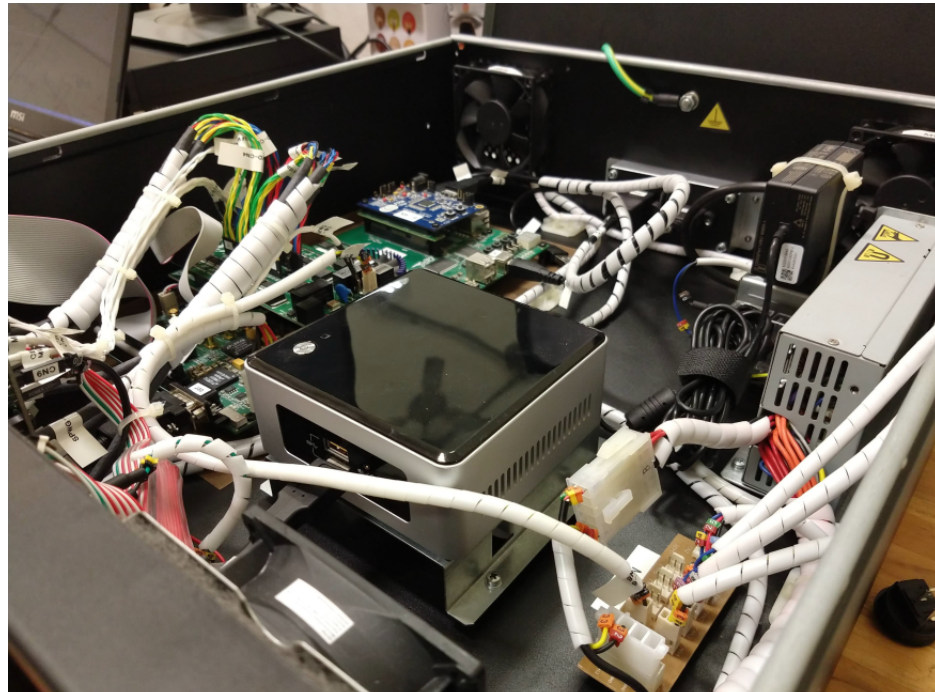
A participação brasileira na missão PLATO não se limita aos aspectos científicos. Engenheiros da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) estão ajudando a projetar o satélite, atuando no desenvolvimento de sistemas eletrônicos (hardware) e nos softwares de voo e de controle de atitude, processamento embarcado de sinais e correções instrumentais das curvas de luz.

Como exemplo da qualidade das pesquisas produzidas, o IMT, liderado pelo Prof. Vanderlei Cunha Parro, desenvolveu o que se chama na área espacial de um equipamento de suporte solo eletrônico (EGSE para a sigla em inglês). Trata-se de um simulador de comunicação *Spacewire*, protocolo específico da área espacial e no limiar do desenvolvimento tecnológico, para testar o envio de i-

magens entre as câmeras do satélite e os processadores embarcados que cuidarão da extração das imagens das estrelas. São *links* de padrão espacial de altíssima velocidade para transmitir Terabytes (10^{12} bytes) diariamente entre os sistemas. Este simulador, chamado SimuCam, segue rigorosas normas espaciais tanto em software quanto em eletrônica para que possa ser conectado inclusive aos processadores de voo — aqueles que de fato irão para o espaço — durante os testes de integração e verificação do satélite.

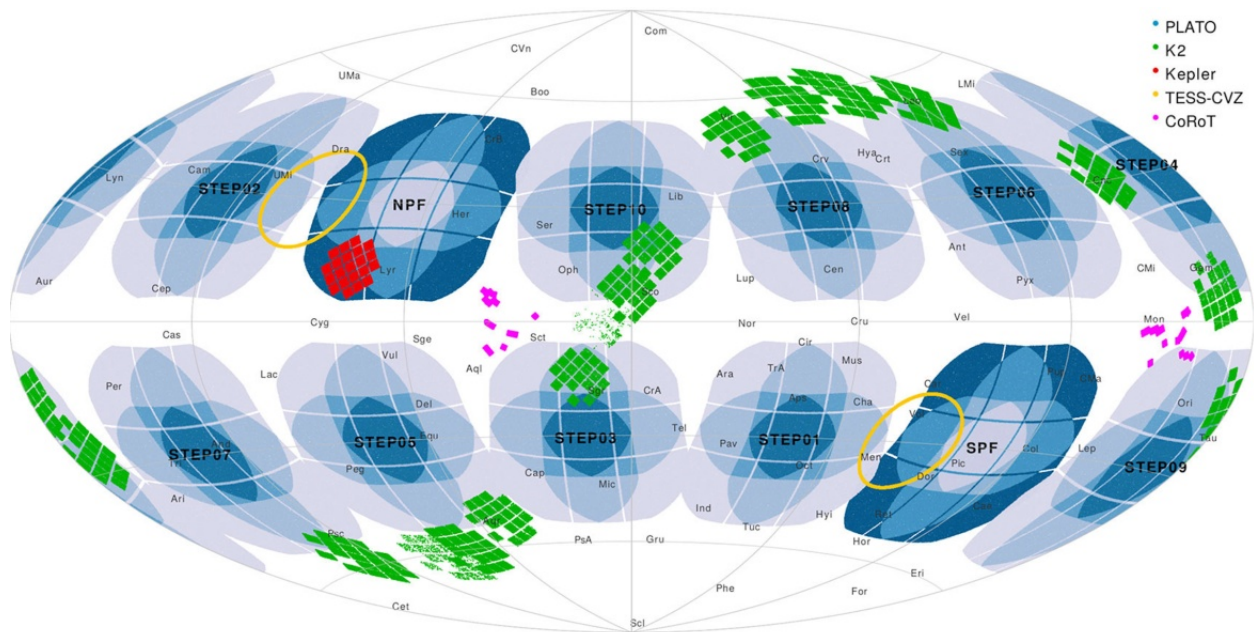
Como segundo exemplo, citamos a pesquisa de Victor Marchiori e colaboradores, que foi levada à capa da edição digital de julho de 2019 do prestigiado periódico *Astronomy & Astrophysics*. Marchiori e colaboradores desenvolveram o algoritmo que calcula as máscaras fotométricas que serão enviadas ao satélite para extração otimizada das curvas de luz de cada estrela. Serão 270 mil estrelas observadas ao mesmo tempo. Tal algoritmo está no coração da missão pois, na parte de software, é essencialmente dele que se obtém o desempenho fotométrico necessário à detecção de exoplanetas do tipo terrestre. Se uma máscara for mal calculada, o planeta nunca aparecerá como um trânsito na curva de luz de sua estrela hospedeira.

