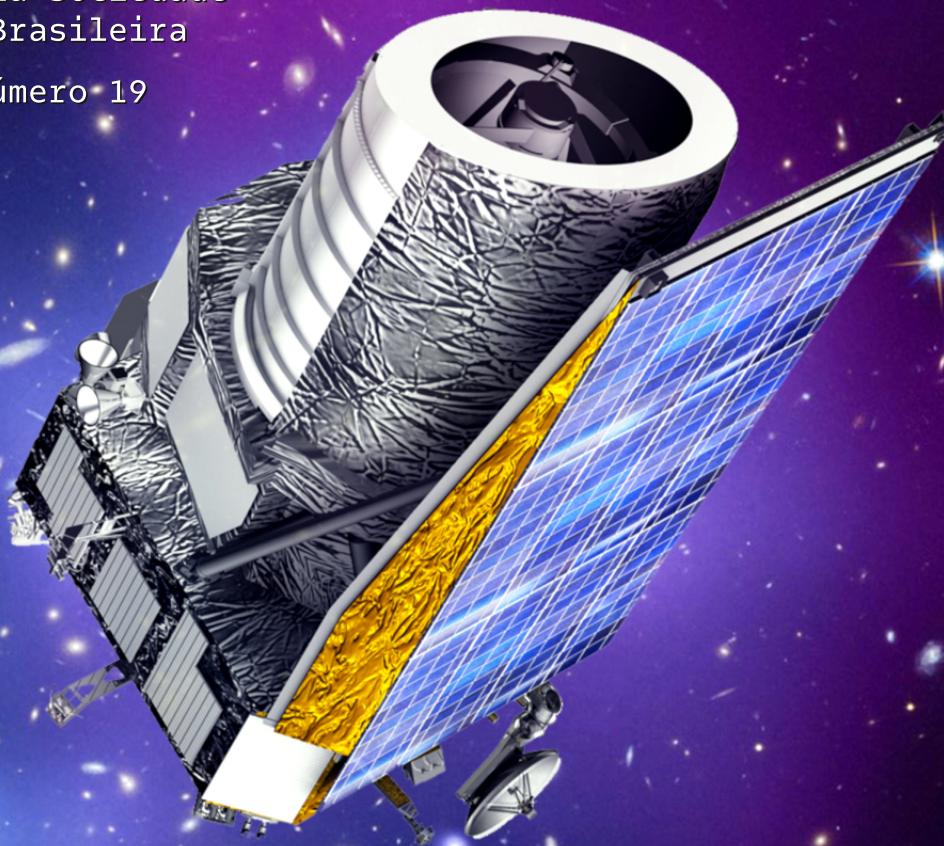


Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 5 | Número 19
Ano 2023



Prepare-se para o
EUCLID

O reino além de Netuno
Protoaglomerados de galáxias
Entrevista: Roberto V. Martins

Editorial

O décimo novo número da revista Brasileira traz três artigos de jovens pesquisadores brasileiros que realizam pesquisa no Exterior em estágios pós-doutorais. Os três possuem carreira bastante promissora; a posição em que se encontram atesta isso incontestavelmente. Ainda assim, não sabem se terão uma posição no Brasil.

O déficit de cérebros no Brasil é muito grande e atingiu seu auge no ano passado. A sociedade brasileira investe muitos recursos públicos para formar estudantes e capacitá-los a produzir ciência. Mas quando chega o momento de dar-lhes um local adequado para que possam exercer seus talentos, com salário digno e linhas de financiamento para projetos inovadores, o país falha miseravelmente. Talvez a maioria da população brasileira não se dê conta de que, além de commodities, exportamos cérebros. Perdemos matéria prima e cientistas.

O anúncio de novos concursos nas instituições de pesquisa do MCTI pode ser o primeiro passo para enfrentar esse problema. Contudo, é preciso mais! Devemos ter mais universidades espalhadas pelo país! Precisamos interiorizar os polos de produção de conhecimento, para que mais pesquisadores tenham oportunidade de emprego e para que a ciência chegue a parcelas crescentes da população.

Um país do tamanho do Brasil não pode continuar se vendo como um mero consumidor de produtos e ideias geradas por outras nações. Podemos construir nossas próprias soluções.

Helio J. Rocha-Pinto

Editor da Revista Brasileira de Astronomia

Esquerda

Terra vista a partir da Lua, durante a missão Apollo 11 (Crédito: NASA).

Capa

Representação artística do Telescópio Espacial Euclid (Crédito: NASA).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela

Sociedade Astronômica Brasileira

ISSN 2764-9423

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

Editor Helio J. Rocha-Pinto

Equipe de colaboradores Hélio Dotto
Perottoni, David Dias Kappler de Souza,
Rafaela Bovareto

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 Protoaglomerados de galáxias

Stephane Werner traz uma introdução ao estudo dos protoaglomerados de galáxias, que são progenitores das maiores estruturas do Universo.

11 O que há além de Netuno?

Pedro Bernardinelli discute o panorama sobre o estudo dos confins do Sistema Solar, onde vários novos pequenos corpos têm sido descobertos. Ainda haveria espaço para o Planeta Nove?

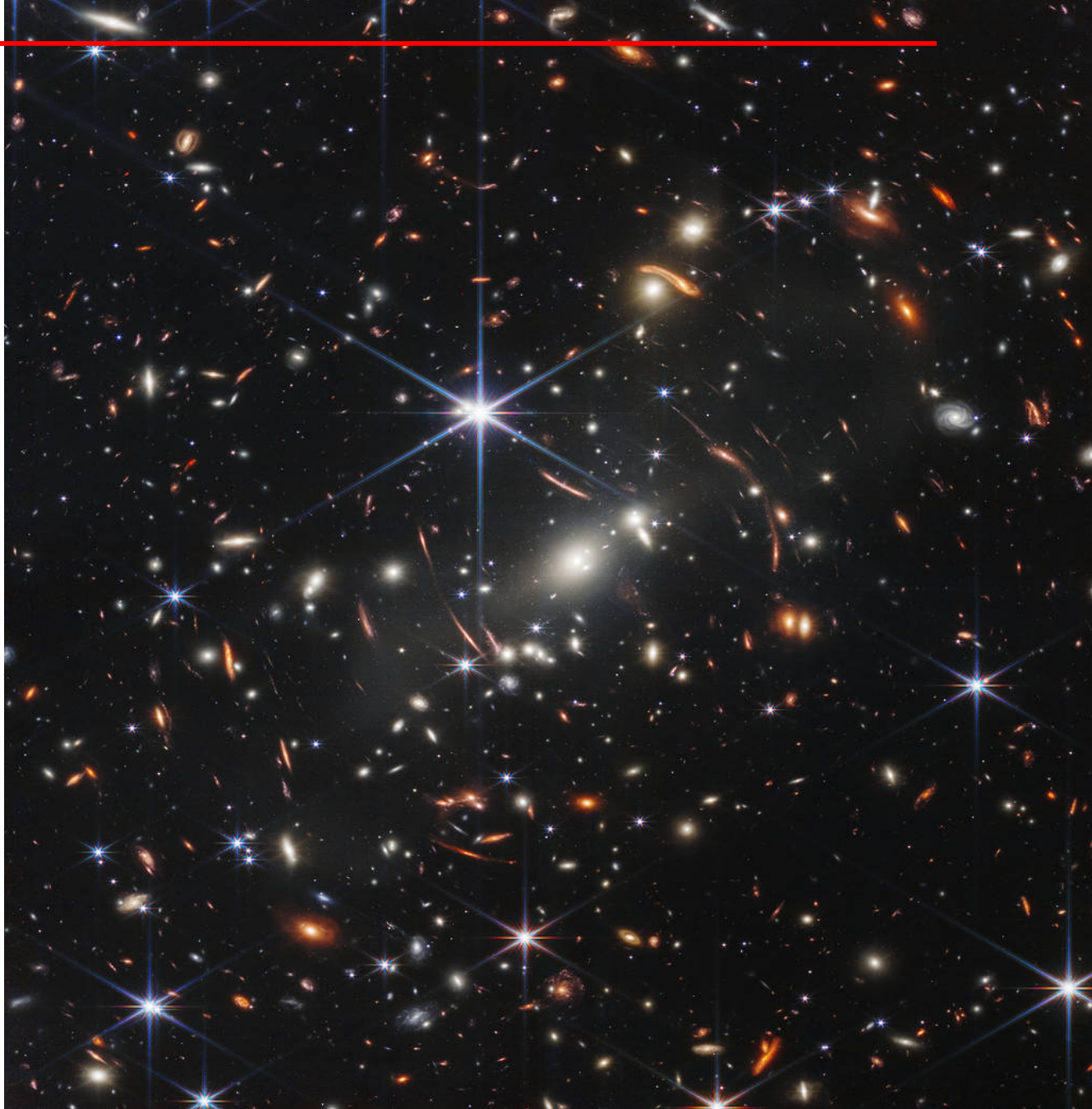
18 Entrevista: Roberto V. Martins

Entrevistamos uma referência brasileira no estudo de sistemas dinâmicos e na observação de ocultações estelares e fenômenos mútuos dos satélites dos planetas jovianos.

25 Telescópio Espacial Euclid

Arthur Loureiro faz uma entusiástica apresentação sobre o telescópio espacial Euclid, que nos promete revelar alguns segredos do Universo escuro.

Protoaglomerados de Galáxias



De protoaglomerados de galáxias aos aglomerados: o que estudos recentes tem a dizer sobre esses monstros do cosmos.

Você está lendo esse texto agora num planeta, que se encontra num sistema planetário chamado Sistema Solar, situado numa galáxia chamada Via Láctea, que faz parte do Grupo Local de galáxias. Isso significa que a nossa Via Láctea não está sozinha, ela possui várias galáxias vizinhas e

satélites que a rodeiam. Muito provavelmente você já ouviu falar de Andrômeda, a nossa vizinha maior.

Grupos de galáxias são caracterizados por possuírem de algumas a dezenas de galáxias. As medidas indicam que a maior parte de sua massa, porém, está numa forma misteriosa, atualmente cha-

mada de matéria escura. Quando falamos de estruturas em larga escala no Universo, os números são bem altos! No caso de grupos de galáxias, sua massa total ultrapassa 10^{13} massas solares! Mas já parou para pensar que outras partes do Universo podem possuir propriedades bem diferentes? O Universo é gigantesco e pode ser bem criativo. Nós estamos localizados em um grupo de galáxias, mas nem todas as galáxias se encontram em grupos. Galáxias podem vagar relativamente isoladas ou podem ainda estar em ambientes ainda mais densos: os aglomerados de galáxias.

Os aglomerados de galáxias

Aglomerados podem chegar a ter milhares de galáxias. Em especial, eles possuem uma galáxia mais brilhante que as outras, que geralmente é vermelha, central e extremamente massiva. Essas galáxias centrais são as maiores galáxias do Universo e geralmente chamadas de *galáxias mais brilhantes dos aglomerados*.

Além de galáxias, os aglomerados também têm uma componente chamada de luz intra-aglomerado. Essa luz é emitida por estrelas que não estão gravitacionalmente ligadas a galáxias, mas sim ao potencial gravitacional dos aglomerados. Nesse ambiente podem ter estrelas sozinhas ou em aglomerados estelares, nebulosas, buracos negros e remanescentes

de estrelas em geral. Aglomerados estelares, quando se pode resolvê-los, são muitas vezes usados para obter informações sobre a dinâmica dessa região mais central.

No entanto, a maior parte da matéria bariônica (a matéria que conhecemos) está na forma de plasma, que é chamado de meio intra-aglomerado. Esse plasma é visto no céu em raios X via *Bremsstrahlung* térmico, no qual elétrons livres interagem com núcleos atômicos e emitem fótons em raios X. Evidências desse plasma também podem ser observadas em ondas de rádio através do Efeito Sunyaev-Zeldovich, no qual fótons da radiação cósmica de fundo interagem com o meio intra-aglomerado e recebem energia via Efeito Comp-

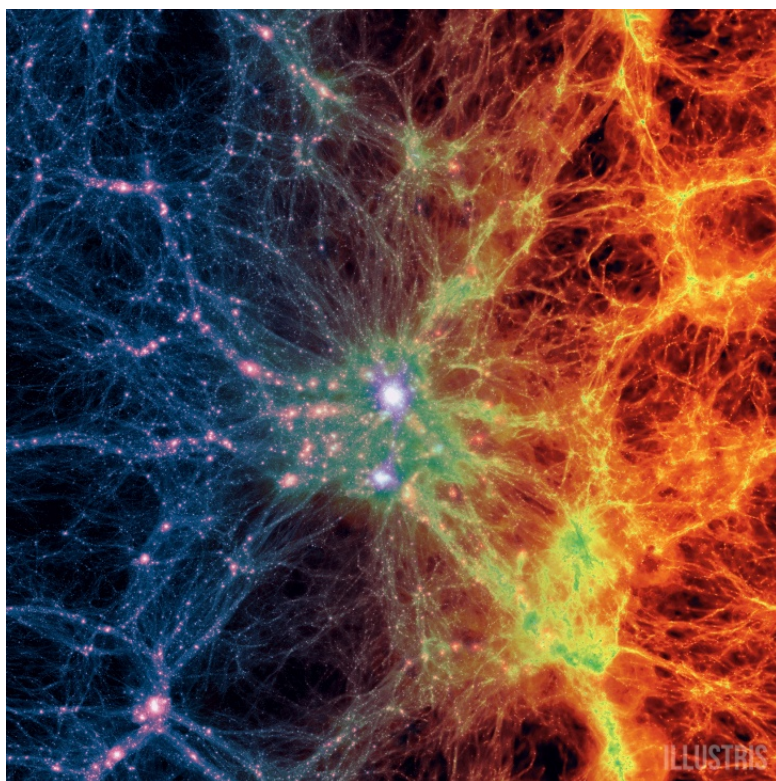
Na página anterior
Aglomerado SMACS 0723 visto com o telescópio espacial James Webb (Crédito: NASA, ESA, CSA, STScI).

