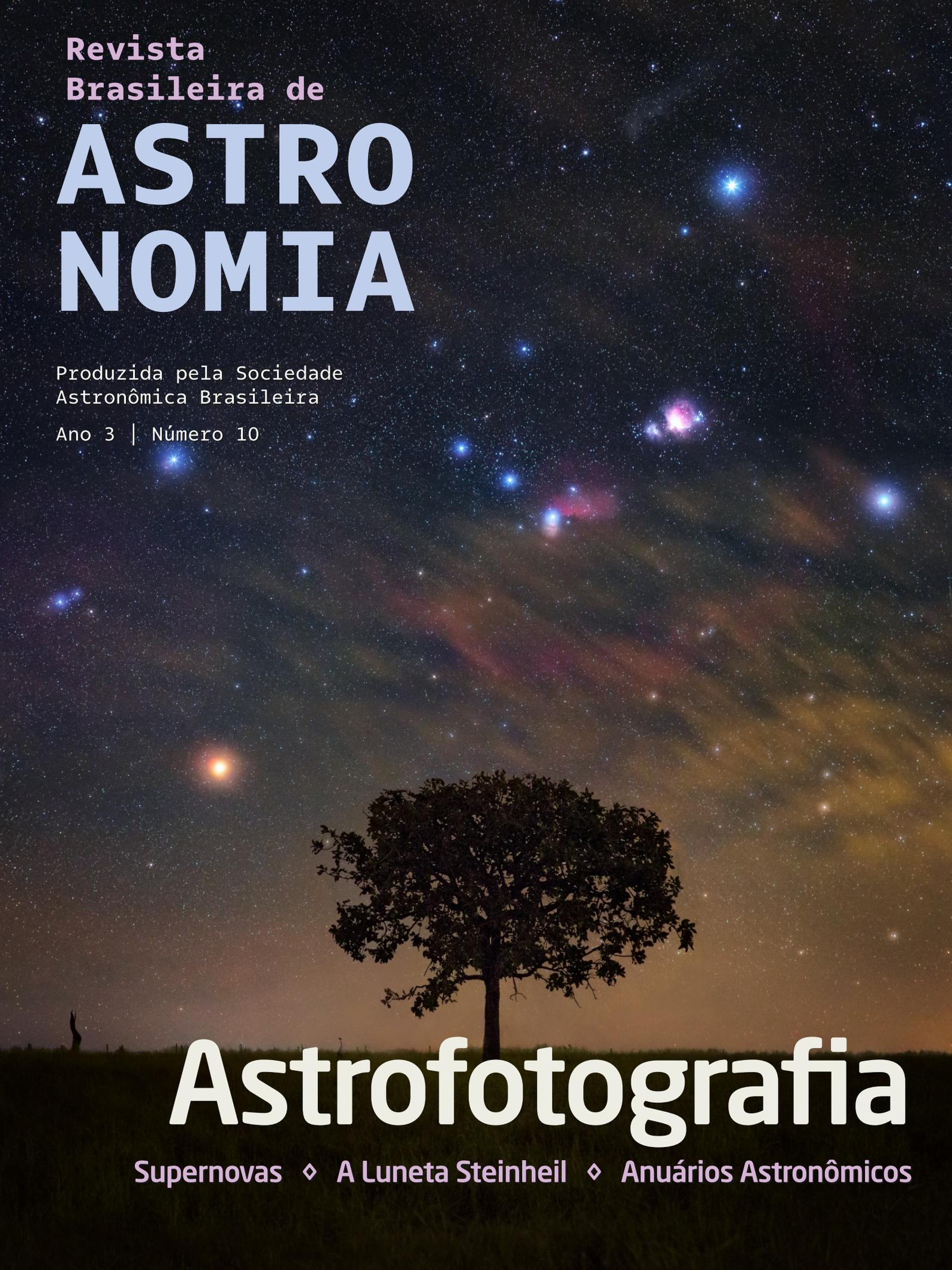


Revista
Brasileira de
**ASTRO
NOMIA**

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Ano 3 | Número 10



Astrofotografia

Supernovas ♦ A Luneta Steinheil ♦ Anuários Astronômicos



Editorial

A capa dessa edição já estava pronta há mais de um ano. Eu a vi no famoso Astronomy Picture of the Day (APOD) da NASA no dia 30 de setembro de 2019, quando o quarto número da Revista Brasileira de Astronomia estava sendo gestado. A imagem era fascinante demais! Ela merecia figurar numa capa de revista. Percebi que o autor era brasileiro e decidi contactá-lo. Carlos (Kiko) Fairbairn respondeu com presteza e foi muito gentil em autorizar o uso da imagem e também perguntou-me se eu teria interesse em incluir na revista um artigo sobre astrofotografia. Desde então ficamos em contato, acertando o conteúdo do texto nas janelas de tempo que Kiko encontrava entre seus compromissos profissionais. Pois não fazia sentido usar tão linda fotografia sem um texto sobre a arte de fotografar o céu.

O texto que inicia a revista é um pequeno ensaio sobre Supernovas, escrito pelo Prof. Jorge Horvath, especialista no tema. Seu texto é um tanto mais longo que os artigos anteriores da revista, mas o conteúdo há de deleitar todos os leitores, dos leigos até os colegas astrônomos que não trabalham diretamente com supernovas. E nos faz ficar com vontade de avistar um desses fenômenos ainda durante nosso tempo de vida (desde que a estrela que exploda não esteja tão próximo, claro!).

Os outros dois artigos tratam sobre a Luneta Steinheil, atualmente em Piracicaba, e sobre um trabalho de base que é muitas vezes olvidado: sem a confecção de tabelas de efemérides e coordenadas não há como se preparar adequadamente para a observação astronômica. Mesmo os fenômenos que parecem mais corriqueiros, como conjunções entre estrelas e planetas, nascer o ocaso do Sol, etc., podem ser relevantes para alguém, seja astrônomo amador, profissional, astrofotógrafo ou até para subsidiar laudos periciais em caso de acidentes de trânsito. Esse é o papel dos anuários astronômicos.

*Helio Jaques Rocha Pinto
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira*

Esquerda

Estrelas do aglomerado Omega Centauri (Crédito: HST/NASA).

Capa

Órion vista no cerrado brasileiro (Crédito: Kiko Fairbairn).

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

Helio J. Rocha-Pinto

Vice-Presidente

Lucimara Martins

Secretária-Geral

Daniela Pavani

Secretária

Maria Jaqueline Vasconcelos

Tesoureiro

Alex Cavalieri Carciofi

Endereço

Sociedade Astronômica Brasileira

Rua do Matão, 1226

05508-090 São Paulo – SP

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

4 Supernovas

Jorge Horvath apresenta um pequeno ensaio sobre nosso conhecimento acerca das supernovas: o que são? como explodem? como são classificadas? o que nos informam sobre a expansão do Universo?

21 O centenário da Luneta Steinheil

Poucas lunetas foram hospedadas em mais de um observatório. No estado de São Paulo há uma dessas, que já esteve em três deles. Conheça essa história pela pena de Nelson Travnik.

26 Astrofotografia

A astrofotografia alia a beleza da arte aos encantos da Astronomia. Kiko Fairbairn escreve sobre seu maravilhamento como astrofotógrafo e dá dicas para iniciantes.

37 Anuários astronômicos

Antes de observarmos um fenômeno astronômico, precisamos saber onde ele ocorrerá no céu e quando. Esse é o papel dos anuários astronômicos, como escreve Josina Oliveira do Nascimento.



Supernovas

As supernovas estão entre os fenômenos mais energéticos do Universo. Cada explosão libera uma quantidade colossal de energia. Mas o que sabemos sobre elas?

No dia 24 de fevereiro de 1987, ao chegar a minha sala de trabalho no Observatório da Universidade de La Plata, Argentina, os colegas de sempre me olharam com uma mistura de ansiedade e curiosidade. Assim que houve uma troca de palavras com eles me disseram, quase unanimemente: você viu o lance da supernova? Pela falta de hábito de assistir

aos noticiários de manhã, e num mundo onde a Internet demoraria uns anos em ser inventada, eu não soube do que estavam falando. Porém, ao longo do dia e com os meios disponíveis na época, fiquei sabendo do anúncio da explosão de uma supernova (SN 1987A) na Grande Nuvem de Magalhães, uma galáxia satélite próxima à Via Láctea com declinação de -69° . Embora a confu-

são inicial tenha sido grande, nos dias seguintes as incertezas e especulações foram se dissipando lentamente, enquanto um grupo do próprio Observatório aproveitava o único instrumento competitivo disponível, um polarímetro operado num antigo telescópio, para observar a fonte. Nessa mesma noite foi uma das poucas vezes nas quais eu alcei a vista para o céu, com o propósito de enxergar este acontecimento. A Grande Nuvem de Magalhães estava quase verticalmente acima das nossas cabeças, e a supernova era claramente visível ainda no meio da luz da cidade. Esta sequência de eventos foi de uma enorme felicidade para mim, já que meu trabalho de Doutorado em finalização procurava estabelecer uma conexão entre a liberação de energia por uma transição de fase no caroço de uma supernova em colapso e a própria dinâmica da explosão. Nos meses seguintes os trabalhos observacionais e teóricos tendo como fundo a SN 1987A choveram, na forma de pré-prints, e me permitiram refinar minhas propostas e publicar os resultados tendo um exemplo concreto como referência.

Sem querer, e com uma grande ajuda da sorte, eu tinha repetido um dos fatos mais notáveis da história da Astronomia, o de testemunhar uma supernova no céu noturno. O aparecimento da uma *stella nova* (termo em latim que denominava todo aumento súbi-

to de brilho em alguma estrela) tinha acontecido muitas vezes, mas nem sempre devidamente registrado, e é muito importante apontar que a forma com a qual hoje olhamos para o céu mudou muito ao longo da História. Este último fato está baseado nas diferenças culturais, religiosas e circunstanciais em vários povos do planeta no decorrer do tempo, mas também na própria visão e critérios dos cientistas de cada época. A SN 1987A pode ser considerada a mais recente das supernovas históricas (embora seja a única delas que sequer está localizada na nossa Galáxia), cuja observação constitui o começo do longo caminho para compreendermos estes eventos espetaculares que revelam o fim das estrelas, este último em si próprio um conceito surpreendente para a humanidade, já que somente de forma moderna o dogma de estrelas eternas e imutáveis deu lugar à idéia da evolução e morte estelar. Veremos a seguir um panorama do conhecimento atual das supernovas e os desafios que ainda permanecem no seu estudo.

As supernovas na História

Acredita-se que os astrônomos chineses foram os primeiros que registraram uma supernova (também chamada *guest star* na tradução ao inglês dos registros) no ano 185 da nossa era. No Ocidente, o registro visual das primeiras supernovas corresponde à Idade

Na página anterior
A supernova SN 1994D, vista como um ponto brilhante no canto inferior esquerdo, foi uma supernova de Tipo Ia que explodiu na galáxia NGC 4526 em 1994 (Crédito: NASA/ESA).



Acima

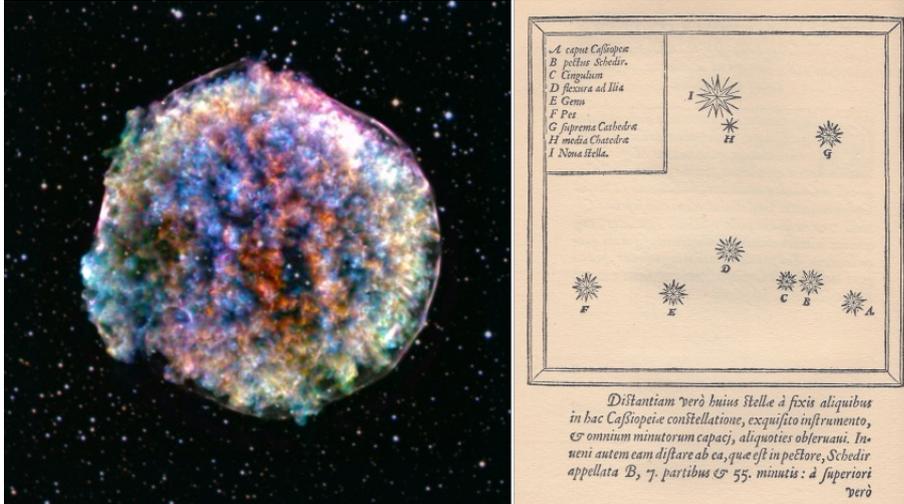
O astrônomo Chitasei Go-Yô, possivelmente um personagem de ficção, creditado nos escritos chineses como observador da supernova 185 A.D., a primeira nos registros históricos escritos da humanidade.

Média onde a supernova de 1006 A.D. foi reconhecidamente observada. É muito possível que o dogma aristotélico da imutabilidade dos céus tenha coibido o registro das supernovas anteriores, já que se "não poderiam estar aí", não parecia prudente seu registro. Alguns relatos (principalmente de autores religiosos) foram interpretados, por exemplo, como registros observacionais da supernova do ano 393 A.D. Já a supernova do 1054 A.D. (que deu origem à Nebulosa do Caranguejo) sim foi registrada tanto no Oriente quanto no Ocidente, mas as controvérsias a respeito destes escritos são ainda importantes, no sentido de que não existe consenso amplo entre os especialistas ocidentais a res-

peito da verossimilhança das observações registradas nos escritos.

Já no Oriente os registros chineses são bem aceitos com prova consistente desta observação. Uns séculos mais tarde, durante o Renascimento e no marco da Revolução Científica, a atitude dos astrônomos tinha mudado muito: tanto Tycho (1572 A.D.) quanto Kepler (1604 A.D.) observaram e estudaram as supernovas que hoje levam seus nomes e prepararam o caminho para estudos modernos.

