



Revista
Brasileira de
**ASTRO
NOMIA**

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 6 | Número 22
Ano 2024

Marte habitável

Galáxias verdes

Estrelas binárias

Entrevista: José Renan de Medeiros



Editorial

O noticiário constantemente tem apontado uma queda no interesse pelo Ensino Superior. Os números atuais de inscrições para o ENEM apresentam ligeira melhora, mas ainda são metade do número médio de inscritos entre 2014 e 2016. Os reflexos disso começaram a surgir em outros indicadores: evasão de cursos universitários mais alta que o normal, desistência recorde de matrículas (isto é, os candidatos foram aprovados em todas as etapas, mas não compareceram para se matricular na universidade) e desinteresse acentuado por cursos de pós-graduação. Claramente há algo errado! Se por um lado o governo federal busca ampliar o acesso à formação universitária, por outro lado não investe o suficiente para que os selecionados tenham condições de permanecer no curso de escolha. Adicionalmente, nossa economia fortemente dependente da exportação de produtos primários não absorve adequadamente os formados; a precarização do trabalho e achatamento salarial força as famílias a estimularem seus jovens a buscar soluções mais rápidas para contribuir com o orçamento doméstico. Nesse cenário, dedicar tempo a uma formação universitária parece um luxo destinado a uma minoria de bem-nascidos.

Os desafios que a próxima década trazem são enormes. A recente tragédia no Rio Grande do Sul deu-nos um exemplo claro de como a emergência climática afetará o futuro. Ela e a iminência de novos conflitos mundiais exigem que o país esteja preparado para reconstruir suas cadeias de produção e distribuição de bens e de conhecimento.

De nada adianta ampliar o acesso à universidade, se estas não recebem recursos suficientes para sua manutenção, se os estudantes de baixa renda selecionados não conseguem se manter durante o curso e se os concluintes não são absorvidos pelo mercado de trabalho. O Brasil precisa atacar esses problemas de forma mais integrada, buscando ao máximo sua independência.

Helio J. Rocha-Pinto

Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira

Esquerda

Detalhe da calota celeste austral nos mapas de Ignace Gaston Pardies. Nota-se a indefinição da orientação da constelação do Cruzeiro do Sul, devido à confusão entre suas estrelas e algumas do Centauro.

Capa

Representação artística de Marte com oceanos (Crédito: Kevin Gill/ Flickr).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela

Sociedade Astronômica Brasileira

ISSN 2764-9423

Conselho Editorial Alan Alves Brito,

Reinaldo Ramos de Carvalho, Lucimara

Martins, Ramachrisna Teixeira,

Thiago Signorini Gonçalves

Editor Helio J. Rocha-Pinto

Assistente Hélio Dotto Perottoni

Contato secsab@sab-astro.org.br

Para anunciar 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

Helio J. Rocha-Pinto

Vice-Presidente

Lucimara Martins

Secretária-Geral

Marina Trevisan

Secretário

Matthieu Castro

Tesoureira

Paula Coelho

Endereço

Sociedade Astronômica Brasileira

Rua do Matão, 1226

05508-090 São Paulo – SP

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

4 Galáxias verdes

A luz das galáxias é composta pela soma da luz de suas estrelas, as quais emitem em todos os comprimentos visíveis.

Então, como uma galáxia pode parecer verde em alguns levantamentos fotométricos? Lucimara Martins explica-nos o motivo disto.

12 Colonizando Marte

Gustavo Porto de Mello apresenta os motivos pelos quais Marte deve ser colonizado e por que isso deve ser um dos principais objetivos da humanidade.

22 Entrevista: José Renan de Medeiros

Conheça um pouco sobre a trajetória de um dos principais astrônomos do Brasil.

30 Estrelas binárias

Daniel Mello traça um histórico desde as primeiras descobertas da existência de pares de estrelas até às consequências evolutivas desse convívio tão próximo.



As minúsculas e poderosas

Galáxias verdes

Pequenas, compactas, arredondadas e esverdeadas – raras no universo local, assim podem ter sido as galáxias que ajudaram a transformar o início do universo.

Uma Galáxia Ervilha Verde, ou simplesmente Galáxia Ervilha, é um tipo de galáxia compacta e luminosa, que está passando por intensos episódios de formação estelar. Ela recebe esse nome por conta de seu aspecto pequeno e arredondado, e por conta de sua coloração esverdeada observada em imagens obtidas pelo *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS), nas quais

foram detectadas pela primeira vez. Sua descoberta ocorreu em 2007, através do Galaxy Zoo, um programa de ciência cidadã voluntária, e suas propriedades foram descritas em 2009 por Carolin Cardamone e colaboradores, em um artigo publicado na revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*.

As Galáxias Ervilha são muito pequenas quando comparadas a

outras galáxias mais comuns no nosso universo próximo, como galáxias espirais ou elípticas, e têm massa aproximadamente 100 mil vezes menor que a da Via Láctea. Apesar de pequenas, são indústrias de estrelas extremamente eficientes: a fração da sua massa total convertida em estrelas por ano é das maiores já medidas. Em média, elas convertem em torno de 10 massas solares de gás em estrelas, por ano. Para comparação, a Via Láctea (uma galáxia muito maior) forma em torno de 1,8 massas solares por ano. São também bastante raras: de cada milhão de galáxias encontradas em cada grau quadrado do céu, apenas 2 são galáxias ervilhas.

Elas possuem essa cor esverdeada nas imagens do SDSS por dois motivos. O primeiro é que a maior parte de sua radiação vem do gás quente que permeia suas estrelas, e não diretamente das estrelas. As estrelas jovens e massivas que ali se formam aquecem o gás à sua volta. Essas galáxias apresentam em seu espectro (distribuição da luz em função do comprimento de onda, ou frequência) uma linha de emissão intensa de [O III] (oxigênio duplamente ionizado, ou O⁺⁺), que aparece no comprimento de onda de 500,7 nm. O segundo motivo é que, apesar de estar em uma região que ainda chamamos de universo próximo, elas não estão tão próximas assim. Por cau-

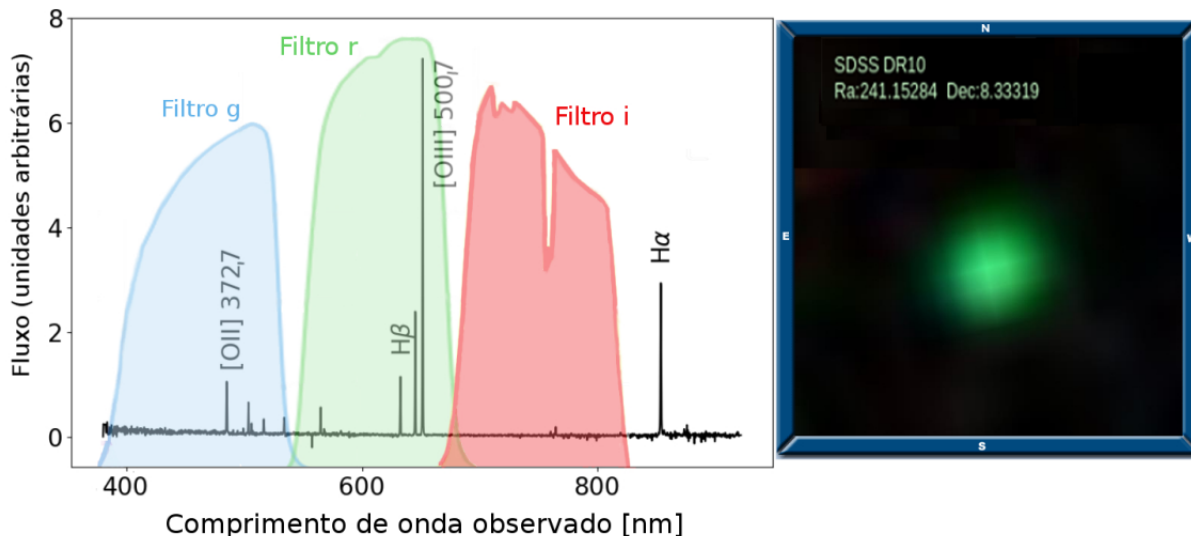
sa da expansão do universo, quanto mais distante um objeto está da Terra, maior o seu movimento de afastamento. Esse movimento de afastamento causa um desvio para o vermelho da radiação dos objetos, que chamamos de *redshift*. Como as galáxias ervilhas que observamos emitiram sua radiação em torno de 2 a 3 bilhões de anos atrás, suas linhas de [O III] aparecem com um pequeno desvio para o vermelho (em torno de 50 a 200 nm).

Mas por que isso as torna esverdeadas? As imagens do SDSS são construídas com a composição de 3 filtros, que coletam fótons em diferentes faixas de energia (e portanto, em diferentes faixas de comprimento de onda): filtros *g*, *r* e *i*. A cada um desses filtros é atribuída uma cor falsa: azul para o *g*, verde para o *r* e vermelho para o *i*, de tal forma que as imagens finais, quando combinados os 3 filtros, aparecem coloridas. O fluxo da linha de [O III] domina o filtro *r* do SDSS, e, sendo tão intensa, o torna mais brilhante que os outros dois filtros. Portanto essas galáxias aparecem como objetos esverdeados. Encontramos essas galáxias em ambientes mais isolados que aqueles onde normalmente se encontram outros tipos de galáxias, o que significa que elas estão evoluindo sem muita influência de galáxias vizinhas. Isso é importante porque, geralmente, galáxias pequenas vivendo em ambientes mais populosos ten-

Na página anterior

A galáxia J0925, uma Galáxia Ervilha Verde.

Pesquisadores utilizaram o Telescópio Espacial Hubble para observar a radiação ultravioleta emitida por essa galáxia (Crédito: Ivana Orlová, Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences).



Acima
 À esquerda: espectro óptico retirado do SDSS da galáxia SDSS J160436.66+081959.1. Sobrepostos ao espectro estão esquematizados os 3 filtros do SDSS (g, r e i) e a região do espectro que eles cobrem. À direita: imagem óptica da mesma galáxia (Crédito: SDSS).

dem a interagir com galáxias maiores, sendo eventualmente destruídas e engolidas por estas. Essas pequenas galáxias, de alguma forma, sobreviveram ao canibalismo galáctico pelo qual o universo tem passado.

Desde que foram descobertas, as galáxias ervilha atraíram a atenção dos astrônomos. Acredita-se que os poucos objetos deste tipo encontrados no nosso universo próximo são análogos às galáxias que existiam no universo jovem, quando eram mais comuns. As galáxias desse tipo que encontramos agora são como “fósseis vivos”, e estudá-las pode trazer pistas importantes sobre uma das épocas menos compreendidas do começo da história do universo.

O que as torna muito especiais no contexto da evolução do universo é que, diferentemente de todas as outras galáxias que co-

nhecemos, sua produção de fótons é mais alta do que seu gás consegue absorver, e uma parte da radiação ultravioleta produzida por sua violenta formação estelar escapa. Por conta disso, acredita-se que as galáxias ervilha que existiram nos primeiros bilhões de anos do universo podem ter sido as responsáveis pela dramática transição cósmica chamada reionização, quando a maior parte dos átomos de hidrogênio do universo jovem foram ionizados.

A Reionização do Universo

A história do universo começa com um ponto pequeno, denso e quente chamado de singularidade inicial. Esse ponto sofreu uma grande e rápida expansão, chamada de *Big Bang*, que é considerada o “nascimento” do Universo. Grandes transformações aconteceram antes mesmo da idade

do universo atingir 1 segundo, enquanto se expandia e resfriava muito rapidamente. Ao atingir 3 minutos após o Big Bang, o Universo era composto principalmente por núcleos de hidrogênio (que nada mais são que prótons), uma pequena fração de núcleos de hélio (compostos de dois prótons e dois nêutron), e elétrons. A energia no universo era dominada pelos fótons, partículas sem massa que viajam à velocidade da luz no vácuo, que também chamamos de radiação. Os fótons que permeavam o universo neste momento eram muito energéticos e não permitiam que elétrons e prótons se combinassem para formar um átomo neutro. Toda vez que isso acontecia, os fótons arrancavam os elétrons dos átomos.

Chamamos essa sopa de prótons e elétrons desacoplados de plasma. Nessa época, o universo era completamente opaco. Isso porque fótons de qualquer energia que tentassem atravessar o universo eram espalhados e desviados por todos os elétrons e prótons livres. Com a contínua expansão do universo, este foi se resfriando, os fótons foram perdendo energia, e elétrons e prótons foram se combinando em átomos — o meio foi-se tornando neutro.

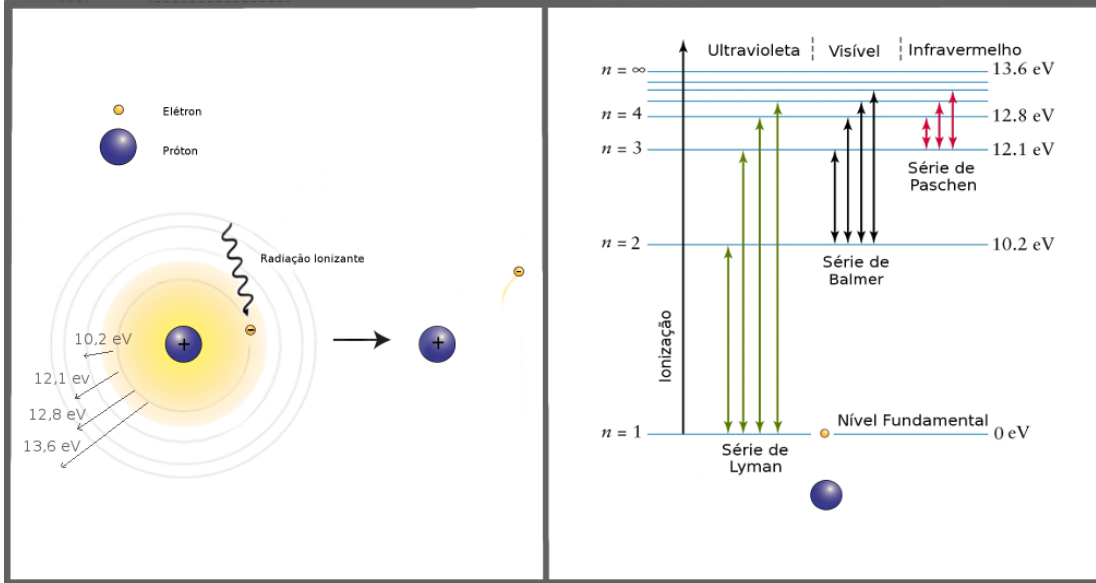
Essa é a primeira grande mudança de fase do universo, chamada de recombinação, que ocorreu aproximadamente 379 mil anos após o Big Bang. Foi da recombinação que surgiu a chamada radiação cósmica de fundo, porque ao se combinar em um átomo neutro, os elétrons foram perdendo energia em forma de fótons.

Átomos de hidrogênio ainda podem absorver fótons, mas apenas com energias específicas. Dessa forma o Universo foi se tornando mais transparente. Apesar disso, essa fase é chamada de “Época das Trevas”, porque ainda não haviam fontes de radiação além da radiação cósmica de fundo.

