PAISAGENS CÓSMICAS

DA TERRA AO BIG BANG

PAISAGENS CÓSMICAS
DA TERRA AO BIG BANG

Em 1609, Galileu apontou seu telescópio para a Lua e enxergou claramente suas crateras e montanhas. Com o aperfeiçoamento do telescópio, fronteiras cada vez mais distantes foram se abrindo: novos planetas, aglomerados de estrelas, galáxias e aglomerados de galáxias e a cortina de luz gerada pelo Big Bang.

O uso de detectores permitiu a captação de imagens invisíveis ao olho humano, como os raios X, infravermelho e ondas de rádio. Elas revelaram condições físicas desde temperaturas extremamente altas até quase o zero absoluto, astros com densidades maiores que a do núcleo atômico ou até o vácuo quase absoluto.

O telescópio permitiu acessar esses verdadeiros laboratórios de Física que jamais poderemos replicar na Terra. Por meio dele descobrimos a origem dos átomos, da água, de moléculas orgânicas e esperamos, em breve, encontrar sinais de vida. Nos demos conta de que temos uma grande intimidade com os astros. Em contrapartida, descobrimos recentemente que a

matéria e a energia que formam os planetas, estrelas e galáxias somam apenas 4% do universo.

Em sua maior parte, o universo é constituído por um tipo de matéria ("matéria escura") e um tipo de energia ("energia escura") das quais temos apenas indicações indiretas. Quanto mais longe um astro está, mais tempo sua luz demora para chegar até nós.

Assim, quanto mais longe penetramos no espaço, mais fundo enxergamos o passado. O telescópio nos permite observar as diversas etapas evolutivas do universo, até quase sua origem, tornando-o um objeto não de três, mas de quatro dimensões (três de espaço e uma de tempo). Portanto, tudo o que vemos já aconteceu!

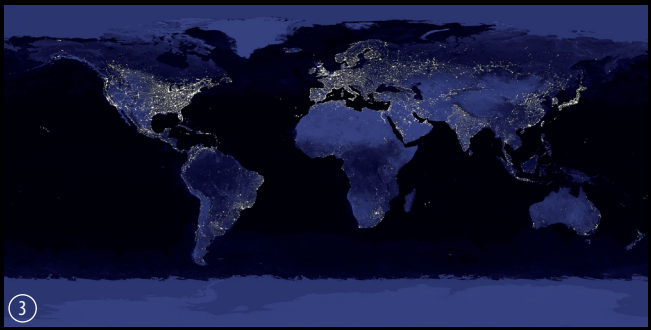
Atualmente, as revoluções astronômicas se dão em escalas de décadas e tudo indica que vão continuar se acelerando. Nossa exploração do universo está apenas no começo. Por isso é fundamental manter a escuridão do céu noturno, combatendo a poluição luminosa. Evitar o desperdício de energia luminosa é a receita para preservar esse patrimônio da humanidade.

Paisagens Cósmicas (A. Damineli, 2009)

AMÉRICA DO SUL E LUZES DAS CIDADES

Há 500 anos se sabe que moramos num planeta da mesma natureza que os demais, mas só recentemente pudemos vê-lo a partir do espaço. A vida prosperou e se diversificou neste minúsculo planeta rochoso pelo fato de ele se localizar na estreita "zona de água líquida" que circunda o Sol. Na vista noturna (foto inferior) identifique a sua cidade.

A luz direcionada para o céu, além de ser um desperdício, ofusca os astros. A escuridão do céu noturno é um patrimônio da humanidade e deve ser preservada.



3

2

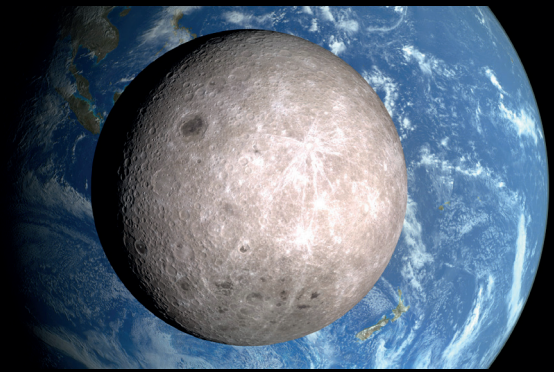
Nosso planeta natal é o único planeta do Sistema Solar conhecido por abrigar a vida.
A Terra é o terceiro planeta mais próximo ao Sol e o quinto maior dentre os oito planetas do Sistema Solar. Um pouco maior que Vênus é o maior dentre os quatro planetas telúricos.

LUA CHEIA E ECLIPSE LUNAR

(Distância: 1,25 segundo-luz da Terra)

Por ser grande e estar próxima da Terra, a Lua exerce grande influência sobre a humanidade. As fases da Lua, as marés, a iluminação noturna e os eclipses foram usados, desde a remota antiguidade, para organizar calendários, mapear espaços na Terra e no céu e testar teorias. Sua distância e tamanho já eram bem conhecidos há 2.300 anos.

Um eclipse solar, observado em Sobral, no Ceará, em 1919, permitiu testar a Teoria da Relatividade Geral. Em 1969, apenas 40 anos atrás, o homem conseguiu aportar na Lua.