Por último, tecnologias críticas do ponto de vista tecnológico também estão sendo abordadas por



brasileiros na missão. A EPUSP está desenvolvendo um simulador de Controle de Atitude da missão em modo de observação estelar. O Sistema de Controle de Atitude (SCA) é um sistema crítico espacial, responsável por garantir a correta orientação do satélite, para que ele execute sua missão. No caso do PLATO, este sistema é ainda mais exigido e deve operar com uma precisão inalcançável com equipamentos disponíveis no mercado. Deste modo, o próprio consórcio da missão desenvolve o sensor de orientação necessário ao projeto, um sensor de estrelas de alto desempenho, que utiliza as próprias estrelas para se orientar. Para dar suporte ao seu desenvolvimento e ao das correções e calibrações instrumentais da missão, a EPUSP fornecerá o simulador do SCA.

Acima
Visão superior do gabinete da SimuCam (Crédito: equipe SimuCam do IMT).



Acima

Em azul são representados todos os possíveis campos observáveis pelo satélite PLATO, que cobre quase a totalidade da esfera celeste. Como comparação, em vermelho é representado o campo do satélite Kepler, em verde sua variação após perda de desempenho, o K2, bem como os campos do TESS-CVZ e do CoRoT. As variações de tonalidade de azul usadas nos campos do PLATO correspondem, grosseiramente, ao tempo total de observação que cada região deve ter ao fim da missão (Crédito: Valerio Nascimbeni, INAF-OAPD, Consórcio PLATO).

A participação brasileira ainda tem diversos outros pontos, que estão sendo produzidos ao longo da etapa de desenvolvimento da missão e que em mais alguns anos estarão concluídos, garantindo ao país uma posição de destaque nas contribuições tecnológicas dadas ao PLATO. São resultados diretos da maturidade da pesquisa tecnológica brasileira na área, decorrentes de ininterruptos 18 anos de cooperações com os europeus em desenvolvimento de satélites dedicados à fotometria estelar •

Eduardo Janot Pacheco & Fábio de Oliveira Fialho
 Universidade de São Paulo
 eduardo.janot@iag.usp.br
 fabio.fialho@usp.br



Choveu meteorito!

Santa Filomena no mapa da ciência brasileira

Um pequeno vilarejo no sertão nordestino se tornou palco de uma caçada por rochas do espaço. Mas a busca por meteoritos não envolve apenas a procura em campo – há também muito trabalho teórico nos bastidores.

Passavam das 11:20 da manhã daquela quarta-feira, dia 19 de agosto de 2020, quando a pequena cidade de Santa Filomena, no Sertão Pernambucano, presenciou um fenômeno assustador: um forte e prolongado estrondo foi ouvido por toda a região e fez tremerem paredes e janelas. Assustados, alguns moradores foram até a rua e não viram nada além de um estranho

rastró de fumaça no céu. Enquanto todos se perguntavam o que havia ocorrido, eis que algo ainda mais incomum surpreendeu os habitantes daquele pacata lugar: pedras de vários tamanhos começaram a cair do céu, atingindo as casas e as ruas de Santa Filomena. Todos esses curiosos acontecimentos estavam associados a um dos maiores eventos meteoríticos brasileiros dos últimos anos.

Na página anterior

Foto do fragmento meteorítico que furou o telhado de uma casa e caiu sobre uma cama em Santa Filomena (Crédito: Gutherys Araújo, @Gutherys_fotos).

Abaixo

Esquerda: Meteoro detectado no GLM/GOES-16 sobre o Estado de Pernambuco. Direita: Passagem do meteoro registrado na câmera do *Clima ao Vivo* em Salgueiro (PE).

Um morador, que já havia tido contato com a astronomia, identificou que se tratavam de meteoritos e avisou as autoridades. Em menos de uma hora, um blog local já noticiava a ocorrência na internet e isso atraiu a atenção do mundo inteiro.

O que são meteoritos?

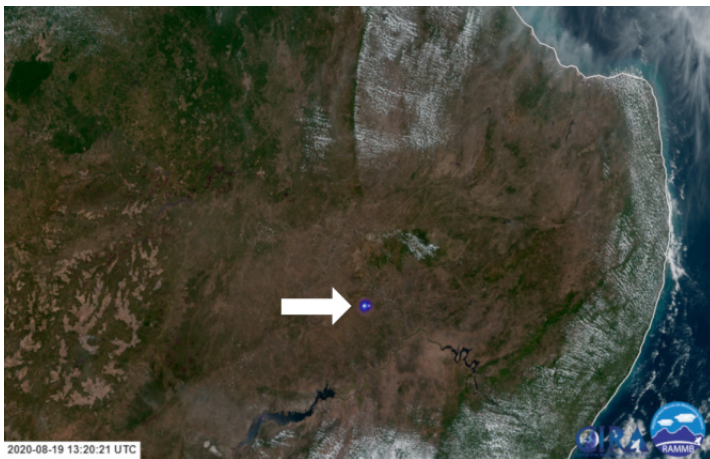
Meteoritos são fragmentos de uma rocha espacial que, ao atingir a Terra, resistem à passagem atmosférica e chegam à superfície. Enquanto vagam pelo espaço interplanetário, essas rochas são chamadas de meteoroides ou, se forem maiores que um metro, asteroides.