Abaixo
Plasma visto em raios-X (em roxo) no aglomerado Abell 1835 (Crédito: NASA/CXC/Univ. of Alabama/A. Morandi et al; SDSS/NASA/STScI).



Abaixo

Simulação Illustris centrada em um aglomerado de galáxias. A imagem está dividida em duas representações, no qual a esquerda vemos a distribuição de matéria escura em larga escala e a direita vemos o gás (Crédito: Illustris Collaboration).



ton inverso. Essas são outras duas formas para a detecção desses objetos.

Apesar de todas essas componentes, assim como nos grupos, a maior parte da sua massa total está sob a forma de matéria escura e as massas de aglomerados podem chegar a 10^{14} - 10^{15} massas solares!

A primeira evidência da existência de matéria escura no Universo foi encontrada por Fritz Zwicky em 1933. Ele mediu a velocidade das galáxias no aglomerado de Coma e notou que lá existia uma massa que interagía gravitacionalmente mas não podia ser observada. Mais tarde, medições usando lentes gravitacionais se mostraram úteis para estimar a distribuição de matéria escura em aglomerados.

Aglomerados residem nos locais mais densos da estrutura em larga escala do Universo. Simulações cosmológicas computacionais tentam reproduzir como seria a distribuição de matéria no Universo. Um exemplo é a simulação *Illustris*, que indica como a matéria escura e gás estão distribuídos no Universo.

Todavia, o Universo nem sempre foi assim...

Como o Universo evoluiu?

Segundo o modelo cosmológico mais aceito atualmente, também conhecido como Λ -CDM, as estruturas em larga escala no Universo se formam de maneira hierárquica, segundo a qual halos de matéria escura menores vão se juntando e formando estruturas maiores, até chegar às maiores estruturas que tiveram tempo para colapsar gravitacionalmente, os aglomerados de galáxias. Entretanto, no Universo jovem essas estruturas ainda estão em processo de formação. Então, espera-se que os protoaglomerados, que estão em desvios para o vermelho mais altos, sejam ainda estruturas compostas de vários halos de matéria escura que estão sendo atraídos gravitacionalmente por um halo principal.

A distribuição de aglomerados no céu é produto da evolução em larga escala do Universo e, por isso, está ligada aos modelos cosmológicos. Aglomerados atualmente são usados para inferir parâme-

tros cosmológicos e restringir modelos que estejam de acordo com as atuais observações.

Os protoaglomerados de galáxias

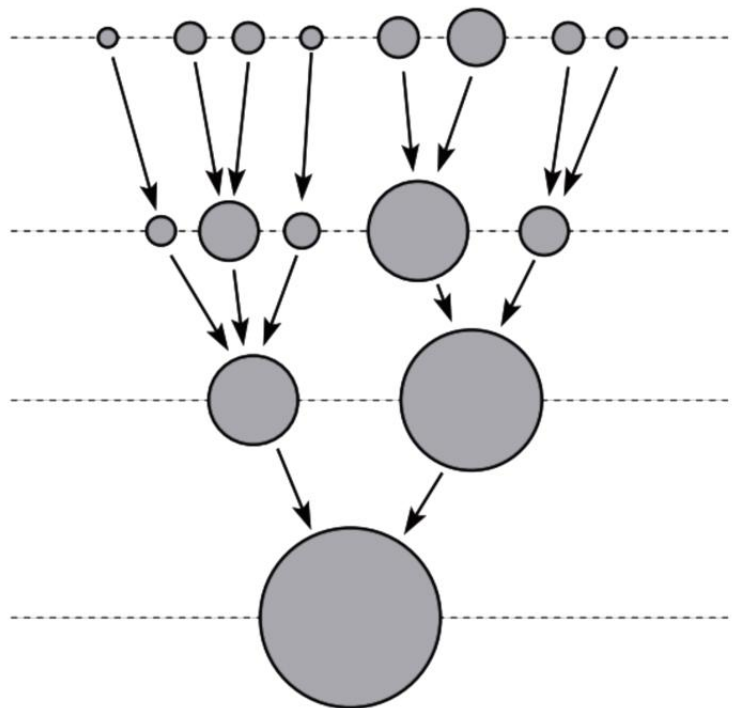
No passado, aglomerados ainda estavam em formação, e essas estruturas do Universo distante são chamadas de protoaglomerados de galáxias. Eles são estruturas que começaram a se formar nos primeiros bilhões de anos do Universo, são os progenitores dos aglomerados de galáxias.

Por ainda estar em formação, eles têm diferentes propriedades com relação aos aglomerados: ocupam um volume maior no espaço, seu halo principal ainda não é tão massivo e as propriedades das galáxias que os compõem são diferentes. Conforme o tempo passa, essas estruturas vão evoluir em massa e volume; seu halo principal vai adquirir massa e, em geral, ocupará um volume menor, ambos efeitos devido à atração gravitacional.

Luz intra-aglomerado em protoaglomerados

Estudos recentes mostram que existe uma quantidade relevante de luz difusa em protoaglomerados distantes. Essa luz é usada para testar modelos de formação de galáxias, já que ela está intimamente ligada à galáxia central do aglomerado. E é também usada para inferir propriedades gerais dos aglomerados e protoaglomera-

dos de galáxias, já que ela está gravitacionalmente conectada ao potencial gravitacional do halo de matéria escura. Porém, os processos físicos responsáveis pela formação e reunião dessas estrelas ‘perdidas’ no centro de protoaglomerados ainda é um mistério amplamente debatido pelos cientistas.

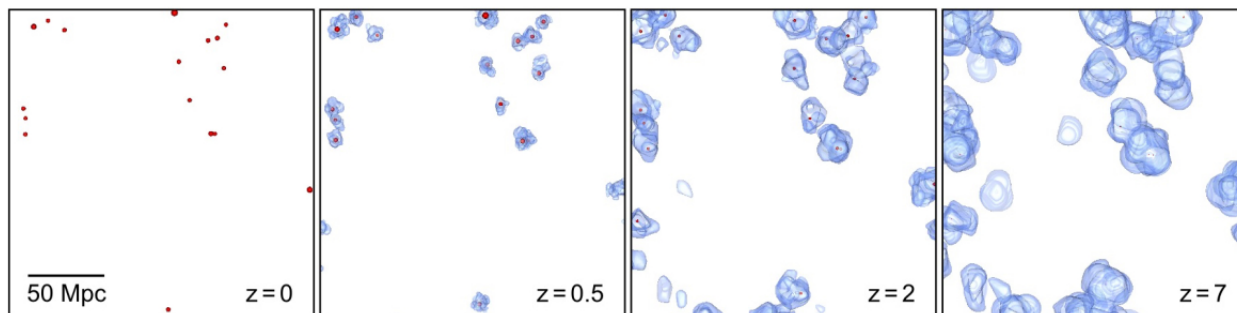


A Evolução de Galáxias

Existem diversos tipos de galáxias no Universo: espirais, elípticas, lenticulares, irregulares, entre outras. Mas, por que isso acontece? Essa é uma pergunta muito válida e, parcialmente, ainda sem uma resposta definitiva. Porém, estamos cada dia mais perto de entender mais detalhes.

Conforme o tempo passa, as ga-

Acima
Segundo o modelo hierárquico de formação de estruturas, halos de matéria escura menores se juntaram para formar halos maiores (Crédito: C. M. Baugh).



Acima

Como as estruturas evoluem de $z = 7$ a $z = 0$ segundo simulações de protoaglomerados. Protoaglomerados ocupam um volume maior comparado com aglomerados. Nesses gráficos, z representa o desvio para o vermelho (Crédito: Yi-Kuan Chiang).

laxias se modificam, e essa modificação é também chamada de evolução. As diferentes formas, cores, tamanhos, massas e propriedades gerais das galáxias estão relacionadas a diversos fatores. Muitos desses fatores estão ligados à formação estelar e sua eventual cessação. A formação (ou não) de estrelas está relacionada à quantidade de gás frio presente nessas galáxias, pois sem esse elemento ela não é possível.

No contexto dos aglomerados próximos, a maioria possui uma concentração de galáxias elípticas vermelhas em seu centro e galáxias espirais azuis em sua periferia. Os processos físicos responsáveis por esses dados observacionais ainda são amplamente discutidos na literatura. Apesar das perguntas em aberto sobre o tema, existem alguns detalhes sobre a evolução de galáxias que já conhecemos. Alguns processos físicos responsáveis por cessar a formação estelar em galáxias estão mais ligados à massa da galáxia, enquanto outros estão ligados aos seus ambientes.

Considerando a massa da galáxia, temos alguns principais processos. Para que haja formação de

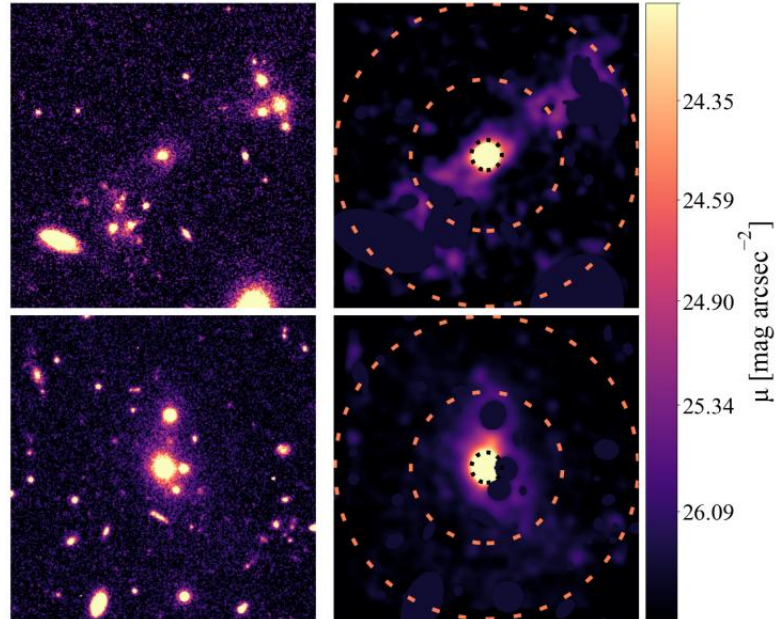
estrelas, é necessário que a nuvem de gás seja fria o suficiente. A retroalimentação causada por um buraco negro supermassivo central ativo pode acabar esquentando o gás no meio, impedindo a formação de estrelas. Ventos e ejeções de estrelas também podem esquentar o gás ao redor. Supernovas podem também esquentar o gás e possivelmente expeli-lo da galáxia, dependendo do tamanho desta. O gás frio na galáxia também pode ter simplesmente esgotado. Em todos esses casos, uma vez que não haja formação de novas estrelas, estrelas azuis, que têm o tempo de vida mais curto, vão morrer e as estrelas vermelhas com o tempo de vida mais longo vão permanecer. Isso faz com que a galáxia se torne mais vermelha. O ambiente também é relevante nesse quesito. A fonte externa de gás frio da galáxia pode ser esgotada por algum motivo ou o gás pode até ser retirado da galáxia por algum mecanismo externo. A interação da galáxia com o plasma presente no aglomerado, por exemplo, pode acabar retirando gás dessa galáxia, às vezes dando a ela um formato que lembra o de uma á-

gua-viva. Quando uma galáxia passa pela outra rapidamente, elas interagem gravitacionalmente e isso pode resultar na retirada de gás delas, às vezes dando-lhes o aspecto de terem uma cauda. Galáxias também podem colidir e gerar um evento de formação estelar extremo, que ao fim consumirá rapidamente o gás das galáxias; porém esse processo é mais comum em grupos de galáxias do que em aglomerados, já que é necessário que as galáxias estejam em uma velocidade menor para que elas colidam e se tornem uma só, e em aglomerados as galáxias têm uma velocidade maior.