4

ECLIPSE LUNAR

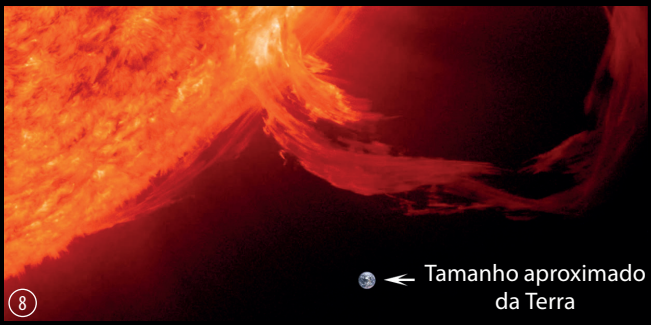
6

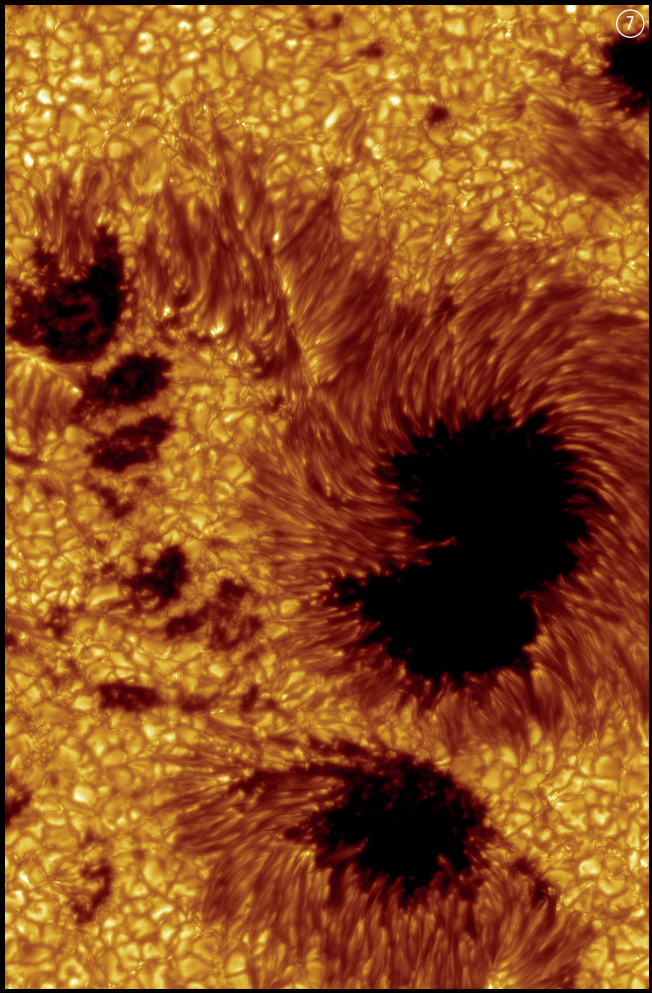
MANCHAS E ERUPÇÕES SOLARES

(Distância: 8,3 minutos-luz da Terra)

O Sol é a fonte de praticamente toda a energia que circula na atmosfera terrestre, mantendo os oceanos em estado líquido, movimentando os ventos, possibilitando as chuvas e garantindo a sobrevivência dos seres vivos. Ele está na metade (5 bilhões de anos) de sua vida, tendo como fonte de energia a fusão de átomos de hidrogênio em hélio.

As manchas solares (foto maior) são maiores que a Terra e se formam em razão dos campos magnéticos do Sol. Há 400 anos, Galileu provou que elas faziam parte do Sol e que não eram "nuvens", como se imaginava na época. O Sol é filmado 24 horas por dia para que se possa monitorar sua atividade.

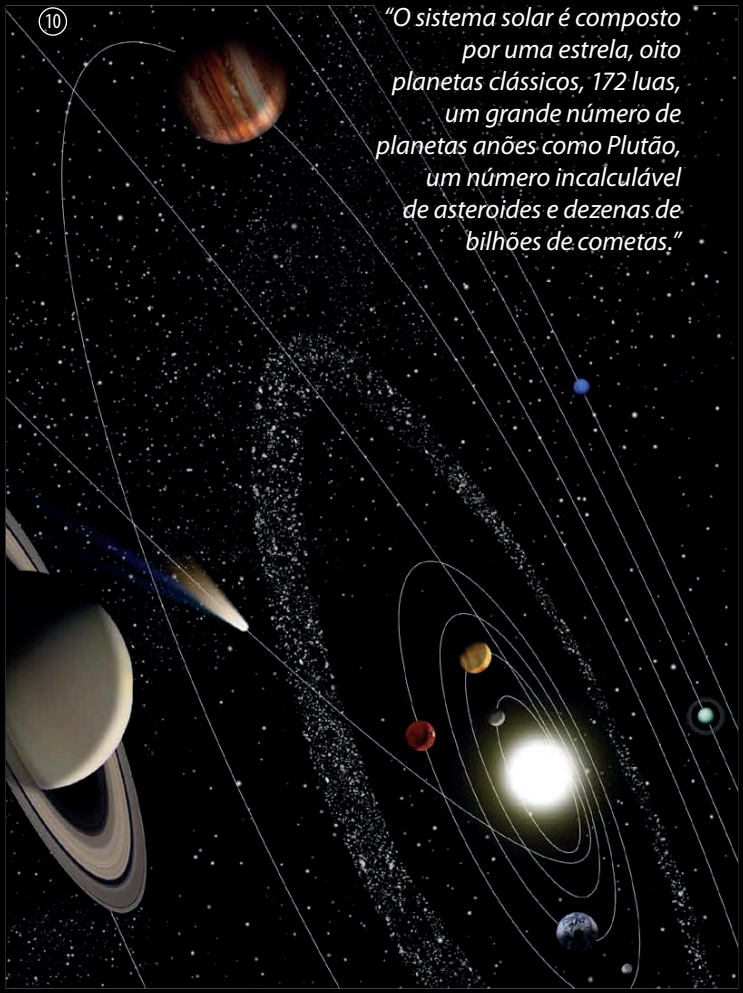



7

COMETA MCNAUGHT

(Distância: 2,5 minutos-luz do Sol)

Os cometas sempre deslumbraram e até mesmo assustaram os povos da Terra, por não se deslocarem ao longo do zodíaco, diferentemente do Sol, da Lua e dos planetas. Logo que os planetas se formaram, esses astros foram "arremessados" para longe, mas ocasionalmente voltam a visitar o interior do sistema solar.
Foram os cometas e asteroides que trouxeram toda a água e substâncias biogênicas que existem hoje na Terra. O McNaught foi o cometa mais brilhante dos últimos tempos.