Contudo, a verdadeira natureza destes eventos permanecia misteriosa. No Ocidente deveriam passar três séculos depois de Tycho e Kepler, para que os astrônomos W. Baade e F. Zwicky, em um artigo de 1934 mostrassem que existiam diferenças muito grandes entre as energias das chamadas *novas* e a classe que denominaram *super-novas* (nome original que eles propuseram); os dois grupos eram até então confundidos sob o nome de *stella nova*. Baade e Zwicky reconheceram estar lidando com explosões estelares e fizeram a primeira proposta de classificação observacional, baseada na presença ou ausência das linhas de hidrogênio. Segundo eles, a ausência de hidrogênio no espectro apontava para uma estrela evoluída, possivelmente da chamada população II (velha), e a presença de hidrogênio indicava a explosão de uma estrela de população I (jovem). Porém, a energia total envolvida nas duas (10^{51} erg = 10^{44} jou-



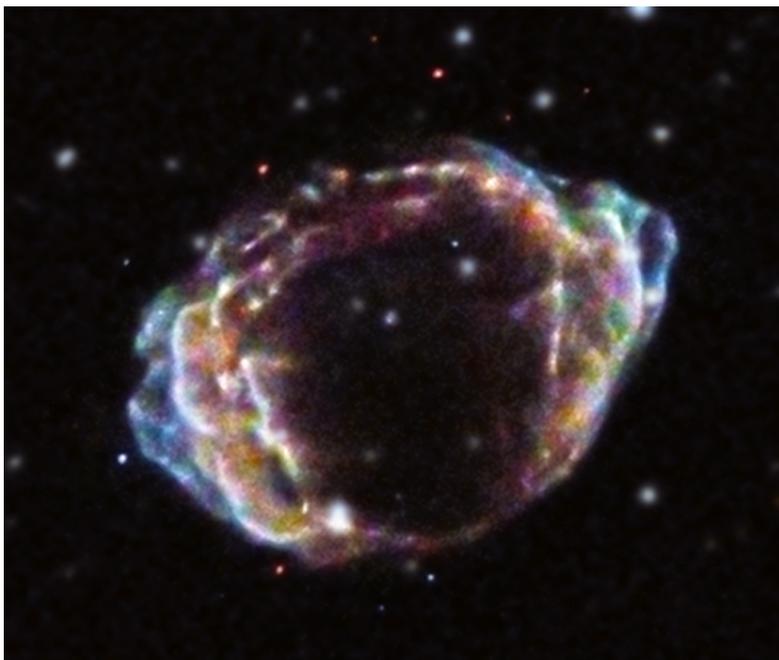
Ao lado
 Esquerda: imagem da supernova de Tycho no ano 1572 A.D. em raios X, mostrando diferentes elementos químicos sintetizados no remanescente em cores falsas (Crédito: Chandra/NASA). Direita: as anotações originais do Tycho Brahe que registram a evolução do brilho observado da supernova em 1572 A.D. (chamada de *I. Nova Stella* na parte superior), a qual hoje leva seu nome.

le) era enorme e muito similar em ambos os casos. Esta energia é igual a que seria irradiada pelo Sol por 100 bilhões de anos, e ainda veremos que este número é realmente 100 vezes maior, só que a energia escapa de modo "invisível" dos eventos, na forma de um gigantesco fluxo de neutrinos nas supernovas decorrentes de colapsos. A diferença dos dois tipos segundo o critério de Baade e Zwicky, traz sempre confusão, já que hoje temos claro que muitas supernovas de tipo I são, na verdade, eventos de colapso como as tipo II, mas não mostram hidrogênio porque a estrela progenitora o perdeu antes da explosão. Porém, é mais importante o "coração" do mecanismo que provoca esta ejeção que qualquer classificação empírica.

Dos estudos realizados ao longo do século 20 sabemos hoje que as taxas de explosão de cada tipo de supernova são diferentes para cada tipo de galáxia (por exemplo, as supernovas de tipo II são ra-

ramente observadas em galáxias elípticas, o que é compreensível porque estas galáxias não apresentam formação estelar substancial e contém poucas estrelas jovens). A taxa obtida para a soma de todos os tipos é de 1.3 ± 0.9 supernovas por século. Como a última supernova observada foi a de Kepler (1604) há mais de 400 anos, a Via Láctea está bem "atrasada", e já deveríamos ter detectado outros eventos. As taxas relativas para cada tipo parecem ser algo como 20% de supernovas tipo Ia, 70% de tipo II e 10% tipo Ib/c.

Um fato interessante a ser considerado é que, com a disponibilidade de instrumentos no espaço, foi possível nestes últimos anos detectar alguns remanescentes muito jovens cujas supernovas não foram observadas ao momento da explosão. Este é o caso, por exemplo, do denominado G1.9+0.3 no qual a observação da expansão do gás permite inferir, extrapolando o que vemos para tempos anteriores, uma idade de uns 120 anos.



Acima

O remanescente de supernova G1.9+0.3, o mais jovem conhecido, com idade estimada em 120 anos mas que explodiu na parte mais escura da galáxia, cheia de poeira e gás que impossibilitaram sua observação quando aconteceu, há pouco mais de um século (Crédito: NASA/CXC/NCSU/K.Borkowski et al.).

Abaixo

Supernovas históricas da Via Láctea.

Porém, não houve nenhuma detecção anunciada por volta do 1900, o que é compreensível porque esse remanescente está numa região muito escurecida pela poeira na direção do centro da nossa Galáxia. Vemos que a taxa estimada poderia estar correta e ainda assim, boa parte das supernovas ter sido "invisível" no momento que aconteceram.

A classificação de Baade e Zwicky iniciou uma procura pelos modelos físicos para as explosões. A primeira questão foi a de estabelecer tipo de estrelas que estariam

envolvidas, para depois modelar como exatamente explodiam. Foi necessário esperar mais 3 décadas para que estas perguntas comesçassem a encontrar respostas. A teoria por trás das explosões tipo Ia e tipo II (já dissemos que as Ib e Ic são, na verdade, colapsos como as tipo II, mas nos quais o envoltório estelar foi perdido antes da explosão...) é muito complexa. É insuficiente observar supernovas em galáxias externas para confirmá-la. Parte substancial das previsões precisaria de dados de eventos muito mais próximos, ausentes agora por vários séculos na Via Láctea, já que observar somente o gás em expansão não esclarece muito. Cabe enfatizar que a supernova SN 1987A na Grande Nuvem de Magalhães, não foi suficiente para trazer à realidade a maior parte das previsões dos modelos dos colapsos atuais, embora os neutrinos que foram emitidos da região central foram detectados e confirmaram as expectativas mais básicas.

A visão "moderna" dos progenitores está representada nos espectros eletromagnéticos mostrados na página ao lado. A evolução das

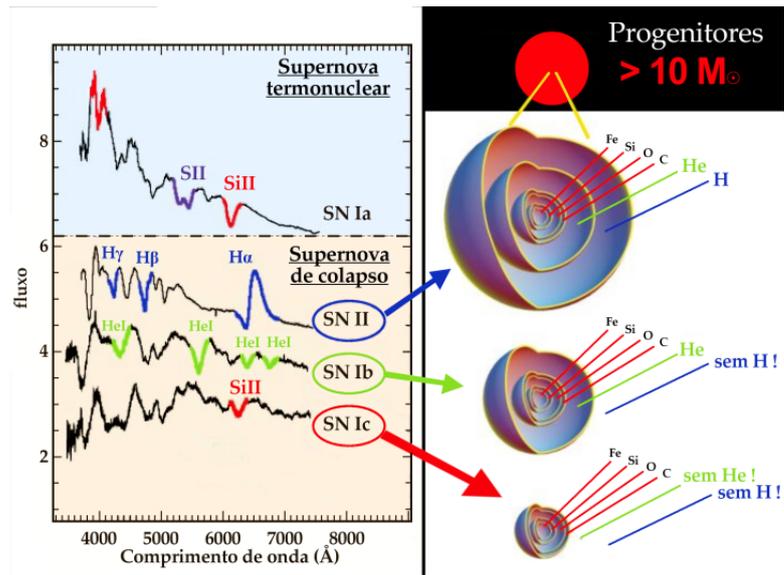
Nome	Ano	Distância à Terra (kpc)	longitude	latitude	Tipo
Lupus (SN 1006)	1006	2.2	327.57	14.57	Ia
Caranguejo	1054	2.0	184.55	-5.79	II (?)
3C58 (SN 1181)	1181	2.6	130.73	3.07	II
Tycho	1572	2.4	120.09	1.42	Ia
Kepler	1604	4.2	4.53	6.82	? (disputado)
Cas A (sem registro histórico)	1680	2.9	111.73	-2.13	Ib

regiões centrais pouco dependem da perda do envoltório de H e He, e as estrelas com massa suficiente colapsarão e explodirão praticamente do mesmo jeito, mas o gás ejetado terá uma composição diversa.

É importante notar que, devido à presença de uma companheira binária, o envoltório que contém hidrogênio e hélio pode levar embora grande parte da massa original da estrela, que pode finalmente explodir com 5–6 M_{\odot} quando na Sequência Principal tinha 20 M_{\odot} ou mais. Vemos que efetivamente a evolução da região do caroço estelar é bastante insensível ao que aconteça "fora", e este fato é responsável pelas curvas de luz variadas que são observadas, enquanto o mecanismo da explosão é essencialmente o mesmo.

Supernovas de colapsos gravitacionais (tipo II, Ib e Ic)

Já apontamos que a presença de hidrogênio nas supernovas de tipo II, indicativa de uma população jovem, e a associação dos eventos com os braços espirais das galáxias levaram imediatamente a pensar nas estrelas de alta massa como seus possíveis progenitores. Mas somente o desenvolvimento da Teoria da Evolução Estelar, a qual mostrou que camadas sucessivas de elementos cada vez mais pesados em fusão, permitiu entender o caminho evolutivo até o fim. Mas ainda não era eviden-



te como é que poderia explodir uma estrela. Esta descrição do colapso gravitacional precisou incluir fenômenos físicos que nem eram conhecidos na primeira metade do século 20, e ainda encontra-se em construção. Um consenso mínimo a respeito de como acontece o colapso e do comportamento genérico foi estabelecido, como descreveremos a seguir.

Como apreciado na figura no canto superior desta página, a região central da estrela prestes a explodir é constituída de um caroço de "Fe" (as aspas servem para lembrar que uma variedade de núclídeos com número de massa próximo de 56 estão presentes). A energia de ligação desses núcleos é máxima perto de $A = 56$. Assim, a produção do caroço de deve encerrar as possíveis reações de fusão nuclear com liberação de energia para o meio, já que é impossível obter energia pela fusão do Fe (ao contrário, sua fusão re-

Acima

Esquerda: os espectros dos eventos de colapso (tipos II, Ib e Ic, parte inferior) e as supernovas termonucleares (tipo Ia, parte superior).

Note-se que a Tipo II é a única que mostra as linhas do hidrogênio, ausentes nos outros tipos. Direita: a

estrutura dos progenitores tal como a entendemos hoje. A perda dos envelopes com hidrogênio, e as vezes

hélio nas fases de pré-supernova e a pertencia a

um sistema binário seriam as causas para as estrelas massivas produzirem supernovas do "tipo I", mas

que na verdade correspondem também a colapsos gravitacionais. Os eventos de captura

eletrônica não aparecem em esta figura.

quer a injeção de energia do meio exterior). O crescimento do caroço também tem um limite absoluto: o fato que a fonte de pressão deste são os elétrons no regime da Mecânica Quântica (chamados de *degenerados*) indica que o caroço poderá crescer até atingir a *massa de Chandrasekhar* correspondente, algo em torno de $1.5 M_{\odot}$ (embora este valor não seja fixo, pois existem correções decorrentes da relatividade e da temperatura elevada). Perto deste máximo da massa do caroço, os cálculos mostram que a densidade e temperatura centrais são $5 \times 10^9 \text{ g cm}^{-3}$ e $5 \times 10^9 \text{ K}$. O caroço não pode mais ser sustentado quando a densidade aumenta tanto que os elétrons são capturados pelos núcleos de Fe. Como são os elétrons que sustentam a pressão, se sumirem, esta última diminui. Mas a pressão também diminui porque há energia sendo utilizada para quebrar os núcleos de Fe (na chamada de fotodesintegração), e como consequência destes dois processos, o caroço não mais se sustenta e entra em colapso, assim a densidade aumenta rapidamente e acelera ainda mais as capturas

de elétrons, em um processo completamente irreversível.

O colapso acontece em alguns milissegundos, e quando a densidade atinge valores 100 vezes maiores que o inicial, por volta de $4 \times 10^{11} \text{ K}$, acontece dentro do caroço em colapso um fenômeno único no Universo contemporâneo: até aí os neutrinos produzidos pelas reações de captura e decaimento conseguiam escapar desimpedidos. Mesmo tendo uma interação quase nula com os prótons e nêutrons, este aumento da densidade faz com que agora estes colidam muito frequentemente e fiquem retidos no caroço em colapso. Assim, de repente não há mais energia saindo para fora do caroço, e o processo prossegue de forma adiabática, ou seja, conservando a energia que está no interior sem deixar sair nada.

A região mais externa do caroço em colapso está agora em uma espécie de queda livre acima da região mais interna, onde existe comunicação entre regiões da matéria. Mas quando a densidade da região interna atinge a chamada densidade de saturação nuclear, $2.7 \times 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$, a estrutura dos núcleos se dissolve, dando passagem a uma espécie de "sopa" de núcleons, ou matéria sem estrutura, fluida, que é muito dura. A região interna faz ricochetear a matéria que continua caindo acima dela, produzindo uma descontinuidade na densidade e na velocidade (agora revertida, já que

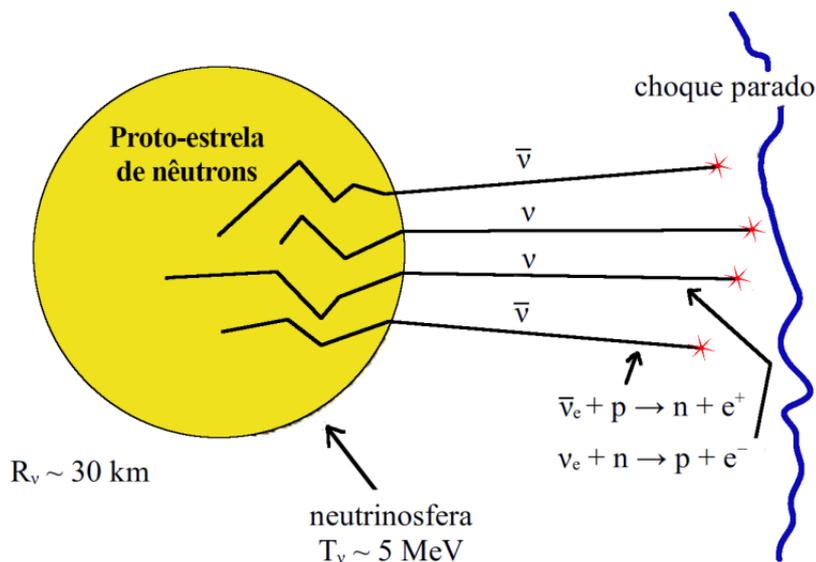
Neutrinos

Quando se diz que neutrinos podem atravessar anos-luz de chumbo isso se refere a material que possui uma densidade igual à do chumbo (1 g cm^{-3}). Isso muda de figura quando consideramos uma densidade 100 bilhões de vezes maior do que essa, tal como aquela encontrada no caroço de estrelas de alta massa.

a matéria "bateu" num "muro" de "sopa nuclear" duríssima) que é chamada de *onda de choque*.

Esta sequência de eventos é muito bem aceita por todos os pesquisadores, mas o desfecho mais óbvio e esperado (ou seja, que esse choque consiga ejetar o envoltório, sendo a causa da explosão) não é o que realmente acontece. Na verdade, o choque perde intensidade enquanto se propaga para fora, principalmente porque no caminho a matéria em queda ainda está composta por núcleos, e dissociar os núcleos custa ao choque muita energia. Temos aí uma situação paradoxal: a energia inicial do choque pode ser calculada e resultaria mais do que suficiente para explodir a estrela, mas é desperdiçada em quebrar os núcleos da região exterior que vai atravessando, estancando-se a uns 200 km do centro.