Como viajam a uma velocidade entre 40 mil e 262 mil km/h, essas rochas possuem uma energia cinética muito grande. Como exemplo, a 80 mil km/h, um meteoróide com apenas 16 kg teria energia cinética equivalente a 1 tonelada de dinamite. Ao atingir a atmosfera da Terra, grande parte da energia cinética é convertida em radiação, incluindo luz visível e

ondas sonoras.

Esse processo se inicia entre 120 e 90 km acima da superfície. Devido à sua alta velocidade em relação à Terra, o gás atmosférico à frente do meteoróide é comprimido e aquecido, em um processo chamado de compressão adiabática, gerando uma bolha de plasma (estado físico da matéria obtido quando um gás fica tão quente que acaba se ionizando) criando um fenômeno luminoso chamado de meteoro, e iniciando a ablação, que é o processo vaporização do material pelo plasma.

Estima-se que cerca de 98% dos meteoroides que atingem a Terra tem massa inferior a 1 g e, por isso, são rapidamente vaporizados antes de atingirem 70 km de altitude. Mas, se a rocha for suficientemente grande (com uns 20 kg de massa, por exemplo), esse processo ocorre de forma muito mais violenta. À medida que o meteoróide vai penetrando a atmosfera, vai encontrando maior resistência, seu brilho e o processo de ablação se intensificam cada vez



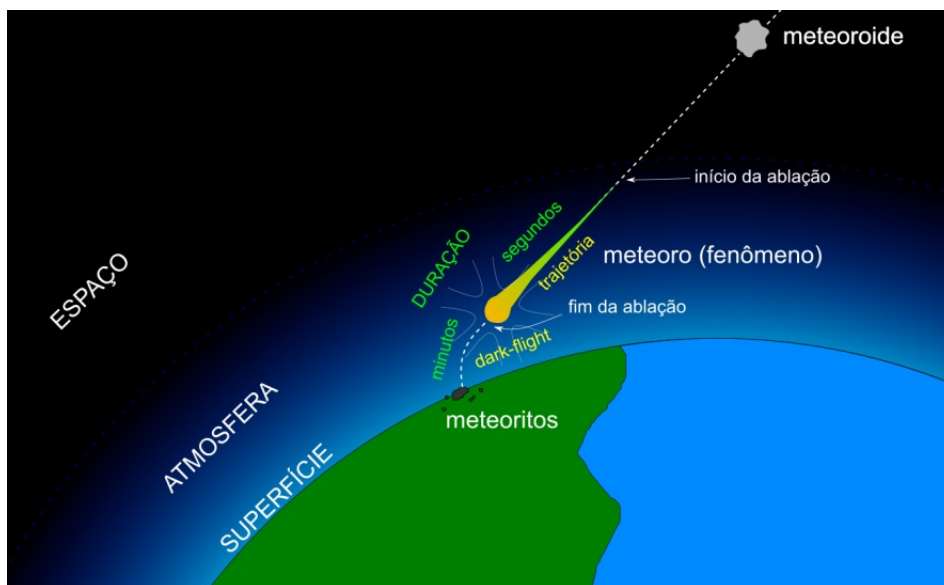
mais. Toneladas de rocha espacial podem ser consumidas pelo calor intenso gerado nesse processo. Ainda assim, em alguns casos, esse material pode chegar às camadas mais baixas e densas da atmosfera, onde a resistência do ar é tão grande que o meteoróide explode como se tivesse se chocado contra algo sólido, podendo gerar uma

grande quantidade de fragmentos.

Por cobrirem cerca de 70% da superfície do planeta, os oceanos, recebem a maioria dos meteoritos que caem na Terra. Por outro lado, grande parte dos que caem em terra firme não são encontrados, pois alcançam o solo em campos, rios, florestas e nas imensas áreas desabitadas do nosso planeta. Mas não foi esse o caso em Santa Filomena.

A “chuva de meteoritos” em Santa Filomena

Tendo em vista os processos que ocorrem durante a passagem de um meteoróide pela atmosfera, não é difícil concluir que uma “chuva de meteoritos” não é algo tão extraordinário assim. Na verdade, os meteoritos sempre chegam ao solo como numa chuva de pequenos fragmentos. A intensidade dessa chuva depende da massa do meteoróide não consumida na passagem atmosférica.