Ou seja, existem muitos jeitos de cessar ou instigar a formação de estrelas em galáxias. E pelo fato de o Universo se modificar em diferentes idades cósmicas, é natural que pensemos que diferentes processos serão mais relevantes em diferentes épocas. O estudo da formação estelar em protoaglomerados é extremamente ativo atualmente.

E os Superaglomerados?

O Grupo Local por sua vez está localizado numa estrutura ainda maior: o Superaglomerado de Virgem. Quando se fala que aglomerados de galáxias são as maiores estruturas que tiveram tempo para colapsar no Universo, você pode se perguntar: e quanto aos superaglomerados? Os superaglomerados são, de fato, estruturas mai-



ores que os aglomerados. Porém são estruturas que ainda estão colapsando gravitacionalmente; isto é, eles ainda estão em formação. Eles contêm estruturas como grupos e aglomerados de galáxias.

Um Futuro Promissor à Frente

Apesar do campo ter avançado substancialmente nos últimos anos, ainda existem muitas perguntas em aberto. Qual o desvio para o vermelho máximo até o qual conseguimos detectar a luz intra-aglomerado? Como as galáxias centrais de protoaglomerados se formaram? Quais são os principais processos que modificam galáxias em protoaglomerados em alto desvio para o vermelho? Como buracos negros supermassivos afetam essa transformação? A confusão do que é aglomerado com o que é um protoaglomerado pode, inclusive, causar erros

Acima

Luz intra-aglomerado no centro de dois protoaglomerados em $z \sim 2$. Os círculos representam 10, 50 e 100 kpc a partir do centro da galáxia central.

As cores representam diferentes brilhos superficiais. Na esquerda, vemos todas as galáxias do centro dos protoaglomerados.

Na direita, o brilho das galáxias ao redor da galáxia central foi retirado, restando só o brilho da galáxia central e a luz intra-aglomerado ao redor dela (Crédito: Stephane Werner).



Acima

Aglomerado de Virgem, parte do superaglomerado que rege os movimentos do Grupo Local, no qual se encontram a Via Láctea e Andrômeda (Crédito: Fernando Pena/Wikimedia Commons).

sistemáticos na função de massa que está ligada aos parâmetros cosmológicos. Ou seja, precisamos ainda explorar essas diferenças do que sejam aglomerados e protoaglomerados.

Com o lançamento dos telescópios espaciais James Webb e Euclid, e construção do *Vera Rubin Observatory* espera-se que grandes avanços sejam feitos nesse campo. Esses telescópios vão permitir que tenhamos dados mais profundos e completos, possibilitando um maior entendimento sobre a formação desses monstros do cosmos •

Stephane Werner
Durham University
stephane.werner@durham.ac.uk



Que mais há

Além de Netuno?

Há séculos nos perguntamos sobre o que há nos confins do Sistema Solar. Finalmente começamos a nos aproximar da resposta!

A descoberta de Plutão em 1930 foi fruto de muitas noites de observação manual e inspeção de placas fotográficas pelo jovem Clyde Tombaugh, astrônomo assistente no observatório Lowell. Além de um telescópio destinado para a busca do “Planeta X”, como Plutão era chamado antes de sua descoberta, Tombaugh usava um aparato que o permitia comparar duas imagens da mesma região do céu,

tiradas com algumas horas ou noites de diferença, em busca de fontes de luz que se mexeram em relação ao fundo das estrelas entre uma imagem e outra, como é esperado de objetos no Sistema Solar.

A motivação dessa busca por um novo planeta no Sistema Solar era explicar anomalias nas órbitas de Urano e Netuno, que poderiam ser facilmente resolvidas com a adição de mais um planeta, com



Acima

Imagem de Plutão reconstruída a partir de dados da sonda *New Horizons* durante sua passagem pelo planeta-anão em 2015, com cores próximas às cores que nossos olhos veriam (Crédito: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute/Alex Parker).

Na página anterior

Imagem de Arrokoth reconstruída a partir de dados da sonda *New Horizons* durante sua passagem pelo objeto em 2019 (Créditos: NASA/Johns Hopkins Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute, National Optical Astronomy Observatory).

massa em torno de 7 vezes a da Terra, nesse sistema.

Plutão, cuja massa hoje é estimada em 0,2% a massa da Terra, era pequeno demais para explicar essa anomalia (que foi resolvida com uma revisão da massa de Netuno), mas foi o primeiro objeto descoberto na região do Sistema Solar hoje chamada de *Cinturão de Kuiper*.

O segundo objeto descoberto nessa região foi (15760) Albion, descoberto por David Jewitt e Jane Luu em 1992, 62 anos após a descoberta de Plutão. Albion tem por volta de 100 quilômetros de diâmetro, mais de 20 vezes menor que Plutão (com seus 2376 km de diâmetro), o que faz com que ele reflita por volta de 400 vezes menos luz do Sol do que Plutão. Es-

sa descoberta desencadeou a busca por mais objetos desse tipo e, nos últimos 31 anos, por volta de 4000 objetos foram descobertos nesta região do Sistema Solar, a região transnetuniana, assim chamada por começar depois de Netuno.

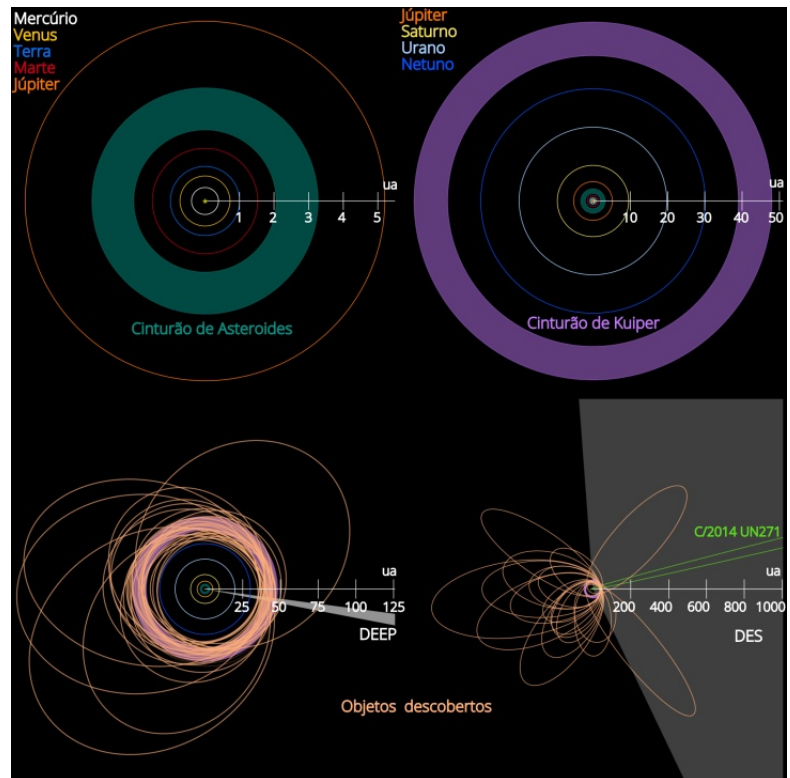
Existe uma diversidade enorme nesses 4000 objetos: temos desde planetas-anões como Plutão e Éris, descoberto em 2003 (com tamanho comparável ao de Plutão), até objetos como (486958) Arrokoth, um sistema binário de 36 quilômetros de comprimento, cujas duas metades entraram em contato após um encontro em baixa velocidade. Tanto Plutão quanto Arrokoth foram visitados pela sonda *New Horizons*, da NASA, em 2015 e 2019, respectivamente, e são os objetos mais distantes do Sistema Solar visitados por uma sonda. Além das diferenças de tamanho e formas, também temos uma variedade de composição e dos materiais na superfície desses objetos, e também do comportamento de suas órbitas.

Hoje entendemos o Cinturão de Kuiper como uma relíquia da formação do Sistema Solar. As propriedades que vemos hoje no cinturão são consequências diretas de eventos que começaram a acontecer 4,5 bilhões de anos atrás. Durante a formação do Sistema Solar, nem todo o material presente no disco protoplanetário veio a formar os planetas: parte desse material formou os corpos peque-

nos do Sistema Solar, como asteroides, cometas e os objetos transnetunianos.

Nos modelos modernos de formação do Sistema Solar, Urano e Netuno não se formaram em suas órbitas atuais, mas “migraram” para órbitas mais distantes do Sol, carregando objetos que estavam em seu caminho para as regiões mais externas do Sistema Solar, e ejetando uma quantidade muito maior de planetesimais, como chamamos esses objetos, para a nuvem de Oort, uma “casca” esférica que é um dos grandes reservatórios de cometas do Sistema Solar, que se estende até distâncias de um e meio ano-luz do Sol, e para o meio interestelar. Na região além de Netuno já existia um cinturão primordial, conforme Kenneth Edgeworth e Gerard Kuiper previram entre as décadas de 1940 e 1950, e a mistura das populações primordiais com as populações que foram transportadas é o que observamos hoje na região transnetuniana.

Enquanto a visão moderna do Cinturão de Kuiper e da região transnetuniana é bem madura, ainda existem diversos problemas em aberto que os dados atuais não conseguem resolver. Desde 2016, existe a hipótese, posta por Konstantin Batygin e Mike Brown, de que existe um nono planeta, ainda não descoberto, no nosso Sistema Solar. Esse planeta teria uma massa de entre 5 e 10 vezes a massa da Terra, com uma órbita

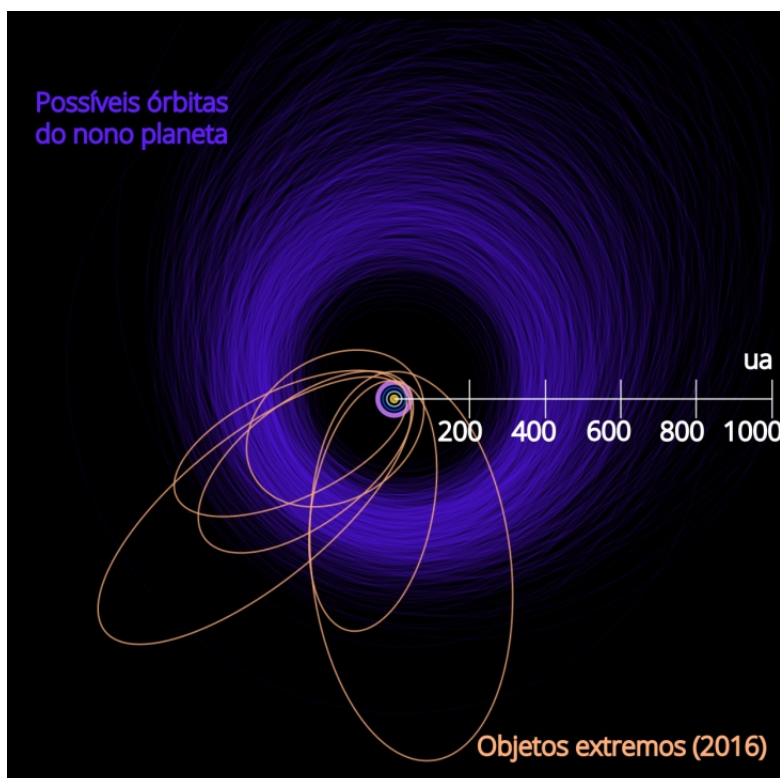


com distância média do Sol de 500 a 700 UA (UA, uma unidade astronômica, é a distância média entre a Terra e o Sol), e explicaria um suposto agrupamento das órbitas dos objetos transnetunianos que possuem as órbitas mais distantes e excêntricas, chamados de extremos, que possuem periélios em torno de 30 a 50 UA, e afélios de centenas de UA.

As orientações das órbitas desses objetos parecem estar confinadas de forma que apontam para apenas duas regiões do céu, algo que é surpreendente, já que, apenas com os 4 planetas gigantes do nosso Sistema Solar, é esperado que as órbitas dos objetos mais distantes estivessem distribuídas uniformemente no céu, em órbitas menos distantes e excêntricas.

Acima

Diagrama das órbitas dos planetas do Sistema Solar. O primeiro painel mostra o Sistema Solar interno, com o Sol no centro, chegando até a órbita de Júpiter, e mostrando a região aproximada do cinturão de asteroides. O segundo painel mostra o Sistema Solar externo, mostrando a órbita dos 8 planetas e a região aproximada do cinturão de Kuiper. Os dois painéis seguintes mostram as órbitas dos objetos transnetunianos descobertos pelo DEEP e os objetos mais distantes descobertos pelo DES, além de mostrar a área aproximada que cada projeto mapeou (Crédito: P. Bernardinelli)



Acima

Diagrama das órbitas dos objetos trans-Netunianos extremos conhecidos em 2016, quando a hipótese da existência do nono planeta foi postulada, além de possíveis órbitas desse nono planeta (Crédito: P. Bernardinelli)

Colocando esse planeta “a mais” nos modelos, essa população é formada naturalmente em simulações. Porém, essa hipótese foi formulada a partir de apenas 6 objetos que foram descobertos por uma variedade de projetos; então surge a dúvida se esse alinhamento é real, ou apenas um artefato estatístico, já que os objetos extremos são preferencialmente descobertos quando estão mais próximos ao Sol, onde são mais brilhantes.