"O sistema solar é composto por uma estrela, oito planetas clássicos, 172 luas, um grande número de planetas anões como Plutão, um número incalculável de asteroides e dezenas de bilhões de cometas."

PAISAGENS MARCIANAS

(Distância: 12,6 minutos-luz do Sol)

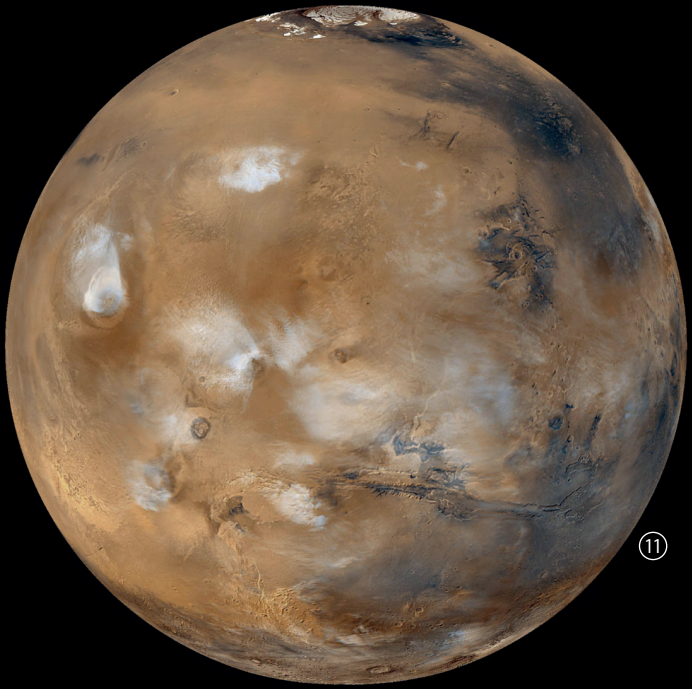
Marte é um planeta rochoso, um pouco menor que a Terra. Como a Terra e Vênus, Marte nasceu com composição atmosférica de ~95% de CO_2 (dióxido de carbono) e temperatura de ~ 85 C e teve condições propícias para a vida até 3,5 bilhões de anos atrás. Entretanto, por sua baixa gravidade, o planeta perdeu rapidamente os gases atmosféricos e se resfriou abaixo do ponto de congelamento. Sua cor avermelhada vem do seu solo rico em ferro.

Marte tem duas luas pequenas: Phobos e Deimos. Estas imagens mostram seu terreno árido, sob uma atmosfera fina, com raras nuvens de CO_2 em torno de seus vulcões equatoriais (manchas brancas na foto maior). Abaixo uma imagem da superfície de Marte fotografado pelo Curiosity.

⑬

CURIOSITY EM MARTE

⑫

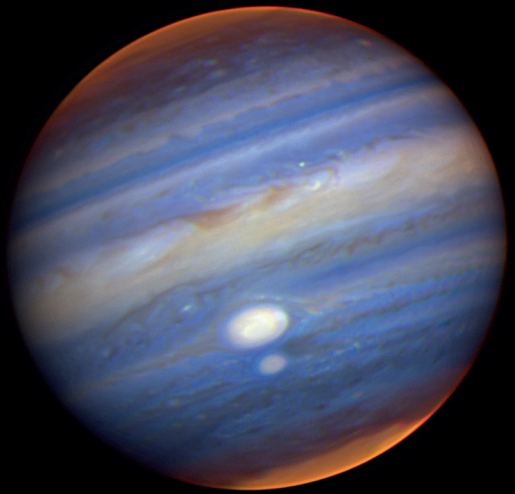


⑪

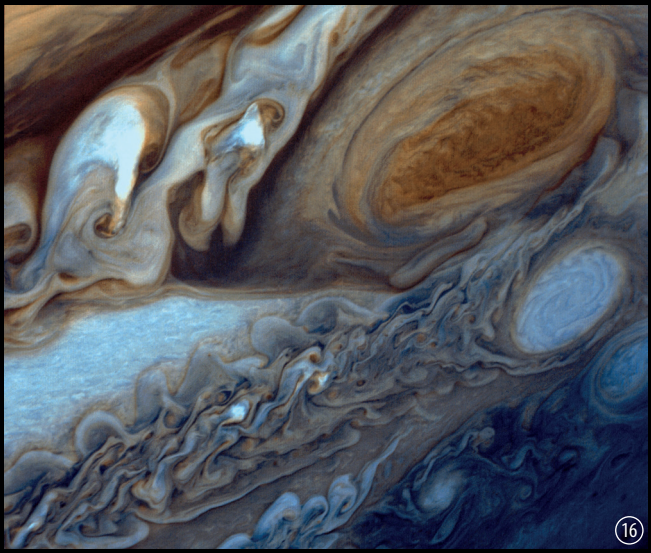
A GRANDE MANCHA VERMELHA DE JÚPITER

(Distância: 35 minutos-luz do Sol)

Júpiter é um planeta gigante gasoso, como os outros três planetas exteriores do sistema solar (Saturno, Urano e Netuno) e como a maioria dos exoplanetas descobertos até agora em torno de outras estrelas.
A mancha vermelha é um furacão – cerca de duas vezes maior que a Terra – que não se dissipou desde que foi descoberto 300 anos atrás.



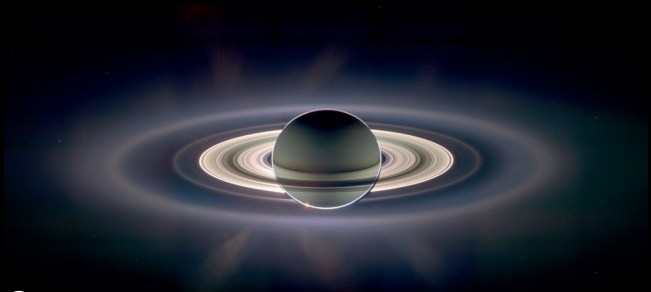
Júpiter tem 63 satélites, quatro dos quais (as chamadas luas galileanas) foram descobertos por Galileu em 7 de janeiro de 1610.