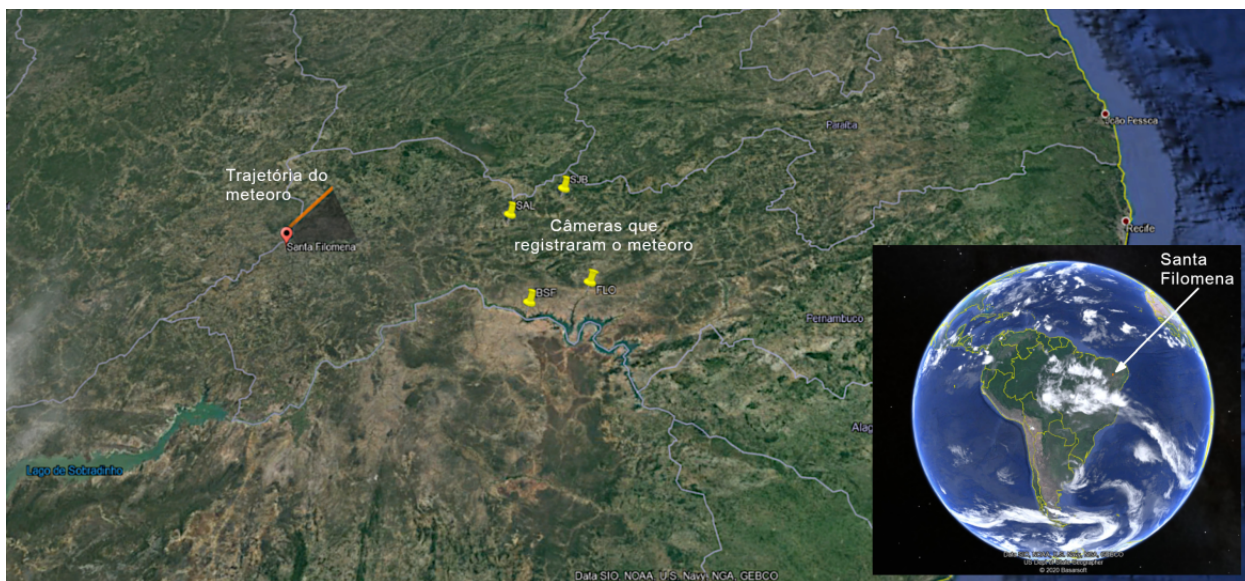
Entretanto, dois fatores foram determinantes para tornar o evento em Santa Filomena tão relevante: o tamanho incomum do meteoróide, e o fato de os fragmentos atingirem uma área povoada.

Estimativas baseadas na intensidade da chuva de fragmentos percebida pelos moradores, apontam para uma massa inicial entre 2 e 5 toneladas, que teria deixado pelo menos 250 kg de meteoritos em solo. Seriam milhares de fragmentos, de diversos tamanhos, dispersos pela região.

No meio dessa área de dispersão, a cidade de Santa Filomena foi atingida por vários meteoritos de tamanhos medianos, desde um fragmento de 164 g caído em frente à Igreja Matriz do município, até outro de 2,8 kg, que atingiu o teto de um bar em frente à Praça da Matriz. Em um ponto a 1,2 km da praça, um fragmento de 498 g atravessou o telhado de uma casa, sendo encontrado sobre a ca-

Acima

Processo de passagem de um meteoróide pela atmosfera da Terra (Crédito: acervo da BRAMON).



Acima
Trajetória do meteoro pela atmosfera e localização das câmeras que registraram o fenômeno (Crédito: Google Earth, BRAMON).

ma de um morador, poeticamente, como se quisesse descansar após sua longa e agitada viagem pela atmosfera. Esse meteorito tornou-se uma das peças mais valiosas, e que melhor representa aquela manhã de quarta-feira na pequena cidade do Sertão Pernambucano.

O meteoro

Um dos fatos mais curiosos a respeito desse evento é que não foram encontrados relatos de pessoas que tenham visto o meteoro. Como dito, antes de chegar em solo, os meteoritos passam por uma fase extremamente energética e luminosa na atmosfera. Pela intensidade do fenômeno sentido em Santa Filomena, a ausência dos relatos de avistamento deste meteoro intrigou os membros da BRAMON, a Rede Brasileira de Observação de Meteoros, que investigavam o caso.

Pouco mais de uma hora após

o ocorrido em Santa Filomena, a BRAMON foi alertada por internautas e passou a procurar por outras informações. A determinação da trajetória correta do meteoro seria decisiva para as buscas em campo, conforme veremos mais adiante.

Apesar de não haver relatos do avistamento do meteoro, era certo que ele tinha ocorrido, e uma imagem do satélite meteorológico GOES-16 confirmou isso. O GLM (*Geostationary Lightning Mapper*), instrumento do GOES-16 utilizado para mapeamento de relâmpagos, detectou um intenso *flash* nas proximidades de Santa Filomena. Como não havia na região nenhuma nuvem de tempestade capaz de gerar um relâmpago, o *flash* detectado pelo satélite só poderia ter sido gerado pelo meteoro.

Os dados do satélite forneceram o local aproximado e o horário em que ocorreu o meteoro. Iniciou-se então uma minuciosa bus-

ca nas câmeras do Clima ao Vivo, uma empresa que mantém uma rede de câmeras para monitoramento meteorológico em todo o país. O registro do meteoro foi encontrado em quatro câmeras em Pernambuco, nas cidades de Belém de São Francisco, Floresta, Salgueiro e São José do Belmonte.

Os vídeos obtidos foram analisados pela BRAMON e, a partir da triangulação das imagens, foi possível determinar a trajetória do meteoro pela atmosfera.

Determinação da trajetória do meteoro

A análise do registro em vídeo de um meteoro permite a determinação de vários parâmetros como a luminosidade, a velocidade angular e as direções dos pontos inicial e final do objeto.

Quando o mesmo meteoro é registrado em duas câmeras, a para-

laxe entre as diferentes visões do fenômeno permite calcular a sua trajetória pela atmosfera. Esse cálculo, conhecido como triangulação, geralmente é feito por softwares especializados, que dependem unicamente da qualidade das análises de cada vídeo.

No caso do meteoro de Santa Filomena, como ele foi registrado em 4 câmeras distintas, as margens de erro foram reduzidas, o que aumentou a precisão do cálculo da trajetória do meteoróide pela atmosfera.