A inviabilidade do choque como mecanismo para a explosão ficou demonstrada há décadas. Deu-se assim mais atenção para a evolução do caroço, agora mais apropriadamente chamado de proto-estrela de nêutrons, depois da "parada" do choque. Se nada mais acontecer, o caroço deveria colapsar a buraco negro porque a gravitação não para nunca de "puxar", mas não é isto o que vemos: evidentemente as supernovas explodem. A evolução posterior depende da energia que foi liberada pela compactação, residente em um "enxame" de neutrinos, produzi-



dos com muito mais eficiência que fótons nessas condições de temperatura de 1 bilhão de graus. Isto parece estranho porque a matéria que conhecemos emite fótons, não neutrinos, quando colide entre si, mas de novo devemos lembrar as condições extremas: nas densidades e temperaturas bilhões de vezes maiores, são os neutrinos os que são emitidos com preferência. Um total de 10^{53} erg = 10^{46} joules de energia na forma do enxame de neutrinos está retida no caroço, e estes estão escoando com dificuldade devido às interações com a matéria. O raio do caroço retrocede, e agora é de uns 20 a 30 km. A situação lembra os fótons saindo do interior solar (salvando as distâncias) em uma analogia bastante exata. Os neutrinos se difundem para fora da proto-estrela de nêutrons com uma escala de tempo difusiva de 1 s, até atingir a *neutrinosfera* (definida da

Acima
A neutrinosfera na proto-estrela de nêutrons. Os neutrinos são emitidos a partir desta com luminosidade enorme; alguns deles interagem com a matéria do choque "parado", representado pela linha azul à direita da figura.

Abaixo

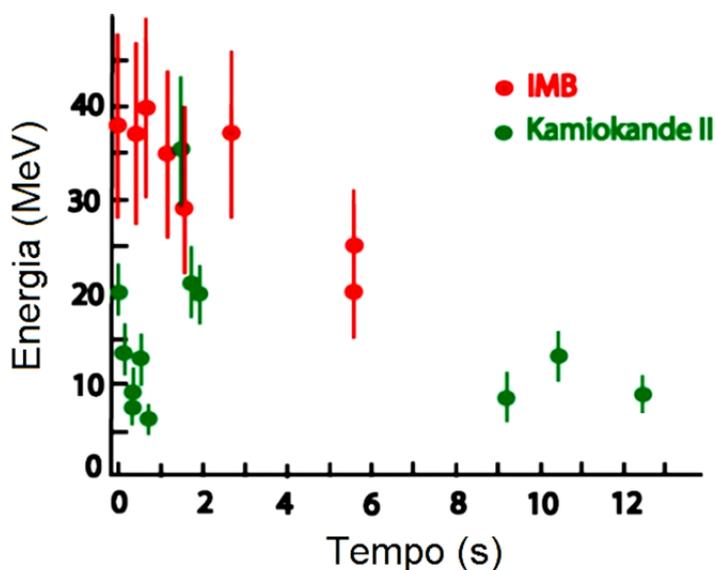
Os neutrinos detectados da SN 1987 A. Os detectores IMB e Kamiokande conseguiram coletar 20 neutrinos da supernova, pela interação destes com a água dos tanques que serviram como alvo. A reconstrução das condições físicas da neutrinosfera para a distância à supernova é relativamente simples, e somente o fato dos neutrinos terem sido detectados dissipou muitas dúvidas "astronômicas", já que eles vem diretamente da região central que colapsou, sem se importar com o envoltório estelar.

mesma forma que a fotosfera solar, mas para os neutrinos) como se fossem os fótons do Sol. Assim, na hipótese mais simples, a proto-estrela de nêutrons emite como um corpo negro, mas de neutrinos, com uma luminosidade proporcional à quarta potência da temperatura. Alguns destes neutrinos são capturados atrás e à frente do choque parado.

Trabalhos recentes mostraram o importante papel do movimento do fluido na proto-estrela de nêutrons para esta radiação de neutrinos. Este interior contribui para fazer com que uma fração dos neutrinos seja capturada e o choque parado volte a se expandir. Este mecanismo é conhecido, em inglês, como *neutrino revival*, e parece ser a causa da explosão como desfecho final. Na Astronomia o fluxo de neutrinos se denomina vento. Assim, as supernovas de colapso poderiam ser chama-

das com propriedade de *bombas de neutrinos*. Existem ainda efeitos da Relatividade Geral, incertezas na microfísica, e outros fatores e ainda é necessário determinar se isto é o fim da história das explosões, ou se há necessidade de incluir novos ingredientes físicos (por ex., a liberação dos quarks no caroço).

Já dissemos que é hoje consenso que os tipos Ib e Ic são também colapsos de estrelas de grande massa que perderam as camadas de hidrogênio e hélio antes da explosão, respectivamente, mas que o mecanismo básico da explosão é exatamente o mesmo, só muda a composição do envoltório mais externo. Note que nem mencionamos antes o que acontece fora do caroço, de tal forma que se percebe que não é importante para a explosão. Assim, a velha classificação I e II é correta mas leva à confusão, pois somente as Tipo Ia são, na visão moderna, eventos diferentes sem relação com o colapso de uma estrela de grande massa.

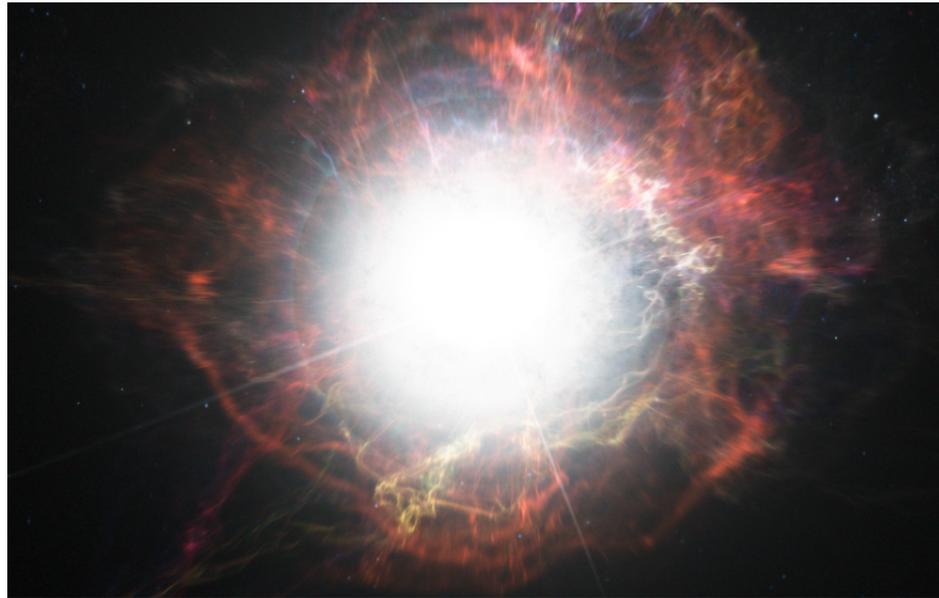


Que tipo de evento foi a SN 1987 A?

Na introdução, mencionamos que a SN 1987 A estava localizada na galáxia anã próxima chamada Grande Nuvem de Magalhães, e correspondeu à primeira supernova visível a olho nu nos últimos 400 anos. Trabalhos de arquivo permitiram identificar a estrela progenitora em imagens prévias,

e estabelecer que tinha entre 18 e 19 M_{\odot} . De posse da teoria da Evolução Estelar, e com a evidência coletada, incluindo imagens da estrela progenitora chamada *Sanduleak -69° 202* antes da explosão, foi possível obter uma reconstrução completa de sua história evolutiva. A estrela que explodiu viveu uns 11 milhões de anos na Sequência Principal, e dela saiu há uns 700 mil anos. Logo a seguir passou por um estágio de supergigante vermelha, no qual seu raio aumentou até atingir um valor 3 vezes a órbita da Terra, exauriu o hélio e depois acendeu o carbono há uns 10 mil anos (quando o homem começava a Agricultura) para finalmente fundir neônio desde o ano 1971 até 1983, oxigênio desde 1983 até fevereiro de 1987, silício por uns 10 dias em 1987, e finalmente explodir o dia 23 de fevereiro. Todos estes períodos são sujeitos a incertezas pequenas, mas o básico julgamos estar correto. O evento permitiu iniciar a observação dos neutrinos, diretamente detectados por pelo menos dois detectores-tanque subterrâneos como uma nova disciplina — pela primeira vez uma observação que não tinha relação com fótons.

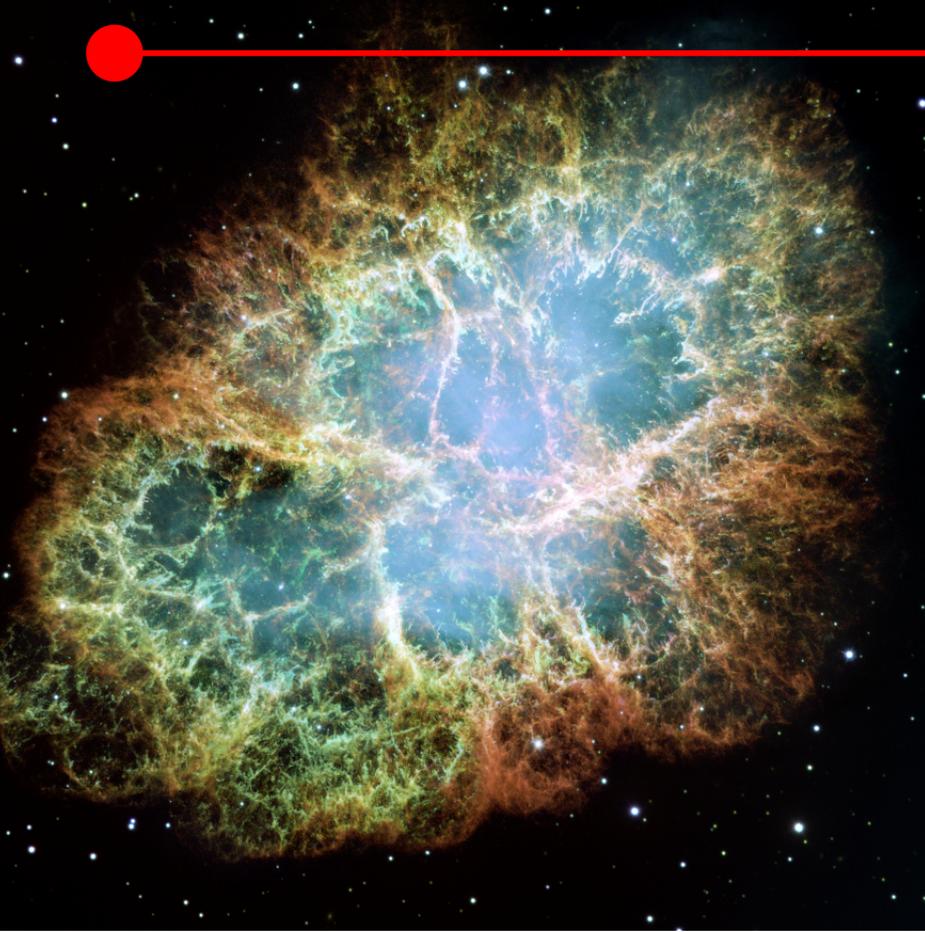
A comprovação de que a maior parte da energia, uns 10^{51} erg = 10^{44} joules, é emitida sob a forma de neutrinos foi comprovada diretamente no caso da SN 1987 A, já que o fluxo foi medido e a distância à Nuvem de Magalhães é conhecida (uns 50 kpc). Como e-



xercício de ficção, podemos dizer que se uma supernova idêntica explodisse muito mais perto, a uns poucos parsecs, as capturas de neutrinos pelos corpos humanos (que são 80% água) faria converter os prótons em nêutrons, provocando a evaporação quase imediata de seres humanos, plantas e animais. Daria um ótimo filme de ficção, mas não sobraria ninguém para assistir. Até mesmo uma supernova a 20 pc de nós inviabilizaria a vida na Terra por eliminar boa parte da camada do ozônio e outros efeitos similares. Felizmente a probabilidade que isto aconteça é virtualmente nula.

Uma última questão importante é que existem, no extremo inferior de massa das estrelas que colapsam, algumas que, na verdade não desenvolvem um caroço de Fe. A razão é que na faixa de 8 a 10 M_{\odot} as reações nucleares não seguem além do O-Ne-Mg

Acima
Representação artística de uma explosão de supernova (Crédito: ESO/M. Kornmesser).



Acima
Nebulosa do Caranguejo, remanescente da supernova de 1054 (Crédito: NASA, ESA, J. Hester e A. Loll).

porque a temperatura nunca é suficiente para essa ignição. Assim, quando estes caroços chegam à sua *massa de Chandrasekhar* correspondente, capturam elétrons e desabam com uma massa praticamente idêntica de $1.38 M_{\odot}$, o que resulta na formação de estrelas de nêutrons com uma massa baixa e fixa ($1.25 M_{\odot}$), que resulta de descontar 10% da energia de ligação radiada em neutrinos da massa original em colapso. Como o número de estrelas existente nessa faixa de massa é grande, espera-se a presença delas nas amostras. Tem sido sugerido que a explosão que deu origem ao pulsar do Caranguejo em 1054 A.D. foi deste tipo, com luminosidade baixa e a produção do pulsar homônimo, que deveria ter assim uma massa de $1.25 M_{\odot}$ mas que permanece sem ser determinada. A existência de um "pico" na dis-

tribuição das massas das estrelas de nêutrons em $1.25 M_{\odot}$ está agora bem estabelecida observacionalmente e proporciona um suporte importante para estas ideias. Mais ainda, uma supernova recentemente estudada observacionalmente foi identificada com um destes eventos por Hiramatsu e colaboradores, em 2020.

Supernovas termonucleares (tipo Ia)

Quando revistas em perspectiva, as descobertas científicas às vezes mostram aspectos muito paradoxais. As supernovas são um exemplo disto, já que nos estudos pioneiros de Baade e Zwicky na década de 1930 todas as "supernovas" foram incluídas na mesma classe, embora existisse a diferença entre "Tipo I" (sem hidrogênio) e "Tipo II" (com hidrogênio). Acabamos de ver que o modelo físico, confirmado pela explosão da SN 1987 A e outras evidências, para o Tipo II é o de colapso e posterior explosão de uma estrela de grande massa. Apesar de não mostrarem hidrogênio, os tipos Ib e Ic pertencem a esta classe de eventos, onde a perda parcial do envoltório antes da explosão mascara o processo fundamental que gerou a supernova. Porém, ainda não dissemos qual processo permitiria a formação das supernovas de Tipo Ia.

Depois de mais de 30 anos da classificação original, a análise dos eventos e as possíveis fontes de e-



nergia levou à conclusão que a fusão descontrolada de carbono numa anã branca era o mecanismo mais viável que satisfaz as condições procuradas. As anãs brancas contêm muito carbono produzido nos estágios mais avançados dos seus progenitores, estrelas de até 7–8 M_{\odot} . Existem dois cenários astrofísicos para levar esse carbono inerte à fusão: a anã branca poderia iniciar a fusão do carbono pelo efeito da acreção de uma companheira normal, já que o acúmulo de massa provoca um aumento da densidade e temperatura na região central; ou também a fusão poderia acontecer em sistemas binários, quando duas anãs brancas finalmente se fundem e a matéria se comprime e esquenta (daí o nome *termonuclear*). O primeiro cenário é chamado no jargão de *single-degenerate* em inglês (só a anã branca é feita de matéria degenerada em condições extremas, a companheira é normal), e o segundo *double-degenerate* (as duas são anãs brancas).

