

Novas medidas de distâncias cósmicas realizadas pela colaboração “Dark Energy Survey” fornecem pistas sobre a natureza da energia escura

Rio de Janeiro, 20 de fevereiro de 2024

Temos atualmente um modelo cosmológico padrão, baseado na teoria do Big Bang. Apesar de ter um sucesso comprovado, suas consequências são impressionantes. Conhecemos apenas 5% do conteúdo do Universo, que é a matéria normal da qual somos todos feitos. Os 95% restantes é feito de duas componentes exóticas que nunca foram produzidas em laboratório e cuja natureza física ainda é desconhecida. Elas são a matéria escura, que contribui com 25% do conteúdo do cosmos, e energia escura, responsável pelos 70% restantes. No modelo cosmológico padrão, a energia escura é associada à chamada constante cosmológica, introduzida por Einstein em 1917, cuja densidade de energia permanece constante durante a evolução do Universo.

De acordo com esse modelo, pequenas perturbações produziram ondas acústicas que se propagaram no Universo primitivo. Nestes estágios iniciais, o Universo possuía enormes temperaturas e densidades. A pressão deste gás primordial empurra as partículas do Universo enquanto a força gravitacional as atraiem. Essa competição entre pressão e gravitação criaram ondas acústicas que se propagaram do início do Universo até cerca de 400.000 anos após o Big Bang. Nesse momento, a radiação para de interagir com a matéria e as ondas congelam, deixando um sinal característico na distribuição espacial de matéria. Este sinal é observado como um acúmulo preferencial de galáxias separadas por uma distância característica, chamada de distância da Oscilação Acústica Bariônica (*Baryon Acoustic Oscillation*, em inglês, denominada pela sigla BAO) pelos cosmólogos. Essa distância corresponde à distância percorrida pela onda acústica em 400.000 anos.

Uma nova medida da distância cósmica

A colaboração *Dark Energy Survey* (DES), em uma análise liderada por grupos espanhóis com a participação de cientistas brasileiros associados ao Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia (LIneA) usando dados finais de seis anos de observações (DES-Y6), realizou uma medida da distância de BAO investigando galáxias que emitiram sua luz quando o Universo tinha metade de sua idade. Atingindo uma acurácia de 2%, é a determinação mais precisa dessa distância nessa época do Universo, e pela primeira vez, medidas usando apenas imagens de galáxias, caso do DES, são tão boas quanto medidas espectroscópicas de outros instrumentos realizadas especificamente para detectar esse sinal. Os resultados foram divulgados nesta segunda-feira, 19 de Fevereiro de 2024.

A distância que a onda acústica percorre no Universo primordial depende de processos físicos bem conhecidos e portanto pode ser calculada com grande precisão, fornecendo um padrão de tamanho para o Universo, chamada de régua-padrão pelos cosmólogos. Essa distância tem o valor típico de 500 milhões de anos-luz. Através de observações do ângulo

que essa régua-padrão na distribuição de galáxias cobre no céu para diferentes distâncias de galáxias (em outras palavras, diferentes épocas ou redshifts no Universo), pode-se determinar a história da expansão cósmica e, com ela, as propriedades físicas da energia escura. Em particular, ela também pode ser determinada através da análise da radiação cósmica de fundo, a radiação que foi liberada quando os átomos se formaram. A formação dos átomos, que ocorreu 400.000 anos após o Big Bang, foi a causa do congelamento da onda acústica. Essa radiação provê detalhes do Universo nesta época, como medida e analisada pela colaboração Planck em 2018. Ela também pode ser determinada muito depois através do estudo da escala de BAO em mapas de galáxias, como o DES acabou de fazer. Analisar a consistência entre ambas as determinações é um dos testes mais exigentes do modelo cosmológico padrão.

“É uma causa de orgulho ver como, depois de quase vinte anos de esforços contínuos, o DES produz resultados científicos da maior relevância em cosmologia”, diz Eusebio Sánchez, chefe do grupo de cosmología no *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)*, em Madrid. “É uma excelente recompensa pelo esforço investido no projeto”.

“O que observamos é que galáxias têm uma tendência maior de estarem separadas entre si por um ângulo de 2,90 graus no céu comparado com outros ângulos”, comenta Santiago Ávila, um pesquisador de pós-doutorado no *Institut de Física d'Altes Energies (IFAE)* em Barcelona, e um dos coordenadores da análise. “Esse é o sinal! A onda acústica pode ser vista claramente nos dados,”, ele adiciona, referindo-se à Figura 1. “É uma preferência sutil, mas estatisticamente relevante”, diz ele, “e podemos determinar a padrão da onda com acurácia de 2%. Para referência, a lua cheia ocupa um ângulo de meio grau no céu, ou seja, se fôssemos capazes de ver galáxias com nossos olhos nus, a distância de BAO corresponderia a 6 luas cheias.”

16 milhões de galáxias para medir o Universo 7 bilhões de anos atrás

Para medir a escala do BAO, DES usou 16 milhões de galáxias, distribuídas por $\frac{1}{8}$ do céu, que foram selecionadas para determinar suas distâncias com precisão suficiente.

“É importante selecionar uma amostra de galáxias que permita medir a escala de BAO com a melhor precisão possível,” diz Juan Mena, que fez seu PhD no CIEMAT sobre este estudo e agora é um pós-doutor no *Laboratory of Subatomic Physics and Cosmology* em Grenoble, França. “Nossa amostra é otimizada para obter um bom compromisso entre um maior número de galáxias e a precisão com a qual podemos determinar suas distâncias.”