Concluiu-se, que o meteoróide atingiu nossa atmosfera com velocidade de 64,7 mil km/h em um ângulo de 43° em relação ao solo. Devido à luminosidade do dia naquele horário, ele só se tornou visível a 62,8 km de altitude sobre a zona rural de Ouricuri, em Pernambuco, e seguiu na direção oeste, percorrendo 61,3 km em ape-

Abaixo

Alguns meteoritos encontrados em Santa Filomena (Crédito: Astro Agreste, Gabriel Gonçalves).



nas 4 segundos, até desaparecer a 20,9 km de altitude, entre os municípios de Santa Cruz e Santa Filomena.

Durante essa fase visível do meteoro, sua velocidade foi reduzida de 64,7 mil km/h para 46,5 mil km/h e, de acordo com simulações matemáticas, cerca de 90% de sua massa foi vaporizada. Esse processo foi responsável pela redução de aproximadamente 95% da energia cinética do objeto, fazendo com que se iniciasse o *dark-flight*, a fase final de sua trajetória pela atmosfera.

Dark Flight

Ao atingir as camadas mais densas da atmosfera, o meteoróide enfrenta uma resistência cada vez mais elevada do ar. Geralmente,

esse é o momento em que ele explode, se partindo em centenas, às vezes milhares de fragmentos de diversos tamanhos. Isso reduz a velocidade dos fragmentos até o ponto em que se cessa a ablação e a emissão luminosa para iniciar-se a fase de *dark-flight*. Nesta fase, invisível e bem mais demorada, a atmosfera inferior age para reduzir ainda mais a velocidade de cada fragmento antes que eles cheguem ao solo.

Depois da redução significativa da massa do meteoróide, a fragmentação é o fator determinante na sua desaceleração. Isso porque fragmentos menores são mais afetados pela força de arrasto atmosférico. O arrasto atmosférico atua sobre cada fragmento, freando sua velocidade ao longo da queda, até que ele atinja uma velocidade em que as forças de inércia e de resistência se anulam. Esta é a chamada velocidade terminal, a velocidade máxima e constante que um corpo em queda livre atinge, devido à interação com a atmosfera.

O arrasto depende de valores relacionados à densidade da atmosfera, coeficiente de arrasto, velocidade e área do objeto relativa a sua passagem na atmosfera, chamada de seção transversal. O coeficiente de arrasto, é um valor, que depende da forma do objeto. Formas mais aerodinâmicas, como uma esfera, tem coeficiente de arrasto menor, pois vencem mais facilmente a resistência at-



BRAMON
BRAZILIAN METEOR OBSERVATION NETWORK

A Rede Brasileira de Monitoramento de Meteoros é uma organização aberta e colaborativa, mantida por voluntários e apoiadores, sem fins lucrativos, cuja missão é desenvolver e operar uma rede para o monitoramento de meteoros, produzindo e fornecendo dados científicos à comunidade. Atualmente possui 88 operadores e 155 câmeras de monitoramento distribuídas em 20 estados do Brasil. A rede já registrou mais de 700 mil meteoros e gerou dados que possibilitaram a descoberta de 25 novas chuvas de meteoros. Conheça mais em <http://www.bramonmeteor.org>.

mosférica.

Nessa fase, os ventos de diferentes intensidade e direções, das diversas camadas da baixa atmosfera, também interferem na trajetória final dos meteoritos. Eles agem como a força de arrasto, adicionando um componente de deslocamento horizontal ao fragmento, proporcional à intensidade, e no mesmo sentido dos ventos.

Resumindo, a trajetória final de cada fragmento depende dos seus parâmetros físicos, da sua velocidade, direção e dos aspectos da atmosfera, incluindo os ventos em diferentes altitudes que o fragmento atravessa.

Estimar cada um desses fatores é essencial para o cálculo da área de dispersão dos fragmentos,

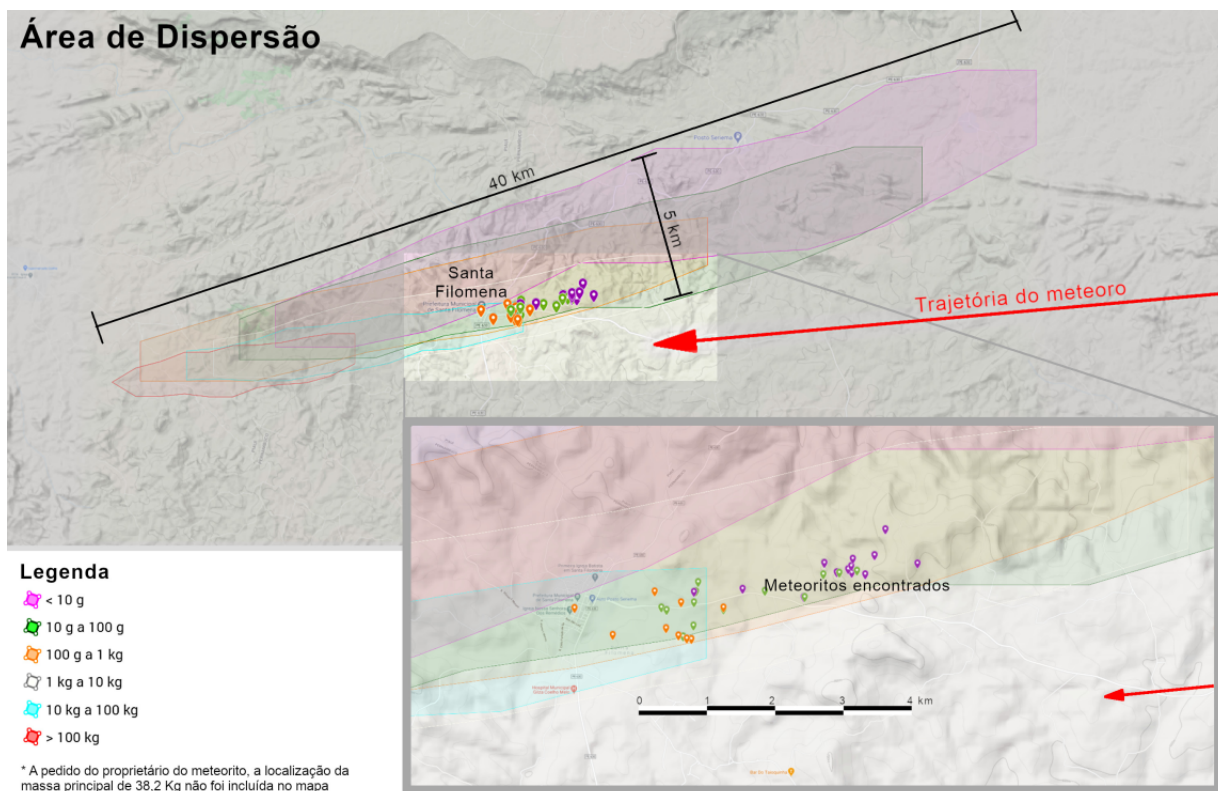
o que ajuda pesquisadores e caçadores de meteoritos a procurarem nos locais mais prováveis de queda, aumentando as chances de resgate dessas rochas em solo.