Por várias décadas, somente o cenário *single-degenerate* era considerado, e embora os estudos da

ignição do carbono realizados ainda apresentem várias incertezas, ficou claro que a anã branca não poderá atingir estas condições de ignição a menos que esteja perto do limite de Chandrasekhar, o máximo para qualquer anã branca. De fato, a temperatura de ignição para densidades de 10^9 g cm^{-3} (apropriadas para o centro nessas condições) é de $5 \times 10^8 \text{ K}$. Mas é preciso estudar como acontece a combustão nas supernovas de tipo Ia. Existem duas formas diferentes de combustão em geral: as lentas e as detonações. Fisicamente, eles são bastante diferentes. As lentas são as mais ordinárias às quais estamos acostumados; acontecem quando o calor liberado se difunde e ajuda a queimar o combustível adiante (como acontece botando fogo em uma folha de papel). Em contraste, as detonações são mediadas por um choque que "atropela" as partículas e estas entram em fusão após sua passagem, entregando energia que tinham guardada. Como estes choques são sempre supersônicos no meio que vai ser "atropelado", este não pode se expandir antes de ser a-

Acima

Os dois possíveis cenários que permitiriam a ignição do carbono de uma anã branca. À esquerda, o *single-degenerate*, onde a anã branca acreta matéria de uma companheira pós-MS normal que "incha" e transfere massa, e à direita, o *double-degenerate*, onde duas anãs brancas acabam se fusionando depois de um tempo longo onde a órbita é cada vez mais próxima.



Acima

Explosões reais vs. simulações. À esquerda: cena de um filme de ação onde um tanque de gasolina explode (enquanto os protagonistas escapam ilesos...). À direita: simulações de uma explosão de carbono feitas pelo grupo do Max Planck Institute, mostrando as instabilidades fragmentam a frente original em domínios de vários tamanhos, como visto na explosão da esquerda. Isto pode levar a transformação da combustão em uma detonação muito antes de transcorrer um segundo desde a ignição do carbono em uma anã branca, que responde a mesma descrição matemática utilizada na combustão da gasolina da esquerda. Na atmosfera, explosões deste tipo jamais viram detonações, mas nas anãs brancas as coisas são muito diferentes e o "combustível" também.

tingido, e a combustão se torna total, produzindo elementos como níquel e ferro.

As observações das SN Ia, no entanto, mostram curvas de luz compatíveis com a produção (síntese) de $\geq 0.6 M_{\odot}$ de níquel, mas também $0.2\text{--}0.3 M_{\odot}$ de Si, Ar, Ca e S (ou seja, elementos de massa intermediária que são "cinzas parcialmente queimadas", tal como acontece com as brasas que não acenderam totalmente depois do churrasco...). Estes elementos intermediários indicam que deve haver ao menos um estágio da queima que ocorra no modo lento. A frente que se propaga pode "avisar" (pois se move subsonicamente), a matéria se expande pelas ondas que viajam à frente, e uma combustão parcial é possível. Como, por outro lado, existe a necessidade de ter muito níquel, facilmente produzido pelas detonações, existe a ideia que, nos cenários *single-degenerate* as combustões podem ter um início como deflagração (como são denominadas

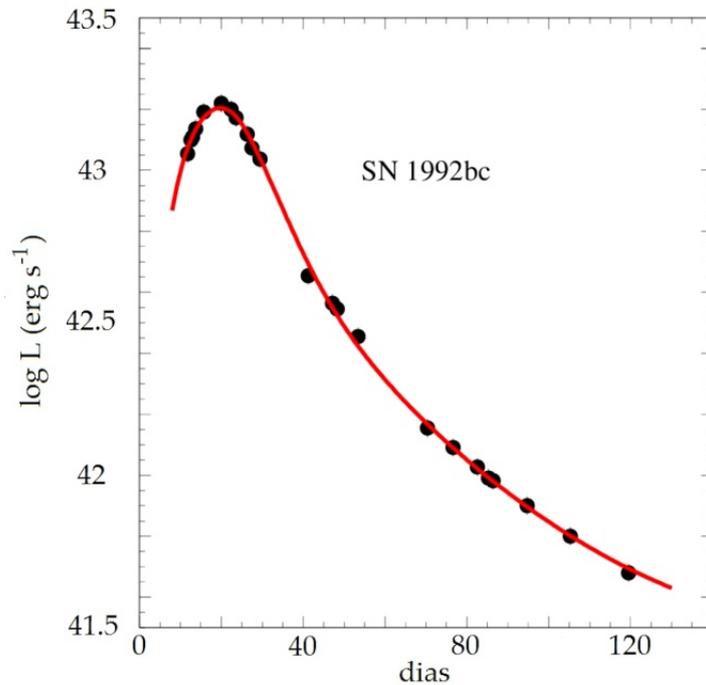
as combustões lentas), para logo "pular" ao ramo das detonações quando são várias as instabilidades do fluido (estas instabilidades podem ser vistas em qualquer filme onde os protagonistas explodem gasolina ou algo similar, e quebram a frente em bolhas de vários tamanhos).

Qualquer que seja a forma da combustão, existe hoje farta evidência para afirmar que as supernovas de tipo Ia liberam muito mais energia que a necessária para disromper a anã branca: nunca foram observados remanescentes estelares residuais em nenhuma explosão. Ou seja, não poderia haver pulsares nem nada similar como resíduo de uma supernova Ia. Esta possibilidade é própria das Tipo II, Ib e Ic, onde o caroço de Fe central se converte em uma proto-estrela de nêutrons em poucos segundos.

A explosão de uma supernova termonuclear ejeta ao espaço algo como $1.5 M_{\odot}$ de elementos processados, com velocidades de 10000

km/s. As supernovas de colapso (II, Ib e Ic), em geral, ejetam muito mais massa, mas a energia cinética do gás na explosão é praticamente igual. Daí o paradoxo que apontamos: hoje vemos essas supernovas como duas coisas muito diferentes, mas para os observadores até começos do século 20, elas bem poderiam ter a mesma origem. Porém, existem várias formas de justificarmos os modelos propostos. Por exemplo, nas supernovas termonucleares a formação de níquel, ferro e outros produtos a partir do carbono original leva a um estágio da curva de luz onde, depois do máximo do brilho, o decaimento temporal deste coincide com a meia-vida do ^{56}Ni . Isto quer dizer que o gás em expansão está recebendo a energia do decaimento do níquel em cobalto, e esta energia está retida "empurrando" a expansão. Isto é seguido por outro estágio onde o decaimento do ^{56}Co em ^{56}Fe (meia-vida de 78.8 dias) é também claramente visível nas curvas de luz. É por isto que insistimos anteriormente na necessidade da produção abundante de ^{56}Ni como pré-requisito. A figura ao lado mostra estes estágios em um evento real.

Recentemente houve uma série de tentativas para determinar se as supernovas de tipo Ia correspondem ao cenário *single-degenerate* ou ao *double-degenerate*. Observando as regiões centrais das supernovas de tipo Ia históricas bem identificadas (por exemplo,



SN 1006 e Tycho), os astrônomos procuraram, perto do centro da explosão, alguma estrela suspeita de ser aquela que transferia massa, varrida parcialmente pela passagem do choque. No remanescente de Tycho o estudo só revelou uma candidata, mas que parece ser uma estrela do halo galáctico, cuja posição projetada coincide por acaso, mas que reside muito longe do remanescente. Na análise do remanescente de Kepler nenhuma candidata foi encontrada. Assim temos que não há evidência direta do *single-degenerate*, e conclui-se que essas explosões devem ter sido produzidas por uma fusão de duas anãs brancas, ou seja, o *double-degenerate*. No entanto, a análise de um terceiro remanescente, 3C 397, de uns 2000 anos de antiguidade, pelo satélite

Acima

A curva de luz típica de uma SN Ia, no caso a SN 1992bc, mostrando a queda depois do máximo segundo duas inclinações sucessivas bem diferentes, associadas ao decaimento de níquel em cobalto e de cobalto em ferro depois de dois meses. Sem estas fontes de energia, o decaimento da curva observada seria muito rápido e incompatível com as observações, a supernova ficaria invisível depois de 2-3 semanas.

Suzaku, mostrou que este deve ter sido produzido pela explosão de uma anã branca única pela observação da quantidade de níquel, magnésio, ferro e cromo e a comparação com os modelos, que são bastante diferentes nos dois casos. Talvez os dois cenários possam produzir SN Ia, ainda que a maior parte delas se deva à fusão de anãs brancas binárias.

As supernovas de tipo Ia no estudo da Cosmologia

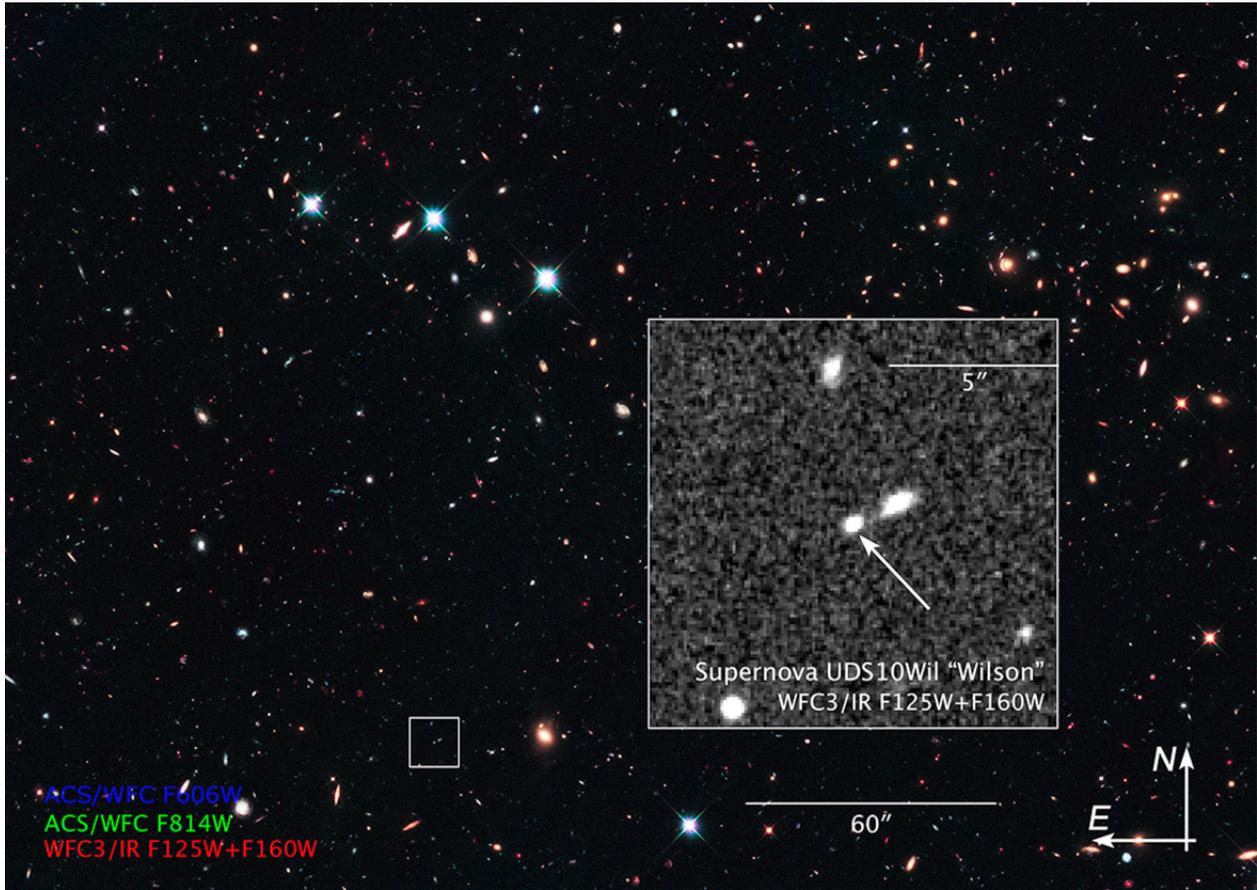
O fato das supernovas atingirem luminosidades enormes indica que podem excelentes régulas para a medida de distâncias muito grandes, já que são vistas até escalas cosmológicas. Para isto, deve-se achar um procedimento para mostrar que são velas padrões, ou seja, que se estivéssemos próximos observaríamos sempre o mesmo brilho. Com um grande telescópio que consiga detectar uma magnitude visual igual a 25 é possível ver uma supernova até uma distância correspondente a um desvio para o vermelho por volta de 3, ou seja, sua luz foi e-

mitida quando o Universo tinha $\frac{1}{4}$ da sua escala atual. O recorde atual pertence à detecção de uma supernova que explodiu quando o Universo tinha menos de 4 bilhões de anos de idade.

Um exame das curvas de luz das supernovas de tipo Ia mostra uma diversidade que parece indiscutível. Há diferenças nas curvas de luz de várias supernovas, mas aplicando as correções à duração e luminosidade observadas decorrentes de que, se elas estão em distâncias cosmológicas, estão no espaço-tempo em expansão, vemos que convergem para uma forma universal. Os astrofísicos chamam este procedimento de calibração, a das SN Ia é devida a Hamuy e Phillips. Assim, é consenso que as supernovas de tipo Ia são essencialmente idênticas e que todas as diferenças se devem à Cosmologia. Se observarmos supernovas ainda mais distantes, podemos saber como são intrinsecamente (por meio da aplicação da calibração) e com ela testar o modelo cosmológico, já que elas são arrastadas pela expansão do Universo mas

Para saber mais

- D. H. Clark e F. R. Stephenson, *The Historical Supernovae*, Londres: Pergamon Press (1977)
- W. Baade e F. Zwicky, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 254 (1934)
- J. E. Horvath, *Fundamentos da Evolução Estelar, Supernovas e Estrelas Compactas*, São Paulo: Livraria da Física (2011)
- O. G. Benvenuto e J. E. Horvath, *Phys. Rev. Lett.* 63, 716 (1989)
- R. Valentim, E. Rangel e J. E. Horvath, *Mon. Not. R.A.S.* 414, 1427 (2011)
- P. Hoeflich, *Handbook of Supernovae*, Berlim: Springer International Publishing, 1151 (2017)
- D. Hiramatsu et al., preprint arXiv:2011.02176 (2020)



são intrinsecamente uniformes. As supernovas viraram assim velas padrões úteis para a Cosmologia.

Em 1998, dois grupos independentes, o *High-Z Supernova Search Team* e o *Supernova Cosmology Project*, aplicaram estes procedimentos a uma amostra de supernovas e anunciaram que os dados favoreciam um modelo onde o Universo está se acelerando. O raciocínio é: os dados das supernovas calibrados com a correção do modelo cosmológico padrão utilizado até então (sem aceleração) mostram que as supernovas são sistematicamente mais fracas do que seria esperado para distâncias

progressivamente maiores. Assim, a solução mais simples é pensar que o Universo se expandiu mais rapidamente, e arrastou as supernovas para distâncias maiores do que estariam com o modelo padrão. Se o modelo do Universo não incluir esta expansão extra, as supernovas não podem ser colocadas em concordância com ele.