Ao expandir, toda a matéria do universo foi-se espalhando cada vez mais. Ao mesmo tempo, havia um efeito inverso — a força da gravidade — que puxava a matéria cada vez mais espalhada em algumas aglomerações mais densas. Em muitas dessas aglomerações a gravidade se tornou forte o suficiente para atrair mais e mais matéria, permitindo que a aglomeração crescesse, em um efeito bola de neve. Assim, aos poucos, as nuvens de gás compostas principalmente de hidrogênio, começaram a se condensar e formar as primeiras protogaláxias. As pri-



Ao lado
Esquemática do Espectro Eletromagnético. A radiação que nossos olhos conseguem captar, chamada de luz visível, corresponde a uma pequena faixa de frequências do espectro. A radiação ionizante corresponde às mais altas frequências do espectro, começando na região que chamamos de ultravioleta C



Acima

A ionização do H. À esquerda é apresentada uma esquematização do átomo de H. Ao absorver radiação ionizante, o elétron que se encontra no nível fundamental, ganha energia suficiente para se desligar do próton. À direita são apresentados esquematicamente os níveis do H e as possíveis transições entre eles. Todas as transições que saem do nível fundamental produzem linhas da chamada série de Lyman. As transições que saem do nível 2 são chamadas de série de Balmer e as do nível 3, linhas da série de Paschen. Para passar do nível 1 ao nível 2, por exemplo, o elétron precisa absorver um fóton de energia 10,2 eV. Para passar do nível 2 ao nível 3, precisa absorver 1,9 eV (12,1 eV – 10,2 eV).

meiras gerações de estrelas foram então formadas nessas protogaláxias, e essas estrelas passaram a gerar radiação através da fusão nuclear em seus interiores. As estrelas mais massivas e luminosas evoluíram rapidamente em buracos negros estelares, e, de uma forma que astrônomos não sabem muito bem explicar, eventualmente evoluíram para buracos negros supermassivos no centro de galáxias, criando as primeiras galáxias ativas. Galáxias ativas são galáxias que possuem um buraco negro supermassivo em seu centro, e onde também há uma grande quantidade de gás, que espirala em torno desse buraco negro, formando o que chamamos de disco de acreção. O gás quente neste disco de acreção também gera uma grande quantidade de radiação.

Os fótons que compõem a radiação gerada tanto por galáxias ativas quanto por estrelas muito

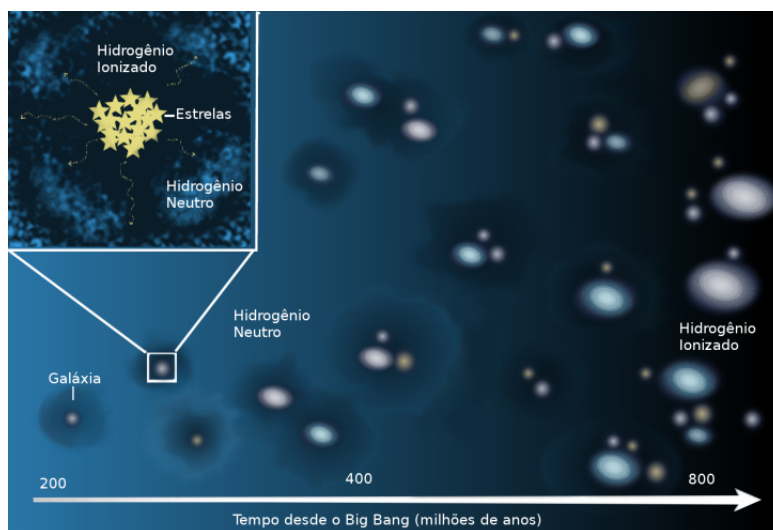
massivas e luminosas têm uma distribuição de energia diversa, mas a faixa de energia mais importante para essa fase do universo é a radiação ultravioleta. Em particular, apenas fótons com energias acima de 13,6 eV são capazes de arrancar o elétron do átomo de hidrogênio. Com a produção desses fótons no universo, o gás de hidrogênio que sobrou entre as galáxias foi novamente sendo ionizado, tornando-se novamente um plasma de elétrons e prótons. Essa fase ocorreu entre 150 milhões de anos e 1 bilhão de anos após o Big Bang, e é chamada de reionização. Nesta fase, mesmo com o gás ionizado, o universo se manteve transparente, porque com a expansão do universo e a condensação em nuvens de gás, a matéria se tornou bastante difusa entre as galáxias, e o espalhamento de fótons por elétrons e prótons se tornou bem menos frequente.

De onde vieram os fótons da reionização?

Parece natural pensar que, uma vez que fótons ionizantes começaram a ser produzidos, o gás no universo passaria novamente a ser um plasma ionizado. No entanto, a história é um pouco mais complicada. As regiões onde as estrelas se formam dentro das galáxias são regiões onde o gás é muito denso e frio, e onde há muita poeira. Para que os fótons ionizem o gás entre as galáxias, eles precisam escapar dessas regiões sem serem absorvidos. E isso não é trivial.

A radiação ionizante importante para a reionização é composta de fótons do contínuo de Lyman. O contínuo de Lyman compreende fótons com energia acima do chamado limite de Lyman, que são fótons com energia suficiente para arrancar o elétron do átomo de hidrogênio, ou seja, fótons com energia acima de 13,6 eV. Fótons com essa energia correspondem a região do ultravioleta C, raios X e raios gama do espectro eletromagnético.

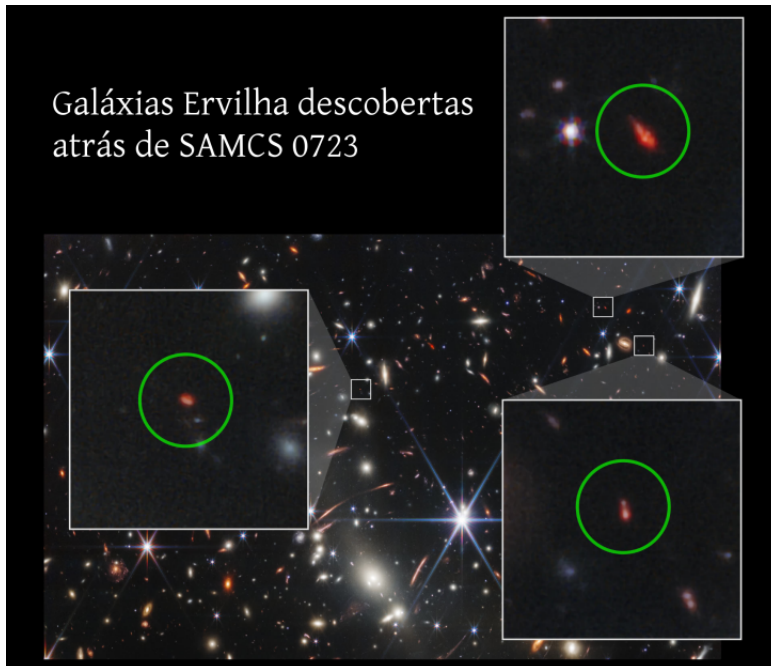
No modelo mais simples da reionização, cada fonte de radiação inicialmente produziu uma região ionizada a sua volta, como uma bolha. Essas regiões aos poucos foram se sobrepondo, resultando eventualmente no meio intergaláctico que observamos hoje. Esse processo de sobreposição parece ter evoluído aos poucos e se completado em até 1 bilhão de



anos após o Big Bang. A reionização também causou um aquecimento do meio intergaláctico (os elétrons liberados dos átomos de hidrogênio carregam energia adicional), e esse aquecimento pode expelir o gás ou mesmo frear o resfriamento de halos de matéria de baixa massa, o que reduz a formação estelar cósmica logo após a reionização. Dessa forma, o processo de reionização é de extrema importância no estudo da formação das estruturas do universo, já que, de um lado, é uma consequência direta da formação das primeiras estruturas e fontes luminosas, e de outro lado, afeta a formação das estruturas após seu acontecimento.

Quasares certamente emitem fótons que reionizam o meio a sua volta, mas, pelo que sabemos até hoje, eram raros demais para explicar toda a reionização do universo, não sendo capazes de suprir o número de fótons ionizantes necessários. Galáxias ativas

Acima
Diagrama ilustrando como galáxias individuais podem ter reionizado o hidrogênio neutro no universo logo após o Big Bang. Galáxias inicialmente isoladas vão criando bolhas de hidrogênio ionizado à sua volta. Com o passar do tempo as galáxias começam a interagir e se aglomerar, e suas bolhas de hidrogênio ionizado vão crescendo e se fundindo. Eventualmente, em torno de 1 bilhão de anos após o Big Bang, todo o hidrogênio do meio intergaláctico se encontra ionizado, como é até hoje em dia.



Acima

Um trio de galáxias pouco luminosas (círculos verdes) capturadas pelo telescópio espacial James Webb em uma imagem profunda do aglomerado de galáxias SMACS J0723.3-7327. O Telescópio Espacial James Webb observa o universo em comprimentos de onda do infravermelho. Essas galáxias estão atrás do aglomerado, e exibem propriedades extremamente parecidas com as Galáxias Ervilha encontradas no universo mais próximo (Crédito: NASA, ESA, CSA, STScI).

menos luminosas, recentemente descobertas no universo mais distante, também podem ter fornecido uma contribuição importante desses fótons. O cenário mais aceito, no entanto, é que as galáxias são os maiores contribuidores para a reionização do universo. O grande problema desta explicação é que, para a maior parte das galáxias que conhecemos hoje, essa radiação ionizante não escapa facilmente para o meio intergaláctico, tendo que atravessar todo o gás e poeira que a compõe. E está aí o grande mistério que astrônomos vêm tentando desvendar ultimamente: de alguma forma, nas galáxias do passado, essa radiação teve que escapar, considerando o que aconteceu com o reservatório cósmico de hidrogênio.

Buscar observacionalmente pe-

las galáxias originais que reionizaram o universo e medir a quantidade de fótons ionizantes que delas escapam é praticamente impossível, mesmo com os mais potentes telescópios sendo construídos hoje. Todos esses fótons mais energéticos são absorvidos pela grande quantidade de nuvens de gás e poeira que está entre essas galáxias e a Terra. Ainda assim, recentemente, com a ajuda do James Webb Space Telescope, astrônomos encontraram uma pequena galáxia, muito parecida com as galáxias ervilhas, a uma distância correspondente a 13.1 bilhão de anos no passado. Isso significa que elas existiam quando o universo tinha apenas em torno de 700 milhões de anos. Se conseguirmos detectar o vazamento de fótons nas galáxias ervilhas próximas, e conseguirmos mostrar que são mesmo parecidas com as galáxias do passado, poderemos explicar como a reionização aconteceu.

A forma de tentar entender um pouco melhor essas galáxias e os processos que podem ter permitido o escape de fótons é procurar por objetos análogos no universo local. Do que conhecemos das galáxias maiores e mais distantes observadas atualmente, podemos dizer que os fótons que escapam são insuficientes para reionizar completamente o universo. Hoje é consenso entre os astrônomos que as galáxias menores e de baixa massa, formando

estrelas ativamente, é que foram as responsáveis pela maior parte da radiação ionizante. As galáxias que mais formam estrelas no universo local, chamadas de galáxias starburst, são normalmente opacas à radiação ionizante. Frações de escape de apenas 1 a 3% foram observadas nessas galáxias, o que é insuficiente para ionizar muito do gás à sua volta. Considerando o número total de galáxias que acreditamos terem sido formadas no universo jovem, uma fração de escape de pelo menos 20% é necessária para explicar a reionização completa do Universo. É nesse ponto que fica clara a importância das galáxias ervilhas para a reionização. Frações de escape de fótons do contínuo de Lyman de 2 a 76% foram observadas nessas galáxias. Elas são os únicos tipos de galáxia onde essa fração de escape tão alta foi medida. Esse número de fótons escapando consegue ionizar uma quantidade de material do meio intergaláctico com massa de 40 vezes a massa estelar da própria galáxia.

As condições físicas que permitem essa alta fração de escape nas galáxias ervilhas ainda não são muito bem compreendidas. Uma das possibilidades seria que essas galáxias já nascem deficientes em hidrogênio neutro. Outra seria que a radiação ionizante cava buracos e túneis, por onde pode escapar para o meio intergaláctico. Além disso, não se

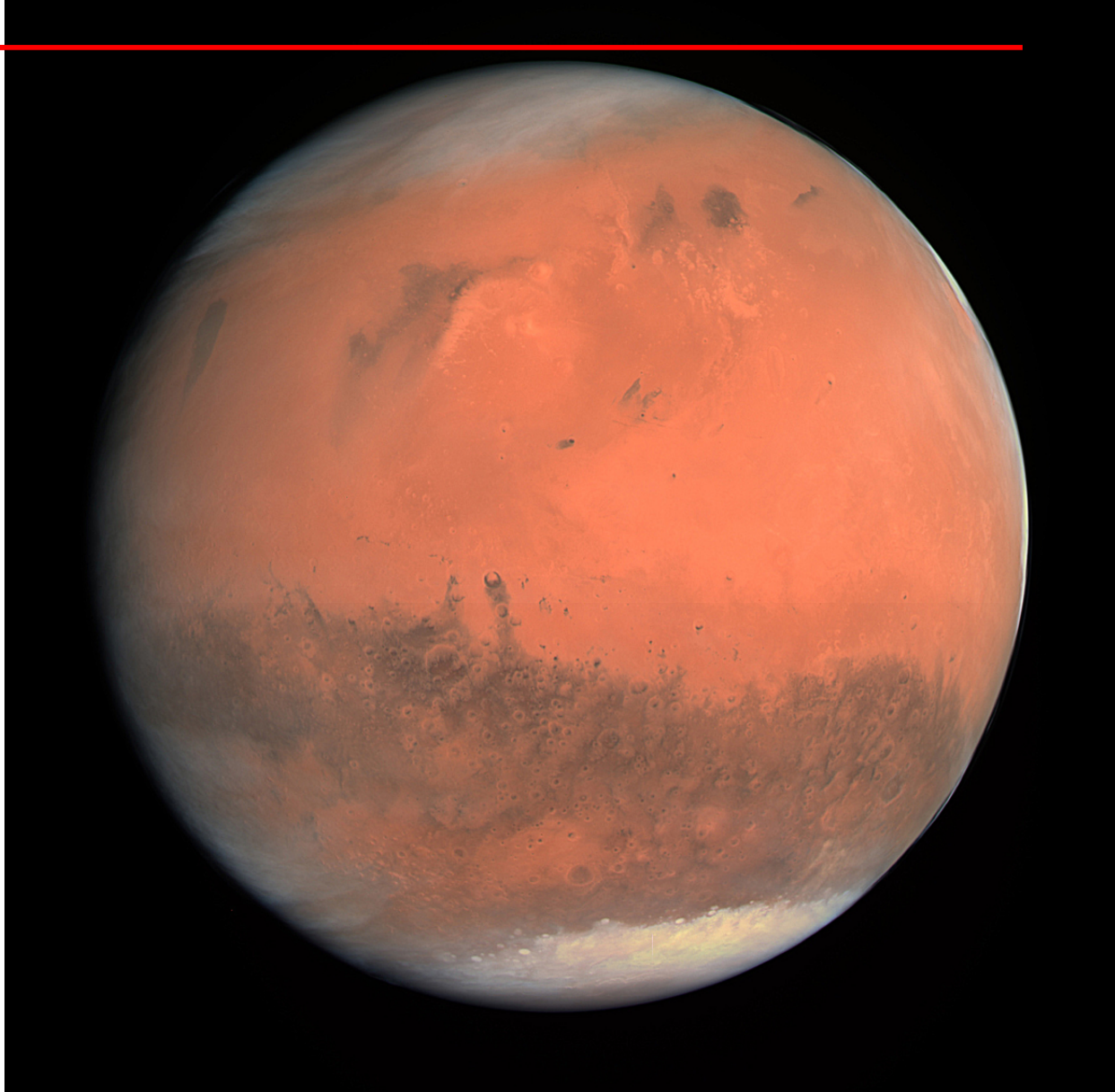
sabe muito sobre a história de formação estelar dessas galáxias, e se elas também possuem uma população estelar velha. Como é possível que essas galáxias tenham sobrevivido tanto tempo inalteradas e sejam tão parecidas com as pequenas galáxias do passado? Por que só estão formando suas estrelas agora? A existência ou não de uma população estelar velha nessas galáxias, invisível por causa do brilho muito mais intenso da população jovem que agora ioniza seu gás, pode diferenciá-las das galáxias ervilhas do universo jovem, e isso poderia significar que os processos que permitem o escape de fótons nas galáxias que observamos e naquelas do universo distante são diferentes.