Área de dispersão dos meteoritos

A área de dispersão limita a região onde os meteoritos podem ser encontrados. Normalmente é calculada em função da trajetória do meteoro e das informações atmosféricas, incluindo as velocidades e sentido dos ventos nas diferentes camadas atmosféricas na região.

Para o cálculo da área de dispersão dos meteoritos de Santa Filomena, entrou em ação o engenheiro americano Jim Goodall, que de-

Abaixo
Áreas de dispersão e locais onde foram encontrados os meteoritos (Crédito: acervo da BRAMON).



Na próxima página

Localização de cada queda de meteorito reconhecida oficialmente (marcações em vermelho) e de crateras meteoríticas (marcações em alaranjado) no Brasil. Os dados são de Higor Martinez Oliveira, atualizados com duas quedas recentes (Crédito: Google Earth).

envolveu um software para re-alizar esses cálculos. Goodall introduziu a trajetória calculada pela BRAMON e os dados atmosféricos do IGRA (Arquivo de Radiosonda Global Integrado) no seu software e para calcular a área de dispersão.

O software, chamado *Strewnify*, simula o voo de uma nuvem de fragmentos de diversos tamanhos e formatos, calculando individualmente sua interação com a atmosfera até chegarem ao solo. Como resultado, o software fornece um mapa com as áreas de dispersão para diferentes tamanhos de fragmentos, e outro mapa que indica os melhores locais para buscas, onde a concentração de fragmentos é maior.

Em Santa Filomena, a área de dispersão calculada possui cerca de 40 km de extensão e um pouco mais de 5 km de largura. A simulação indica que os ventos desviaram a trajetória dos fragmentos menores, com até 10 g, espalhando-os em uma área de cerca de 150 km². Enquanto os fragmentos maiores que 100 kg, se houver, devem estar em uma área menor que 20 km², localizada em grande parte no município de Betânia do Piauí.

As buscas pelos meteoritos

As buscas pelos meteoritos de Santa Filomena iniciaram-se desde os primeiros dias após a queda. Pesquisadores, caçadores e as-

trônomos amadores de várias partes do país (e do mundo) se deslocaram até a região para buscar os meteoritos.

Em campo, o mapa com área de dispersão fornecido pela BRAMON, foi essencial para orientar as buscas e, à medida que os meteoritos eram encontrados, sua localização era fornecida para refinamento do mapa de dispersão.

Não se sabe ao certo a quantidade total de fragmentos encontrados em Santa Filomena, mas até o dia 30 de setembro, a BRAMON já havia recebido as coordenadas de 42 meteoritos encontrados por caçadores, pesquisadores e pela população local. Todos eles foram encontrados dentro da área de dispersão calculada, incluindo o maior fragmento, de 38,2 kg, encontrado na divisa com o município de Betânia do Piauí. Tudo isso comprova a importância do trabalho coletivo realizado em Santa Filomena, envolvendo pesquisadores, astrônomos amadores, caçadores de meteoritos, população local e instituições como a BRAMON, utilizando a ciência em benefício da sociedade e da própria ciência •

*Marcelo Zurita, Gabriel Gonçalves, Carlos Di Pietro & Daniela Mourão BRAMON
marcelozurita@gmail.com
g_goncalves_silva@hotmail.com*