Notemos que até aqui ninguém entrou no mérito da causa dessa aceleração, a qual é um problema distinto. Somente dizemos que a expectativa das magnitudes das SN Ia segundo os modelos desacelerados não bate com o observado. Os anúncios feitos pelos times de pesquisa com as medidas

Acima
No quadradinho ampliado foi detectada a supernova mais distante conhecida hoje, SN UDS10Wil, descoberta em 2013. Essa supernova explodiu quando o Universo tinha uma escala de 1/3 da atual, e a luz veio viajando vários bilhões de anos até ser detectada. Se ela for igual às que detectamos na nossa vizinhança, sua observação ajuda a revelar a distância, determinada pela expansão de Hubble (Crédito: HST/NASA).

anunciadas há mais de 20 anos são ainda mais firmes quando uma amostra muito maior e mais bem estudada está disponível. O nosso Universo não só se expande, ele o faz cada vez mais rapidamente. Postular a existência de uma "energia escura" que faça esse trabalho é um passo posterior, e não é tema deste artigo.

Agora é momento de reconhecermos um fato bastante perturbador: se os dois cenários podem produzir eventos de tipo Ia, e ainda por cima a maioria deles se deve às anãs brancas binárias, por que as curvas de luz seriam idênticas? Seria de esperar uma dispersão substancial remanescente entre elas, não a uniformidade obtida depois de aplicada a correção pela Cosmologia? Esta pergunta ainda não achou uma resposta convincente.

Um resumo final

Podemos dizer que existem duas classes bem diferentes de supernovas, onde a energia das explosões são similares, mas se originam de mecanismos diferentes. No começo do século 20 isto não era sabido, e os nomes originais da classificação podem levar à confusão, mas hoje as coisas estão bem mais claras. As supernovas de colapso extraem energia em última instância da gravitação, colapsando e ricocheteando a região mais externa acima do caroço duro, e possivelmente auxiliadas pelos neutrinos para explo-

dir. As supernovas termonucleares (tipo Ia) são uma forma de combustão de carbono descontrolada, que consome toda a anã branca e nunca deixa remanescente compacto. A observação de supernovas superenergéticas, com uma variedade de comportamentos e energias dez vezes maior que as normais não foi abordada. Pela sua uniformidade das curvas de luz e seu brilho extremo, as SN Ia foram utilizadas para estudar a expansão do próprio Universo (é como se lâmpadas acesas iguais fossem arrastadas por uma corrente — o fluxo de Hubble — e revelassem que o Universo recente se acelerou, embora não saibamos por quê (a energia escura é uma solução possível, mas foi "criada" para tampar o buraco que apareceu...)). As supernovas assinalam o fim da vida das estrelas, com o colapso e explosão no caso das massas ou levando as anãs brancas a queimarem seu carbono no caso das Ia. Continuamos a estudar e apreciar estes eventos maravilhosos que a natureza nos reservou como espectadores de privilégio •

Jorge Horvath
Universidade de São Paulo
foton@astro.iag.usp.br



Centenário de uma luneta única no Brasil

Conheça a história de uma luneta que passou por três observatórios paulistas e que completa 100 anos em 2021.

Década de 1920. Não há TV, computador e nem satélites. Tudo isso ainda é parte do futuro. Mas graças à presença da cosmografia no currículo escolar, os estudantes têm noções básicas de astronomia mais consistentes que os de agora. Em São Paulo, capital, um mapa da cidade mostra as localizações do Observatório de São Paulo na Av.

Paulista, 69, e do Observatório da Escola Politécnica, na praça Buenos Aires, Higienópolis.

A partir do início do século XX, surge um grande interesse pela ciência do céu, estimulado pela grandiosa aparição do cometa Halley em 1910. Observatórios astronômicos são criados em diferentes regiões do País. Na cidade de São Paulo, a Ordem de São Bento



Acima

Antigo Observatório de São Bento, no Alto de Santana, em São Paulo.

Na página anterior

Luneta Steinheil, no Observatório Astronômico de Piracicaba (Crédito: Carlos H. A. Andrade).

não fica atrás e, em 1921, faz uma importante encomenda à prestigiosa empresa alemã C. A. Steinheil Söhne de Munique, envolvendo uma luneta com objetiva de 175 mm, $f/15$, um micrômetro filar, um helioscópio de polarização, um astrógrafo Voigtländer de 92 mm de abertura e um cronômetro de marinha marca Guillaume. Duas pêndulas astronômicas são encomendadas à firma alemã de Berlin, Strasser und Rohde. Importa lembrar que a empresa Steinheil foi fornecedora de objetivas para os observatórios de Uppsala, Leipzig, Utrecht e Potsdam, esse último com objetiva de 800 mm para a quarta maior (até hoje) luneta do mundo. Para abrigar a luneta, uma cúpula de 5 m de diâmetro é incorporada à aquisição. Por volta de 1929, é construído um

prédio pela Ordem no Alto de Santana onde é inaugurado o Observatório de São Bento.

Observatório de São Bento

As atividades do Observatório não são conhecidas, mas sua importância é refletida pela observação do eclipse solar de 28 de outubro de 1939, observado e fotografado pelo Dr. Alypio Leme de Oliveira (1886-1956), diretor da Diretoria de Serviço Meteorológico do Estado de São Paulo e autor do projeto do novo observatório no Parque do Estado, bairro Água Funda, no qual posteriormente funcionaria o Instituto Astronômico e Geofísico da USP (IAG/USP). O que se sabe a seguir é que na passagem para os anos 40, o monge responsável pelos trabalhos do Ob-

servatório, por razões insondáveis, desiste do sacerdócio e abandona tudo. Desapontados com o episódio e na falta de um substituto à altura, a Ordem decide desmontar a luneta e periféricos, transferindo tudo para um galpão em Arujá. O belo Observatório de São Bento chegava precocemente ao fim.

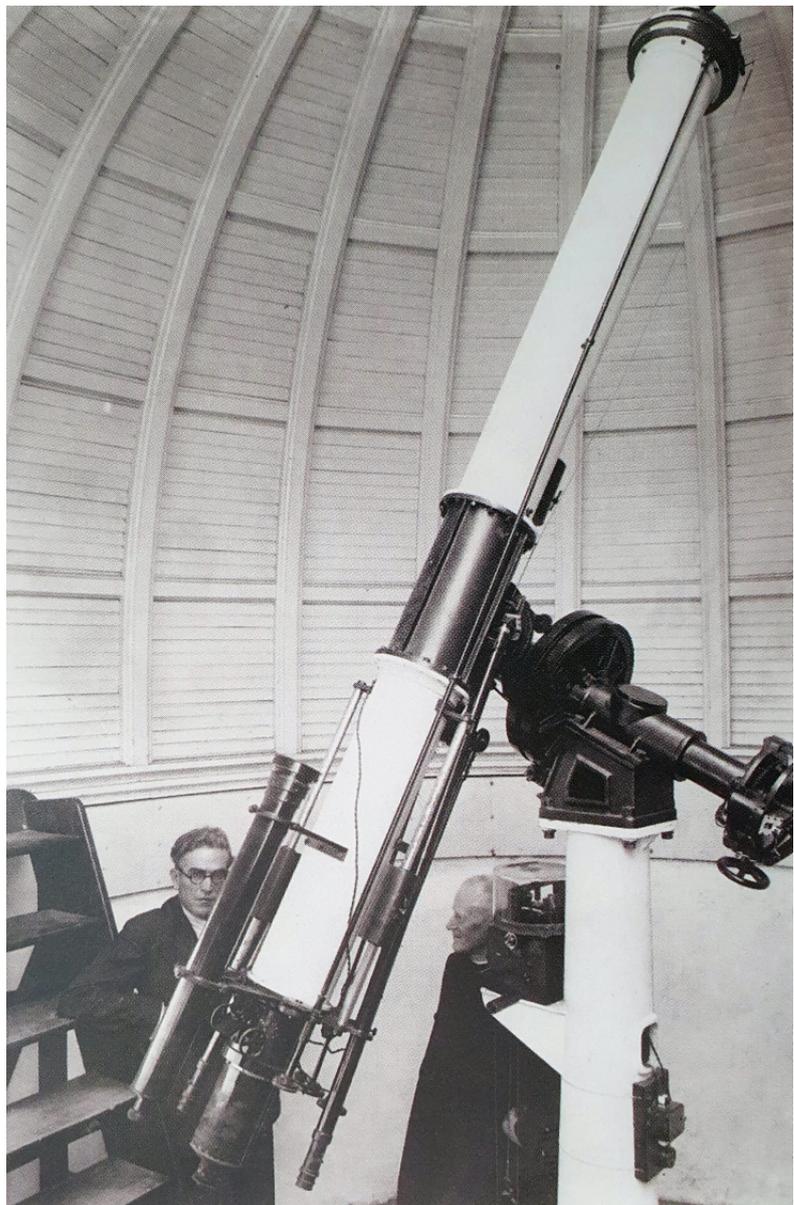
Observatório Astronômico Bandeirante

Em 1951, um astrônomo amador e próspero comerciante na capital, João Octávio Nebias, ciente do abandono dos instrumentos, adquire da Ordem todo o acervo e inicia, em 1952, nos fundos de sua residência na rua Estrada da Cantareira 3344, a construção do seu Observatório Astronômico Bandeirante que é registrado na Empresa Mercúrio de Marca e Patentes Ltda no dia 24/05/1954. Na instalação da luneta recebe auxílio do insigne diretor do IAG, Abraão de Moraes (1917-1971). Pouco se conhece sobre os trabalhos do Observatório e, mais tarde, as luzes da cidade gradativamente se aproximando do Observatório, é cogitada sua transferência para a Fazenda Bom Jardim, de propriedade da família, em Botucatu. Mas isso não se concretiza em razão do falecimento de João Octávio Nebias. Não se conhece o destino das duas pêndulas astronômicas e do cronômetro de marinha.

Observatório Astronômico de Piracicaba

Em 1986, visitando o IAG/USP, soube pelo meu colega Paulo Marques dos Santos, da existência da luneta Steinheil. Em 1989 soube do falecimento de Nebias e que todo o patrimônio do Observatório

Abaixo
Luneta Steinheil instalada no Observatório de São Bento. À esquerda se vê Alypio Leme de Oliveira.





Acima
Antigo Observatório
Astronômico Bandeirante,
em São Paulo.

havia sido transferido para seu sobrinho José Octavio Nebias. Em contato com ele, em 1991, fiquei sabendo que estava interessado em vender a luneta com a cúpula. Não dispondo de recursos financeiros para adquirir ambos, sensibilizei-o para a venda da luneta com a condição de encontrar um interessado para a cúpula.

la. A aquisição da luneta foi concretizada em agosto de 1991 e, conforme prometido, realizei a venda da cúpula para a Prefeitura de Diadema, SP, empenhada na construção do seu Observatório Municipal inaugurado em dezembro de 1992, no bairro Jardim Inamar, e coordenado pela Sociedade de Astronomia e Astrofísica de Diadema.

Já o destino da luneta seria outro observatório. Isso ficou definido no início de 1992 em Piracicaba, SP. Graças ao empenho dos membros da Associação dos Astrônomos Amadores de Piracicaba, presidida pelo prof. Elias Salum, o então prefeito José Machado resolveu construir o Observatório Astronômico que foi inaugurado em 2 de outubro de 1992 contando com a luneta Steinheil 175/2625 mm de minha propriedade, cedida mediante contrato de loca-

Ao lado
Observatório Astronômico
de Piracicaba.



ção. É inaugurado como órgão da Secretaria Municipal de Educação em convênio com a Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz (ESALQ) para seção do terreno. A partir daí o Observatório, que em 2022 estará completando 30 anos de existência, passou a exercer atividades dirigidas aos estudantes, ao público, aos turistas e à área científica.

Falando apenas de seu uso científico, a luneta Steinheil é empregada na observação de todos os eclipses solares e lunares registrados na região; possibilitou a obtenção de fotografias da fotosfera solar, oposições dos planetas Marte, Júpiter e Saturno; registros visuais e fotográficos de 16 a 22 de julho de 1994 da colisão do cometa Shoemaker-Levy com Júpiter (o maior evento planetário do século XX); fotografias dos cometas Hyakutake em 1996 e Hale-Bopp em 1997, primeira fotografia feita no país da cratera lunar Santos Dumont em 20 de setembro de 1996, e observações e estudos da curva de luz da Nova Velorum, em 1999. Ademais, esteve presente com o autor deste artigo nos eclipses totais do Sol de 03 de novembro de 1994 em Foz do Iguaçu e em 11 de agosto de 1999 em Gmunden, na Áustria. Em 2021 a luneta Steinheil completa 100 anos de existência. Ela é um exemplo notável de uma óptica excepcional e mecânica fina, com relojoaria a pêndulo que permite acompanhamento de precisão solar, lunar, plane-

tária e sideral. Permanece prestando inestimáveis serviços em todas as áreas da astronomia •

Nelson Travnik
Observ. Astronômico de Piracicaba
nelson-travnik@hotmail.com

Abaixo
Luneta Steinheil no
Observatório Astronômico
de Piracicaba (Crédito:
Carlos H. A. Andrade).





Astrofotografia

Recentemente um aluno em conclusão de tese de doutorado com tema em imagens científicas entrou em contato comigo sobre um capítulo no qual descreve e debate a importância da astrofotografia como ponte disseminadora e porta de entrada ao interesse por fotografia científica e astronomia. Ele me fez uma série de pergun-

tas técnicas sobre a fotografia astronômica, temática sobre a qual gosto muito de interagir e estudar. Descrevo pontos técnicos referentes a esse tipo de fotografia nos parágrafos a seguir.

Para além das indagações técnicas, sua última pergunta conduzia a uma resposta que permeia o âmago do porquê se fazer esse tipo de fotografia: “*Kiko, de tantas*



Nesta página

Na diagonal dessa imagem cabem mais de cinquenta luas cheias. Corresponde a uma área muito grande do céu. A imagem é um mosaico de três partes captadas com equipamento simples: câmera fotográfica, lente de 135 mm de distância focal e montagem equatorial portátil. Captada durante o Encontro Brasileiro de Astrofotografias, em julho de 2019, em Padre Bernardo.

Abaixo

Viajar e fotografar paisagens pelo mundo é algo fantástico. Porém, captar um fenômeno astronômico na minha cidade de nascimento foi um momento extremamente especial. Lua eclipsada e Marte à direita entre os morros do famoso Pão de Açúcar. Em 28/07/2018, Praia de Botafogo.

áreas possíveis na fotografia, qual motivo te levou a ingressar nesse tema em específico? Por que fotografar o Universo?”