Durante meu projeto de doutorado, eu e meus colaboradores usamos os dados e imagens tirados pelo *Dark Energy Survey* (DES, levantamento de energia escura, em tradução livre) para buscar mais objetos nessa região, e quem sabe, até esse possível nono plane-

ta (que não encontramos). O DES não foi feito para buscar objetos no Sistema Solar: como o nome do projeto diz, as imagens foram tiradas para medir os efeitos da energia escura no universo observável. Isso quer dizer que a estratégia observacional do DES é bastante diferente daquela usada por Tombaugh e pela grande maioria dos levantamentos de objetos do Sistema Solar. A nossa solução levou ao desenvolvimento de algoritmos sofisticados que conseguiam “adivinhar” o movimento desse tipo de objeto, e, com o uso de 20 milhões de horas (equivalente a 2000 anos) em supercomputadores, descobrimos um total de 814 objetos com tamanho típico de 100 km, o que torna o nosso um dos maiores projetos desse tipo já realizados.

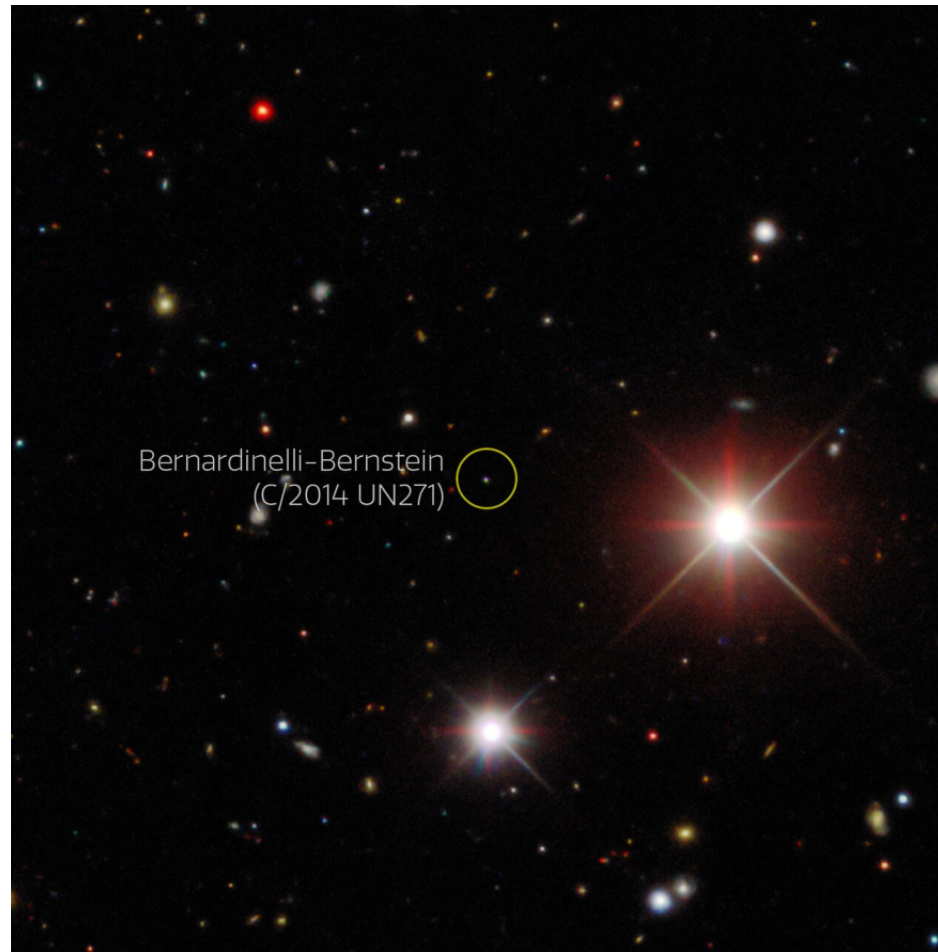
Encontramos 16 objetos do tipo relevante para a hipótese do nono planeta. Nossos dados contam outra história: os objetos são consistentes com uma distribuição orbital uniforme, e os objetos do DES não trazem nova evidência a favor dessa hipótese. Ou seja, só com os dados do DES não podemos afirmar que existe evidência para a existência de um nono planeta distante. O debate continua, com bons argumentos para ambos os lados da discussão.

Além desses objetos extremos, o DES foi responsável por uma série de outras importantes descobertas na região transnetuniana. Em 2017, a equipe de Sistema

Solar do DES, liderada por David Gerdes, anunciou a descoberta de 2014 UZ₂₂₄, um objeto de aproximadamente 635 km de diâmetro, o que o torna um candidato a planeta-anão, descoberto a 92 unidades astronômicas do Sol — o segundo objeto mais distante no Sistema Solar, até então.

Talvez a maior surpresa que tivemos com os objetos do DES foi o cometa C/2014 UN₂₇₁ (Bernardinelli-Bernstein), descoberta que eu liderei e que foi anunciada em 2021. Um cometa vindo da nuvem de Oort, com distância média do Sol de 20 mil UA, tendo sua última passagem pelo interior do Sistema Solar ocorrido 3 milhões de anos atrás. Esse cometa estava a 29 UA nas primeiras imagens do DES, o que o torna o cometa mais distante já encontrado. O que permitiu sua descoberta a uma distância bem maior que a média foi seu tamanho: com 137 km de diâmetro, este é o maior cometa vindo da nuvem de Oort já descoberto. Por comparação, o famoso cometa C/1995 O₁ (Hale-Bopp), que por décadas foi o maior cometa conhecido desse tipo, mede entre 40 e 80 km de diâmetro.

As imagens do DES do cometa Bernardinelli-Bernstein foram tiradas antes de ele desenvolver atividade, ou seja, antes que ele exibisse a coma e cauda características de um cometa, e a atividade cometária, que observamos a partir de 26 UA do Sol, é também uma das mais distantes já medidas



em um cometa. O mecanismo dessa atividade, ou seja, quais materiais precisam existir na superfície de cometas para que tal tipo de atividade distante aconteça, ainda não é suficientemente entendido, e este cometa já foi observado por diversos telescópios amadores e profissionais, incluindo os telescópios espaciais Hubble e James Webb, desde o anúncio da descoberta, para que possamos entender melhor o seu comportamento.

O DES mapeou por volta de 1/8 do céu, com sua área majoritariamente fora do plano da eclípti-

Acima
Composição de imagens do Dark Energy Survey usadas para a descoberta do cometa C/2014 UN₂₇₁ (Bernardinelli-Bernstein). Quando essas imagens foram capturadas, o cometa estava a 25 unidades astronômicas do Sol (Crédito: Dark Energy Survey/DOE/FNAL/DECam/CTIO/NOIRLab/NSF/AURA/P. Bernardinelli & G. Bernstein (UPenn)/DESI Legacy Imaging Surveys)



Acima

Observatório Vera Rubin e o céu noturno em junho de 2023 (Crédito: H. Stockebrand/Rubin/NSF/AURARubinObs/NSF/AURA).

ca (o plano dos planetas do Sistema Solar), o que faz com que o DES priorize a descoberta de objetos fora do Cinturão de Kuiper, onde a densidade de objetos é menor. Recentemente, comecei a fazer parte do DECam Ecliptic Exploration Project (DEEP, projeto de exploração da eclíptica com a DECam), projeto voltado a descoberta de objetos transnetunianos, e que usa o mesmo telescópio e câmera que o DES, com todas as observações sendo feitas no plano da eclíptica.

Ao contrário do DES, a estratégia observacional do DEEP cap-

tura por volta de 100 imagens do mesmo lugar na mesma noite. Essa estratégia inusitada permite o uso de uma técnica chamada *shift-and-stack*, em que as imagens são “deslizadas” de forma a acompanhar o movimento de um objeto durante uma noite, e combinadas de forma que a quantidade de brilho que cada objeto contribui em cada imagem é somada em uma imagem só.

Isso permite que objetos que são invisíveis em apenas uma imagem sejam descobertos: com o DES, nossos objetos menos brilhantes tinham brilho correspondente a

140 km para objetos do Cinturão de Kuiper. Com o DEEP, os objetos mais fracos deverão ser aproximadamente 12 vezes menos brilhantes, ou seja, terão por volta de 40 km. Essa diferença de tamanho é essencial para que possamos medir quantos objetos de cada tamanho existem no Cinturão de Kuiper, uma medida fundamental para nosso entendimento da formação do Sistema Solar. Em compensação, o DEEP não vai cobrir uma área tão grande do céu quanto o DES — o projeto mediu por volta de 2% da área do DES. Essa é uma troca bem vantajosa: na nossa primeira análise do DEEP, usando apenas 1/6 de todos os dados e com diversos problemas, já encontramos 110 objetos, muitos desses sendo alguns dos menores objetos distantes conhecidos. Na análise completa esperamos descobrir entre 1000 e 3000 desses objetos — aumentando significativamente o total de objetos conhecidos.

O próximo grande avanço da área virá em 2025: o observatório Vera Rubin, atualmente em construção no Chile, dará início ao *Legacy Survey of Space and Time* (LSST, investigação do espaço-tempo como legado). Esse projeto vai mapear todo o céu do hemisfério sul de maneira contínua durante 10 anos, incluindo a maior parte do plano da eclíptica, e vai descobrir objetos cerca de 3 vezes menos brilhantes que os do DES, ou seja, de 80 km de diâmetro. As

melhores estimativas nos dizem que o LSST vai descobrir, além de milhões de asteroides, milhares de cometas e possivelmente uma dezena de objetos interestelares, totalizando entre 30 e 40 mil objetos transnetunianos, grande parte desses no primeiro ano de operações. E é também no primeiro ano de operações que devemos saber, quase um século depois da descoberta de Plutão, se o nosso Sistema Solar tem um nono planeta •

Pedro Bernardinelli
University of Washington
phbern@uw.edu



Entrevista

Roberto Vieira

Nesta edição, entrevistamos o Dr. Roberto Vieira Martins.

Nascido na véspera do Natal de 1947, em Belo Horizonte, Roberto formou-se em Física pela UFMG, em 1970; e mestrou-se em Astronomia pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em 1972, numa época em que essa linha de pesquisa dava seus primeiros passos no Brasil. Concluiu seu doutorado com menção très honorable, pela Université Pierre et Marie Curie, em 1982. Fez pós-doutorado no Institut de Mécanique Celeste et de Calculs des Ephémérides, em 2005. Publicou, com outros autores, o livro *Orbital Dynamics of Natural and Artificial Objects*, em 1989. Durante boa parte de sua carreira, trabalhou no Observatório Nacional, onde teve vários cargos administrativos, tais como Chefe de Departamento, Coordenador de Curso de Pós-Graduação, entre outros; mas também atuou profissionalmente no ITA, no INPE e no Observatório do Valongo da UFRJ, onde teve contribuição decisiva para a criação do Programa de Pós-Graduação em Astronomia dessa universidade. Tornou-se pesquisador titular do Observatório Nacional a partir de 2005 até sua aposentadoria em 2018, mas continua atuando em pesquisa, colaborando com vários grupos nacionais e internacionais. Foi Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira entre 1984 e 1986; presidente da Associação Nacional dos Pesquisadores do CNPq entre 1995 e 1997, e vice-presidente entre 1997 e 2000; Secretário Adjunto da Regional da SBPC-RJ, entre 2002 e 2004 e, posteriormente, Membro do Conselho da Regional da SBPC-RJ. Participou como membro do Conselho de Assessoramento do CNPq na área de Física & Astronomia entre 2011 e 2013. Orientou a tese de Felipe Braga Ribas que descobriu o primeiro sistema de anéis ao redor de um objeto transnetuniano, recebendo o Grande Prêmio Capes de Tese Mário Schenberg em 2014. É pesquisador afiliado ao Observatório de Paris e membro do Groupe d'Astrométrie et Planétologie do Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides do Observatório de Paris.



Martins

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

Acho que desde pequeno pensei em ser cientista. Na minha casa (éramos 8 irmãos, e eu era o segundo) falávamos muito de ciência pois meu pai era, entre outras coisas, professor de “Mecânica Racional” na Escola de Engenharia da UFMG, e meu avô por parte de mãe falava muito de geologia (trabalhava construindo estradas) e tinha uma oficina em casa onde consertava tudo. Na minha casa havia muitos livros e revistas sobre assuntos variados e eu gostava muito de ler. Ao entrar no colegial (2.º grau), montei um laboratório de química num quarto no fundo da minha casa. Desde então passei a ter certeza que queria ser cientista.