Google Earth

US Dept of State Geographer

Image Landsat / Copernicus

© 2020 Google

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

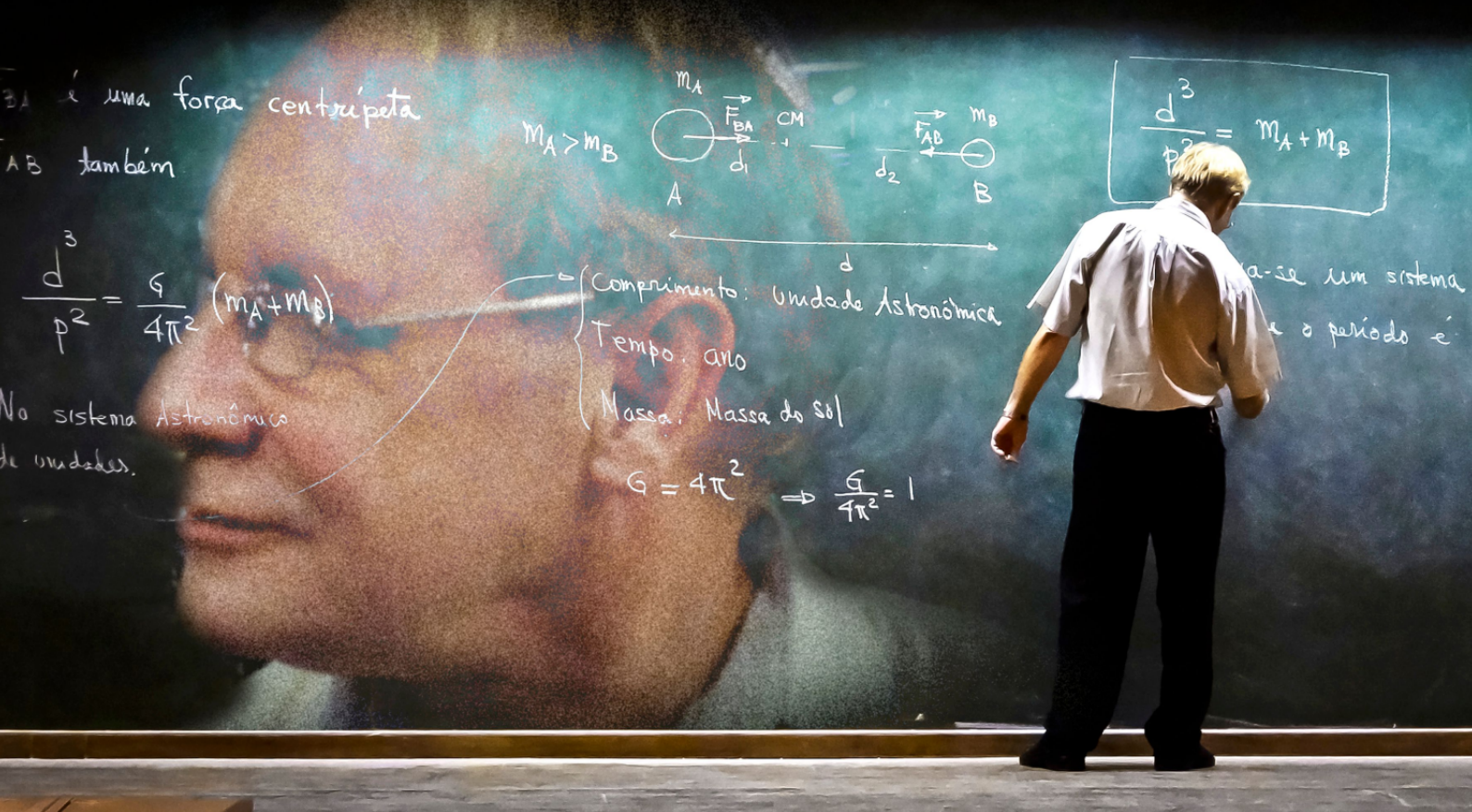


Imagem: Marcelo de Breyne

Irineu Gomes Varela

* São Paulo, 07/09/1952

† São Paulo, 14/08/2020

Às 19 horas de 14/08/20 faleceu o colega e amigo Irineu Gomes Varela deixando um grande legado em ensino e divulgação da Astronomia.

Irineu graduou-se em Matemática e Física pela USP no final dos anos 70. Ainda nos tempos de faculdade, já era Professor no Planetário Municipal de São Paulo. Iniciou uma Pós-graduação em Astrometria no IAG/USP, onde também colaborou durante muitos anos com a elaboração do Anuário Astronômico desse Instituto. No início da década de 80, assumiu o posto de Diretor do Planetário Municipal de São Paulo onde permaneceu até 2002. Em 2010 concluiu o curso de Especialização em Astronomia na Universidade Cruzeiro do Sul e em 2017 concluiu seu mestrado no IAG-USP. Ao longo de toda sua vida, dedicou-se com muito amor e intensidade ao ensino e à divulgação científica, tanto no que diz respeito ao contato com o público como nos bastidores junto a inúmeros outros colegas com quem compartilhava as mesmas intenções e objetivos. Proferiu um número incontável de aulas e palestras em todos os níveis, dando uma contribuição enorme para o desenvolvimento da Astronomia em nosso país (*Texto de Ramachrisna Teixeira*).



“Ao longo do ano o Sol parece fazer um movimento como o da rosca de um parafuso.» A frase do Prof. Irineu Varella que me marcou para sempre! Que sua alma suba ao céu seguindo a rosca desse parafuso imaginário! A nós, na Terra, restará sua lembrança imortal!” — R. Boczko, IAG/USP.

“Irineu foi meu primeiro mentor. Seu apoio foi vital para aplacar minha insegurança em escolher uma carreira tão pouco convencional. Seus ensinamentos estruturaram meu raciocínio e a Astronomia era mais bela quando ele estava presente da minha vida. Sem pompas, deixou um legado importante influenciando mentes e corações.” — Paula Coelho, IAG/USP.

“O Professor Irineu possuía dois grandes amores: a Astronomia e o enorme prazer de ensinar. Ele brincava que Urânia o reclamou através de um eclipse visto durante a infância. Gosto de imaginar que ela veio pessoalmente levá-lo para ver de perto estrelas, nebulosas... Vá em paz e obrigada por compartilhar seu tempo conosco neste planeta.” — Priscila Di Cianni, Planetário de São Paulo.