Essas são perguntas ainda sem respostas que têm motivado a pesquisa de diversos grupos de astrônomos. A busca pelos objetos de onde escapam fótons do contínuo de Lyman é um tópico de alto interesse da astrofísica atual e diversos estudos, tanto teóricos quanto observacionais tentam encontrá-los •

*Lucimara Pires Martins
alariele@gmail.com
Universidade Cidade de São Paulo*

Colonizando Marte

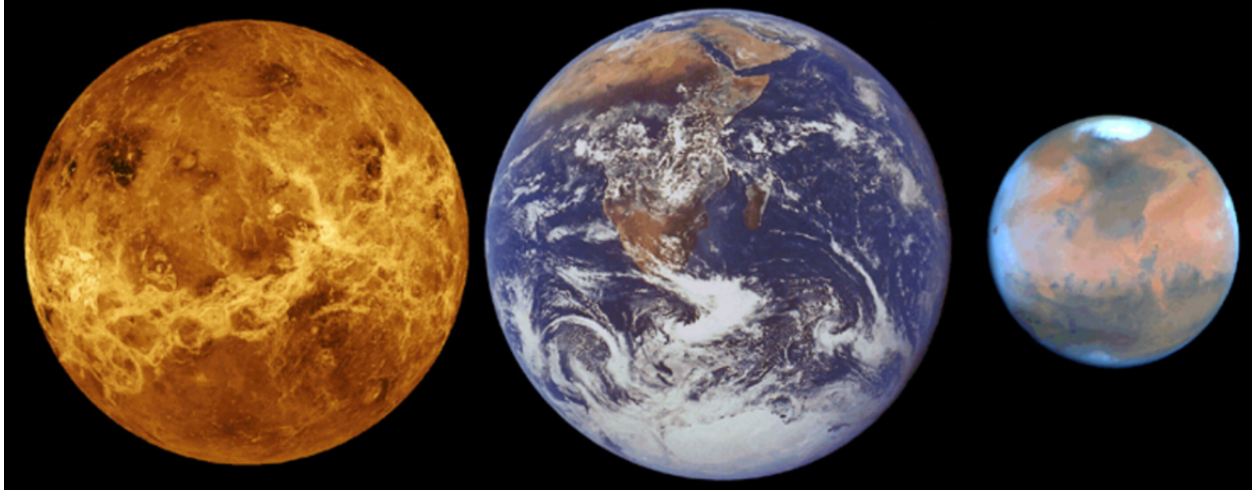
A expansão da humanidade



O primeiro passo do futuro da humanidade no Espaço necessariamente passa por Marte. Já é hora de encarar seriamente esse desafio?

O planeta Marte nos fascina desde a antiguidade mais remota. Visível com uma intensa cor avermelhada, pode tornar-se, nas aproximações muito favoráveis, o planeta mais brilhante do céu, com exceção de Vênus. No Sistema Solar, Vênus e Marte são os planetas rochosos considerados semelhantes à Terra: constituídos principalmente de material rochoso, com um núcleo metálico e algum material volátil na superfi-

cie. Os três possuem atmosfera, sendo que na Terra esse material volátil é complementado por oceanos de água líquida. Todas as formas de vida que conhecemos se desenvolvem nessa pequena “película” de material volátil que recobre a Terra. Nem Vênus nem Marte são capazes hoje em dia de abrigar água líquida em suas superfícies, mas bilhões de anos atrás, esses mundos — assim como a própria Terra — eram profundamente diferentes de como



hoje os observamos.

Tanto Vênus quanto Marte, dentro do nosso conhecimento atual, podem ter abrigado oceanos de água líquida no passado distante, ou seja, estavam posicionados dentro da chamada *zona habitável*: a região do Sistema Solar onde um planeta rochoso pode manter água líquida em sua superfície. Um planeta situado dentro da zona habitável não necessariamente abriga vida, mas os dois fatos estão obviamente conectados — a Terra é o único planeta que conhecemos que abriga vida e é, também, o único planeta onde observamos a existência de água líquida na superfície.

Por que Marte ocupa um lugar tão especial em nosso imaginário? Por que temos uma identificação tão próxima com esse planeta, considerando-o como uma espécie de irmão menor da Terra, como um projeto que não deu certo, mas que poderia ter dado? Marte possui abundantes evidências em sua superfície não apenas

da presença de água líquida, mas em enorme quantidade e durante longos intervalos de tempo. Vemos evidências claras da ação passada de rios caudalosos; vemos crateras que mostram a morfologia de lagos, com canais de entrada e de escoamento; observamos a deposição de bacias sedimentares; revelam-se sinais inequívocos de erosão glacial, onde estiveram geleiras de grandes dimensões; e vemos deposições mineralógicas que só podem ser explicadas se ocorreram na presença de água líquida. As evidências geológicas demonstram que Marte já foi de fato habitável, sendo o único corpo do Sistema Solar que compartilha com a Terra essa propriedade única e maravilhosa.

As impressões fugidias e construções fantasiosas de filósofos, poetas ou mesmo cientistas sobre o planeta vermelho, populares no século XIX e até a metade do século passado, já não têm mais lugar no século XXI. Marte é um planeta completamente mapeado e

Acima

Bem menor e mais frio do que a Terra, ainda assim Marte (à direita) é o planeta cujas características superficiais mais se parecem com as de nosso planeta. Vênus (à esquerda), apesar de ter quase o mesmo tamanho que a Terra, está aprisionado em um efeito estufa descontrolado e é infernalmente quente (Crédito: Wikimedia Commons)

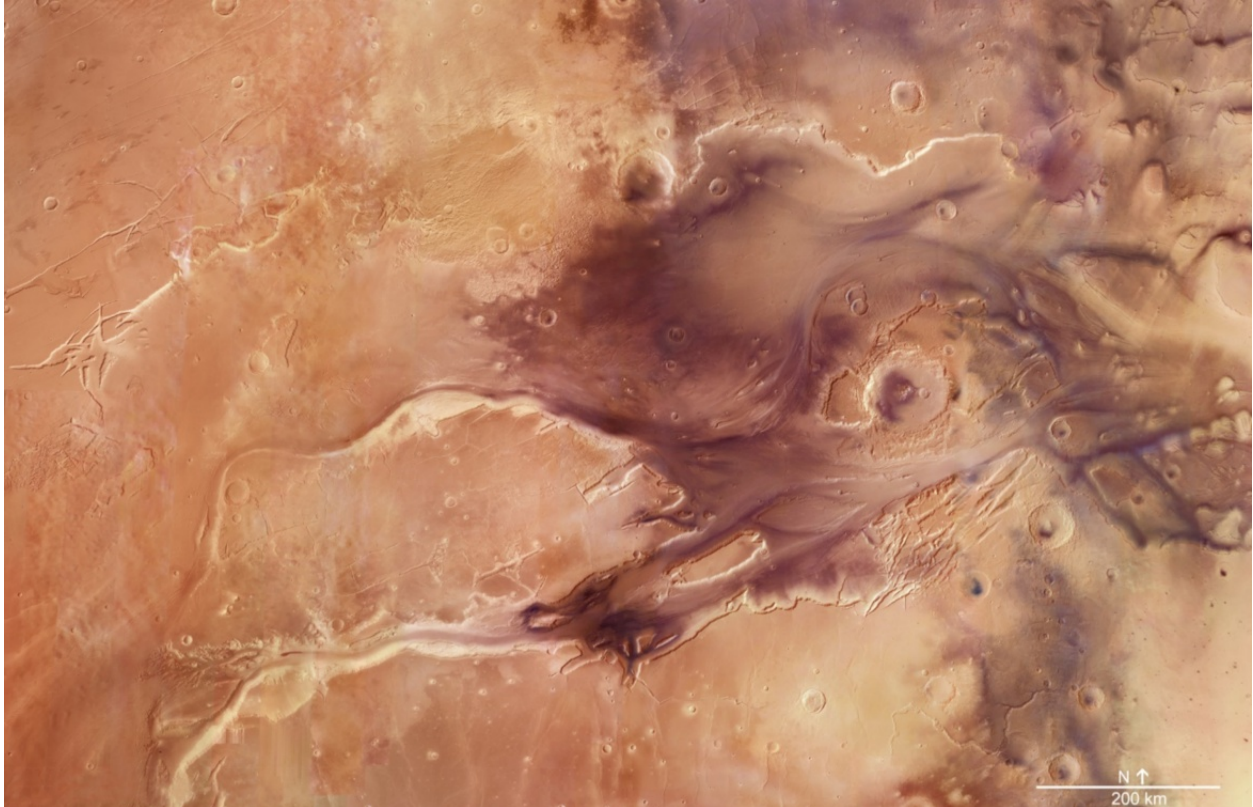
Na página anterior

Marte fascina a humanidade há muitos séculos, desde o início das observações telescópicas no século XVII, pela sua óbvia semelhança superficial com a Terra. Esse fascínio sobreviveu à Era Espacial, apesar de inicialmente as primeiras sondas que visitaram o planeta terem mostrado que, sob suas condições atuais, a água líquida não pode existir em sua superfície (Crédito: ESA, MPS, Osiris Team).

profundamente estudado, quase tão bem conhecido quanto a Terra. Dentre todos os planetas e satélites do Sistema Solar, Marte possui as condições superficiais que mais se aproximam das terrestres. Isso não significa que Marte é o planeta fisicamente mais parecido com a Terra. Essa distinção recai sobre Vênus, que tem 82% da massa da Terra e 95% do seu diâmetro. Marte possui apenas 11% da massa da Terra e menos da metade do diâmetro. Entretanto, a temperatura superficial média de Marte é de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, comparada a $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ para a Terra. Vênus possui temperatura superficial média ao redor de $+460\text{ }^{\circ}\text{C}$! O nosso planeta “irmão” em tamanho está aprisionado em um efeito estufa descontrolado que provoca temperaturas infernalmente quentes. Marte, por sua vez, recebe menos radiação solar do que a Terra e é um mundo muito mais frio. Mas a faixa de temperaturas de Marte, que vai de $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ nos invernos polares até $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ no equador (compare esses valores com $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ no inverno da Antártida e de $+57\text{ }^{\circ}\text{C}$ no Vale da Morte, EUA), está dentro daquela experimentada anualmente por muitos ecossistemas — inclusive cidades — terrestres. A cidade de Verkhoyansk, na Rússia, possui uma amplitude térmica que vai de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ nos invernos mais rigorosos até mais de $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ no verão, uma diferença sazonal de 110 graus! Um valor não muito menor do que o verificado em Mar-

te. Muitos biomas terrestres experimentam temperaturas sazonais de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou menos, e a vida terrestre está claramente adaptada a suportar essas temperaturas. Além disso, o ser humano se mostra extraordinariamente resiliente e flexível: os recursos de nossa civilização tecnológica nos acostumaram a modificar as condições ambientais a nosso gosto. Utilizamos aquecedores, condicionadores de ar, umidificadores e desumidificadores, uma parafernália da qual muitas vezes nem nos damos conta e sem a qual a vida seria mais difícil ou, no mínimo, mais desconfortável. As temperaturas superficiais de Marte estão dentro do intervalo compatível com a vida terrestre e nossa civilização, e não oferecem obstáculo à colonização humana. Não podemos dizer isso de nenhum outro local do Sistema Solar!

Marte simplesmente não é um planeta como outro qualquer. As semelhanças com a Terra são marcantes e impressionantes. Ele é o único corpo do Sistema Solar onde se verificam muitos dos processos geomorfológicos e atmosféricos com os quais estamos acostumados na Terra. Observamos em Marte os efeitos de erosão fluvial, glacial e eólica, além da presença de nuvens de vapor de água. Marte possui calotas polares de gelo, como a Terra, e compostas principalmente por água congelada, como na Terra (em Marte, parte desse gelo é composto de



dióxido de carbono sólido, que aqui na Terra chamamos de gelo seco). Existe ainda muita evidência da presença de enorme quantidade de água congelada no solo, sob a forma de permafrost. Seu eixo de rotação possui quase a mesma inclinação que o eixo terrestre: um pouco mais de 25 graus, contra 23,5 graus para a Terra. Isso significa que as estações do ano têm a mesma intensidade em Marte do que em nosso planeta, embora, na média, elas tenham duração 90% maior. E, além disso, o período de rotação de Marte é de 24 horas e 36 minutos, praticamente idêntico ao da Terra, algo único em todo o Sistema Solar. Finalmente, conforme apontam todos os levantamentos geológicos,

embasados por imagens orbitais e prospecção no solo, encontramos na superfície ou no subsolo de Marte todos os minerais e minérios necessários ao florescimento de uma civilização tecnológica. Água, energia, e recursos em abundância estão disponíveis na superfície, ou próximo dela, no nosso planeta vizinho. Marte é, por uma larga margem, o mais viável, interessante e atrativo corpo celeste, em todo o Sistema Solar, para a implantação da habitação humana. Nenhum outro corpo do Sistema Solar mostra interesse comparável: Marte é único.

A ideia de colonizar Marte nada tem de nova, sendo regularmente explorada na ficção científica há muitas décadas, e já não surpre-

Acima
Missões espaciais da NASA, ESA e vários outros países exploram Marte em cada vez mais detalhes, com robôs cada vez mais sofisticados. Na imagem, estruturas geológicas interpretadas como leitos de rios secos, muito antigos, espriam-se próximo da cratera Huyghens, fotografadas pela sonda Mars Express (Crédito: ESA).



Acima

O forte impulso inicial das missões espaciais tripuladas seguiu o ritmo da disputa geopolítica entre os Estados Unidos e a extinta União Soviética, sendo que o pouso do primeiro ser humano na Lua representou o coroamento dessa disputa. Após esse sucesso americano, as duas superpotências perderam interesse e o próximo passo natural, que seria uma missão tripulada à Marte, saiu da agenda. Isso pode estar mudando no início do século XXI (Crédito: NASA).

endem a opinião pública. Planos para missões tripuladas a Marte remontam aos anos 1950, muito antes do primeiro satélite e do voo de Yuri Gagarin. Embora fosse claro que o grande objetivo da Corrida Espacial dos anos 1960, durante a Guerra Fria entre a antiga União Soviética e os Estados Unidos, fosse o pouso tripulado na Lua, os planos de ida à Marte sempre figuraram com destaque nas agências espaciais desses países. Após o grande triunfo norte-americano de 1969, com o pouso da Apollo 11 na Lua, a agenda espacial da humanidade pareceu desinflar-se quase que imediatamente. O que houve? O que foi feito dos objetivos ambiciosos dessa era heroica, quando tudo parecia possí-

vel? Estariam os interesses dos governos e agências espaciais limitados a uma competição mesquinha por prestígio geopolítico? O que foi feito do imenso senso de aventura e de exploração, de desbravamento e inovação tecnológica, que parecia motivar o discurso dos competidores durante a Corrida Espacial? Desde então, ouvimos apenas planos vagos e requeentados de que uma missão tripulada à Marte estaria logo no horizonte, e que o trabalho na Estação Espacial Internacional é um preparativo para missões longas no espaço profundo, e que um eventual retorno à Lua seria um treinamento e uma antecipação para a instalação de bases permanentes à Marte. Esse é um discurso antigo. Será que não existe nada de novo sob o Sol?