RBA: Houve algum(a) grande cientista que tenha sido seu “ídolo” científico na juventude, que tenha influenciado na tua decisão de ser cientista?

Eu tinha uma grande admiração pelo Einstein, Newton e M.^{me} Curie. Os vários livros que li de divulgação científica e mesmo de biografias de-

les reforçaram muito a decisão de ser cientista.

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

Cursei os 4 primeiros anos no Colégio Marista em BH e o segundo grau no colégio jesuíta também em BH. Em seguida, entrei na Escola de Engenharia da UFMG (1967), e durante o segundo ano comecei a fazer estágio no Instituto de Pesquisas Radioativas, em particular, nos Laboratórios de Física do Estado Sólido (hoje chamamos de Física da Matéria Condensada). No final do 2.º ano de Engenharia, pedi transferência para o Instituto de Física da UFMG onde terminei a minha graduação em 1970. Fui então para o Instituto Tecnológico da Aeronáutica, em São José dos Campos, para fazer o mestrado em Mecânica Celeste sob a supervisão do Prof. Sylvio Ferraz-Mello. Cabe destacar que nos dois primeiros meses de 1971 segui os cursos de verão do Instituto de Matemática Pura e Aplicada, no Rio. Terminei o mestrado no final de 72, no ITA, e obtive uma bolsa da FAPESP para fazer o doutorado na França. No entanto, não pude ir para o exterior porque o ITA, onde eu era contratado como professor, não aprovou o meu afastamento. No início de 74, pedi demissão no ITA e fui contratado pelo Observatório Nacional. Entre março de 74 e maio de 75 fui também professor no Instituto Militar de Engenharia onde lecionava a disciplina “Geodésia por Satélite” e cursei várias disciplinas no IMPA. Em junho de 75 iniciei o doutorado na França com bolsa do CNPq. Retornei ao Brasil no final de 79. Em junho de 82, concluí o *Doctorat d’Etat ès-Sciences Mathématiques* (especialidade: Mecânica Celeste) na Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, com “mention très honorable”.

Como em 1982 foi inaugurado o Observatório Astrofísico Brasileiro (hoje LNA) iniciei um

projeto de observação dos satélites naturais visando o refinamento das suas órbitas, em colaboração com astrônomos franceses. A partir daí, passei a dividir a minha atividade de pesquisa entre estudos de dinâmica e observação do Sistema Solar. Em 2006, iniciamos uma colaboração com um grupo francês e outro espanhol, liderados respectivamente pelo Dr. Bruno Sicardy e Dr. José Luis Ortiz visando a observação de ocultações estelares por objetos do Sistema Solar Exterior. Esta é nossa principal atividade até hoje.

Entre 2000 e 2017 passei, pelo menos um mês por ano, como pesquisador visitante no Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides (IMCCE) do Observatoire de Paris, e ali fiz um estágio formal de 1 ano como bolsista de pós-doc do CNPq entre setembro de 2004 e agosto de 2005.



RBA: Como você vê a formação atual de físicos e astrônomos? Na tua opinião faz sentido ter dois cursos separados de graduação, em Física e em Astronomia?

Na minha opinião a formação de físicos e astrônomos no Brasil está bem consolidada, tanto em graduação como em pós-graduação. Quanto à separação da graduação em Física e em Astronomia, não acho essencial, nem que deve

acabar. A maioria das disciplinas básicas das graduações em Astronomia e Física são comuns. Por outro lado, disciplinas específicas de Astronomia são oferecidas como optativas em vários cursos de Física assim como alunos de Astronomia podem fazer cursos optativos da Física. Isto tem como resultado que entre os astrônomos profissionais, assim como em atividades ligadas a engenharia espacial, encontramos colegas advindos de cursos de Astronomia, Física e Engenharia.



Acima: Em 2014, com seu orientado Felipe Braga Ribas, que recebia o Prêmio de Melhor Tese Capes na área de Física & Astronomia.

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

O que deu mais mais prazer foi aquele ligado à minha tese de doutorado. Trata do estudo de um índice definido por pontos focais para sistemas hamiltonianos periódicos. Já o mais significativo, ligado ao pós-doutorado de Felipe Braga Ribas (doutorado feito sob a minha orientação e em co-tutela com Dr. Bruno Sicardy do Observatoire de Paris Meudon), que resultou na descoberta do primeiro anel circundando um corpo diferente dos planetas gigantes. Cabe observar que até os dias atuais, a nossa colaboração já descobriu anéis em torno de

mais dois pequenos corpos no Sistema Solar Exterior.

RBA: Você prefere trabalhar sozinho ou em grupo ?

Desde o retorno do meu doutorado tenho trabalhado em grupo, principalmente com meus alunos, sendo que a maioria dessas colaborações têm sido mantidas mesmo depois dos doutorados concluídos. Atualmente trabalho num grupo que envolve, no Brasil, da ordem de 15 colaboradores incluindo pesquisadores de várias instituições e alunos de mestrado e doutorado. O trabalho deste grupo é centrado em ocultações estelares do Sistema Solar Exterior.



Acima: Com Felipe Braga Ribas, no Observatório Nacional.

RBA: Como você vê a astronomia brasileira hoje em dia e o que considera fundamental mudar para ter uma comunidade mais competitiva ?

A astronomia brasileira tem evoluído bastante e se envolvido nos temas atuais. No entanto, para ela alcançar, como comunidade, a fronteira da pesquisa astronômica é necessário que se associe mais aos grandes projetos que estão sendo desenvolvidos na área. Estes projetos



envolvem muitos recursos financeiros com investimentos a longo prazo. Me parece que a forma mais viável de conseguir este envolvimento é se associar formalmente a grandes projetos internacionais incluindo os grandes *surveys*.

Uma associação que me pareceu sempre oportuna é a entrada do Brasil no ESO. Por um tempo o Brasil deu vários sinais ao ESO de que iria se associar. O ESO passou, então, por um período, a tratar o Brasil com membro da instituição. Para nós este período foi muito interessante pois obtivemos várias noites de observação no telescópio de 2,20 m, de grande campo, disputando em pé de igualdade com toda a comunidade associada ao ESO. Essas observações foram importantes para possibilitar um pacote de previsões de ocultações de objetos do Sistema Solar Exterior e consolidar o nosso programa de ocultações estelares.

RBA: O ESO (European Southern Observatory) era justamente um dos pontos que gostaríamos de tocar. Você pode elaborar um pouco mais sua opinião sobre a adesão do Brasil? Que impacto a associação teria para a astronomia brasileira ?

Espero que a comunidade astronômica brasileira volte a dar prioridade à associação ao ESO. No ESO, os nossos jovens astrônomos teriam oportunidades de acesso a recursos observacionais e interações como poucos de nós, da velha guarda, tivemos e apenas pontualmente. Acho que a associação ao ESO poderia ser responsável por uma mudança qualitativa importante na astronomia brasileira.



Acima: Roberto com sua família (filhas e netos).

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

Acho que a nossa comunidade tem reproduzido o que existe na sociedade brasileira e nas nossas universidades. As mudanças estão ocorrendo, mas muito lentamente.

RBA: O que continua mantendo sua paixão pela astronomia ?

A possibilidade de perceber, cada dia, que os avanços tecnológicos permitem observar, conhecer e explicar coisas inesperadas. Um pequeno exemplo, dentro da minha atividade observacional, foi a descoberta de anéis em torno

de pequenos corpos do Sistema Solar Exterior. A sua existência e, sobretudo, as suas posições eram, há pouco tempo imprevisíveis.

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

Eu citaria duas: a matéria escura e os exoplanetas.

RBA: Como você interpreta o desenvolvimento científico brasileiro? Que momentos históricos (bons ou ruins) foram determinantes para nosso estado atual?

Acho que a pesquisa científica no Brasil vem se desenvolvendo constantemente (desde os anos 1970) num ritmo razoável, mas não uniforme. A política de contratação de professores, nas universidades e institutos de pesquisa, e a dinâmica do fomento são os fatores determinantes. Assim, com governos atrasados, o ritmo piora visivelmente como aconteceu recentemente. De qualquer forma, para uma aceleração desejável do desenvolvimento científico precisamos de uma política de contratações e aporte de recursos de longo prazo em nível nacional e estadual.



Acima: Grupo de pesquisa em ocultações estelares, com a presença de Bruno Sicardy (obs. Paris-Meudon), no Observatório do Valongo da UFRJ.

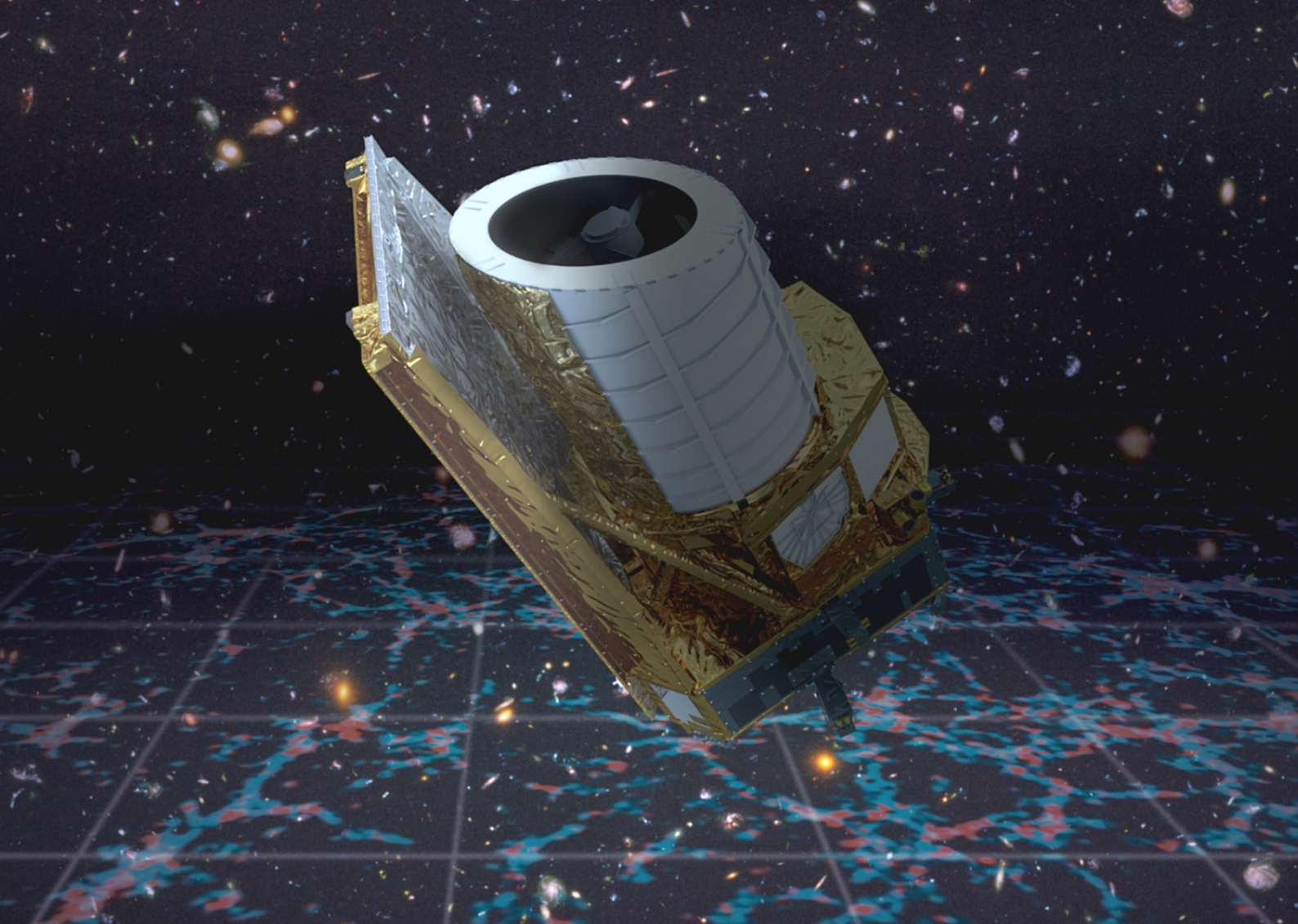


Acima: Grupo de pesquisa em ocultações estelares, com a presença de Bruno Sicardy (obs. Paris-Meudon).