“Saudade do Mestre Irineu Gomes Varella. Maravilhosas aulas com sabedoria, bom humor e giz.” — Guto Lacaz, arquiteto e artista plástico.

“Cada conversa com Irineu era como uma aula. Quando perguntado sobre assuntos complexos, pegava papel e caneta e ensinava com maestria. Sua simpatia e humildade eram marcantes, assim como seu profissionalismo e vasto conhecimento. Ensinou e inspirou milhares de pessoas que seguiram carreira na Astronomia e outras ciências.” — Eder Ricardo Canalle, Astronomia no Verde.

“Irineu Gomes Varella era sempre um professor, uma conversa com ele era sempre uma aula, com muito conhecimento e humildade. Um ser humano encantador e um amigo especial, foi uma honra conviver com ele nesse planeta. Muita saudade e gratidão.” — Kizzy Alves Resende, doutoranda em Geografia na USP.

“Ainda garoto tive a alegria de ter Irineu como professor de Astronomia. Vinte anos depois, me surpreendo ao reconhecer sua importância em minha história. Com generosidade e dedicação, despertou em mim a paixão e vocação de uma vida e, dentre meus mestres, é aquele para quem tenho a maior gratidão. Obrigado pelo que me doaste, professor.” — Ulisses Almeida, CBPF.



Imagem: Cecília Bastos/USP Imagens


João Evangelista Steiner

* São Martinho, 01/03/1950

† São Martinho, 10/09/2020

Em 10 de setembro de 2020 fomos surpreendidos com a triste notícia da morte do colega João Evangelista Steiner em Santa Catarina. Com isso, a Astronomia brasileira perde mais um de seus principais expoentes.

João Steiner se bacharelou em Física pelo Instituto de Física da USP em 1973. Concluiu seu mestrado e doutorado no IAG-USP e em 1979 iniciou um estágio de pós-doc na Universidade de Harvard. Em 1982 voltou para o Brasil onde se dedicou não só às pesquisas, sobretudo buracos negros, mas também à docência, principalmente no IAG-USP, divulgação científica e atividades administrativas não somente no IAG-USP, mas também no INPE, LNA e IEA-USP. Participou da fundação do Observatório Pico dos Dias e liderou a participação brasileira nos consórcios dos telescópios SOAR, Gemini e mais recentemente do GMT. Deixou um vasto legado de pesquisadores por ele formado, de pesquisas científicas e de aulas e cursos, entre elas a série Astronomia uma visão geral, gravada pela TV Cultura (*Texto de Ramachrisna Teixeira*).

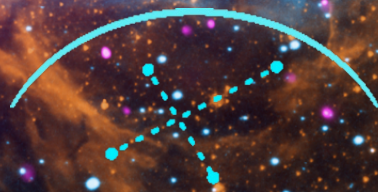


“ Esta é uma grande perda pessoal. Nós — João [Steiner], Augusto [Damineli] e eu — começamos a faculdade juntos, em 1970, e desde então compartilhamos da evolução do País, da Universidade e da astronomia brasileira. Dizem que algumas pessoas são ‘forças da natureza’, e João definitivamente se encaixa nesta definição. Ele era uma das pessoas mais energéticas e determinadas que eu já conheci e, certamente por esses motivos, ele deixa um legado invejável para nossa Astronomia, incluindo os telescópios SOAR e Gemini e, mais recentemente, a participação de São Paulo no GMT. Ele também deixa uma legião de jovens cientistas que orientou e supervisionou. Além de nossas memórias, ele continuará vivo nos laboratórios que ajudou a construir e nas pessoas que ajudou a formar. ” — Laerte Sodré Jr., IAG/USP.

“ João vivia e transpirava ciência: como pesquisador, orientador, administrador e gestor científico, professor e divulgador. É impossível resumir seu curriculum. Sua fama atraiu muitos jovens para a área de Astronomia. Formou uma geração de mestres e doutores de primeira linha, alguns deles com emprego no exterior. Como educador, sempre levantou o entusiasmo dos alunos. Suas aulas do curso Astronomia: uma Visão Geral, do IAG-USP, foram gravadas pela TV Cultura e têm mais de 1 milhão de downloads. Alguém precisa desvendar o segredo de como um curso de nível universitário pode atingir tamanha audiência no Brasil. Ele estava mantendo um curso semipresencial de formação de professores de grande sucesso no Estado de São Paulo. Seu porte grande de alemão podia até despertar um certo receio nos mais desavisados, mas sabia fazer crianças pequenas felizes, principalmente bebês de colo. Os indígenas brasileiros dizem que, quando uma pessoa morre, ela vira uma estrela. Não se assuste se encontrar uma nova estrela de PRIMEIRA MAGNITUDE no céu. ” — Augusto Damineli, IAG/USP.

“ João trabalhou intensamente para fazer do Brasil uma liderança na comunidade astronômica internacional. Ele foi o principal condutor de nossa participação nos consórcios SOAR, Gemini e, é claro, GMT. É uma perda imensa para as comunidades astronômicas brasileira e internacional. ” — Claudia Lucia Mendes de Oliveira, IAG/USP.

“ Conhecendo João desde 1968, primeiro como professor de matemática no meu terceiro ano ginásial, depois como colega na pesquisa científica, testemunho que ele não mudou nada, intelectualmente, ao longo desses cinquenta e poucos anos. Uma inteligência aguda, personalidade vulcânica, inclemente com a mediocridade, o que lhe rendeu tantos inimigos quanto admiradores. Sinto-me feliz por ter estado sempre entre os admiradores. ” — Francisco Jablonski, INPE.



S.A.B.