Achei muito interessante esta pergunta fazer parte de uma entrevista majoritariamente técnica a ser inclusa em uma tese de doutorado. Respondi que em minha vida tive muita sorte de poder me aprimorar em algumas áreas, tanto técnicas quanto artísticas. Pude ter acesso a ferramentas que me desenvolvessem em temas plúrais nos quais eu tivesse interesse. Desde estudar programação até tocar instrumentos musicais, de aprender sobre tecnicidades da profissão a fotografar. Dentre essas atividades, poder fazer imagens do Universo com equipamento fo-

tográfico relativamente simples e portátil é algo extremamente fascinante! Ainda me impressiona o fato de que com câmera e lentes fotográficas e uma pequena montagem equatorial eu já pude captar a luz de galáxias que estão a mais de cinquenta milhões de anos-luz de nós. Não consigo imaginar uma atividade mais deslumbrante e professora que a astrofotografia. Sinto-me nutrido.

Foram diversas as conversas com meu pai sobre astronomia durante minha infância. Apesar de minha memória falha, lembro-me com perfeição o primeiro testemunho de estrela cadente. Em meus primeiros contatos com a fotografia havia busca na tentativa de registrar as estrelas. Há u-





ma riqueza imperativa em primeiro se deslumbrar por um tema. Assim foi comigo. E claro, os aspectos técnicos são desafios maravilhosos, onde há muito aprendizado e desenvolvimento contínuo. São eles que de fato fazem a fotografia como produto final.

Acredito então que a maioria dos cientistas concordaria com a frase de Rubens Alves ao olharem em totalidade para suas trajetórias: “... a experiência da beleza tem de vir antes”.

Equipamentos

São diversos nichos de possibilidades fotográficas dentro da astrofotografia, e em cada uma dessas subdivisões necessitam-se equipamentos diferentes, os quais geram resultados de imagens distintos. O maior evento nacional no tema, o Encontro Brasileiro de Astrofotografias (EBA), organizado

pelo Clube de Astronomia de Brasília (CASB) é conhecido por produzir inúmeros projetos fotográficos de altíssima qualidade. Os amadores que atendem ao evento fazem imagens que vão desde quasares extremamente distantes até capturas de *star trails* e fotografias de paisagens em conjunção com o céu noturno. Telescópios grandes e pequenos, refletores e refratores, lentes fotográficas, câmeras específicas para astrofoto com refrigeração, câmeras digitais comuns, entre muitos outros, cada equipamento é potencializado pela habilidade do fotógrafo e traz possibilidades múltiplas em formas de se ver o Cosmos. Costumo dizer que os encontros de astrofotografia são como um passeio pelo museu do Universo.

Meus equipamentos são basicamente oriundos da fotografia con-

Acima

Essa foi um grande desafio para captar. Estava no Deserto do Atacama, em um altiplano a 4900 metros acima do nível do mar e sob um frio de -15° C. Na astrofoto é necessário muita concentração, já que qualquer parâmetro errado da câmera pode resultar na perda ou má qualidade da foto final. Para compor essa imagem usei ao todo 14 fotos unidas em uma panorâmica. Em 05/2017.

Abaixo

Grande Nuvem de Magalhães captada usando uma montagem equatorial simples, sem guiagem. Essa foi uma das minhas primeiras astrofotografias. Câmera fotográfica e uma lente de 200mm de distância focal. Lusiânia, 2015, durante o Encontro Observacional do Clube de Astronomia de Brasília (CA5B).

vencional. Dessa forma, um dos aspectos positivos é sua versatilidade. Com um simples trocar de lentes, posso captar toda abóbada celeste em uma foto (utilizando uma lente grande angular de 8 mm de distância focal) e, trocando para lente com mais zoom, posso captar nebulosas, galáxias, Lua aumentada, entre muitos outros objetos. Consigo criar desde *star trails* e fotos de paisagens até captar objetos de céu profundo.

Meus equipamentos possuem boa portabilidade. Toda a parafernália que uso cabe em duas mochilas. E, assim, estou sempre pronto pra captar as mais diversas situações nas quais os objetos astronômicos se apresentam.

Um simples tripé fixo, dez segundos de exposição, uma câmera fotográfica e lente de 50 mm de distância focal em ISO 3200. Era julho de 2015 no Parque Nacional do Itatiaia e eu estava sob um céu livre de poluição luminosa. Pela primeira vez aponte a câmera para o zênite onde estava o centro da Via Láctea e fiz a foto. Com esse conjunto simples de aparato fotográfico e configuração descrita acima, conseguia ver nuances de cor, brilho e contraste da parte central da nossa casa galáctica. No LCD das câmeras digitais é possível dar zoom na foto recém-tirada. Fiz isso. Estava lá, avermelhada, a nebulosa conhecida como Messier 8, a Ne-



bulosa da Lagoa. Eu não podia acreditar que um equipamento tão simples tinha captado uma nebulosa. Essa foi minha primeira experiência fotografando o Cosmos. Inesquecível!

Sobre as nomenclaturas acima. A distância focal remete ao campo que aquela lente capta. Ou seja, uma lente de 8 mm de distância focal irá captar um campo extremamente grande. São as lentes conhecidas como *olho de peixe*: uma abertura fantástica onde numa só foto se capta 360°. Conforme o número da distância focal sobe, o famoso “zoom” fica maior, e o campo fotografado diminui. Uma lente de 200 mm de distância focal captará apenas 10°. Lentes com distâncias focais maiores são excelentes pra captar em mais detalhes estruturas de ne-

bulosas e galáxias. Como exemplo, essa mesma lente de 200 mm consegue captar com maestria a galáxia de Andrômeda, a qual dista 2,5 milhões de anos-luz de nós.

O ISO tem especificidades e há várias formas de interpretá-lo. Para o entendimento inicial, o ISO seria a regulagem da amplificação do sinal de luz que chega ao sensor da câmera. Uma quantidade X de fótons que chega ao sensor pode ser amplificada, dando a aparência que a foto resultante ficou mais clara à medida que subimos o valor do ISO. Porém, ao se fazer isso, aumentamos também o ruído da foto. Podemos comparar esse evento ao aumentar de volume de uma caixa de som. Conforme o fazemos, começamos a ouvir um chiado. Esse é o equivalente (para fins de com-

Abaixo

Cruzeiro do Sul até Nebulosa Carina. Mosaico de três partes feito com equipamento simples, em montagem eq portátil e lente de 200 mm de distância focal. Captado no céu mais escuro que já presenciei no Brasil. Pousada há 20 km de Alto Paraíso, GO.



preensão) ao ruído que vemos nas partes escurecidas de uma fotografia.



Acima
Nebulosa da Lagoa, Trífida e Saturno. Imagem captada durante o IX Encontro Brasileiro de Astrofotografias. Mosaico de duas partes usando montagem equatorial portátil de 1 eixo (RA) em lente de 200 mm de distância focal.

Uma das lutas dos astrofotógrafos é justamente reduzir esse ruído e aumentar o sinal (luz das nebulosas, galáxias e estrelas). Há técnicas para suprimir esse efeito causado pelo ruído, sendo a principal e mais eficiente delas o empilhamento de fotos.

Antes de comentar sobre empilhamento, há um equipamento importantíssimo, algo que faz toda a diferença na atividade da astrofotografia: a montagem equatorial. Acima comentei que fiz uma foto onde conseguia ver a Nebulosa da Lagoa numa captura feita em tripé fixo. Nessa foto usei o tempo máximo de exposição que

a distância focal de 50 mm permitia. Passando desses 10 s de exposição, com tripé fixo, as estrelas começam a ficar com a aparência de traços e não mais redondas. Esse efeito varia de lente para lente, quanto maior a distância focal (mais “zoom”) menor deve ser o tempo de exposição. Há uma regrinha de dividir o número 500 pelo valor da distância focal e com isso tem-se um tempo de exposição aceitável, onde as estrelas não ficarão tão corridas. $500/50$ mm dará 10 s de exposição. $500/200$ mm dará 2,5 s de exposição, e assim sucessivamente dependendo da lente utilizada.

A única forma de ultrapassarmos esse impeditivo do tempo de exposição máximo e estrelas virando traços nas fotos é a utilização da montagem equatorial. Basicamente a câmera vai acoplada à montagem, anulando o efeito de “rotação do céu” (logicamente, o que gira é a Terra). Dessa forma, na perspectiva da câmera, o céu está parado. E com isso temos estrelas puntiformes e a possibilidade de tempos de exposição muito maiores. Esse maior tempo de captura de fótons (luz) gera então imagens com mais sinal e menos ruído. Temos como resultado mais nuances, cores, brilho e contraste nos objetos astronômicos fotografados.

Há sim a necessidade de se alinhar as montagens equatoriais, mas com alguma pesquisa na internet é possível achar vídeos e

textos que elucidam como fazê-lo.

Sobre o empilhamento de imagens e comentários acerca do ruído na fotografia. O ruído na fotografia é entendido como incerteza ou flutuação no sinal captado por um píxel. Quando temos um sinal forte, por exemplo, uma estrela, o píxel terá informação de luz suficiente para preencher boa parte da palavra digital (os *bits*). Entretanto, quando o sinal é fraco (há áreas do céu muito escuras, com poucos objetos evidentes), essa pouca quantidade de luz não é suficiente para que o píxel tenha leitura e resposta consistente sobre a real soma de luz que ele recebeu durante o tempo de exposição. Dessa forma, há uma flutuação de valores errôneos nesses píxeis que receberam pouco estímulo luminoso. Temos então o ruído.

O empilhamento é o procedimento de tirar várias fotos do mesmo objeto astronômico. São, basicamente, dezenas de fotos iguais. Como a montagem equatorial mantém os objetos na mesma posição relativa, isso é possível. Essas dezenas de fotos são então processadas por *softwares* que fazem o trabalho específico de criar uma média do sinal delas, gerando um único arquivo final. A mágica está nesses algoritmos, que ao fazerem essa média, criam uma maior certeza estatística sobre as partes mais escuras das fotos, mediante as dezenas de



amostragens. Com esse processamento, a dispersão do ruído diminui e a foto empilhada final fica muito mais equilibrada e nítida, com incremento também do sinal, sendo inclusive possível identificar objetos astronômicos tênues que ficariam perdidos e irreconhecíveis no ruído da foto unitária.

Toda linha de produção tem como base a matéria-prima. No ca-

Acima

Telescópio secundário no ESO Paranal. A convite da ESO, passei duas noites fotografando o projeto no Chile. A qualidade do céu noturno é perceptível na qualidade final da imagem, mostrando a Via Láctea com grande transparência.

so dos astrofotógrafos, esta equivale a um céu livre de poluição luminosa. Um bom céu escuro é a nossa matéria-prima!

São muitas horas de pesquisa para encontrar locais onde seja possível fazer astrofotografia. Temos que fugir do aumento ininterrupto da poluição luminosa dos grandes centros urbanos. Atualmente há possibilidade de alugar casas em locais distantes e, até mesmo, pousadas cujos donos compreensivos apagam todas as luzes durante as noites de capturas. Utilizo dois sites para a pesquisa de poluição luminosa: o darksitefinder e o lightpollutionmap. Nesses dois sites é possível encontrar locais onde a poluição luminosa é menor. Feito isso a busca passa a ser por localidades, tanto para fotos de céu profundo quanto para capturas de paisagens. Os Parques Estaduais e Nacionais são locais de grande beleza, onde é possível fotografar o encontro da Natureza e Cosmos livres da intempérie da famosa poluição luminosa.

Acredito que muitos leitores deste artigo já tenham experimentado as importantes catarses promovidas pela experiência de se estar sob um céu muito estrelado. Entendemos o conhecimento astronômico como propulsor do desenvolvimento pessoal. A beleza do Cosmos já faz parte de nós.

Tive então espaço nesse texto para tecer comentários técnicos, com intuito de estimular que você vá

a campo e tente as suas imagens, munido de mais informações. Muitas palavras-chave citadas nas linhas acima podem ser fontes de busca nos diversos conteúdos de qualidade comunicados na internet. Há diversos tutoriais (gratuitos) aprofundados nos temas que comentei.

Há um limite biológico no nosso aparato ocular, onde enxergamos as belas nuances do céu noturno até certo ponto. A experiência da astrofotografia vai além, é complementar, e nos proporciona ainda mais um degrau de fascínio, desenvolvimento e nutrição. Nossa curiosidade pela exuberância do Cosmos é a força motriz da motivação para toda uma linha de múltiplos aprendizados •

Kiko Fairbairn
carlosfairbairn@gmail.com

Todas as ilustrações usadas neste artigo são protegidas por direitos autorais de Kiko Fairbairn



Nesta página
Imagem captada com lente
de 1200 mm de distância
focal a partir da Urca.

Comentários sobre as fotos de capa



Esquerda: foram quatro noites tentando obter a imagem que figura na capa desta revista. Fazer todo o procedimento do alinhamento da montagem equatorial portátil leva algum tempo. Nuvens, erro de planejamento e problemas na câmera ocasionaram o não sucesso nas três primeiras tentativas. Na quarta tentativa, consegui fazer a foto. Captada durante o Encontro Brasileiro de Astrofotografias, em julho de 2019, em Padre Bernardo. O evento foi organizado pelo Clube de Astronomia de Brasília (CAsB).

Direita: Sair à noite no Parque Nacional Yellowstone é algo mágico, um sentimento ancestral por estar em um local completamente livre de poluição

luminosa. Planejei a posição da Via Láctea durante o dia com uma bússola e voltei à noite para o mesmo local. Yellowstone, 05/2017.



Para saber mais

Tutoriais de astrofotografia

- ◆ <https://blog.emania.com.br/astrofotografia-tudo/>
- ◆ <https://astro.space.com.br/blog/dicas/como-comecar-na-astrofotografia/>
- ◆ <https://astrobackyard.com/tutorials/>
- ◆ <https://photographylife.com/landscapes/astrophotography-tutorial>
- ◆ *Sobre empilhamento:* https://youtu.be/_qixvG3k2P8
- ◆ *Sobre ISO:* <https://youtu.be/FZ1GxxVF4y8>
- ◆ *Sobre tripé fixo e montagem equatorial:* <https://youtu.be/mYucAuUrdTs>

Livros

- ◆ Observar o Céu Profundo, Almeida, G & Ré, P. 2000, Plátano-Edições Técnicas
- ◆ Astrofotografia Prática, Andolfato, R. 2018, Clube de Autores
- ◆ The Complete Guide to Landscape Astrophotography: Understanding, Planning, Creating, and Processing Nightscape Images, Shaw, M. C. 2017, Routledge
- ◆ Budget Astrophotography: Imaging with Your Dslr or Webcam, Jensen, T. & Jensen, T. J. 2014, Springer

Astronomia do dia (APOD Brasil)

- ◆ <https://www.instagram.com/apodbrasil/>

Galeria de Kiko Fairbairn

- ◆ <https://www.astrobin.com/users/kiko.fairbairn/>



Anuários Astronômicos

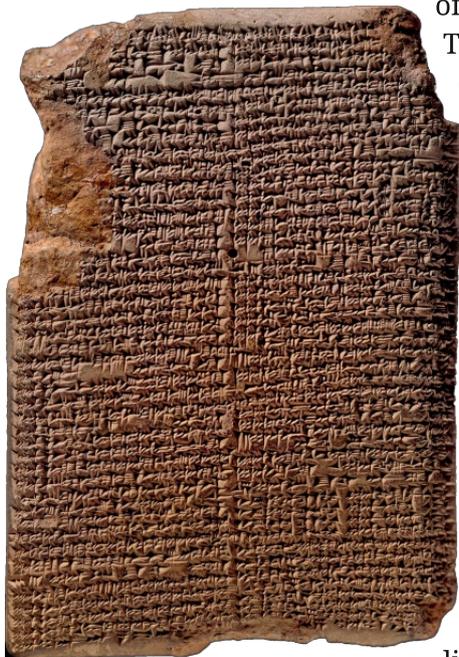
As observações astronômicas requerem o uso de sistemas de coordenadas para permitir a localização do astro no céu. Em particular, os corpos do Sistema Solar têm coordenadas que variam devido a seu movimento em torno do Sol. São os anuários que registram essa informação para o observador.