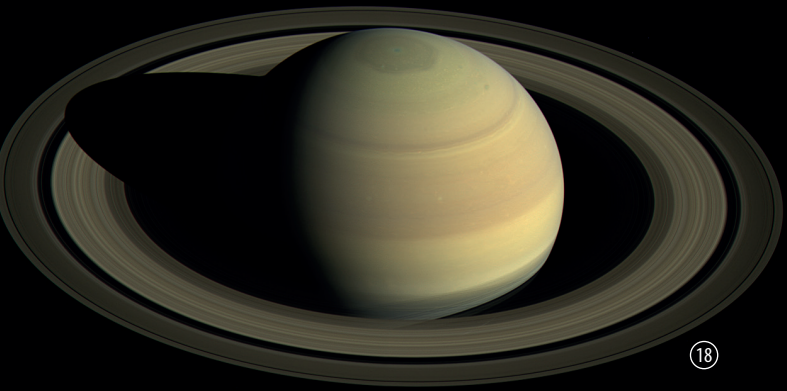


SATURNO, O REI DOS ANÉIS

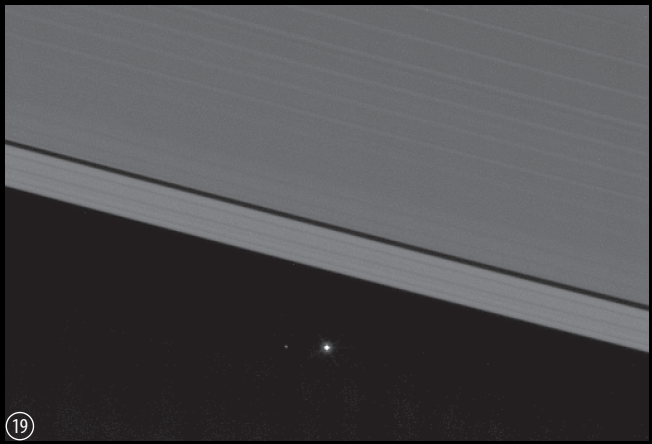
(Distância: 1,2 hora-luz do Sol)

O planeta Saturno é rodeado por 61 "luas" e milhares de anéis, formado a partir da destruição de luas de gelo que se situavam dentro do limite de ruptura gravitacional (raio de Roche). As imagens mostram os anéis recebendo luz direta (ao lado, acima) e a vista em contraluz (fotografado pela nave Cassini - abaixo), como quando olhamos insetos e poeira em suspensão ao pôr do sol. Note que a imagem em contraluz revela anéis adicionais que não são vistos sob iluminação direta. Ao lado, abaixo, vemos os anéis em detalhe com a Terra e a Lua vistas como dois pequenos pontinhos desde Saturno.





18



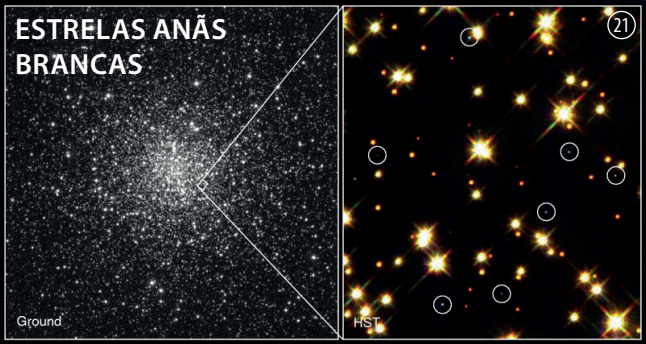
19

MORTE DE UMA PEQUENA ESTRELA

(Distância: 2 mil anos-luz do Sol)

Estrelas pequenas, com massas parecidas com a do Sol, vivem longamente, gerando energia de modo estável ao longo de bilhões de anos. Isso é muito favorável para abrigar vida. Ao se tornarem gigantes vermelhas, entram em violenta pulsação, expelindo camadas esféricas concêntricas (círculos tênues ao fundo).

Na fase final, ventos rápidos e quentes carregados de átomos de carbono e nitrogênio formam uma nebulosa planetária (nuvens em forma de S) que, no caso da imagem ao lado (Nebulosa Olho de Gato), tem 0,4 ano-luz de diâmetro. A estrela morta (anã branca) no centro é 10 milhões de vezes mais densa que o ferro.