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

Minha carreira científica dependeu mais das condições em torno de mim do que de uma escolha bem planejada. Isto ocorreu, principalmente, porque quando me formei em 1970, a pesquisa na astronomia brasileira estava começando. Observe que sou sócio fundador da SAB. Assim tive formação inicial teórica, mais voltada para a matemática e, pouco tempo depois, estava montando programas de observação motivado pela inauguração do primeiro telescópio de porte médio brasileiro. Além disso, havia estudantes que queriam fazer pós-graduação e tive que me adaptar um pouco às preferências deles (teóricas ou observacionais). Não acho que faria diferente se começasse hoje, se houvessem as mesmas condições do início da minha carreira. Obviamente, se começasse hoje, considerando as condições brasileiras e internacionais atuais, seguiria caminhos diferentes. mas não tenho claro o que faria •

Roberto V. Martins foi entrevistado em 31 de agosto de 2023 por H. J. Rocha-Pinto.



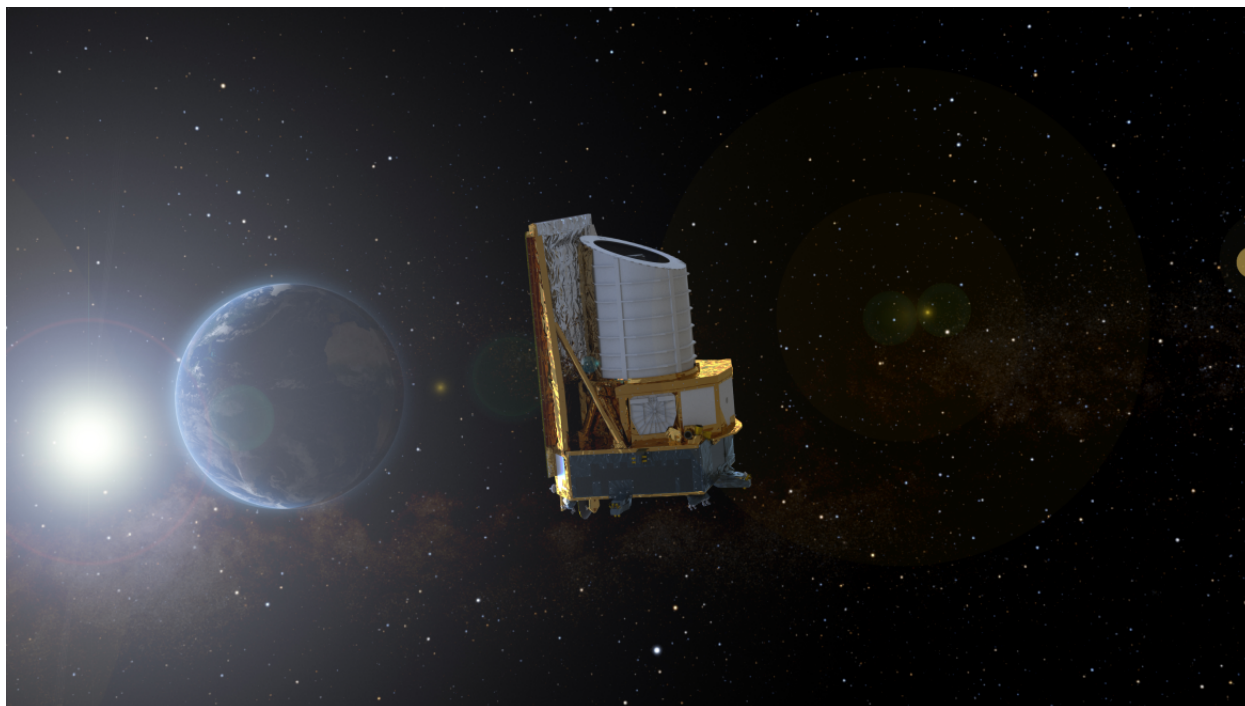
Euclid

Um telescópio para desvendar o Universo escuro

Você se deslumbra com as imagens do Hubble e do JWST? Pois espere para ver o que o Euclid irá nos proporcionar!

A cosmologia, uma disciplina de pesquisa que abraça a ambiciosa missão de desvendar os segredos do nosso Universo em sua totalidade, tem passado por uma misteriosa crise nos últimos 30 anos. Desde meados da década de 90, evidências de que não compreendemos o que compõe

95% do nosso universo passaram a se empilhar em forma de artigos científicos nas mesas de cosmólogos e cosmólogas por todo o mundo. Diversos foram os experimentos e observações astronômicas que, ao longo destas últimas três décadas, comprovaram com impecável precisão o tamanho da nossa ignorância em rela-



Acima

Representação artística do Telescópio Espacial Euclid em trajetória em direção ao ponto de Lagrange 2 (L2), situado a 1,5 milhão de quilômetros da Terra — um ponto de equilíbrio estável no sistema Terra-Sol, que acompanha a órbita da Terra ao redor do Sol (Crédito: ESA).

Na página anterior

Representação artística da Missão Euclid da Agencia Espacial Europeia (Crédito: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA; S. Beckwith (STScI), HUDF Team).

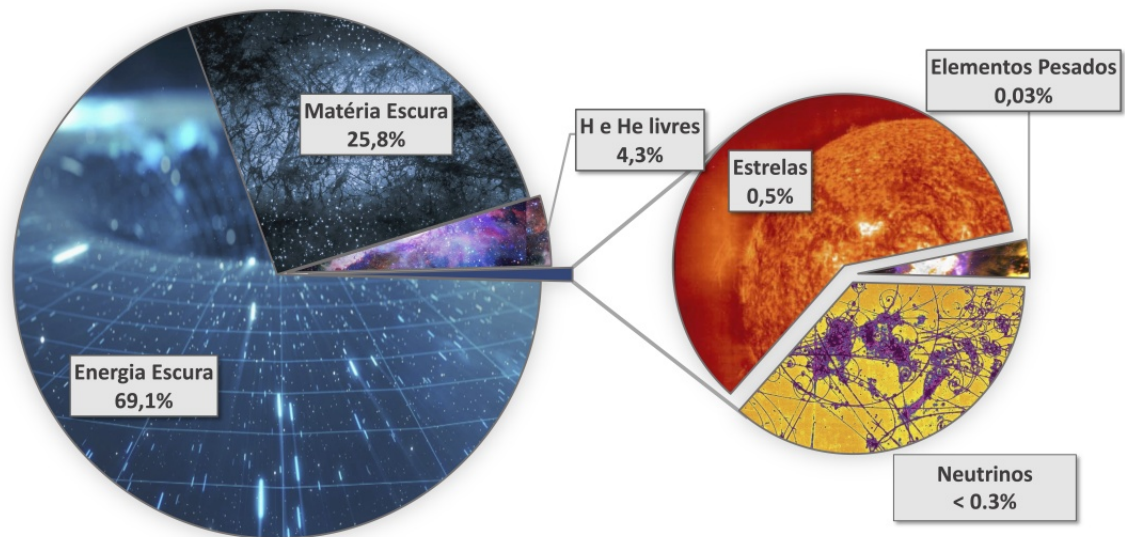
ção ao que constitui nosso Universo. Galáxias, estrelas, poeira espacial, distantes quasares e todos os elementos em nossa tabela periódica — tudo aquilo que sabemos explicar com a física que conhecemos — constituem apenas 5.2% de nosso Universo.

Sobre o resto, sabemos muito pouco. Sabemos, por exemplo, que cerca de 25.8% do nosso Universo é constituído de uma matéria muito diferente da que estamos acostumados, chamado **matéria escura**. A matéria escura recebe este nome pois não interage com o campo eletromagnético, não emite e nem absorve luz. Porém, este misterioso componente que constitui aproximadamente 85% da matéria do nosso Universo interage com a matéria comum através da gravidade. As primeiras evidências indiretas de sua pre-

sença remontam aos anos 1930 e, atualmente, vemos seus efeitos nas curvas de rotação de galáxias, na trajetória que a luz de objetos distantes percorre ao atravessar massivos aglomerados de galáxias e, também, quando observamos a distribuição e evolução da estrutura de galáxias em nosso Universo.

Dos 69% remanescentes, nosso Universo é constituído de **energia escura**, o fator dominante no processo evolutivo atual do Universo e que é responsável por uma expansão acelerada do cosmos. Esse enigmático elemento provoca um fenômeno no qual as galáxias se afastam umas das outras de maneira acelerada, resultando no que é chamado de *redshift* — um desvio para o vermelho no espectro eletromagnético da luz emitida por galáxias distantes. Es-

Os ingredientes do Universo



Acima

A composição variada do Universo, conforme análises do Satélite Planck que examinou a Radiação Cósmica de Fundo, a primeira luz emitida pelo nosso Universo após o Big Bang. Matéria e energia escura formam aproximadamente 95% do cosmos, um enigma que o Telescópio Espacial Euclid se propõe a desvendar (Crédito: Arthur Loureiro).

se efeito se intensifica à medida que as galáxias se encontram a distâncias cada vez maiores em relação umas às outras. Ao contrário da matéria escura, na qual estamos dedicados a criar experimentos em laboratórios subterrâneos na esperança de detectar partículas candidatas que possam explicar nossas observações, nosso entendimento sobre a natureza da energia escura é profundamente precário. Isto se deve à dependência na capacidade de nossos telescópios atuais, que impõem limites tecnológicos, observacionais e estatísticos ao nosso conhecimento sobre este fator de vital impor-

tância em nosso Universo.

Entretanto, as cortinas do enigma cósmico que nos envolve estão prestes a serem abertas. Em 1º de julho de 2023, lançamos um novo colosso ao panteão dos telescópios espaciais: o *Telescópio Espacial Euclid*. Essa impressionante missão, liderada pela Agência Espacial Europeia (ESA), tem como objetivo principal desvendar os segredos da matéria e energia escura. Além disso, o telescópio se propõe a mapear o Universo escuro e também realizar medições da massa dos neutrinos, partículas cuja interação com a matéria comum é tão sutil que são mui-



Acima

Em um ensolarado 1º de julho de 2023, o Telescópio Espacial Euclid embarca em sua épica jornada cósmica a bordo do foguete Falcon-9 da empresa SpaceX (Crédito: SpaceX / Friends of NASA).

tas vezes chamadas de "partículas fantasmas".

Instrumentos de precisão cósmica

Oficialmente adotado pela Agência Espacial Europeia (ESA) em 2012, com um investimento substancial de 1,4 bilhão de euros (equivalente a cerca de R\$ 7,6 bilhões na cotação atual), o Telescópio Espacial Euclid destaca-se como uma imponente conquista as-

tronômica. Com dimensões notáveis de 3,7 metros de diâmetro e 4,7 metros de altura, além de um espelho primário com 1,2 metros de diâmetro e pesando duas toneladas, o Euclid se revela uma maravilha da engenharia científica. Embora o diâmetro de seu espelho seja a metade do renomado Telescópio Espacial Hubble, o Euclid foi meticulosamente concebido para oferecer qualidade óptica e estabilidade de imagem, ao mesmo tempo em que proporciona um campo de visão substancialmente mais amplo do que o Hubble. Essas características conferem ao Euclid a configuração ideal para conduzir um abrangente levantamento de galáxias, observando quase toda a esfera celeste ao longo de aproximadamente 6 anos de operação. O telescópio mapeará posições e morfologias de galáxias através de 10 bilhões de anos de história cósmica, proporcionando uma visão sem precedentes de nosso Universo.

Após uma década de esforços internacionais na construção do instrumento e alguns meses de incerteza decorrentes da guerra na Ucrânia, que resultaram na perda da oportunidade de lançamento do Euclid a bordo do foguete russo Soyuz, o telescópio da ESA foi rapidamente adaptado para ser lançado através do foguete Falcon-9 da controversa SpaceX.

O lançamento ocorreu de forma exemplar e, em poucas semanas, o Telescópio Espacial Euclid alcan-

çou seu destino final, agora fazendo companhia aos telescópios JWST e Gaia no ponto de Lagrange 2 (também chamado apenas de L2). O L2 é um ponto de equilíbrio gravitacional estável no sistema Terra-Sol, extremamente útil para telescópios espaciais, pois permite que o telescópio observe a mesma área do céu por um longo período, sem gastar muita energia para se manter na mesma posição.