Os *anuários astronômicos* são publicações que trazem várias informações sobre corpos celestes e eventos astronômicos para um ano. Essas publicações muitas vezes foram chamadas de *efemérides astronômicas*, denominação que é mais corretamente usada quando se trata de épocas ou datas específicas, por exemplo, efemérides de uma data.

O uso de anuários, mais apropriadamente almanaques, difundiu-se a partir do século XIV, já que a observação de alguns fenômenos sazonais e diários era relevante também para o homem do campo e o navegante. Mas a necessidade de registrar efemérides é tão antiga quanto a própria astronomia. Mesmo os babilônios mantinham registro das coordenadas dos astros mais importan-

Na página anterior
Anuários do Observatório Nacional dos anos mais recentes.

Abaixo
Tabuinha mesopotâmica conhecida como MUL.APIN, que corresponde a um dos mais antigos textos que listam posições e fenômenos astronômicos.



tes em sua cosmogonia, para facilitar-lhes a observação.

O primeiro anuário brasileiro

No Brasil, o primeiro anuário astronômico foi o do Imperial Observatório do Rio de Janeiro, instituição criada por D. Pedro I em 1827 com o objetivo principal de tornar possível a prática com instrumentos astronômicos e geodésicos. Com a Proclamação da República, seu nome mudou para Observatório Nacional (ON), o qual atualmente é um instituto de pesquisa vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e atua em 3 grandes áreas do conhecimento: Astronomia, Geofísica e Metrologia em Tempo e Frequência, nas quais realiza pesquisa, desenvolvimento e inovação, com reconhecimento nacional e projeção internacional. Suas atividades incluem a formação de pesquisadores em cursos de pós-graduação, geração, conservação e disseminação da Hora Legal Brasileira e a divulgação do conhecimento produzido através de atividades especializadas.

Em 1853 foi publicado o primeiro volume do anuário, com o nome de *Ephemerides do Imperial Observatório Astronômico*.

O Decreto n.º 457 de 22 de julho de 1846, assinado por D. Pedro II, definiu o nome oficial da Instituição e estabeleceu como ela deveria funcionar. O referido decreto através do 2.º parágrafo do artigo 2.º do Título I, estabelece como deve ser a publicação do Anuário Astronômico:

§ 2.º Publicar todos os anos, e com a conveniente antecipação um Anuário Astronômico do Observatório contendo: 1º extratos das melhores Efemérides estrangeiras, em tudo que oferecerem mais especialmente aplicável às necessidades e aperfeiçoamento da Geografia e da Navegação do Brasil; 2º o quadro resumido de todas as observações feitas no Observatório durante o ano antecedente; 3º a indicação dos dados exatos das principais observações, que será vantajoso fizerem-se no ano corrente sobre todos os pontos notáveis do Brasil.

Em 1885, foi publicado o primeiro volume com o nome *Anuario do Imperial Observatório do Rio de Janeiro* e manteve esse nome até 1889. Tornou-se, entre 1890 e 1910, o *Anuario do Observatorio do Rio de Janeiro* e, de 1911 a 1976, o *Anuário do Observatório Nacional*. Em 1977, por ocasião do sesquicentenário da fundação do ON, passou a se chamar *Efemérides Astronômicas do*

Observatório Nacional, mas no ano 2000 voltou à denominação *Anuário do Observatório Nacional*.

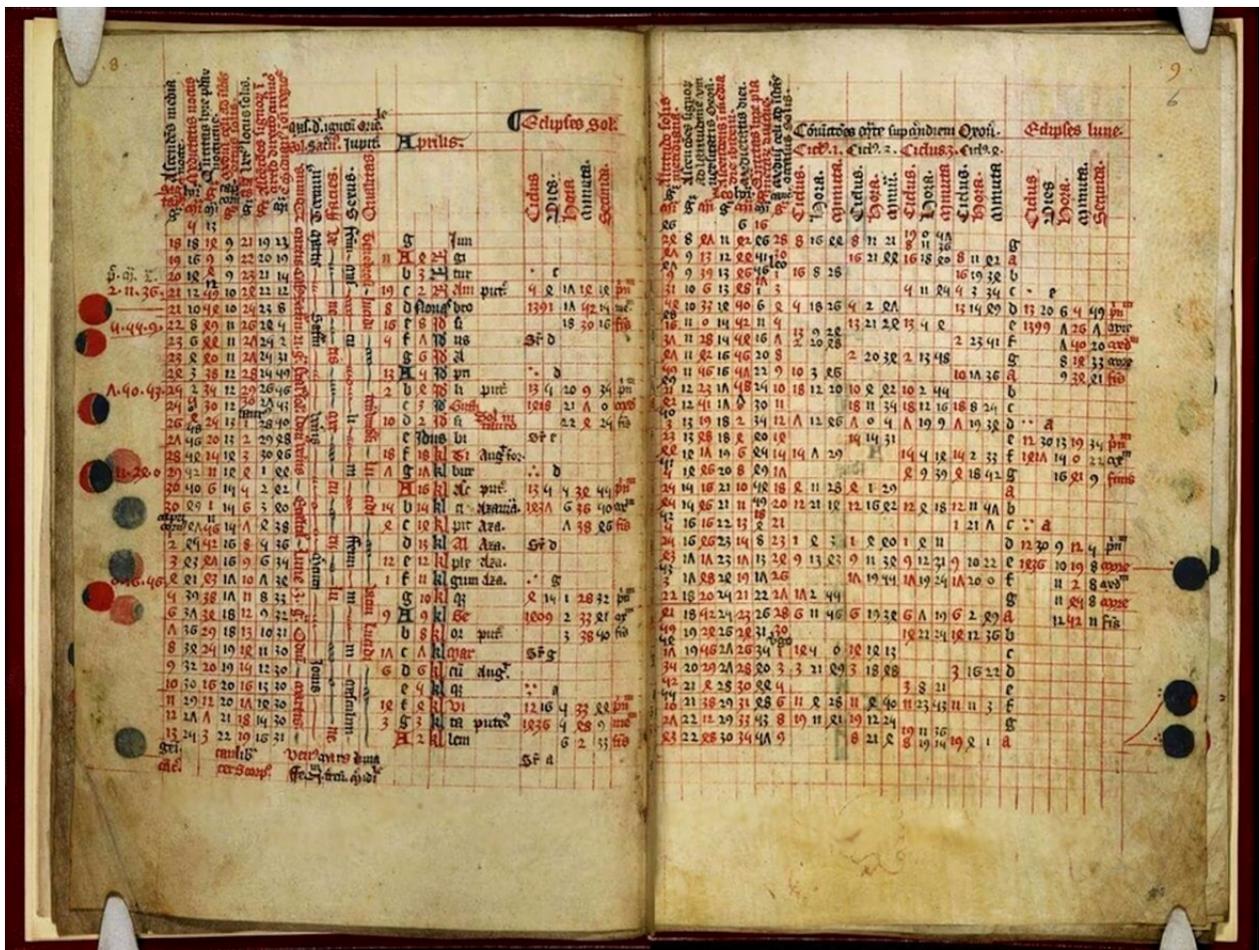
O número de cada volume em algarismos romanos corresponde à série que teve início em 1885, que vem sendo publicada sem interrupção desde então e que se encontra agora no ano CXXXVII, mas é, na realidade, uma continuação das Efemérides Astronômicas, publicadas desde 1853.

Em toda a série histórica são encontradas informações sobre o calendário, hora legal, posições de estrelas, Sol, Lua e planetas, além de fenômenos astronômicos.

A confecção do anuário

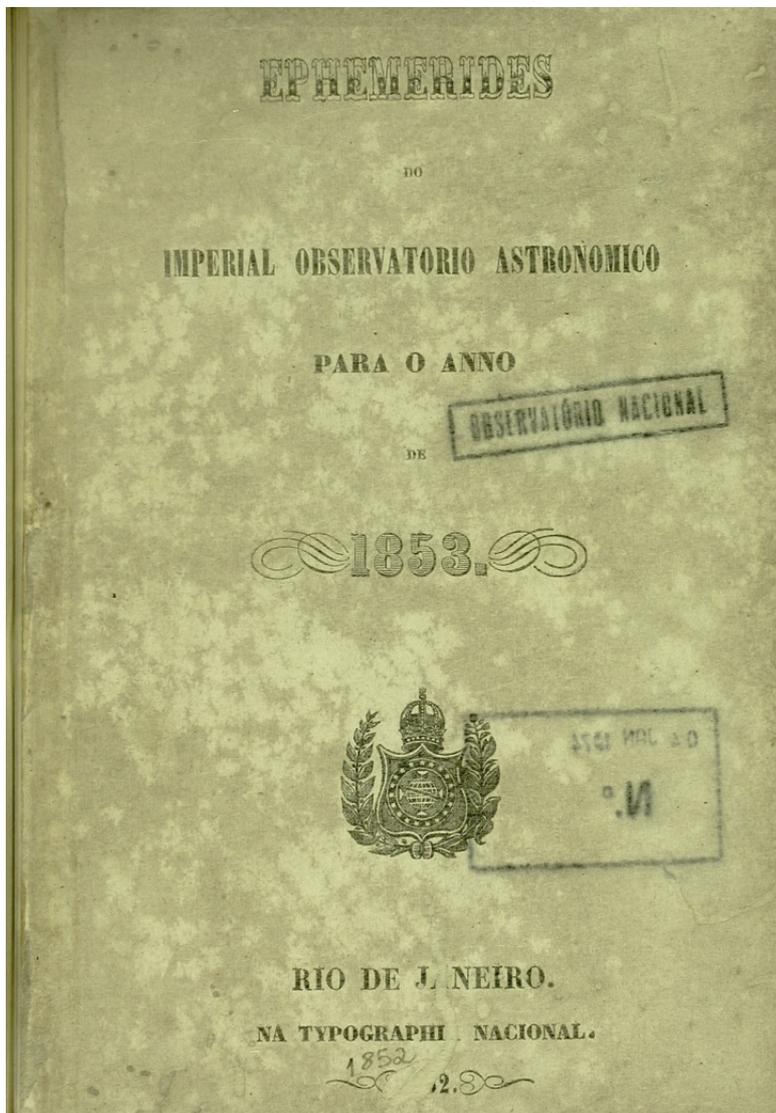
Em 1980 deu-se início no Observatório Nacional aos cálculos para a confecção do anuário, sob a responsabilidade de Victor de Amorim d'Ávila e Josina Oliveira do Nascimento, e o volume do ano 1981 já foi publicado com a grande maioria das tabelas resultantes de cálculo próprio. Para isso foram criados programas de computador para construção de cada tipo de tabela, com a importante característica de as tabelas não serem submetidas à edição em nenhuma fase, ou seja, o que é calculado é impresso em formato final

Abaixo
Kalendarium do frade Johannes Somer que fornece efemérides astronômicas entre 1387 e 1462 (Crédito: The British Library).



Abaixo

Capa do primeiro anuário publicado pelo Imperial Observatório do Rio de Janeiro, em 1853 (Crédito: Biblioteca do Observatório Nacional).



para envio diretamente à gráfica. Durante alguns anos ainda se fez a impressão em papel para o processo gráfico de fotografia, geração de fotolitos e posterior impressão, mas nos anos 90 todo o processo gráfico foi otimizado e a geração dos fotolitos passou a ser feita diretamente a partir dos arquivos gerados em formato pdf.

Toda a publicação está baseada nas determinações da União Astronômica Internacional (IAU) e

tem como base a publicação mais recente do *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*.

Para calcular as posições aparentes do Sol, Lua e planetas é usada atualmente a integração numérica DE405, cujos coeficientes são fornecidos pelo Jet Propulsion Laboratory da NASA. Dos coeficientes são extraídas as coordenadas cartesianas geocêntricas e suas derivadas primeiras e segundas, das quais são deduzidos: a distância à Terra verdadeira da data e ascensão reta e declinação aparentes da data, bem como o semidiâmetro do astro, paralaxe horizontal e o instante da passagem pelo meridiano de Greenwich.

A partir das coordenadas assim calculadas são geradas as tabelas com as posições aparentes para Sol, Lua e planetas, com os instantes do nascer, passagem meridiana e ocaso para seis cidades brasileiras, as tabelas para observações físicas para Sol, Lua e planetas e os fenômenos astronômicos.

Até o ano de 1999 foram publicadas as posições aparentes de 802 estrelas do FK4 (Quarto Catálogo Fundamental) com magnitudes menores que 5,0. Mas, a partir do ano 2000 passou-se a publicar somente as posições médias, a fim de contribuir com a preservação do meio ambiente e reduzir o gasto com papel. Hoje as posições médias das mesmas 802 estrelas são baseadas no FK5 (Quinto Catálogo Fundamental).

A seção com os fenômenos astronômicos para o ano é calculada com base nas coordenadas aparentes do Sol, Lua, planetas e fornecem configurações geocêntricas relevantes, incluindo dentre outras, as previsões das fases da Lua, dos eclipses, ocultações de planetas e estrelas brilhantes pela Lua, apogeu e perigeu da Lua, instantes de máxima aproximação dos planetas, conjunções em ascensão reta aparente envolvendo os planetas e as estrelas brilhantes: Aldebaran, Pollux, Regulus, Spica e Antares.

Para além da Astronomia

Desde o exemplar publicado para o ano 2009, além da publicação impressa, todas as seções do Anuário do ON estão disponíveis para visualização e para download na página web do Observatório Nacional. Disponibilizamos também o email anuario@on.br para solicitações de cálculos que não se encontrem na publicação.