Por que colonizar Marte?

Por que deveríamos investir enormes quantidades de dinheiro, recursos e vidas humanas na colonização de Marte? O que há em Marte de tão importante que justifique tanto sacrifício — provavelmente a jornada mais cara, difícil e perigosa jamais empreendida por uma cultura humana? Nosso planeta está infestado de inúmeros problemas da maior gravidade: pobreza, fome, conflitos de vários tipos e, pairando sobre todos nós como uma espada de Dâmoques, o aquecimento global e suas consequências: catástrofes climáticas, elevação do nível dos o-

ceanos, tempestades cada vez mais violentas, secas, enchentes e ondas de milhões de refugiados, para citar apenas alguns dos problemas mais graves com que nos deparamos.

Essas são perguntas profundamente morais e importantes, originando-se de uma perspectiva de responsabilidade para com o planeta que gerou e abrigou as únicas formas de vida que conhecemos em todo o Universo. Por que não investir nossos recursos e energia em solucionar nossos problemas aqui e agora, em lugar de alimentar fantasias escapistas de virar as costas às nossas responsabilidades com a Terra e buscar algum tipo de redenção em um lugar inóspito, distante e sem nenhuma conexão com a origem da humanidade?

À primeira vista, a lógica dessas indagações é inatacável. A manutenção da Terra, da vida terrestre e sua ecologia, da nossa civilização e suas mazelas, e mesmo da nossa qualidade de vida, deveriam ser absoluta prioridade na agenda da humanidade para o século XXI, onde se desenham claramente tantas ameaças à nossa existência e bem-estar. Entretanto, um exame mais profundo da natureza dessas questões deixa claro que estabelecer uma presença humana permanente em Marte é não apenas lógico e necessário, mas se configura como o objetivo mais importante com que se defronta a humanidade. Talvez este



Acima

No início do séc. XXI, novos atores impõem-se no cenário da exploração espacial, atuando principalmente no setor comercial, mas em alguns casos claramente com propósito de promover a exploração tripulada. No caso da SpaceX, fundada pelo bilionário norte-americano Elon Musk, o objetivo é declaradamente a colonização humana permanente em Marte. Na imagem, o lançamento de um foguete Falcon 9, da SpaceX (Crédito: SpaceX).

seja o ato mais importante de toda a nossa história, comparável à ousadia do primeiro hominídeo que se ergueu nas patas traseiras, ou ao deslumbramento do Sapiens que segurou em suas mãos a primeira tocha na qual vicejava a flor do fogo.

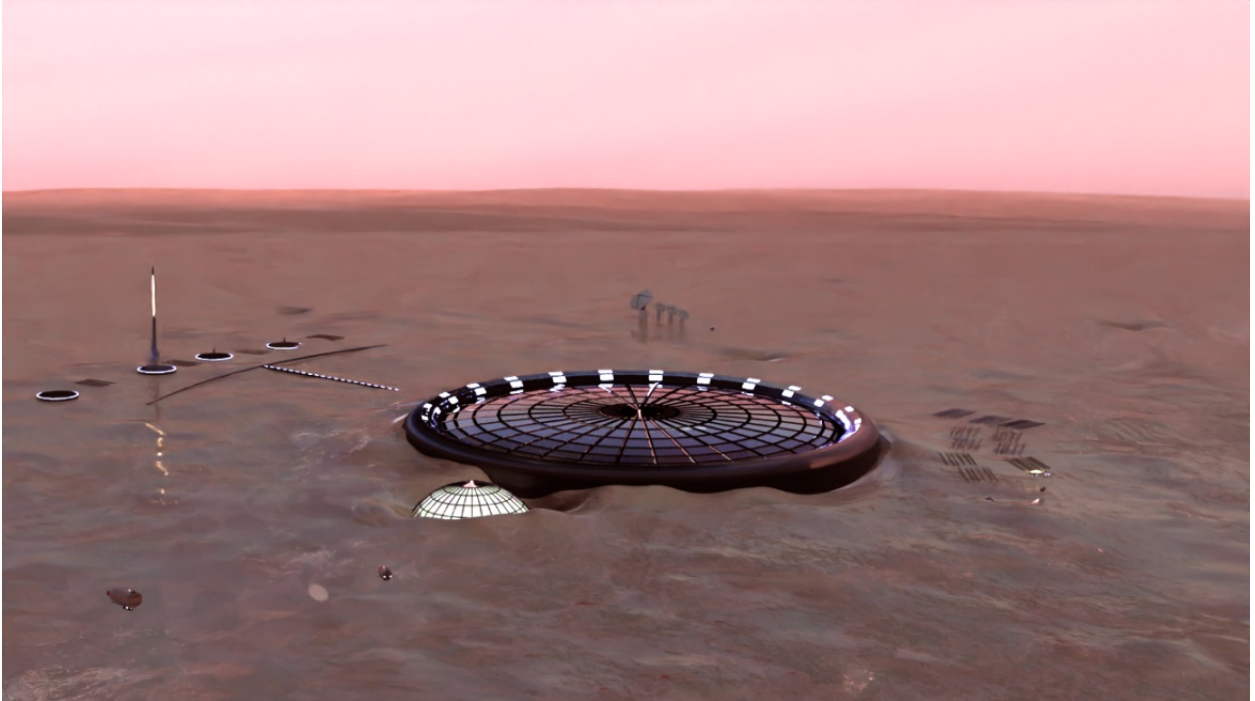
Tal iniciativa irá beneficiar toda a humanidade de uma maneira incalculável. Em primeiro lugar, expandir a vida humana e a biosfera terrestre para além do confinamento do planeta Terra é eminentemente sensato. Estamos acostumados a pensar que nosso aprazível planeta é uma entidade benéfica e imutável, para sempre destinada a nos abrigar de modo confortável. Nada poderia estar mais distante da realidade. Nosso planeta sofreu profundas crises e transformações em seus bilhões de anos de vida, e nossa biosfera é sobrevivente de catástrofes climáticas globais que provocaram episódios intensos de extinção em massa. O mais letal de-

les, o da transição do período Permiano para o Triássico, há uns 250 milhões de anos atrás, extinguiu 99% das espécies então existentes. Apenas nos últimos 600 milhões de anos, foram 5 grandes episódios de extinção em massa.

As causas dessas terríveis extinções são inúmeras. Estão bem documentados os impactos de asteroides, tais como o responsável pela extinção do final do período Cretáceo, 66 milhões de anos atrás, na qual desapareceram os dinossauros. Há forte evidência do papel desempenhado pelo fenômeno chamado de supervulcanismo, no qual derrames de lava de enormes proporções se desenrolam por milhares de anos, deflagrando instabilidades climáticas globais, acidificando os oceanos e removendo o oxigênio da atmosfera. Essas ameaças não estão no domínio da ficção científica — são fatos científicos comprovados. São parte integrante da dinâmica da vida de nosso planeta, e evidências de eventos semelhantes são vistas tanto em Vênus quanto em Marte. Vivemos sob perigo constante de catástrofes internas, geológicas, e externas, oriundas do espaço — um Universo perigoso, no qual o surgimento e manutenção de vida em nosso planeta não parece possuir nenhum sentido especial. Uma grande conflagração de supervulcanismo provavelmente não pode ser prevista, mas as ameaças de impactos de asteroides ou cometas são aten-

tamente mapeadas por governos em todo o mundo. O asteroide Apófis recentemente ocupou o noticiário, pela possibilidade de um possível impacto com a Terra (já completamente afastada) em 2036. Outro asteroide investigado é Bennu, com possibilidade (felizmente, muito remota) de impacto com a Terra em 2175. Bennu, com cerca de 500 metros de diâmetro, liberaria no impacto uma energia equivalente a 1200 megatons de TNT — ou seja, uma explosão igual a 70000 vezes a da bomba atômica lançada em Hiroshima em 1945. O asteroide o qual se crê ser responsável pela mais recente extinção em massa, a do fim do Cretáceo, liberou uma energia equivalente estimada em muitos milhares de vezes todo o arsenal nuclear da humanidade, disparado simultaneamente!

Não precisamos estar à mercê dessas catástrofes. Podemos preservar não apenas a nossa civilização, mas a biosfera terrestre, sua história e sua memória, mas para isso necessitamos reconhecer a fragilidade de nossa condição biológica: o corpo físico do planeta nada sofreu com esses episódios de extinção em massa. Asteroides, supernovas e supervulcões nada significam para a Terra. Mas para nós, formas de vida baseadas em água e em carbono, e nossa frágil ecologia, a mensagem é muito clara. Vivemos no fio de uma navalha, no limite entre o frio e o calor, entre a calma e a tor-



menta, nossa sobrevivência continuamente ameaçada por eventos titânicos sobre os quais quase não temos controle. Expandir nossa biosfera e civilização para outros mundos é um seguro de vida, uma rebeldia contra a indiferença do Universo. E se pensarmos de maneira um pouco mais filosófica, na preservação deste milagre cósmico que é a vida, por que não considerarmos essa atitude como um gesto de amor profundo?

No longo prazo, o planeta Terra está fatalmente condenado a morrer, e com ele toda a história maravilhosa de evolução da vida e da espécie humana. Nosso Sol está evoluindo para o estágio de subgigante, inexoravelmente tornando-se mais luminoso, irradiando os planetas com cada vez mais energia. Em algumas centenas de

milhões de anos, a Terra sairá da zona habitável, e se iniciará o lento e natural processo de evaporação dos oceanos e total extinção da vida. Precisamos de um plano de contingência. Marte nos acena.

O caminho para Marte

Projetos para uma viagem tripulada à Marte, a instalação de uma ou mais bases permanentes, e a transformação de tais bases em colônias e cidades existem há muitas décadas. Existem propostas para abordar toda e cada uma das dificuldades e perigos da viagem de ida e de volta, e da permanência no planeta vermelho. No que diz respeito ao trajeto até Marte, há soluções para os desafios da radiação, segurança psicológica e manutenção de vida. Uma vez no solo de Marte, sabemos como encontrar e explorar água; como

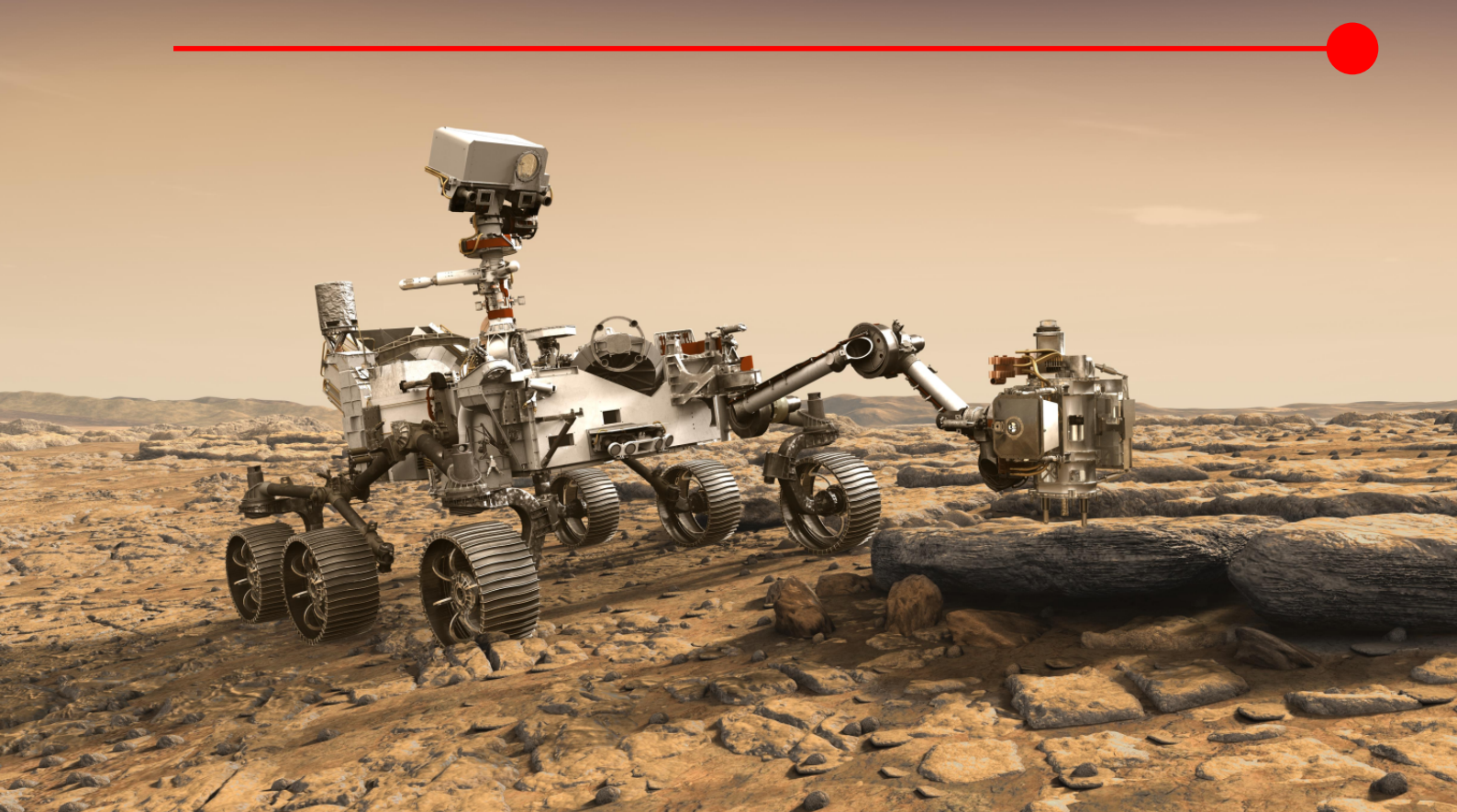
Acima Setores importantes da sociedade atual, principalmente nos Estados Unidos e Europa, mas também em outros países, promovem ativamente a discussão da exploração e colonização de Marte. Na imagem, um projeto brasileiro de uma cidade em Marte para abrigar um milhão de habitantes (Crédito: Lucas Fonseca/Brazil On Mars).

buscar proteção da radiação, do ressecamento e das baixas temperaturas. No início, tudo será muito difícil, perigoso e caro. Até pouco tempo atrás, esses planos estavam no domínio exclusivo de governos e agências espaciais. Essa era a velha corrida espacial: de início, uma competição entre os EUA e a Rússia; depois, novos atores se agregaram: a Agência Espacial Europeia, o Japão, a Índia, a China, e outros. Mas é uma medida da dimensão do desafio existencial de expandir a humanidade para outros planetas e novos horizontes o fato de que a exploração espacial já entrou no domínio de atuação do cidadão privado. No alvorecer do século XXI, empresas particulares ambicionam explorar comercialmente o espaço imediato à Terra, turística e industrialmente. Para um desses novos atores em particular, a empresa norte-americana SpaceX, o objetivo de longo prazo de toda essa atividade é claro: colonizar o planeta vermelho em grande escala. A Velha Corrida Espacial, travada entre nações e baseada exclusivamente em prestígio e geopolítica, deu lugar a uma Nova Corrida Espacial, entre países e empresas, povos e empreendedores, por novos mercados e novos horizontes. Empresas como a SpaceX, do bilionário norte-americano Elon Musk, já estão testando as espaçonaves que levarão os primeiros colonizadores de Marte, e outras empresas exploram a possibi-

lidade do turismo espacial, mineração de asteroides, e até a geração de energia no Espaço. Essas iniciativas estarão no âmago das motivações, dos conflitos, e da definição das regras desse novo jogo que levará aos primeiros passos humanos em nosso planeta vizinho, apontando para uma nova fronteira de desenvolvimento da civilização humana e nossa sobrevivência de longo prazo.