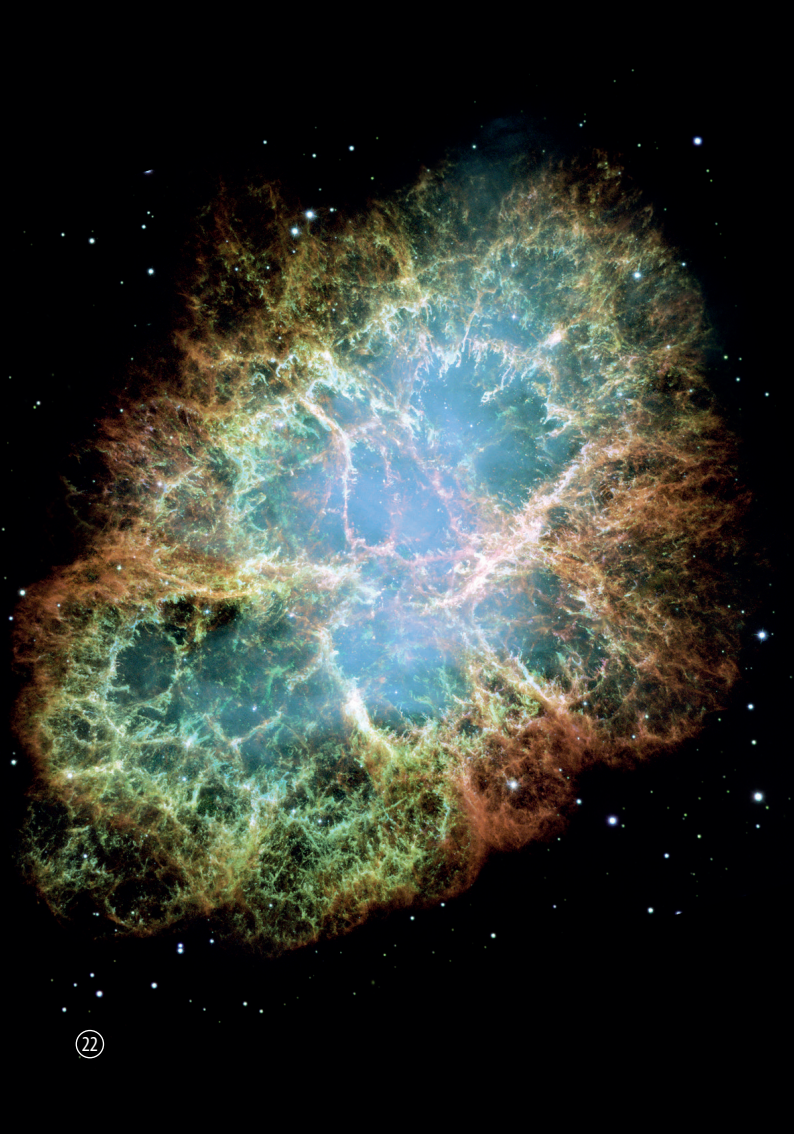


EXPLOSÃO DE UMA GRANDE ESTRELA

(Distância: 6,5 mil anos-luz do Sol)

As estrelas de grande massa (com mais de dez vezes a massa solar), ao chegarem ao final da vida, explodem de modo violento, ejetando gases ricos em oxigênio. A Nebulosa do Caranguejo (ao lado) é o resíduo da explosão de uma estrela vista pelos chineses em 1054 d. C. em pleno dia, na Constelação do Touro. Colunas de gases lançadas à velocidade de 1 mil km/s formam uma nebulosa com 10 anos-luz de diâmetro. No centro, o "cadáver" formou um pulsar (estrela de nêutrons - figura abaixo), que gira 33 vezes por segundo e é 10 trilhões de vezes mais denso que o ferro.

A imagem do Pulsar do Caranguejo combina informações nas frequências do visível (vermelho) e em raio-X (azul)



ETA CARINAE EM NINHO DE FORMAÇÃO DE ESTRELAS

(Distância: 7,5 mil anos-luz do Sol)

Eta Carinae (ao lado) é uma das estrelas de maior massa e luminosidade em nossa galáxia. Ela faz parte da Nebulosa de Carina (abaixo), onde estão nascendo milhares de outras estrelas. Embora tenha apenas 2,5 milhões de anos de idade, ela já ejetou densas camadas de gás e poeira, formando uma nebulosa de 400 vezes o tamanho do Sistema Solar. Em breve (décadas, séculos ou milênios) ela explodirá, produzindo um feixe estreito e poderoso de raios gama ao longo de seu eixo maior, tornando-se visível em todo o universo. Felizmente, estamos fora da sua "linha de tiro".

AGLOMERADO DE ESTRELAS VELHAS

(Distância: 14 mil anos-luz do Sol)

Os chamados aglomerados globulares, como este da Constelação do Pavão, contém entre 100 mil e 1 milhão de estrelas de pequena massa, relativamente frias e com poucos átomos pesados. O formato esférico do aglomerado se deve ao fato de as estrelas estarem presas ao campo gravitacional do grupo. Com 12 bilhões de anos de idade, todas as estrelas de grande massa desse grupo já morreram, restando apenas estrelas como o Sol ou menores. Atualmente, por causa da falta de matéria-prima (gás interestelar), as "ninhadas" de estrelas são muito menos numerosas do que quando a Via Láctea era jovem.

NASA, ESA AND THE HUBBLE SM4 ERO TEAM

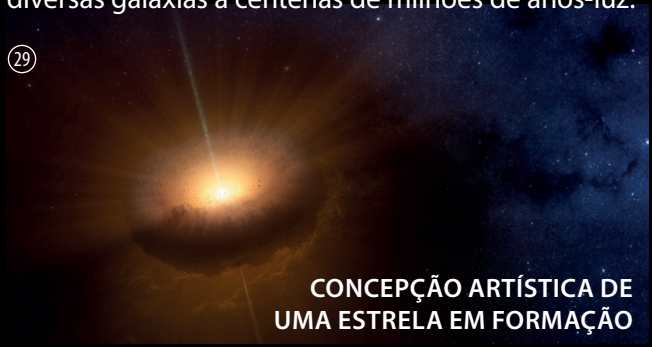
"Omega Centauri: as estrelas de aglomerados globulares como este, formaram-se todas juntas há 12 bilhões de anos. Parecem joias no espaço"
Fascínio do Universo
(Damineli & Steiner, 2010)

BERÇÁRIO DE ESTRELAS EM GALÁXIA VIZINHA

(Distância: 180 mil anos-luz do Sol)

Este grupo de estrelas recém-nascidas (5 milhões de anos) situa-se na galáxia vizinha Pequena Nuvem de Magalhães e forma um aglomerado aberto (não ligado gravitacionalmente).

A luz das jovens estrelas está dissipando a nuvem interestelar que as formou. Nesta região de 200 anos-luz de diâmetro existem estruturas um pouco mais densas que ainda resistem, formando "pilares" que apontam na direção do aglomerado central de estrelas. Ao lado, o aglomerado estelar menor (na parte inferior da imagem) é um pouco mais evoluído, tendo já dissipado as nuvens de gás. Ao fundo, veem-se diversas galáxias a centenas de milhões de anos-luz.