Naturalmente que o conjunto de programas criados para gerar o anuário está sob constante atualização. Uma consequência muito importante da criação e manutenção desse conjunto de programas consiste no fato de que inúmeros cálculos astronômicos são feitos a partir deles a pedido de várias instituições de pesquisa, da Justiça, da Marinha ao público em geral, dentre outros, gerando uma grande prestação de serviços que antes não seria possível. Como e-

10 SOL.

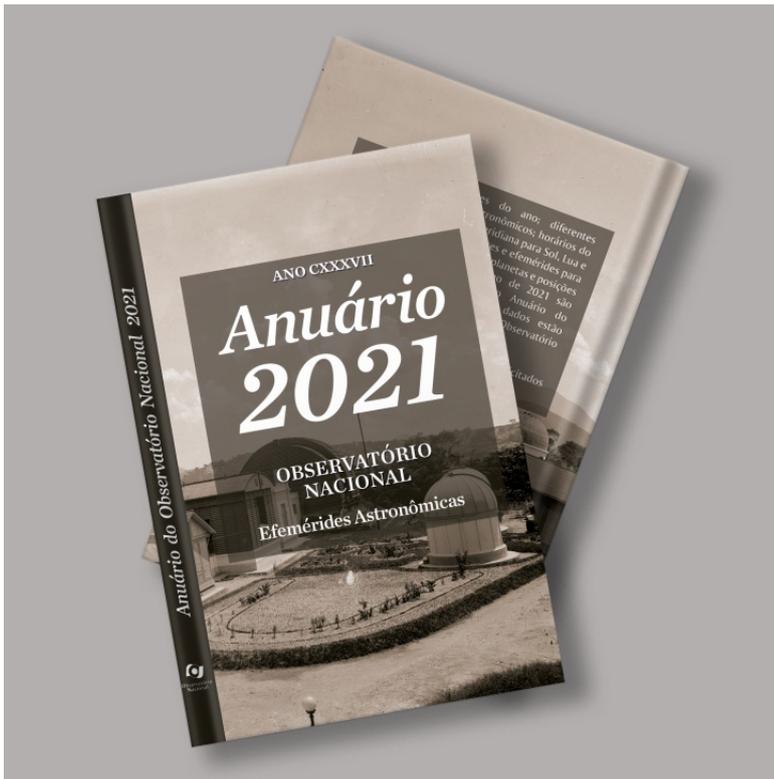
ABRIL DE 1855.

DIAS DO MEZ.	DIAS DA SEMANA.	TEMPO MÉDIO AO MEIO DIA VERD. NO RIO DE JANEIRO.			DIFERENÇA.	SEMIDIAMETRO.	DURAÇÃO DA PASSAGEM MERIDIANA DO SEMIDIAMETRO.				
		h.	m.	s.			Tempo medio.		Tempo sideral.		
1	Sexta . . .	0	3	53,10		16	1,28	1	4,25	1	4,43
2	Sabado . .	0	3	34,96	18,14	16	1,01	1	4,27	1	4,45
3	Domingo . .	0	3	16,97	17,99	16	0,73	1	4,30	1	4,48
4	Segunda . .	0	2	59,16	17,81	16	0,46	1	4,32	1	4,50
5	Terça . . .	0	2	41,55	17,64	16	0,18	1	4,34	1	4,52
6	Quarta . .	0	2	24,11	17,44	15	59,91	1	4,38	1	4,56
7	Quinta . .	0	2	6,89	17,22	15	59,63	1	4,41	1	4,59
8	Sexta . . .	0	1	49,91	16,89	15	59,36	1	4,45	1	4,63
9	Sabado . .	0	1	33,16	16,75	15	59,08	1	4,48	1	4,66
10	Domingo . .	0	1	16,67	16,49	15	58,81	1	4,52	1	4,70
11	Segunda . .	0	1	0,44	16,23	15	58,54	1	4,57	1	4,75
12	Terça . . .	0	0	44,30	15,94	15	58,27	1	4,62	1	4,80
13	Quarta . .	0	0	28,86	15,64	15	58,00	1	4,66	1	4,84
14	Quinta . .	0	0	13,54	15,32	15	57,73	1	4,71	1	4,89
15	Sexta . . .	11	59	58,55	14,99	15	57,46	1	4,76	1	4,94
16	Sabado . .	11	59	43,90	14,65	15	57,20	1	4,82	1	5,00
17	Domingo . .	11	59	29,59	14,31	15	56,94	1	4,88	1	5,06
18	Segunda . .	11	59	15,66	13,93	15	56,67	1	4,94	1	5,12
19	Terça . . .	11	59	2,12	13,54	15	56,41	1	5,00	1	5,18
20	Quarta . .	11	58	48,98	13,14	15	56,15	1	5,06	1	5,24
21	Quinta . .	11	58	36,25	12,73	15	55,90	1	5,13	1	5,31
22	Sexta . . .	11	58	23,96	12,29	15	55,64	1	5,20	1	5,38
23	Sabado . .	11	58	12,11	11,85	15	55,39	1	5,27	1	5,45
24	Domingo . .	11	58	0,73	11,38	15	55,13	1	5,34	1	5,52
25	Segunda . .	11	57	49,83	10,90	15	54,88	1	5,41	1	5,59
26	Terça . . .	11	57	39,42	10,41	15	54,64	1	5,49	1	5,67
27	Quarta . .	11	57	29,52	9,90	15	54,39	1	5,56	1	5,74
28	Quinta . .	11	57	20,14	9,38	15	54,15	1	5,64	1	5,82
29	Sexta . . .	11	57	11,29	8,85	15	53,90	1	5,71	1	5,89
30	Sabado . .	11	57	3,00	8,29	15	53,66	1	5,79	1	5,97
M. 1.º	Domingo . .	11	56	55,26	7,74	15	53,43	1	5,87	1	6,05

xemplo, podem ser citados estudos de espécies de animais e plantas que se desenvolvem em locais específicos e de acordo com a luminosidade local, um amplo estudo que foi realizado em relação à iluminação pública de mais de 350 municípios brasileiros e laudos solicitados pelo setor jurídico brasileiro no que se refere também à iluminação em acidentes e outros.

Além disso, todo um trabalho

Acima
Uma das páginas de efemérides do primeiro anuário astronômico brasileiro (Crédito: Biblioteca do Observatório Nacional).



Acima
Anuário Astronômico do Observatório Nacional para o ano de 2021.

de divulgação e popularização da ciência vem sendo realizado a partir dos conhecimentos e cálculos também originados do conjunto de programas criados para gerar o anuário, em geral relacionados aos fenômenos celestes.

O valor histórico do Anuário do Observatório Nacional, como uma

Para saber mais

No Brasil, o Instituto Astronômico e Geofísico (IAG/USP) também publicava regularmente seu Anuário Astronômico por muitos anos. A última edição foi em 1988.

Atualmente, o Centro de Estudos Astronômicos de Minas Gerais (CEAMIG) publica um almanaque anual dedicado às principais efemérides astronômicas em sua homepage.

Outros observatórios e planetários costumam publicar listas de fenômenos astronômicos de cada ano em seus sites.

das mais antigas publicações de caráter científico no Brasil, se amplia com a renovada procura, a cada ano, por parte de astrônomos, geodestas, topógrafos, cartógrafos, profissionais de áreas correlatas e do público em geral.

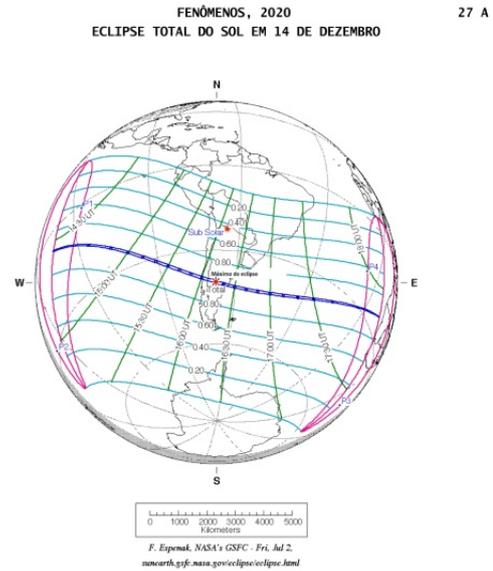
São crescentes as publicações de anuários ou efemérides astronômicas no Brasil, dado o interesse cada vez maior da população em olhar para o céu. Em geral, os dados que constam nas referidas publicações são as fases da Lua, início das estações do ano, diferentes calendários, instantes para o nascer, ocaso e passagem meridiana para o local da publicação, posições e aspecto do Sol, Lua e planetas e, dentre outros, posições das estrelas visíveis a olho nu.

A lista com os fenômenos astronômicos para o ano tem sido a matéria de maior interesse para o público, que além de observar o céu vem também fazendo registros fotográficos tendo em vista as facilidades disponíveis e cada mais acessíveis nas câmeras de celular. As belíssimas configurações da Lua com os planetas e estrelas em datas próximas às conjunções em ascensão reta, têm sido as preferidas. As ocultações das estrelas mais brilhantes pela Lua e principalmente as ocultações dos planetas pela Lua, que são mais raras, são também de interesse geral.

Sabemos que hoje há aplicativos que fornecem informações astronômicas para cada instante e

FENÔMENOS 2020 21 A
HORA LEGAL DO FUSO DE -3 HORAS

MÊS	DIA	HORA	FENÔMENOS	
Jun.	21	3h41min	LUA NOVA	Eclipse Anular do Sol
	22	3	Mercúrio 4'S da Lua	
	22	23	Pollux 5'N da Lua	
	23	8	Netuno estacionário	
	24	15	Vênus estacionário	
	25	12	Regulus 4'S da Lua	
	28	5h16min	QUARTO CRESCENTE	
	29	5	Spica 8'S da Lua	
	29	23	Lua no perigeu	
	30	24	Mercúrio em conjunção inferior	
Jul.	2	14	Antares 7'S da Lua	
	4	9	Terra no afélio	
	5	1h44min	LUA CHEIA	Eclipse Penumbral da Lua
	5	19	Júpiter 2'N da Lua	
	6	6	Saturno 3'N da Lua	
	10	4	Netuno 4'N da Lua	
	11	17	Marte 2'N da Lua	
	11	22	Vênus 1'N de Aldebaran	
	12	4	Mercúrio estacionário	
	12	16	Lua no apogeu	
	12	20h29min	QUARTO MINGUANTE	
	14	5	Júpiter em oposição	
	14	9	Urano 4'N da Lua	
	16	23	Aldebaran 4'S da Lua	
	17	5	Vênus 3'S da Lua	
	19	4	Mercúrio 4'S da Lua	
	20	7	Pollux 5'N da Lua	
	20	14h33min	LUA NOVA	
	20	19	Saturno em oposição	
	22	12	Mercúrio em máxima elongação (20'W)	
	22	18	Regulus 4'S da Lua	
	25	2	Lua no perigeu	
	26	11	Spica 7'S da Lua	
	27	9h33min	QUARTO CRESCENTE	
	29	20	Antares 6'S da Lua	



Visível como total na estreita faixa central. Visível como parcial em toda a região quadriculada.
 Conjunção Geocêntrica: 16:18:05 Tempo Universal (TU)
 Máximo do Eclipse: 16:13:23 Tempo Universal (TU)

P1 = 13:33:48 TU P3 = 16:49:52 TU
 P2 = 15:36:46 TU P4 = 18:53:00 TU

local, mas os anuários têm importância crescente uma vez que disponibilizam as mais diversas informações para o ano inteiro •

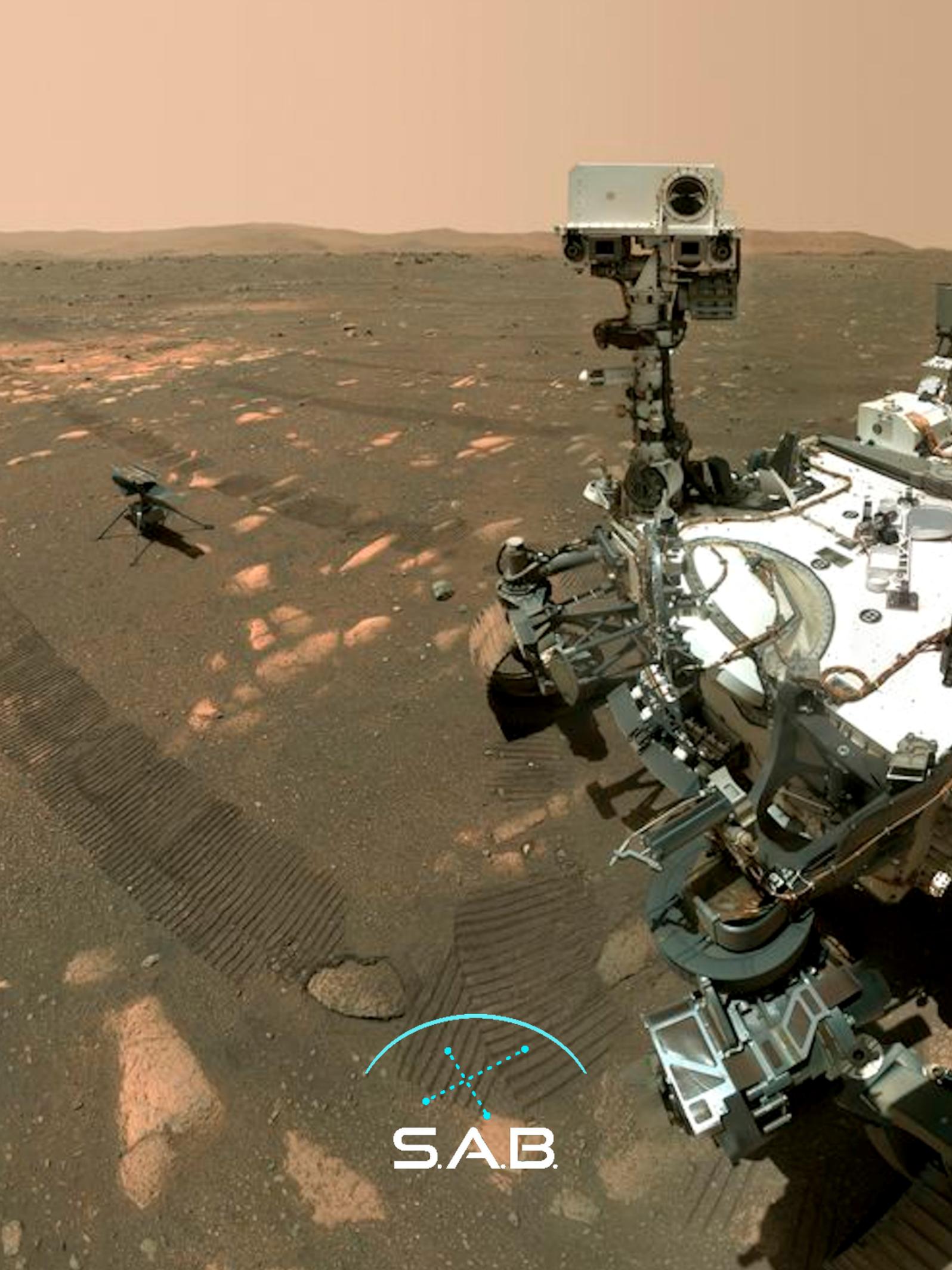
Josina Oliveira do Nascimento
 Observatório Nacional
 josina@on.br

Acima
 Duas páginas do Anuário Astronômico do Observatório Nacional para o ano 2020. Além de efemérides para cada mês, há informações mais detalhadas sobre a visibilidade de eclipses, entre outras.

Contra-capa
 Selfie do robô Perseverance e do drone Ingenuity na cratera Jezero em Marte (Crédito: NASA).

Visite a página do Observatório Nacional

<https://www.gov.br/observatorio>



S.A.B.