Marte como fronteira humana

Atualmente, fala-se muito dos exoplanetas, mundos orbitando outras estrelas, muitos deles dentro de suas zonas habitáveis. São mundos sobre os quais quase nada sabemos, e estão a distâncias tamanhas que desafiam mesmo as projeções tecnológicas mais otimistas. Com nossa tecnologia atual, a viagem levaria milhares de anos. Marte, por sua vez, é uma fronteira real e concreta, um planeta próximo, conhecido, alcançável. Um planeta inteiro cheio de recursos, água, combustível, minerais. Existem planos concretos para viabilizar a implantação de colônias, e paulatinamente desenvolver sua capacidade de autossuficiência na produção de água e combustível para espaçonaves e veículos de solo, assim como oxigênio para a manutenção de vida. Inicialmente, a importação de comida será indispensável, mas no longo prazo, com a construção de grandes habitats herméticos



cos, a agricultura e a criação de animais será possível. Como primeiro passo, a matriz energética provavelmente será nuclear, mas o desenvolvimento de grandes fazendas de energia solar está previsto. Com o crescimento da população e o desenvolvimento de uma base industrial, a colônia se tornará independente na produção de alimentos e construção básica, e mais futuramente, na fabricação de artefatos metálicos, plásticos e cerâmicas.

O atual orçamento anual da NASA gira em torno de 23 bilhões de dólares. Comparemos esse valor com a movimentação financeira mundial, a cada ano, em bilhões de dólares, de algumas indústrias bem conhecidas: pornografia, 70 bilhões de dólares; indústria de fast food, 110 bilhões de dólares; indústria de álcool e tabaco, 177 bilhões de dólares; rendimento dos jogos legalizados, 350

bilhões de dólares; Facebook, 480 bilhões de dólares. Quanto vale, monetariamente, expandirmos de maneira definitiva as bases de vida da existência humana, preservando nossa espécie, nossa cultura, nossa biosfera? Quanto vale ousarmos alçar voos infinitos pelo Cosmos, expandindo nosso conhecimento, nossa vida, dando espaço a sonhos, conquistando medos, semeando novos mundos?

Marte é apenas o começo •

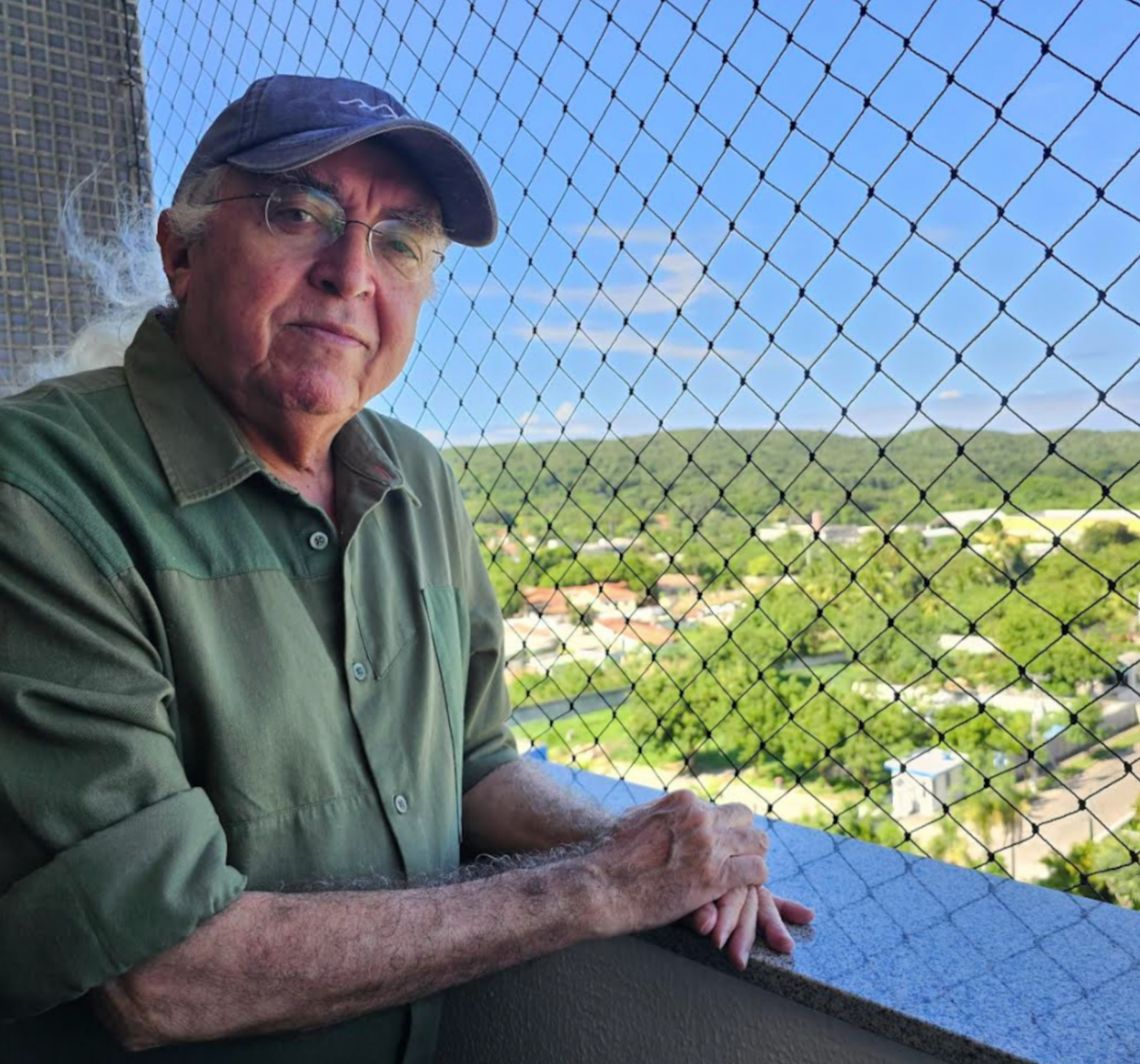
*Gustavo F. Porto de Mello
gustavo@ov.ufrj.br
Univ. Fed. do Rio de Janeiro*

Acima

Representação artística do jipe robotizado Perseverance durante uma missão de reconhecimento do solo marciano (Crédito: NASA/JPL-Caltech).

Para saber mais

Conheça os projetos e propostas do Brazil on Mars
<http://www.brazilonmars.com/>



Entrevista

José Renan de

Nesta edição, entrevistamos o Dr. José Renan de Medeiros.

Nascido em 24 de setembro de 1952, na localidade das Cachoeiras dos Morenos, RN, José Renan formou-se em Física, em 1976, pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Defendeu sua Dissertação de Mestrado em 1980, no Observatório Nacional; e sua Tese de Doutorado em 1990, na Universidade de Genebra, sob a orientação de Michel Mayor, Prêmio Nobel em 2019 por sua pesquisa com exoplanetas. O tema de tese versou sobre a rotação de estrelas evoluídas, tópico no qual ele ainda hoje se destaca como um dos principais especialistas do mundo. Desde 1996, José Renan orientou 25 mestrados e 26 doutorados, nucleando um produtivo centro de pesquisa astronômica em Natal. Ele já foi Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Física da UFRN e Chefe do Departamento de Física Teórica e Experimental desta mesma universidade, onde atua como professor desde 1977. Sua atuação em prol da astronomia brasileira lhe levou a presidir a Sociedade Astronômica Brasileira, entre 1997 e 2000, bem como a Comissão Brasileira de Astronomia, entre 2005 e 2009. Nos órgãos de fomento científico foi membro do Comitê Assessor de Física e Astronomia do CNPq e, por três vezes, membro da Comissão de Avaliação de Pós-graduação da CAPES. Na entrevista que se segue, José Renan conta um pouco sobre sua formação em Eletrotécnica, anterior à formação em Astronomia. Não é de admirar, portanto, seu constante engajamento em instrumentação científica, tendo sido, em anos anteriores, Coordenador Geral do INCT de Estudos do Espaço e membro do Comitê Executivo do Consórcio Near Infrared Planet Searcher, e, atualmente, o principal pesquisador brasileiro no consórcio de 39 instituições internacionais responsável pela construção do espectrômetro ANDES para o telescópio EELT do European Southern Observatory. José Renan de Medeiros é, ainda, membro titular da Academia Brasileira de Ciências e bolsista de produtividade do CNPq.

Medeiros

RBA: Você sempre pensou em ser cientista, ou foi algo que aconteceu ao longo da vida?

No início da minha vida escolar tive uma professora de nome Délia que quase todos os dias me fazia perguntas sobre o porquê das coisas, da vida. Creio que isso acontecia por ela me ver mergulhado na biblioteca da escola. Por que o céu é azul? Por que chove? Por que as folhas das árvores balançam? Por que existem as ondas do mar? Por que há mais gente de direita na sala de aulas? O que nos faz humanos? Por que sonhamos? Por que as estrelas brilham? E tantas outras perguntas... quase todas incompreensíveis para a minha idade. O curioso é que tais perguntas eram escritas uma a uma em tiras de papel, as quais guardei comigo por muito tempo. Associada essa atitude inspiradora



de Dona Délia, há uma outra que me acompanhava desde a infância. Meu pai era Poeta de Cordel (e ainda é aos 94 anos!) e viajava muito pelas feiras do Nordeste, para vender seus folhetos, onde, na maioria das vezes, era também um cantor cordelista. De fato, essa era sua profissão, de onde obtinha os meios financeiros para o sustento da nossa família. Um dia, ao lhe perguntar se estaria em casa no dia do meu aniversário ele me respondeu, com os olhos lacrimejando, que não seria possível. Entretanto, me pediu para a noite olhar para as estrelas pois ele também estaria olhando e assim tudo seria como se estivéssemos olhando um para o outro. Naquela época eu morava em um lugar denominado Cachoeira dos Morenos, no interior do Rio Grande do Norte, sem eletricidade ou poluição, o que nos fazia quase alcançar as estrelas com as mãos, lugar esse onde também nasci. À noite segui, então, aquilo que meu pai havia pedido... e me entreguei a olhar para aquele mundo de infinitas luzes, porém com uma grande dúvida: qual daquelas estrelas era o olhar do meu pai? Quando ele retornou daquela viagem lhe falei sobre minha dúvida sobre em qual estrela descobrir seu olhar. À noite fomos juntos contemplar o céu e ele começou a apontar para as estrelas, dizendo o nome de muitas, aspecto que ele havia aprendido na cultura e lendas populares. Ele então me sugeriu escolher a estrela que tivesse a cor mais parecida com a cor dos seus olhos. Escolhi então uma estrela de cor verde... que às vezes parecia mudar de cor, mas... não demorei muito a perceber que tais estrelas pareciam estar em todo lugar. Bom... antes de acordar dos sonhos da infância e partir para a vida adulta, aprendi que meu pai, além de Poeta de Cordel e viajante para vender seus folhetos, era também um gigante caçador de estrelas que tinha o dom de estar presente, ao mesmo tempo, em todo lugar do céu onde houvesse uma estrela. Naquela pas-



Acima: Seu pai, Zulema Abraham e Michel Mayor, os ídolos de nosso entrevistado.

sagem do tempo, além de entender o significado das palavras do meu pai, percebi também que ele era alguém com extrema habilidade para cálculos aritméticos, mesmo tendo frequentado escolas por apenas cinco anos. Assim, resolvi associar o mundo de perguntas de Dona Délia ao mundo de Poesia e Matemática do meu Pai e seguir os caminhos da Ciência.

RBA: Você teve algum “ídolo” científico na juventude, que tenha influenciado na escolha da profissão?

Sim, tenho três ídolos, todos bem humanos (todos em vida!). Meu pai que me ensinou os caminhos da Poesia e do cálculo aritmético, me mostrando que a poesia está em tudo que nos envolve e fazemos; Zulema Abraham, que me mostrou a beleza do Método Científico, e Michel Mayor que me inspirou a construir caminhos e neles caminhar.

RBA: Conte-nos brevemente sobre como foi sua formação.

Essa é uma história bem peculiar, na forma como aconteceu no espaço e no tempo. Primeiro, aprendi a ler e escrever através de folhetos de Cordel escritos por meu pai, muitos deles (vim a perceber na idade adulta) cheios de narrativas

épicas. inspiradas em grandes epopeias humanas. Esse gigante caçador de estrelas foi também quem me ensinou a contar. Somente aos 10 anos de idade tive acesso à escola regular, obtendo minha primeira formação na Escola Maria Lidia, já morando em Natal. Em seguida fui para a Escola Técnica Federal, obtendo minha formação em Eletrotécnica; depois fiz Física na UFRN, Mestrado no Centro de Radioastronomia Mackenzie, orientado por Zulema Abraham, e Doutorado no Observatório de Genebra, sob a orientação de Michel Mayor.



Acima: Comemoração pelo Prêmio Nobel de Física que Michel Mayor e Didier Queloz receberam em 2019.

RBA: Como você vê a formação atual de físicos e astrônomos? A quantidade de douto-

res nessas áreas é muito maior do que a quantidade de vagas disponíveis nas instituições de ensino. O que o Brasil está fazendo de errado?

O contexto colocado, exige respostas independentes mesmo que estejam interligadas. Primeiro, há um grupo de escolas que oferecem formação de alto padrão, pode se dizer mesmo nos melhores níveis internacionais. Mas, esse grupo é pequeno face ao número de escolas de pós-graduação no país dentro dessas áreas. Não há racionalidade em se criar cursos de formação em cada cidade, se o dinheiro disponível para sustentar os cursos de formação continua sendo o mesmo. Na realidade há uma visão completamente errada de que basta criar um curso de graduação ou pós-graduação e tudo está assegurado, incluindo a sobrevivência científica de quem cria os cursos. Durante muitos anos (e ainda hoje acontece) fui instigado por colaboradores de grandes escolas a criar uma graduação ou pós-graduação na área canônica da Astronomia na UFRN, mas sempre me neguei a tal empreitada por uma razão simples: a



Acima: em sua sala de trabalho, com imagens icônicas: uma visão do céu (ao centro), pintada por seu filho Edoardo, que tem Síndrome de Down, e a Colheita (a direita) de autor praiano anônimo, para celebrar a construção do Pente de Frequências Laser e do espectrômetro NIRPS.



Acima: Casamento no sábado 14/02/1981... defesa da Dissertação de Mestrado na quarta-feira 18/02/1981.

formação em Astronomia dentro de escolas de Física oferece um horizonte mais amplo de conhecimento, sobretudo nos tempos modernos. Segundo, a formação não deve ser vista apenas com o viés pró instituições de ensino, embora essas sejam o principal polo de absorção desse gênero de mão de obra. É necessário olhar igualmente para o contexto industrial e, nesse caso, oferecer também uma formação com um viés tecnológico; e isso muitas escolas lá fora já o fazem há muito tempo. As reflexões acima levam ao ponto nevrálgico sobre “O que o Brasil está fazendo de errado”: sobretudo, falta planejamento ou melhor uma Política de Estado que balize as necessidades de pessoal qualificado e a qualidade da formação esperada. Não basta criar um curso para chamar de meu sem ter como base projetos de longa duração que deem suporte, sem pensar no horizonte distante. Considerando os cursos de formação de físicos e astrônomos, unicamente, há uma clara anomalia em certas regiões do país, com excesso de cursos que formam para uma única via, sem, portanto, oferecerem perspectivas, levando inclusive à falta de clientela. Nesse contexto, existem exemplos sólidos de como algo bem planejado dá retorno: o programa Renorbio, que oferece um Doutorado em Biotecnologia, em rede, para a região Nordeste do país. Assim, por que não começarmos a idealizar redes envolvendo programas de Pós-Graduação, particu-

larmente num contexto regional? Entre outros aspectos, tal caminho pode levar a redes de colaboração sustentáveis que é a base para produtividade perene e formação de pessoal com qualidade.