CONCEPÇÃO ARTÍSTICA DE UMA ESTRELA EM FORMAÇÃO

GALÁXIAS ESPIRAIS

(Distância: 2,5 milhões de anos-luz do Sol)

Andrômeda (foto à direita) é uma galáxia com mais de 100 bilhões de sóis e foi a primeira a ser reconhecida como exterior à Via Láctea. As galáxias de Andrômeda e da Via Láctea são do tipo espiral e dominam gravitacionalmente um grupo de outras 19 galáxias menores, como as duas elípticas que aparecem nesta imagem.

Na foto abaixo vemos NGC 1300 (Distância: 70 milhões de anos-luz da Terra) que é uma galáxia do tipo espiral barrada, com tamanho muito parecido ao de Andrômeda e da Via Láctea, ou seja, 100 mil anos-luz de diâmetro. A região central, da barra, é dominada por estrelas velhas (amareladas), enquanto a luz dos braços espirais é dominada por estrelas jovens de grande massa (azuladas).

GALÁXIA COM ESTRELAS EXPLODINDO

(Distância: 12 milhões de anos-luz do Sol)

M82 é uma galáxia espiral vista de perfil, constituída de estrelas (parte esverdeada) e ejetando enormes quantidades de gás quente (nuvens vermelhas e azuis) para fora de si mesma. Essas nuvens foram produzidas por inúmeras supernovas que estão explodindo em aglomerados de estrelas recém-formadas próximo ao núcleo. A alta taxa de formação de estrelas em M82, dez vezes maior que na Via Láctea, deve-se a uma colisão que ela teve com sua vizinha M81 (não mostrada aqui) há cerca de 100 milhões de anos.

Supernova em M82 detectada em janeiro de 2014 (à direita); à esquerda, imagem feita em dezembro de 2013 para comparação

GALÁXIAS EM COLISÃO

(Distância: 45 milhões de anos-luz do Sol)

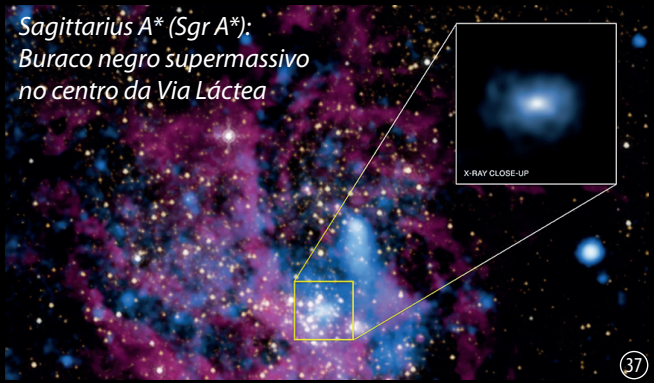
As Antenas são um par de galáxias espirais em colisão que estão em processo de fusão.
As nuvens de gás de seus braços espirais estão gerando copiosa quantidade de aglomerados de estrelas (pontos azuis e manchas vermelhas), por causa do choque. As estrelas mais antigas (manchas amareladas) foram arrancadas das regiões centrais e esparramadas.

A colisão de Andrômeda com a Via Láctea está prevista para ocorrer em aproximadamente 4 bilhões de anos

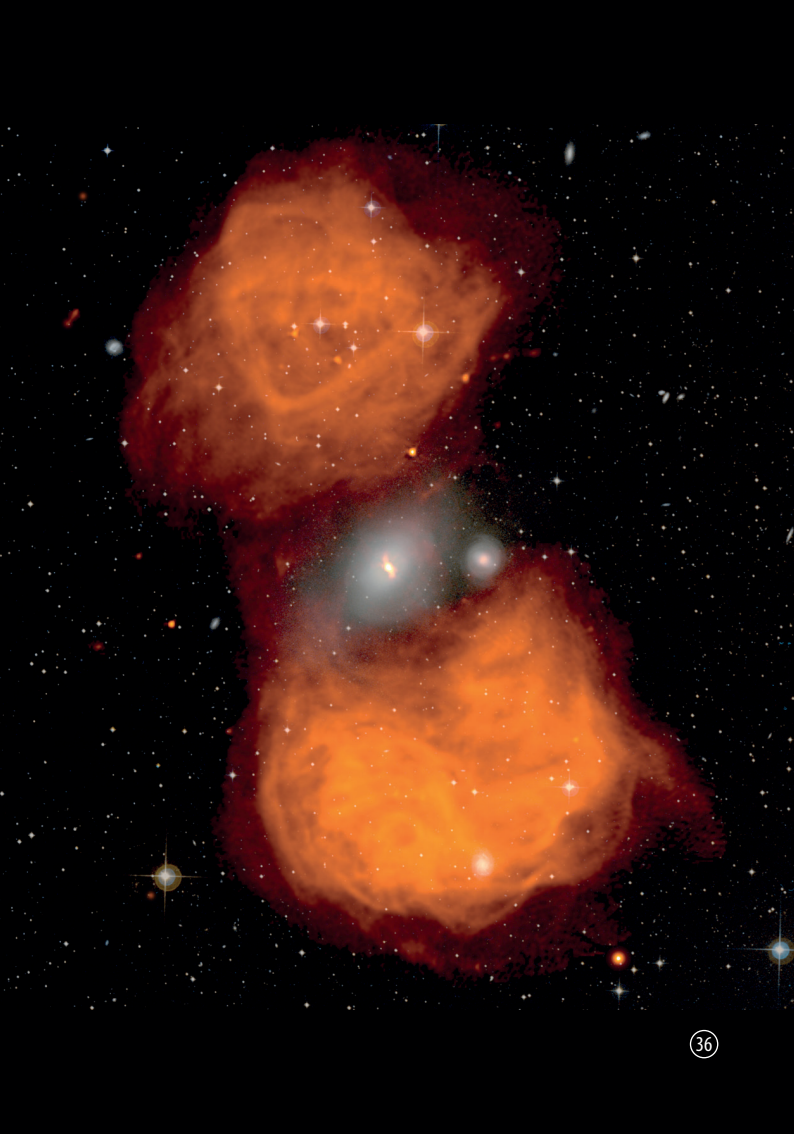
BURACO NEGRO GIGANTE EM ATIVIDADE

(Distância: 62 milhões de anos-luz do Sol)