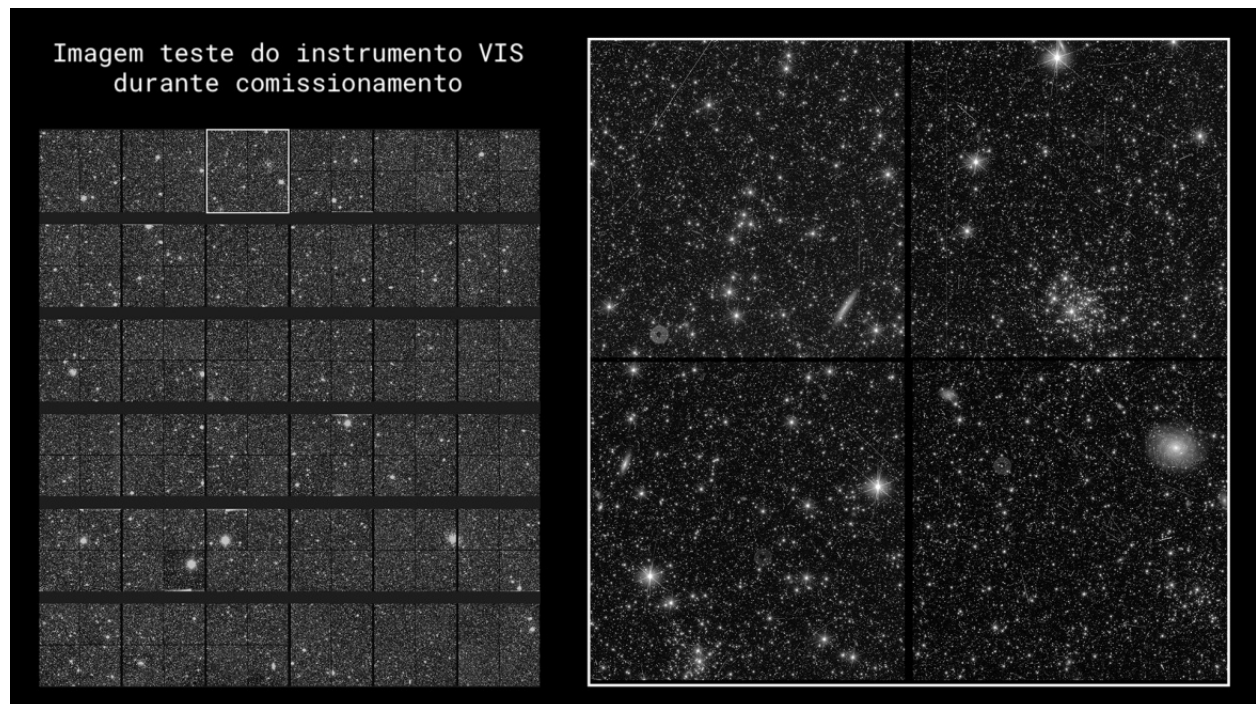
No interior do telescópio, dois instrumentos desempenham impressionantes tarefas complementares: medir com alta precisão as posições e os formatos de mais de 20 bilhões de galáxias durante os 6 anos de operação deste experimento. Esses instrumentos são a Câmera de Luz Visível, conhecida como VIS (*Visible-Light Camera*),

e o Espectrômetro e Fotômetro no Infravermelho Próximo, abreviado como NISP (*Near-Infrared Spectrometer and Photometer*).

O VIS, como o próprio nome indica, observa galáxias na luz visível, dentro da faixa do espectro eletromagnético de 5300 a 9200 Å (lembre que $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$), usando um sensor composto por 600 milhões de píxeis. Por meio deste instrumento, a colaboração obtém imagens de alta resolução, essenciais para termos medidas extremamente precisas das formas das galáxias — um elemento fundamental para os estudos de lenteamento gravitacional. O segundo instrumento, o NISP, utiliza um detector com 60 milhões de píxeis para observar na faixa do infravermelho próximo, abrangendo de 9200 a 20000 Å. Esse equipamen-

Abaixo

A imagem exibe o campo de visão integral do instrumento VIS do Euclid (à esquerda), acompanhado por um zoom em quatro quadrantes adjacentes do sensor (à direita). Esta imagem de teste, capturada durante a fase de comissionamento do telescópio, revela detalhes espetaculares que o VIS é capaz de registrar. Esta ainda não é uma imagem processada para fins científicos e por isso exibe alguns artefatos indesejáveis como raios cósmicos cruzando os sensores. Exposições mais longas e compostas irão eliminar estes artefatos (Crédito: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA).



Abaixo

Imagem capturada pelo instrumento fotométrico do NISP durante a fase de comissionamento, utilizando o filtro *Y*. O NISP opera com três filtros distintos, contribuindo para a determinação de distâncias galácticas por meio de *redshifts* fotométricos, com base no brilho e na intensidade da luz nos referidos filtros. Embora a imagem abaixo também não esteja pronta para fins científicos, ela destaca a impressionante qualidade e resolução de imagem capturadas pelo NISP, fornecendo um vislumbre do nível de qualidade que as futuras imagens do Euclid prometem atingir (Crédito: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA).

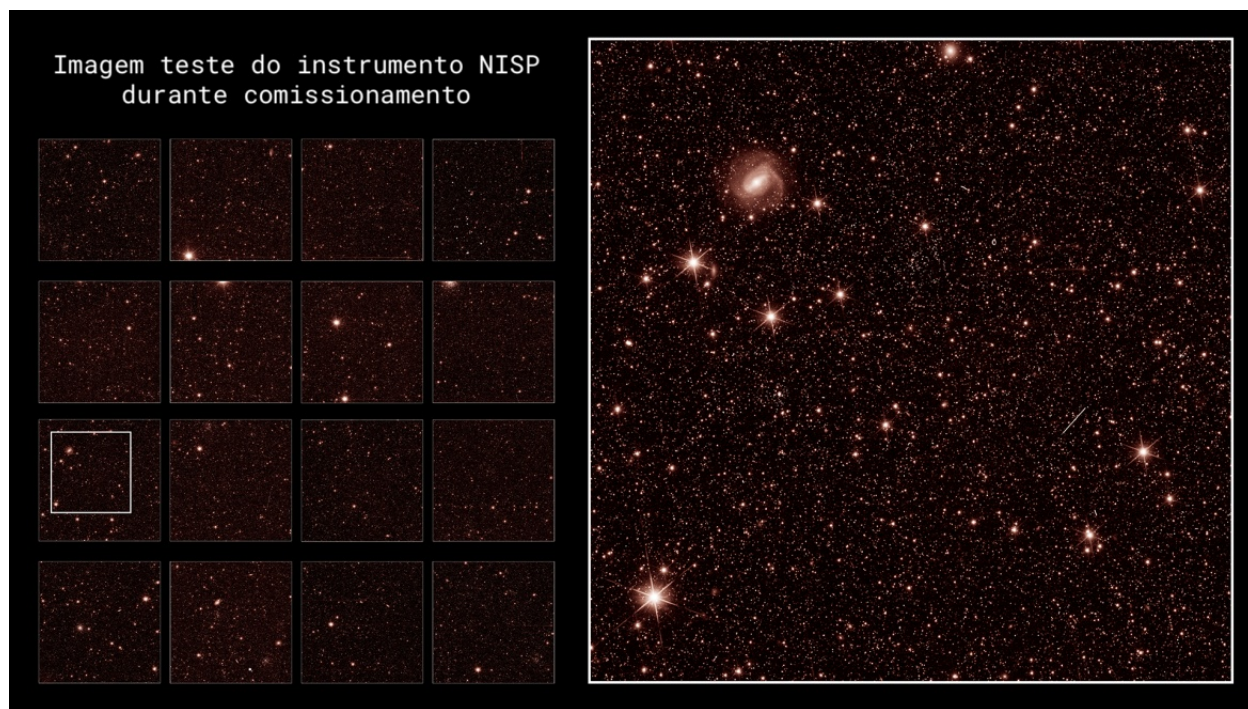
to possui uma notável capacidade para realizar fotometria nas faixas *Y* (9200 a 11460 Å), *J* (11460 a 13720 Å) e *H* (13720 a 20000Å), bem como espectroscopia sem fenda — uma técnica que viabiliza a obtenção de informações sobre composição e, especialmente, o desvio para o vermelho de galáxias. Este último é um fator essencial para determinarmos a distância desses objetos em relação a nós. Em outras palavras, enquanto o VIS foca em adquirir imagens de altíssima qualidade para medir com precisão os formatos das galáxias, o NISP tem como objetivo complementar proporcionar informações fundamentais para a obtenção de posições e distâncias desses objetos com elevada e similar precisão. É a sinergia incrível entre estes dois instrumentos a bordo do

Euclid que fazem deste telescópio espacial uma ferramenta crucial para desvendarmos os mistérios do Universo.

Porém, como as medidas precisas de posições, distâncias e, principalmente, formatos de galáxias contribuem para a nossa compreensão sobre a natureza da matéria e energia escuras?

Desconstruindo o Modelo Padrão da Cosmologia com o Euclid

Os instrumentos a bordo do Telescópio Espacial Euclid (VIS e NISP) foram especialmente projetados com o objetivo de atingir alta precisão e exatidão na medida dos parâmetros que compõem uma extensão do Modelo Padrão da Cosmologia (Λ CDM), conhecido como modelo w CDM. No contexto des-



se modelo, o parâmetro w desempenha um papel crucial. Ele descreve a equação de estado da energia escura, uma relação simples que conecta a densidade de energia (ρ) à pressão (P) exercida por uma determinada componente do universo: $\rho = wP$. Quando w é igual a -1 , chegamos a uma explicação comum e conhecida para a energia escura: a constante cosmológica Λ proposta por Einstein em sua revisão da Teoria da Relatividade Geral em 1917. Nesse cenário, retornamos ao modelo padrão Λ CDM e nos deparamos com a tarefa de compreender por que a constante cosmológica parece ser uma característica tão fundamental do nosso universo. Além do parâmetro w , o Modelo Padrão da Cosmologia (e o modelo w CDM) inclui(em) outros seis parâmetros livres, cuja determinação requer experimentos como o Euclid:

1. *Densidade Bariônica* (Ω_b): refere-se à proporção de matéria bariônica (partículas como prótons e nêutrons) em relação à densidade crítica do universo. Isso nos ajuda a entender a quantidade de matéria "comum" presente no Universo.

2. *Densidade de Matéria Escura* (Ω_{CDM}): representa a proporção de matéria escura em relação à densidade crítica do Universo.

3. *Amplitude das Flutuações Primordiais* (A_s): mede as pequenas variações na densidade do universo primordial e que eventualmente levaram à formação de estru-

turas como galáxias e aglomerados de galáxias.

4. *Índice Espectral de Flutuações* (n_s): indica como as flutuações de densidade variam em diferentes escalas e ajuda a entender como as estruturas cósmicas se formam.

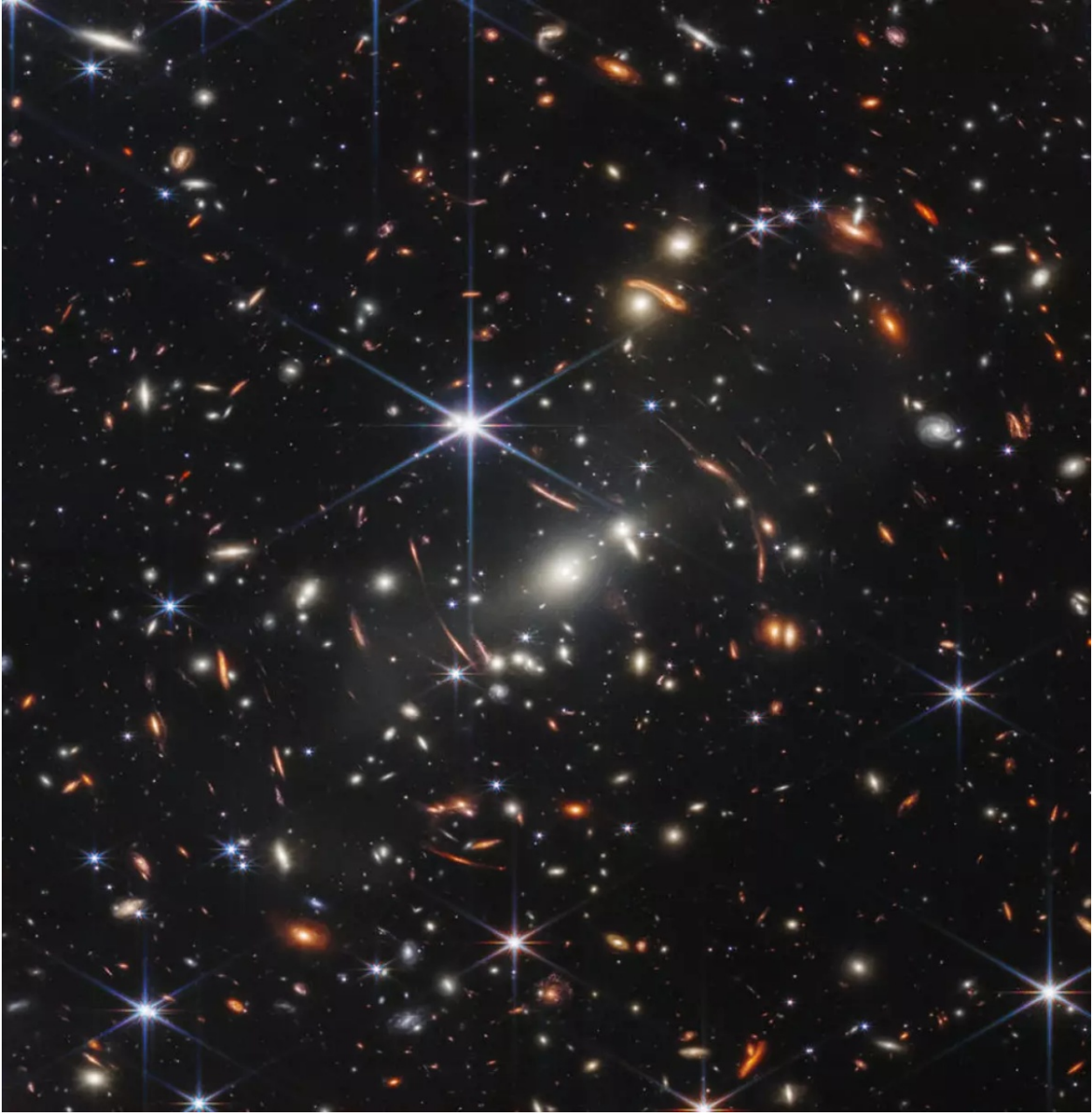
5. *Constante de Hubble* (H_0): refere-se à taxa de expansão do Universo. Conhecê-la é crucial para entendermos a idade e a escala do cosmos.