Acima: com a esposa Silvia, após caminhada nos alpes suíços, durante os anos do Doutorando.

RBA: Qual foi o trabalho que deu mais prazer em fazer e qual o mais significativo?

Caramba... A jornada mais prazerosa foi a construção de grandes catálogos sobre a rotação estelar, em particular por ser ainda hoje de grande valor para muitos e por ter me dado oportunidade de passar pelo um tempo significativo da minha vida dentro dos Observatórios de Haute Provence e do ESO/La Silla. Naquele tempo mágico eu fazia no mínimo oito semanas de observação por ano... presencialmente! O trabalho mais significativo se constitui de duas ações: a construção do Pente de Frequência Laser para o HARPS, o primeiro instrumento dessa natureza feito para o ESO, e o NIRPS (*Near Infrared Planet Searcher*) que é o primeiro espectrômetro totalmente dedicado à busca de planetas extrassolares. Este último, construído dentro de um consórcio internacional, potencialmente representa uma nova fronteira na Exoplanetologia... Quiçá com a caracterização fí-

sico-química da atmosfera de mundos como o nosso. Entretanto, entre o mais prazeroso e o mais significativo, há um acontecimento que considero o mais marcante em minha vida profissional: conduzir a materialização da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA) dentro da SAB, em 1999, junto com João Batista Canalle. Na época, então Presidente da SAB, aceitei o desafio sugerido por Canalle para abraçarmos a OBA e oficializamo-la como atividade regular da SAB. Olhando para os cerca de 50 participantes da primeira OBA organizada pela SAB, em 1999, e para os cerca de 1.950.000 estudantes que participam da OBA no presente a conclusão é de que algo muito bonito, prazeroso e significativo, foi plantado lá atrás, dando sementes, novas árvores e frutos que se multiplicam.

RBA: Você prefere trabalhar sozinho ou em grupo?

Venho de uma escola, *Scuola Genevensis*, onde o trabalho em colaboração é fundamento básico. Assim tem sido minha vida profissional, sempre trabalhando em equipe, seja em nível local ou internacional, aspecto que envolve as



Acima: Vida em família, nas areias de Ponta Negra.

cerca de três dezenas de doutores formados até hoje.

RBA: Como você vê a astronomia brasileira hoje em dia e o que considera fundamental garantir que o Brasil faça contribuições qualitativamente importantes para a ciência?

Há um primeiro aspecto que salta aos olhos e me enche de esperança: a comunidade astronômica brasileira rejuvenesceu imensamente, trazendo novas visões de Ciência e de Mundo, usando até quebrar certas fronteiras plantadas erroneamente no passado. Há muito menos caciques e pajés e isso é muito bom. É necessário enxergar, também que a astronomia brasileira, mesmo não havendo indução pois as fronteiras plantadas no passado não permitiam, cobre praticamente todo o espectro eletromagnético. Isso exige uma visão de equilíbrio e universalidade para que todas as áreas tenham as devidas oportunidades de produzir e crescer, dentro de princípios de qualidade. Face ao contexto, para o país fazer contribuições relevantes para a Ciência se faz necessária a busca por colaborações efetivas associadas aos grandes projetos globais que se anunciam, como ator principal, e não apenas uma participação de simples coadjuvante como tem acontecido na maioria das vezes. Para atingirmos isto, é necessário ação solidária, visão de futuro, planejamento e ousadia.

RBA: O Brasil vem tentando se associar ao ESO (European Southern Observatory). Qual sua opinião sobre isso? Que impacto você acha que esta associação teria para a astronomia brasileira?

Sou completamente favorável! Esta é a única possibilidade de oferecermos meios de pesquisa e perspectivas de crescimento para todos(as)

uma vez que o ESO cobre exatamente todo o espectro eletromagnético. Nem um outro projeto em Ciência anunciado ou desenvolvido no Brasil, ao longo da sua história, tem essa amplitude de perspectivas oferecidas pela nossa adesão ao ESO.

RBA: Como vê os movimentos atuais e as mudanças na comunidade astronômica com respeito à importância da diversidade de gênero, etnia, etc?

Vejo tudo isso como algo genial, libertador, igualitário e inclusivo. Afinal, somos todos(as) uma mesma raça (humana!) não é mesmo? Particularmente tenho a felicidade de desde cedo ter trabalhado para criar um ambiente de trabalho acolhedor e inclusivo, para todos e para todas, tendo formado até agora pessoas de continentes e gêneros distintos. Já são vinte e seis doutores formados, vindos de diferentes regiões do planeta, todos empregados, e trabalhando em diferentes lugares, entre os hemisférios norte e sul, e isso dá uma enorme alegria. Então... chega de rótulos! Afinal, o que define a competência para a Astronomia ou qualquer outra atividade humana são as habilidades e a determinação de cada ser.

RBA: Em sua opinião, qual foi a maior descoberta astronômica da última década?

Prefiro olhar para as últimas três décadas em que, sem dúvidas, a descoberta dos exoplanetas foi o evento mais marcante, pelo seu impacto científico e filosófico.

RBA: Como a Astronomia desenvolvida no Nordeste pode se destacar ainda mais no cenário nacional?

Acompanho a Astronomia no Nordeste há 45

anos, quando plantei em Natal as sementes do primeiro núcleo de pesquisas da região. Ao longo desse tempo surgiram diferentes núcleos, localizados, particularmente, na Bahia, Ceará, Pará, Sergipe e no próprio Rio Grande do Norte. Entretanto, seguindo a (i)lógica do Sul e Sudeste, tem faltado planejamento e busca por pilares sólidos para um desenvolvimento crescente e perene nas atividades de pesquisa e formação de pessoal. Olhando para a realidade da Astronomia internacional, hoje atrelada a grandes projetos e grandes redes de colaboração, enxergo que o Nordeste precisa buscar tal via para que adquira um lugar de destaque no cenário nacional e internacional.



Acima: Como presidente da SAB, em 1999.

RBA: Você se arrepende de alguma escolha tomada em sua carreira ou faria diferente se tivesse que recomeçar?

Sem dúvida alguma, eu construiria os mesmos caminhos e faria as mesmas caminhadas. Não há arrependimentos. Há, isto sim, a alegria de ver que as sementes que plantei germinaram árvores e que estas estão dando bons frutos.

RBA: Seus planos futuros incluem quais grandes projetos?

Meu pai tem 100 anos menos 6, como ele diz. Repete também que trabalho pouco é bobagem. Assim, me vejo trabalhando, até a referida idade, em grandes projetos cujas sementes foram plantadas ao logo dos últimos 10 anos: Os projetos NIRPS e ANDES. O primeiro (*Near Infrared Planet Searcher*) é um espectrômetro de alta resolução dedicado à busca por planetas extrasolares, em operação desde abril de 2023, junto ao telescópio de 3,60 do ESO/La Silla, construído por um consórcio internacional formado pela UFRN, Universidades de Montreal, Genebra, Grenoble e Porto, e Instituto de Astrofísica de Canárias. O ESO nos contemplou com 720 noites de GTO, a serem exploradas pelo Consórcio ao longo de 5 anos. O segundo (Armazones high Dispersion Echelle Spectrograph), é um espectrômetro de alta resolução, que operará simultaneamente no visível, e será instalado no telescópio de 39 metros do ESO/Cerro Armazones. A construção do ANDES é conduzida por 39 institutos, distribuídos em 14 países, tendo a UFRN como instituição líder no Brasil. Certamente são projetos cheios de inspiração e de novas perspectivas, para um futuro estreitamente ligado com as ações que ora desenvolvo. Me dá uma extrema felicidade ver que muitos dos jovens que formei são os esteios do presente e a força do futuro na condução desses projetos •

José Renan de Medeiros foi entrevistado por Helio J. Rocha-Pinto em 29/04/2024.



Estrelas binárias

A incrível dança dos pares estelares

Como irmãs cósmicas, as estrelas binárias evoluem em constante interação, que dá origem a alguns fenômenos únicos no Universo.

A visão do céu estrelado a olho nu nos mostra que existem estrelas de variados brilhos e cores. Embora cada ponto luminoso possa ser considerado, *a priori*, como único, 4 séculos de observações astronômicas com telescópios nos revelaram que muitas das estrelas vivem em pequenos grupos, formando os sistemas estelares, ou mesmo aos pares, formando as estrelas binárias. Neste texto, dedi-

caremos atenção aos pares de estrelas e suas incríveis danças orbitais pelos braços espirais da nossa Galáxia. Veremos como as binárias nos auxiliam a compreender inúmeros processos físicos, tais como a interação e reciclagem da matéria no Universo e os próprios mecanismos de nascimento e evolução das estrelas. Visitaremos também os exemplos mais dramáticos da interação entre estes astros e descobriremos algu-

mas estrelas binárias que estão ao alcance de qualquer iniciante na observação astronômica.

As primeiras descobertas

Giovanni Battista Riccioli foi um astrônomo e padre italiano muito ativo em seu tempo. Membro da ordem dos jesuítas, ele se dedicou aos estudos da Lua, dos movimentos da Terra, estrelas e cometas. Por volta de 1650, ao apontar seu telescópio para a constelação da Ursa Maior, ele percebeu que a estrela Mizar possuía algo a mais, não revelado pela visão humana. O que possivelmente chamou a atenção de Riccioli e dos astrônomos anteriores a ele é o fato de Mizar possuir uma estrela vizinha, Alcor, que pode ser vista a olho nu, sem necessidade de telescópios. À época do padre italiano, algumas estrelas já tinham sido notadas como pares e os exemplos eram inúmeros. Todavia, a partir do telescópio, Mizar apareceu duplicada aos olhos de Riccioli.

Após Galileo Galilei, a construção de telescópios cada vez maiores aumentou a capacidade de resolução óptica e, com isso, a habilidade de separar e mostrar pares de estrelas que, na visão a olho nu, correspondiam a uma única estrela. Em 1664, Mesarthin, a terceira estrela mais brilhante da constelação de Áries, foi descoberta como dupla pelo inglês Robert Hooke e a ela se seguiu Acrux (alfa do Cruzeiro do Sul), em 1685, pelo pa-

dre francês Jean de Fontenay. Todavia, até meados do século XVIII, havia quase um consenso de que as estrelas que se mostravam aos pares, mesmo com as observações telescópicas, eram o resultado de meros arranjos geométricos a partir da nossa linha de visada. Elas apareceriam próximas umas das outras apenas por perspectiva e, neste caso, a real distância física entre as estrelas deveriam ser enormes e qualquer interação entre as estrelas eram impensada. Genericamente, estes pares estelares ficaram conhecidos como estrelas duplas.

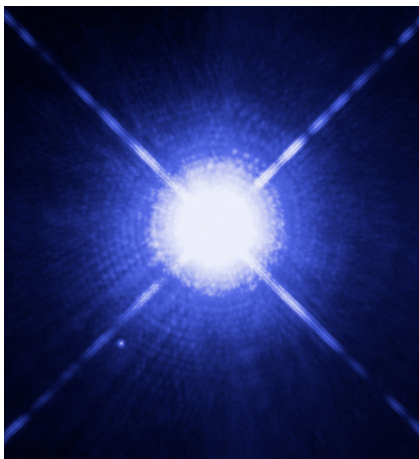
Inspirado pelo trabalho de Isaac Newton com a Lei da Gravitação, John Michell, o mesmo filósofo que imaginou a existência dos buracos negros, recorreu à matemática e à estatística para argumentar que a ocorrência das estrelas duplas não poderia ser explicada apenas a partir da aleatoriedade de suas disposições no espaço. O astrônomo alemão Christian Mayer especulou da mesma forma, imaginando que alguns pares de estrelas estivessem intrinsecamente ligados pela gravidade, com as estrelas situadas bem próximas umas das outras. Nenhuma das hipóteses foi comprovada até os trabalhos de William Herschel. O famoso astrônomo germano-britânico investigou a fundo as posições de um conjunto de 434 estrelas duplas ao longo de quase 20 anos, no final do século XVIII, e concluiu que algumas delas revelaram mu-

Na página anterior

As estrelas Mizar e Alcor, na constelação da Ursa Maior, em visão de campo amplo (imagem maior) e em close, através de telescópios (detalhe da direita). Mizar foi a primeira estrela identificada como dupla a partir de um telescópio, por Giovanni Battista Riccioli, por volta de 1650 (Crédito: DSS, ESO, Wikipedia Commons).

Abaixo

Sirius, a estrela mais brilhante da noite, é na verdade um par de estrelas, visto nesta imagem obtida pelo Telescópio Espacial Hubble em 2005. A brilhante estrela central (Sirius A) está acompanhada por uma tênue anã-branca (Sirius B), vista no canto inferior esquerdo (Crédito: NASA, ESA, H. Bond/STScI e M. Barstow/Universidade de Leicester).



danças em suas posições, condizentes com a hipótese de interação gravitacional mútua. Ao que parece, Herschel foi o primeiro a utilizar o termo binárias para diferenciar os pares de estrelas gravitacionalmente ligadas das estrelas duplas — pares cuja proximidade estelar é produzida por efeito de perspectiva, tal como Mizar e Alcor. No caso das binárias, *grasso modo*, uma estrela gira em torno da outra produzindo uma órbita, tal como a órbita de um planeta ao redor do Sol. Em 1827, o francês Félix Savary calculou a órbita da estrela binária Alula Australis (situada nas patas da Ursa Maior), confirmando os estudos de Herschel e as hipóteses anteriores de Michell e Mayer.

A partir de meados do século XIX, o estudo das estrelas binárias se tornou um ramo importante da astronomia estelar. Gradativamente, a percepção de que muitas das estrelas do céu estavam ligadas gravitacionalmente, pela influência de suas enormes massas, foi tomando forma. Em 1862, uma débil estrela foi detectada ao

redor de Sirius, a estrela mais brilhante do céu noturno. Essa descoberta é creditada ao astrônomo americano Alvan Clark. A descoberta da companheira de Sirius, que passou a ser conhecida como Sirius B, representou também a descoberta da primeira anã branca, uma espécie de

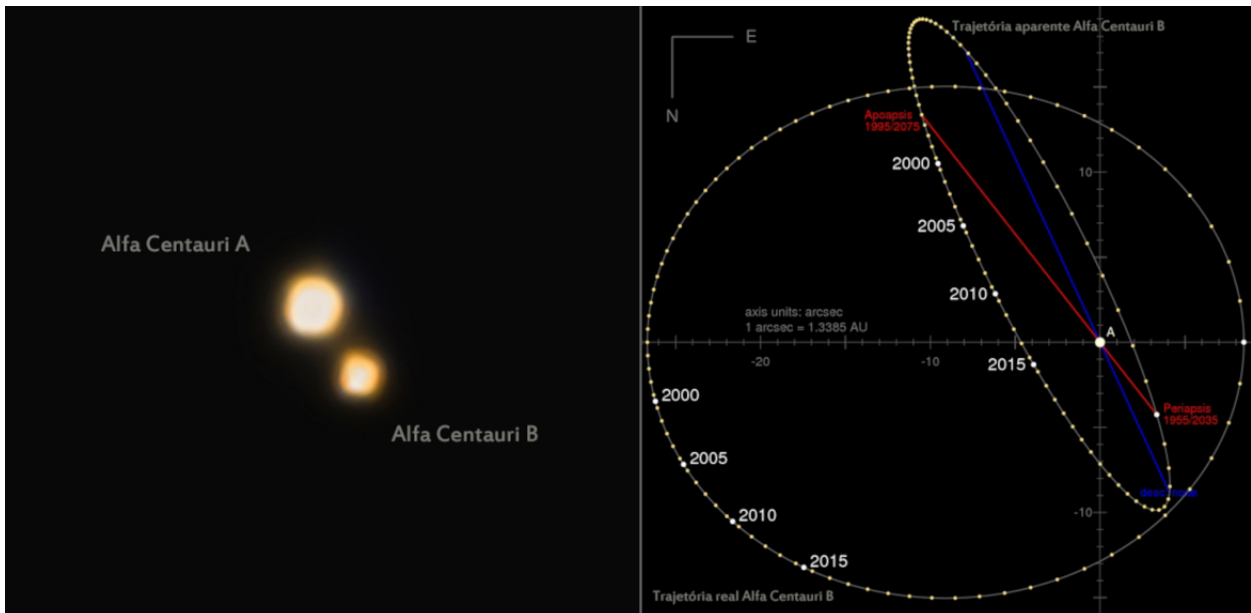
resto da evolução e morte das estrelas de tipo solar. Desde então, o sistema binário de Sirius tem sido um dos mais estudados.