A galáxia NGC 1316 (mancha azulada no centro) tem um buraco negro gigante em seu núcleo. A galáxia menor acima dela está colidindo, lançando matéria interestelar sobre o buraco negro. Parte dos gases é sugada pelo buraco e parte é aquecida a 10 milhões de graus e ejetada em forma de duas orelhas. A nuvem de gases (laranja) estende-se por 1 milhão de anos-luz de ponta a ponta. Nossa galáxia tem em seu centro (a 26 mil anos-luz de nós) um buraco negro gigante (3,6 milhões de massas solares) que atualmente está em baixa atividade.



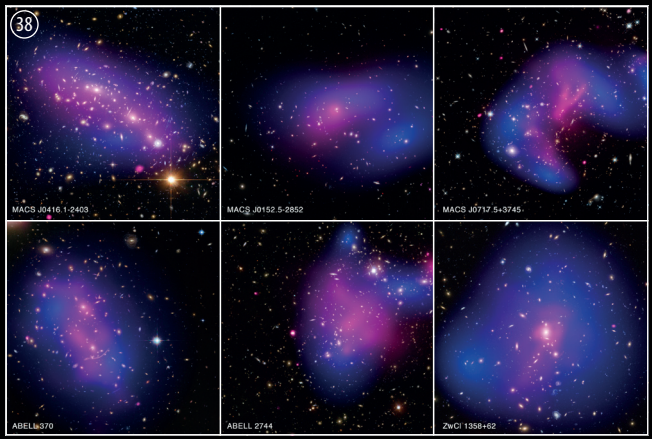
Sagittarius A (Sgr A*): Buraco negro supermassivo no centro da Via Láctea*



MATÉRIA ESCURA NO AGLOMERADO DA BALA

(Distância: 3,4 bilhões de anos-luz do Sol)

A fotografia ao lado mostra a colisão entre dois aglomerados de galáxias. As nuvens rosadas correspondem a nuvens de gás muito quente emitindo raios X. As manchas azuis são um mapa da chamada "matéria escura", composto com base nas lentes gravitacionais. A força gravitacional da "matéria escura", um tipo de matéria diferente da nossa, ou seja, que não é composta de prótons e elétrons, supera a da matéria comum. Avalia-se que a "matéria escura" é cinco vezes mais abundante que a que forma as galáxias, estrelas e planetas.



"Não sabemos do que é feita a matéria escura, mas sabemos que ela é cerca de seis vezes mais comum do que a matéria luminosa – que é a que podemos ver."
Fascínio do Universo (Damineli & Steiner, 2010)

LENTES GRAVITACIONAIS EM AGLOMERADO DE GALÁXIAS

(Distância: 5 bilhões de anos-luz do Sol)

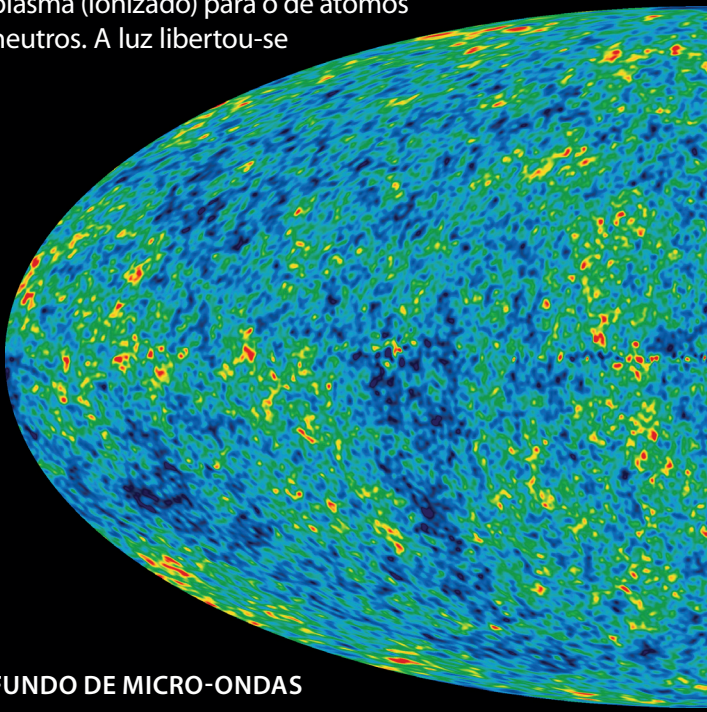
A força gravitacional deste aglomerado de galáxias (manchas em amarelo) desvia a luz de sua trajetória retilínea, formando uma gigantesca lente gravitacional. Essa lente projeta as galáxias distantes e primitivas que estão atrás do aglomerado para o nosso lado (manchas azuis). A massa necessária para isso supera em muito a massa das galáxias visíveis, indicando que a gravidade é produzida principalmente por um tipo de matéria invisível: a "matéria escura". Note que a lente gravitacional produz diversas imagens de uma mesma galáxia (mancha azul alongada em torno do centro).