6. *Profundidade Óptica da Época de Reionização* (τ): fornece uma medida da opacidade dos elétrons livres na linha de visada em relação à Radiação Cósmica de Fundo (infelizmente, um dos poucos parâmetros que o Euclid não poderá medir).

Para determinarmos esses parâmetros através das observações conduzidas pelo Euclid, faremos uso de uma variedade de fenômenos cosmológicos, os quais serão explicados a seguir. Esses fenômenos cosmológicos são como peças de um quebra-cabeça cósmico que, quando combinadas entre si e com outras observações, nos ajudam a compreender a estrutura, a história e os componentes fundamentais do Universo.

Aglomerção de Galáxias

Este fenômeno refere-se ao padrão pelo qual as galáxias se distribuem no Universo. Ao observarmos o céu noturno com poderosos telescópios como o Euclid, percebemos que as galáxias não estão distribuídas de forma aleató-



ria, mas sim aglomeradas de uma forma específica. Essa distribuição de galáxias não é uniforme e apresenta estruturas como filamentos, paredes e grandes vazios. A aglomeração de galáxias é um fenômeno fundamental para cosmólogos e cosmólogas, pois ajuda a revelar como a matéria e a energia inter-

agem no universo em grande escala.

Estudando como as galáxias se agrupam e se conectam, podemos aprender mais sobre a distribuição de matéria no universo, a influência da gravidade e como a evolução cósmica ocorre ao longo do tempo. Dado que diferen-

tes valores dos parâmetros do Modelo Padrão da Cosmologia resultam em distribuições estatisticamente distintas de galáxias, essas medidas nos permitem inferir esses e outros parâmetros cruciais para compreender as leis fundamentais da Física que regem a formação e evolução das estruturas cósmicas.

Outras medidas decorrentes da aglomeração de galáxias que também serão um foco do Euclid são as Oscilações Acústicas de Bárions (BAOs, do inglês, *Baryon Acoustic Oscillations*), padrões de variação na distribuição estatística de matéria — e, conseqüentemente, de galáxias — que se originaram nos estágios iniciais do nosso Universo, quando este ainda era muito jovem e extremamente denso e quente. Durante este estágio, uma sopa de partículas elementares e fótons oscilaram causando um padrão acústico na densidade de matéria escura e normal. Na medida em que o Universo se expande e esfria, este padrão segue impresso na distribuição de matéria. Hoje, quando observamos a composição espacial de galáxias notamos que esta onda acústica ainda permanece impressa na estrutura em larga escala do Universo. Estas medidas podem então servir como uma régua cósmica padrão, fornecendo uma maneira de medir distâncias no Universo e permitindo que cientistas calibrem suas observações.

O Euclid realizará uma extensa

análise de aglomeração de galáxias, utilizando as posições de um impressionante conjunto de 20 bilhões de galáxias, com base em imagens captadas pelo instrumento VIS. Além disso, aproveitando a notável precisão nas medidas de *redshift* obtidas por meio dos espectros do NISP, o telescópio estudará as Oscilações Acústicas de Bárions em um conjunto de 30 milhões de galáxias, aprofundando ainda mais nossa compreensão da evolução de estrutura cósmica.

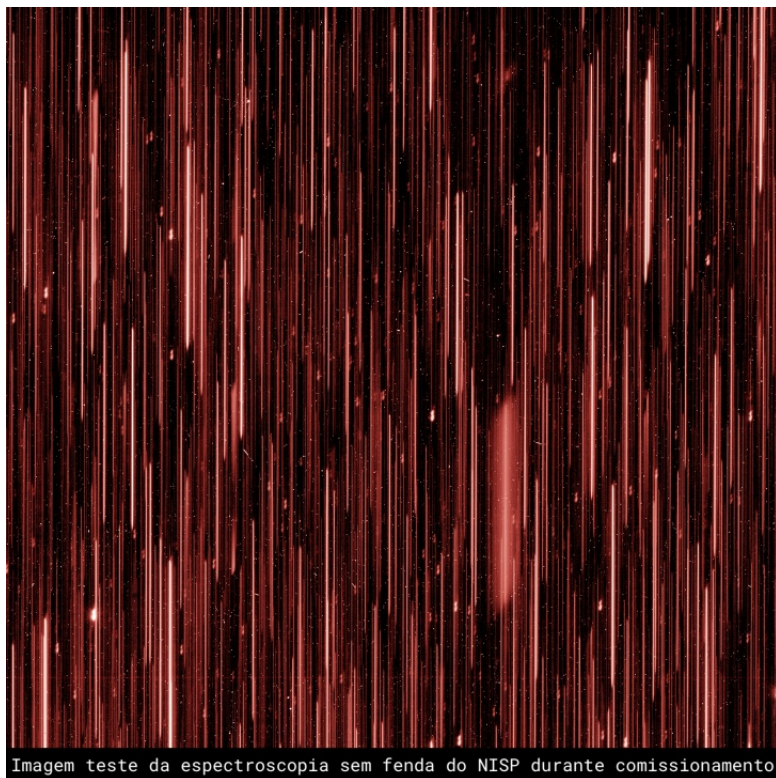
Lenteamento gravitacional

Originalmente previsto pela Teoria da Relatividade de Einstein, este fenômeno ocorre como uma conseqüência da distorção do espaço-tempo causada pelo campo gravitacional de objetos massivos no Universo. Quando a luz proveniente de galáxias distantes atravessa regiões de alta concentração de matéria, como em aglomerados e superaglomerados de galáxias, a trajetória da luz emitida por essas galáxias de fundo sofre alterações. Isso resulta em distorções sutis, no caso do lenteamento gravitacional fraco, ou em alterações mais dramáticas em suas imagens, no caso do lenteamento gravitacional forte.

No primeiro cenário, a distorção causada pelo trajeto da luz é tão leve que não chega a alterar individualmente cada galáxia de forma expressiva. Porém, observa-se uma distorção coerente quan-

Na página anterior

A primeira imagem cósmica revelada pelo JWST, agora vizinho do Telescópio Espacial Euclid no ponto de Lagrange 2 (L2), ilustra tanto os efeitos do lenteamento gravitacional forte quanto fraco. No centro da imagem, o halo de matéria escura de um aglomerado de galáxias próximo gera distorções acentuadas nos objetos mais distantes, chegando a duplicar algumas dessas imagens. Em galáxias mais periféricas na imagem, podemos observar uma distorção coerente, porém menos atenuada. Uma das principais missões do Euclid é utilizar esses efeitos de lenteamento gravitacional para mapear e investigar detalhadamente a natureza da matéria escura e o papel que desempenhou nos últimos 10 bilhões de anos de evolução cósmica (Crédito: NASA, ESA, CSA, STScI).



Abaixo

Imagem capturada pelo espectrógrafo do instrumento NISP durante a fase de comissionamento, com uma exposição de 100 segundos. Nessa imagem, a luz proveniente de galáxias distantes, coletada pelo Euclid, atravessa um dispositivo chamado "grismo" (ou "prisma de grade"), que separa a luz de cada galáxia e estrela em diferentes comprimentos de onda. Essa abordagem observacional possibilita que os cientistas determinem com maior precisão a distância das galáxias (por meio do seu redshift) e também sua composição (Crédito: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA).

do analisamos os formatos de galáxias em largas porções do céu. Utilizando estas distorções coerentes, podemos deduzir a distribuição de matéria responsável por essas pequenas variações nos formatos das galáxias. Com esta técnica, cientistas do Euclid poderão mapear a distribuição de matéria escura no Universo.

No segundo caso, o lenteamento gravitacional forte, a distorção da luz de galáxias de fundo é muito mais proeminente. Isso ocorre quando a luz de uma galáxia distante passa perto de um objeto massivo, como outra galáxia ou um superaglomerado de galáxias. A gravidade destes objetos e de seus halos de matéria escura agem como uma lente, distorcendo e ampliando a imagem da galáxia de fun-

do. Em alguns casos, essa ampliação pode resultar na formação de imagens múltiplas ou arcos luminosos, chamados de anel de Einstein. O estudo dessas imagens distorcidas fornece informações valiosas sobre as propriedades do objeto de lenteamento, bem como sobre a distribuição da matéria escura que circunda o objeto. Além disso, quando comparamos os atrasos temporais entre diferentes imagens, nos casos em que múltiplas imagens são formadas, podemos também extrair dados sobre a taxa de expansão do Universo.

O Euclid irá medir o formato de mais de 20 bilhões de galáxias utilizando as imagens obtidas pelo instrumento VIS. Essas medidas possibilitarão o mapeamento da distribuição da matéria escura ao longo de 10 bilhões de anos de história cósmica, abrangendo diversas fases da evolução da estrutura do Universo em períodos anteriores à prevalência da energia escura como o componente dominante.

O que vem pela frente

Nos meses finais de 2023, o telescópio espacial estará imerso na fase de comissionamento e na rigorosa verificação de desempenho, durante a qual os instrumentos a bordo serão minuciosamente testados. Embora as primeiras imagens divulgadas pela colaboração durante a fase de comissionamento não representem exemplos das imagens destinadas à pesquisa,

já oferecem um vislumbre do potencial fascinante do telescópio para futuras descobertas. É importante ressaltar que o legado dos dados do Euclid também abrirá oportunidades para pesquisas extremamente empolgantes em outras áreas. Entre essas possibilidades estão o estudo da evolução de galáxias, a investigação de núcleos ativos de galáxias, estudos sobre evolução e correntes estelares e muitos outros tópicos de grande importância e interesse científico.

Ao longo dos próximos 6 anos de operação, a missão do Euclid promete nos conduzir por uma jornada fascinante, repleta de descobertas cósmicas. O planejamento da missão inclui quatro grandes lançamentos de dados, cada um representando um marco significativo e ansiosamente aguardado. Esses lançamentos serão disponibilizados ao público no site oficial da ESA. Acompanhando esses lançamentos de dados, estarão análises cosmológicas profundas e detalhadas da colaboração, desvendando os segredos que as observações do Euclid estão desenhando diante de nossos olhos. Embora o Brasil não seja parte do Consórcio Euclid, a disponibilização dos dados públicos representa um convite aberto e estimulante para nós. Ao explorar esses dados de alta qualidade, teremos a oportunidade de nos aprofundar ainda mais em pesquisas pioneiras em Astronomia, Astrofísica e

Cosmologia.

À medida que a missão se desenrola, sua trajetória trará não apenas novos conhecimentos, mas também novas perguntas e mistérios. A busca pelo desconhecido é a força que impulsiona a exploração do cosmos, e o Euclid, com sua visão aguçada e objetivos audaciosos, é uma ferramenta inestimável nessa jornada. Ele nos levará a vislumbrar as profundezas do espaço-tempo, a decifrar os mistérios que moldam o universo e a compreender, de maneira mais profunda, nosso lugar neste vasto espetáculo cósmico. O Telescópio Espacial Euclid não é apenas um instrumento científico; é uma janela para o desconhecido, um farol que ilumina os recantos mais profundos e escuros do cosmos.

Uma nova era de descobertas está à nossa frente, e o cosmos nos convida a explorar suas maravilhas mais misteriosas! Que este capítulo empolgante da exploração espacial nos inspire a continuar buscando, a questionar e a desvendar os segredos que o Universo nos reserva! •

Arthur Loureiro
Oskar Klein Centre, Suécia
arthur.loureiro@fysik.su.se

Contracapa

Cometa C2023 P1
Nishimura, observado em
Bergheide, Alemanha, em 9
de setembro de 2023
(Crédito: Manolo Gómez/
WikiMedia Commons).



S.A.B.