O uso da técnica da espectroscopia a partir do final do século XIX permitiu aos astrônomos medir com maior precisão o movimento estelar e a detecção de estrelas binárias cujas companheiras orbitam muito próximas, não observadas diretamente através dos telescópios. Em outras palavras, ela permitiu a caracterização das órbitas das estrelas binárias com maior rigor.

No começo do século XX diversos catálogos de binárias já existiam, construídos por técnicas de espectroscopia e de mecânica celeste aplicadas aos sistemas estelares. Na atualidade, o *Catálogo Washington de Estrelas Duplas* (WDS), baseado nos dados do Observatório de Lick e Observatório Naval dos Estados Unidos, continua sendo a grande referência de consulta, mesmo entre astrônomos amadores.

Unidas venceremos!

Duas estrelas que vivem juntas, como que unidas pelo destino... Este é possivelmente o caso de 30 a 50% das estrelas da nossa Galáxia, segundo estudos atuais. Esta frequência aumenta para mais de 70% entre as estrelas mais massivas conhecidas, tais como Mintaka, Alnilam e Alnitak, as famosas Três Marias. Aliás, o estudo das binárias possibilita a obten-



ção de dados mais precisos das massas estelares, que nos ajuda a compreender melhor questões relacionadas à idade e a quantidade de energia emitida pelas estrelas.

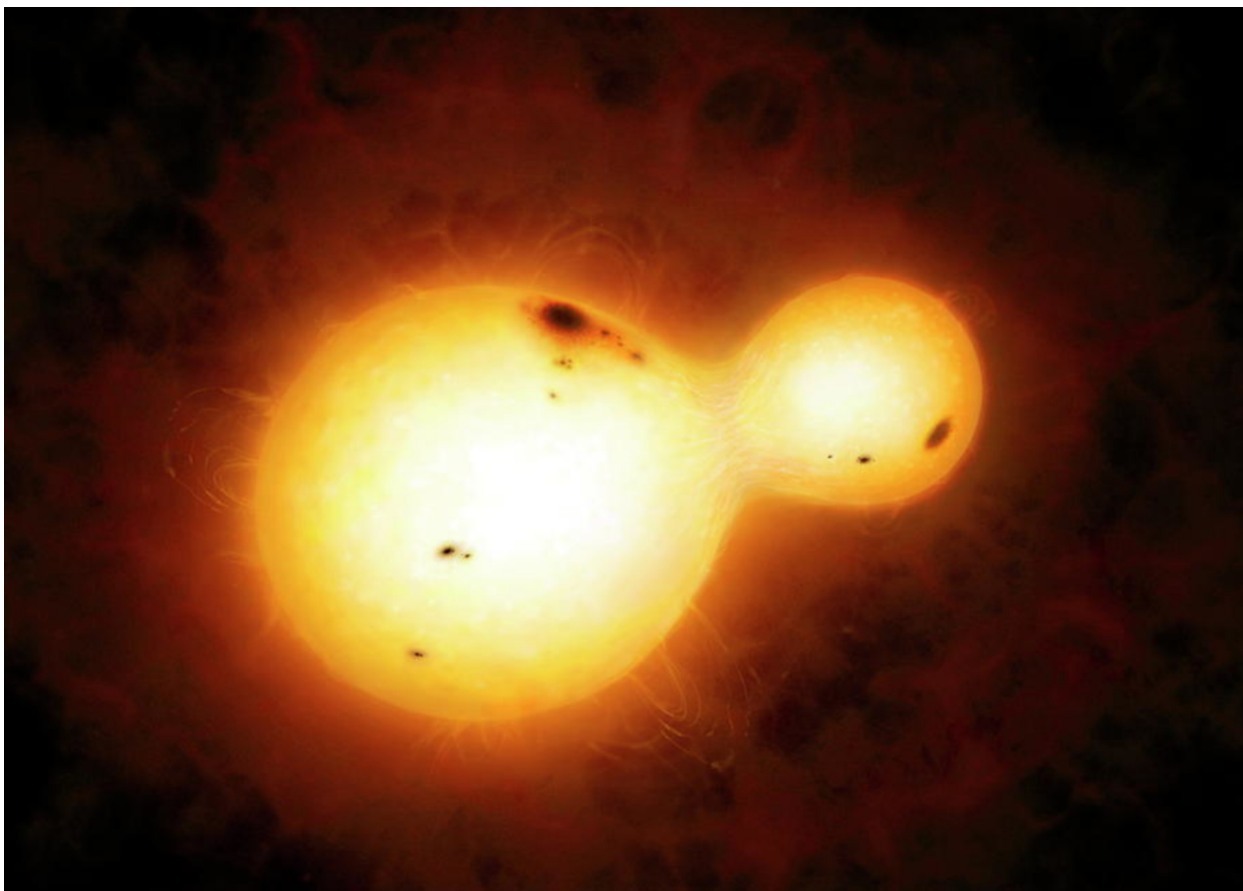
Mizar e Sirius são conhecidas como binárias visuais, pois podemos ver as estrelas companheiras diretamente por telescópios. Normalmente, o período orbital destas estrelas dura de centenas de dias a centenas de milhares de anos, a depender da distância delas até a Terra. A órbita do par binário de Alfa Centauri, por exemplo, é estudada há tempos, e os cálculos indicam que a estrela secundária (menos brilhante) perfaz uma órbita em torno de sua companheira (estrela primária, mais brilhante) em aproximadamente 80 anos. A estrela primária de Alfa Centauri recebe o nome de Alfa Centauri A e sua companheira menos brilhante, Alfa Centauri B. Essa distinção exemplifica a no-

menclatura adotada para denominar todas as estrelas binárias.

Spica, Alpheratz e Capela também são estrelas binárias, mas seus pares estelares são detectados apenas indiretamente, através dos espectros, pois as estrelas estão muito próximas entre si. Para estas binárias, conhecidas como espectroscópicas, a duração do período orbital varia de algumas horas a centenas de dias. Em Spica, por exemplo, as estrelas perfazem uma órbita em apenas 4 dias, estando mais próximas umas das outras do que Mercúrio está do Sol. Esta proximidade produz efeitos gravitacionais extremos, causando distorções nas estrelas e deixando-as com aparência de duas bolas de futebol americano. Algumas das estrelas binárias também produzem eclipses. Isso ocorre quando uma estrela passa na frente de sua companheira, reduzindo o brilho do par. Algol, Menka-

Acima

A estrela Alfa Centauri é uma das binárias visuais mais conhecidas. Na verdade, seu par binário central (imagem da esquerda) possui uma terceira estrela como companheira, Próxima Centauri, não vista na imagem. Alfa Centauri B perfaz uma órbita ao redor de Alfa Centauri A em aproximadamente 80 anos, representada nas trajetórias orbitais da imagem da direita (Crédito: Daniel Mello/Observatório do Valongo, imagem esquerda; Wikipedia Commons, imagem direita).



Acima

Estrelas que se tocam. Algumas binárias estão tão próximas entre si que realizam intercâmbio de matéria, vivendo quase que imersas em um mesmo casulo de gás. A estrela W da constelação da Ursa Maior é o caso mais conhecido, representada nesta imagem artística. No caso desse par, as estrelas rodopiam rapidamente, perfazendo uma órbita em apenas 8 horas (Crédito: Mark Garlick e Science Photo Library).

linam e Alsefina (Delta Velorum) são alguns dos exemplos destes pares estelares nos quais o brilho varia de forma periódica.

As consequências da vida a dois

As estrelas binárias são astros curiosos. No silêncio da noite, mal imaginamos como seria viver em um sistema de 2 estrelas. O Sistema Solar já foi vasculhado no passado na tentativa de encontrar Nêmesis, a suposta companheira do Sol, mas as buscas foram frustradas. Será que nossa estrela está mesmo sozinha? Ao menos na arte, a canção *O Segundo Sol*, escrita por Nando Reis e que se tornou fa-

mosa na voz de Cássia Eller, nos faz imaginar, com a liberdade de interpretação da letra, um dia “inexplicável” com dois sóis no céu. A imagem do duplo pôr do sol no planeta Tatooine, no primeiro filme da saga *Star Wars*, também captou a imaginação de muitos. Realmente, estar próximo de duas estrelas em interação deve render uma bela visão astronômica. Quanto maior a proximidade entre as estrelas, maior impacto esta visão deve causar. Todavia, podemos ter uma ideia da estupefata interação entre as estrelas binárias através dos resultados das observações astronômicas feitas pelos telescópios da atualidade.

Nascimento e morte das estrelas estão entre os temas mais famosos na astrofísica. Algumas das estrelas mais brilhantes da noite devem viver aos pares desde seu nascimento. Este é o caso, por e-

xemplo, das estrelas Acrux (Alfa do Cruzeiro do Sul) e Shaula, a brilhante estrela da cauda da constelação do Escorpião. Algumas, todavia, devem ter formado seu par pela captura de estrelas. Este de-

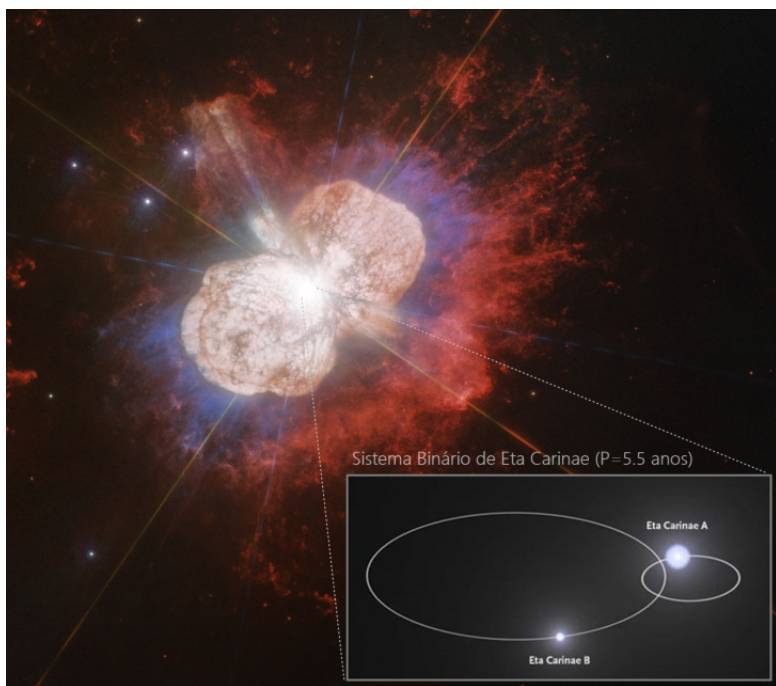
Onde encontrar estrelas binárias para observação

O céu noturno está repleto de exemplos de estrelas binárias que podem ser observadas pelo entusiasta da observação astronômica, sem a necessidade de telescópios de grande porte. A identificação das binárias junto à estrelas que a olho nu aparentam estar isoladas no céu, sempre causa surpresa em uma sessão de observação pública. Para auxiliar o amador na descoberta das estrelas binárias, esta seção contém uma lista dos objetos acessíveis para telescópios com abertura entre 80 e 150mm. Ela foi feita com base no Catálogo de Estrelas Duplas de Washington e nas observações e registros realizados no Observatório do Valongo da UFRJ.

Estrela	Constelação	Características
Almach	Andrômeda	Binária com estrelas de coloração laranja e branco-azulada.
Mesarthin	Áries	Binária com estrelas de brilhos similares.
Upsilon Carinae	Carina	Par de estrelas desafiador, cuja estrela secundária tem brilho muito tênue.
Rigil Kentaurus (Alfa Centauri)	Centauro	É o sistema estelar mais próximo do Sol, cujas estrelas se apresentam nas cores amarelo e laranja.
Gamma Delfini	Golfinho	Binária com duas estrelas amarelas.
Acamar	Erídano	Dois estrelas de cor branca e de brilhos moderados..
Castor	Gêmeos	Uma das estrelas binárias mais conhecidas, compostas por 2 estrelas azuladas.
Rasalgethi	Hércules	Bela estrela binária com visualização durante o inverno.
Algieba	Leão	Par de brilhantes estrelas amarelas, mais bem próximas umas das outras.
Gamma Leporis	Lebre	Estrela binária com componentes bem separadas, mas de brilhos tênues.
Dupla Dupla	Lira	Dois pares de estrelas de cores brancas e amarelas.
Acrux	Cruzeiro do Sul	Neste sistema estelar, três estrelas podem ser vistas durante o começo das noites de outono e inverno. Todas as estrelas são azuladas.
Rigel	Órion	A estrela primária é uma das mais brilhantes do céu e sua companheira é bem fraquinha. Um desafio para as noites de verão.
Mizar	Ursa Maior	Uma estrela binária clássica, melhor vista durante os meses de inverno. Não confundir com Alcor, sua estrela vizinha.

Abaixo

O sistema binário da estrela Eta Carinae está imerso na Nebulosa do Homúnculo, vista nessa imagem de fundo registrada pelo Telescópio Espacial Hubble. O destaque do canto inferior direito mostra o esquema da órbita das estrelas, cujo período orbital é de 5 anos e meio. Estima-se que as duas estrelas emitam energia equivalente a cerca de quatro milhões de sóis (Crédito: NASA, ESA, Judy Schmidt/Wikimedia Commons).



ve ser o caso de sistemas binários cujas estrelas têm idades muito diferentes.