LENTES GRAVITACIONAIS

"Esses 'telescópios naturais' permitem ver a uma distância que seria impossível com os atuais instrumentos da astronomia, e há um esforço para levantar o maior número possível de lentes gravitacionais."
Fascínio do Universo (Damineli & Steiner, 2010)

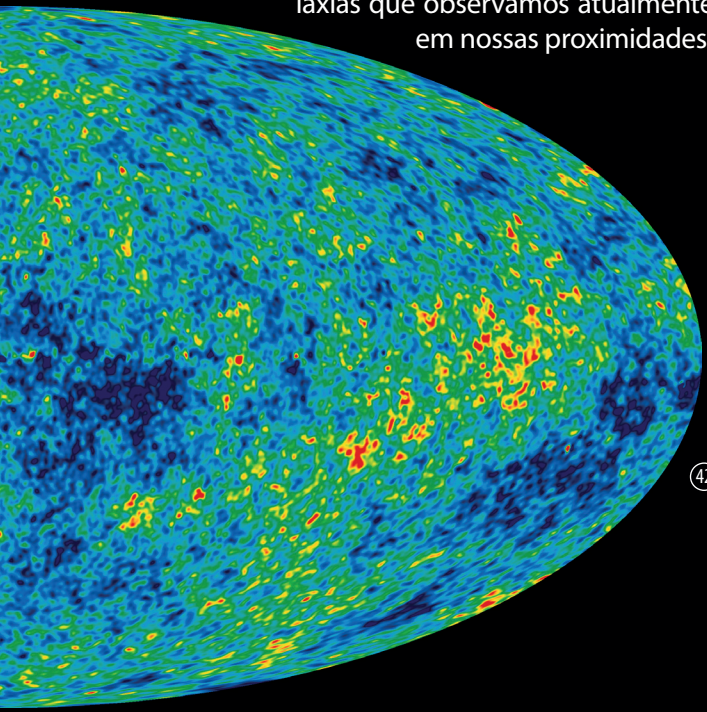
O BIG BANG

Este é o limite mais distante que podemos observar: o fundo do céu emitindo radiação em micro-ondas. Essa luz foi emitida quando o universo atingiu a idade de 380 mil anos e a matéria passou de um estado de plasma (ionizado) para o de átomos neutros. A luz libertou-se



FUNDO DE MICRO-ONDAS

da matéria e o espaço entre as galáxias ficou transparente e, portanto, invisível. As manchas correspondem a minúsculas flutuações de densidades na matéria que teriam se condensado e gerado os aglomerados de galáxias que observamos atualmente em nossas proximidades.



PAISAGENS CÓSMICAS
DA TERRA AO BIG BANG

Material adaptado da exposição "Paisagens Cósmicas" que fez parte das comemorações do Ano Internacional da Astronomia - 2009.

As distâncias são indicadas a partir do Sol, exceto nos casos do Sol e da Lua, nos quais são indicadas a partir da Terra. 1 segundo-luz é a distância percorrida pela luz em 1 segundo = 300 mil km. / 1 ano-luz = 9,5 trilhões de km.

CURADORIA CIENTÍFICA E TEXTO FINAL
Elysandra Figueredo Cypriano e Augusto Damineli

DIAGRAMAÇÃO – Luciana H Y Silveira

CAPA – NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do IAG-USP

Cypriano, Elysandra Figueredo
Paisagens Cósmicas: da Terra ao Big Bang/ Elysandra Figueredo Cypriano, Augusto Damineli Neto. – São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, 2018.
44 p.: il.
ISBN 978-85-85047-18-4
1. Astronomia. 2. Cosmologia. 3. Universo. I. Damineli Neto, Augusto. II. Comissão de Cultura e Extensão Universitária do IAG-USP. I. Título.

CDD 523

CRÉDITOS DE IMAGENS

1 NASA,ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team
2 Reto Stöckli/NASA Goddard Space Flight Center
3 Marc Imhoff, Christopher Elvidge, Craig Mayhew e Robert Simmon/Nasa GSFC
4 NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio
5 NASA's Scientific Visualization Studio
6 Akira Fujii/Ciel et Espace
7 Göran Scharmer, Mats Lafdahl, SST, ISP e Royal Swedish Academy of Sciences
8 NASA's Scientific Visualization Studio
9 S. Deiries/ESO
10 Damineli & Steiner, 2010
11 NASA/Mars Global Surveyor
12 13 NASA/JPL-Caltech/MSSS
14 Gemini Observatory
15 NASA/JPL/DLR
16 NASA/JPL
17 18 19 NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute
20 NASA, ESA, HEIC, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
21 H. Richer (UBC) et al., WFPC2, HST, NASA
22 Telescópio Espacial Hubble/STScI/NASA
23 Optical: NASA/HST/ASU; X-Ray: NASA/CXC/ASU/J. Hester et al
24 Nathan Smith e Telescópio Espacial Hubble/STScI/NASA
25 José Carlos Diniz/Rea, Ngc E Canf
26 STScI/NASA
27 NASA, ESA and the Hubble SM4 ERO Team
28 NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA) - ESA/Hubble Collaboration
29 NASA/JPL-Caltech
30 Kees Scherer
31 Telescópio Espacial Hubble/STScI/NASA
32 NASA/JPL-Caltech/STScI/CXC/UofA/ESA/AURA/JHU
33 UCL/University of London Observatory/Steve Fossey/Ben Cooke/Guy Pollack/Matthew Wilde/Thomas Wright - UCL Mathematical & Physical Sciences
34 ESA/Hubble & NASA
35 NASA; ESA; Z. Levay and R. van der Marel, STScI; T. Hallas; and A. Mellinger
36 Fomalont et al., NRAO/AUI/NSF
37 X-ray: NASA/UMass/D.Wang et al., IR: NASA/STScI
38 X-ray: NASA/CXC/Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland/D. Harvey & NASA/CXC/Durham Univ/R. Massey; Optical & Lensing Map: NASA, ESA, D. Harvey (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland) and R. Massey (Durham University, UK)
39 Telescópio Espacial Hubble e Chandra/STScI/NASA
40 STScI/NASA
41 NASA, ESA, M.J. Jee and H. Ford (Johns Hopkins University)
42 NASA/WMAP Science Team

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85047-18-4