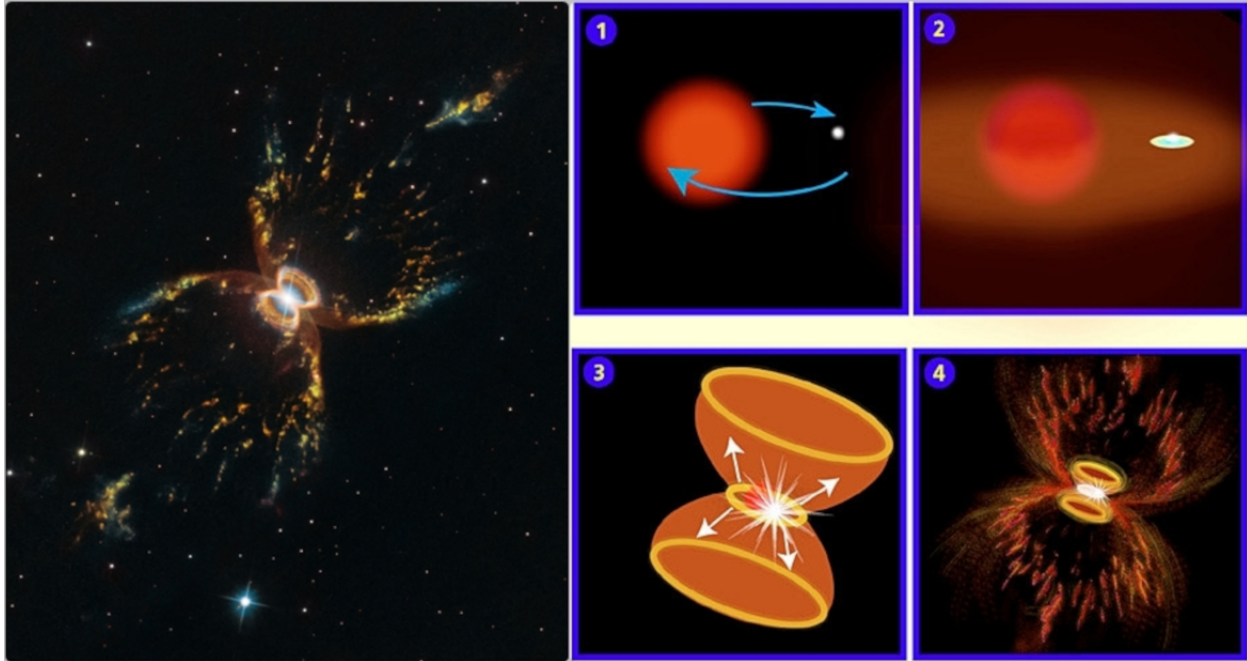
Um dos fenômenos mais interessantes entre as estrelas que vivem aos pares está relacionado à transferência de matéria de uma para outra. A partir de algumas condições físicas necessárias, uma estrela captura matéria de sua companheira e tudo isso gera amplos efeitos, tais como variações de brilho e magníficas explosões estelares. Exemplos incluem as estrelas W Ursae Majoris e Epsilon Coronae Australis. Nestes casos, as estrelas estão em contato real, seguindo órbitas de apenas algumas horas!

Noutros casos, a transferência de matéria entre as estrelas pode causar explosões monumentais, tais como ocorrem nas novas, pares de estrelas em que uma anã

branca suga matéria de sua companheira, normalmente uma estrela evoluída, tal como uma gigante vermelha. Tudo se desenrola à medida que a anã branca atrai a matéria estelar ao redor de si mesma, formando uma espécie de disco que vai crescendo continuamente o gás. Após condições críticas, parte do gás cai sobre o tênue astro, que se aquece e emite novamente uma grande quantidade de radiação, de forma intensa. No passado, este processo anunciava quase que o surgimento de uma nova estrela, já que, normalmente, as novas apareciam em regiões do céu onde nenhuma estrela tinha, a priori, sido detectada. Algumas novas recorrentes têm sido descobertas, exibindo o processo físico descrito de forma quase periódica. Estas binárias são extremamente raras, pois conhecemos não mais do que 15 delas na Via Láctea. Exemplos incluem as estrelas RS Ophiuchi, que se tornou visível a olho nu em 2021, e a T Coronae Borealis (Estrela da Chama), que tem previsão de se tornar (ou tornou-se) facilmente visível ao longo de 2024, após sua intensa explosão estelar.

Quando a dança se torna dramática

Além das novas, há alguns outros fenômenos mais dramáticos entre as estrelas binárias. Uma das classes de supernovas são formadas exatamente pela interação entre estrelas. Elas produzem e-



ventos astrofísicos muito mais intensos que as novas, embora o processo de transferência de matéria também esteja envolvido. As explosões de supernovas estão entre os eventos mais energéticos do Universo.

A estrela mais estudada depois do Sol é um caso de interação entre duas estrelas. Situada na constelação da Quilha do Navio (Carina), Eta Carinae é uma monstruosidade estelar. Seu par é formado por duas estrelas tão massudas que desafiam a compreensão humana sobre estas raras estrelas no Universo. Uma série de episódios de variação de luz tem ocorrido nesta estrela desde meados do século XIX e a interação entre as estrelas tem sido apontada como a explicação natural para os fenômenos observados. As estrelas de Eta Carinae completam uma órbita em aproxima-

damente 5 anos e meio, descoberta realizada pelo astrônomo brasileiro Augusto Daminieli, no final dos anos 1990 — história contada em detalhes no número 7 da Revista Brasileira de Astronomia. Durante o período de maior aproximação das estrelas, uma quantidade estupenda de radiação é emitida para o Espaço, devido à interação dos gases e dos ventos estelares. Nada disso é visto em telescópios amadores. Eta Carinae está muito distante da Terra e suas estrelas estão envoltas em um casulo de gás e poeira estelar conhecido como Nebulosa do Homúnculo, formada durante sua grande explosão em meados do século XIX. A estrela é também uma das mais destacadas candidatas a Supernova na Via Láctea.

A morfologia da Nebulosa do Homúnculo pode ter relação direta com o fato de Eta Carinae ser um

Acima

O formato da Nebulosa do Caranguejo do Sul pode ser entendido com o cenário desta figura. Um par estelar consistindo em uma estrela gigante vermelha e uma anã branca orbitam muito próximos (1). Em algum momento a estrela maior transfere matéria para a anã branca formando um disco denso, em que parte dessa matéria é acrescida pela anã branca (2). O disco gera um obstáculo natural para o eventual fluxo de matéria explosivo da anã branca, direcionando a matéria para as regiões polares (3), formando a morfologia bipolar (4), como vista na imagem do Telescópio Espacial Hubble, à esquerda (Crédito: ESA, NASA, A. Feild/STScI).

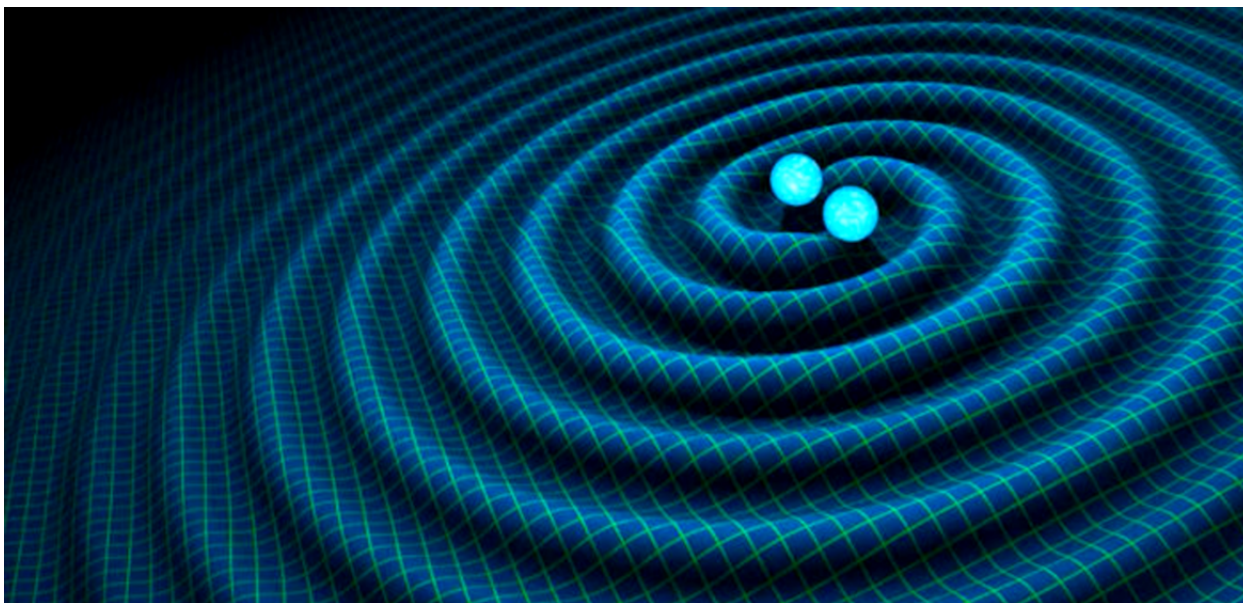
Abaixo

Segundo os modelos astrofísicos atuais, o belo padrão espiral de ondas gravitacionais visto nesta imagem artística, deve ser gerado a partir sistemas binários de estrelas de nêutrons, cujas órbitas fechadas levam suas companheiras a se aproximarem cada vez mais, culminando com a fusão completa e a emissão de grande quantidade de energia (Crédito: R. Hurt, Caltech e JPL-NASA).

par de estrelas. Esta hipótese é usada para explicar a estrutura de outras nebulosas estranhas vistas no céu, tais como as nebulosas planetárias, restos de estrelas semelhantes ao Sol, que estão no final de suas vidas. Um dessas nebulosas é a bela e estranha Nebulosa do Caranguejo do Sul, localizada na constelação de Centauro. Este astro que parece ter patas, nas imagens em alta resolução do Telescópio Espacial Hubble, quebrou a cabeça dos astrônomos por muito tempo. O cenário utilizado para explicar os dois lóbulos visíveis no astro envolve o resultado da interação entre duas estrelas na região central da nebulosa. Episódios de interação gravitacional do par binário orientou a disposição espacial do material gasoso ao redor do sistema e moldou seu aspecto bipolar ao longo de milhares de anos.

Estrelas massudas, ao emitir seus

últimos suspiros como supernovas, não desaparecem por completo. Ao contrário, boa parte delas forma as diminutas estrelas de nêutrons, objetos com massas maiores que o Sol, mas que possuem dimensões de pequenas cidades. Qualquer pessoa na Terra, caso pudesse pisar sobre um desses objetos, pesaria milhares de toneladas. Uma das grandes descobertas dos últimos anos é que há um número considerável de estrelas de nêutrons em sistema binários, seguindo órbitas muito fechadas entre seus pares. A fusão destes pares de estrelas de nêutrons tem sido apontada como possível progenitora de ondas gravitacionais detectadas pelo experimento LIGO (Observatório Interferométrico de Ondas Gravitacionais), que tem registrado estes eventos desde 2015. Segundo as estimativas teóricas e os dados já coletados, eventos cata-



tróficos e inimagináveis de colisões entre as estrelas devem ocorrer depois dos longos e impenhosos balés orbitais realizado pelas estrelas, que devem rodopiar em questão de minutos. A gradual aproximação das estrelas deve forçar o par a girar cada vez mais rápido, ao longo de órbitas mais curtas, gerando um padrão espiral de ondas gravitacionais que se propagam pelo espaço.

A beleza dos sistemas binários e as consequências astrofísicas de suas interações são tema de intenso estudo da astrofísica estelar. A missão Gaia, por exemplo, uma das mais prolíficas da história da Astronomia, descobriu cerca de 814 mil estrelas binárias em seus primeiros 10 anos de estudos e no futuro, outras e instigantes descobertas certamente virão, a partir da nova geração de telescópios. Nossa compreensão das majestosas e duplicadas estrelinhas das noites de telescópios está apenas começando •

Daniel Mello
Univ. Fed. do Rio de Janeiro
mello@ov.ufrj.br

Para saber mais

Aitken, R. G. *The Binary Stars* (Dover Publications, Inc., New York, USA, 309p.), 1964.

Dickinson, T. & Dyer, A. *The Backyard Astronomer's Guide, Fourth Edition* (Firefly Books Ltd. Inc., New York, USA, 416p.), 2021.

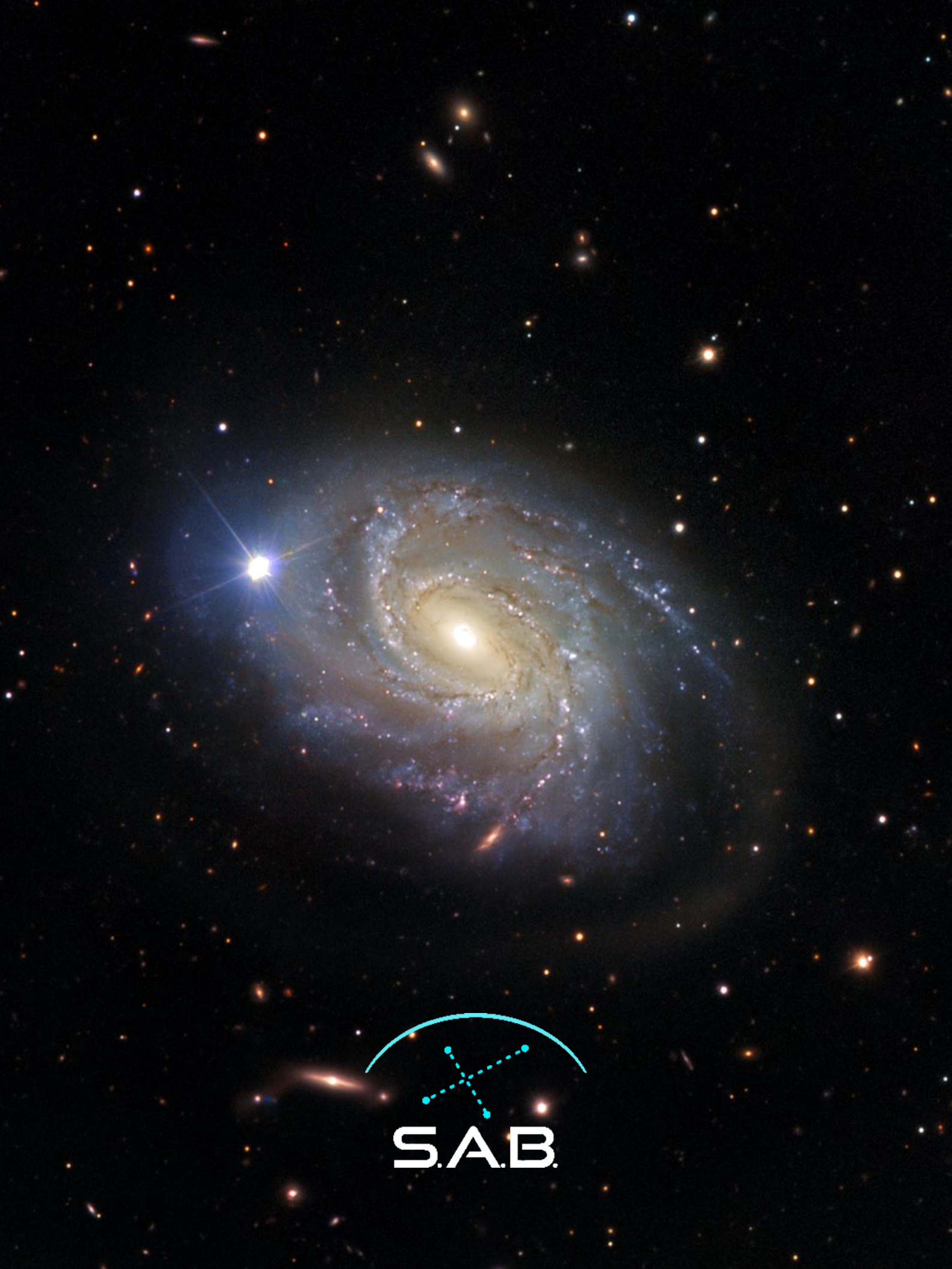
Haas, S. *Double Stars for Small Telescopes More Than 2,100 Stellar Gems for Backyard Observers* (Sky Pub. Corp, 173p.), 2007

Scientific American Brasil. *A vida secreta das estrelas* (Edição Especial Scientific American Brasil, Nº 13, São Paulo), 2005.

Contracapa

Galáxia NGC 4981, situada na constelação da Virgem.

O objeto muito brilhante na periferia do disco dessa galáxia é a supernova SN 2007c (Crédito: ESO).



S.A.B.