Distâncias cosmológicas são tão grandes que a luz leva bilhões de anos para nos alcançar, permitindo então observar nosso passado cósmico. A amostra de galáxias usada neste estudo abre uma janela para o Universo como ele era há sete bilhões de anos, um pouco menos que a metade de sua idade atual.

“Uma das tarefas mais complicadas no processo é limpar a amostra de galáxias de contaminantes observacionais: distinguir entre galáxias e estrelas ou mitigar o efeito da atmosfera nas imagens”, diz Martín Rodríguez Monroy, um pós-doutor no *Instituto de Física Teórica (IFT-UAM-CSIC)* em Madrid.

Pistas sobre a misteriosa energia escura

Um resultado interessante nesse estudo é que o tamanho que a onda acústica ocupa no céu é 4% maior que o previsto através das medidas da colaboração Planck. Dado a amostra de galáxias e as incertezas da análise, esta discrepância tem 5% de chance de ser apenas uma mera flutuação estatística. Caso não o fosse, essa poderia ser uma das primeiras pistas que o modelo cosmológico atual não é totalmente correto, e a natureza física das componentes escuras pode ser mais exótica do que pensado. “Por exemplo, a energia escura pode não ser a energia do vácuo. Sua densidade pode mudar com a expansão do Universo, ou o espaço pode ter uma pequena curvatura,” diz Anna Porredon, uma pesquisadora espanhola na *Ruhr University Bochum* (RUB) na Alemanha. Ela possui uma bolsa do programa Marie Skłodowska-Curie da União Europeia e foi uma das coordenadoras desta análise.

A escala de BAO foi medida por outros projetos cosmológicos antes do DES em diferentes idades do Universo, principalmente pelo *Baryonic Oscillation Spectroscopic Survey* (BOSS) e sua extensão (eBOSS), que foram projetados para esse propósito (ver figura 2). No entanto, a medida do DES é a mais precisa na idade do Universo especificada, com metade das incertezas do eBOSS. O aumento significativo na precisão torna possível revelar uma possível discrepância na escala de BAO com respeito ao modelo cosmológico padrão.

“Para seguir essa pista, o próximo passo crucial é combinar essa informação com outras técnicas exploradas pelo DES para entender a natureza da energia escura,” comenta Hugo Camacho, um pós-doutor no *Brookhaven National Laboratory* (BNL) nos EUA, membro do *Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia* (LIneA), e que fez seu PhD no Instituto de Física da USP e um pós-doutoramento no Instituto de Física Teórica da UNESP e ICTP-SAIFR. Ele adiciona: “Mais ainda, o DES também abre caminhos para uma nova era de descobertas em cosmologia, que será seguida por experimentos futuros com medidas ainda mais precisas.”

“Todo o aprendizado no DES será utilizado no projeto do Rubin Observatory’s Legacy Survey of Space and Time (LSST), successor do DES que usará as mesmas técnicas de imageamento com a maior câmera digital já construída, instalada em um novo telescópio de 8 metros na montanha em frente à usada pelo DES,” diz Rogerio Rosenfeld, membro do DES, do LIneA, professor do IFT-UNESP/ICTP-SAIFR, vice-coordenador do INCT do e-Universo, que apoia as atividades de pesquisadores do Brasil no DES, e coordenador do Grupo de Participação Brasileira no LSST.

O Dark Energy Survey

Como seu nome sugere, DES é um grande projeto cosmológico especialmente concebido para estudar propriedades da energia escura. É uma colaboração internacional com mais de 400 cientistas de 7 países com sede no *Fermi National Accelerator Laboratory*, do Departamento de Energia dos EUA, próximo a Chicago. O projeto é planejado para usar quatro métodos mutuamente complementares: distâncias cosmológicas com supernovas, contagem de aglomerados de galáxias, a distribuição espacial de galáxias e o efeito de

lenteamento gravitacional fraco (mais detalhes em <https://www.darkenergysurvey.org/the-des-project/science/>).

Além disso, esses métodos podem ser combinados para obter um maior poder estatístico e melhor controle das observações, que são esperadas serem consistentes. A combinação do efeito de lenteamento gravitacional com a distribuição espacial de galáxias é particularmente relevante. Essas análises testam rigorosamente o modelo cosmológico. Resultados usando metade dos dados coletados pelo DES já foram publicados com grande impacto¹, e as medidas finais, usando o conjunto total de dados com mais de 150 milhões de galáxias, devem ser publicados neste ano. “DES nos permite entender pela primeira vez se a expansão acelerada do Universo, que começou há 6 bilhões de anos atrás, é consistente com o modelo atual para a origem do Universo,” comenta Martin Crocce, professor no *Institut de Ciències de l'Espai (ICE-CSIC,IEEC)* em Barcelona, que co-coordena as últimas análises.

Para utilizar todas essas técnicas, o DES construiu a Câmera de Energia Escura de 500 Megapixels (DECam), uma das maiores e mais sensíveis câmeras do mundo. Ela está instalada no telescópio Victor M. Blanco, com um espelho de 4 metros de diâmetro, no Observatório Interamericano Cerro Tololo, no Chile, operado pelo NOIRLab da Fundação Nacional de Ciências dos Estados Unidos (NSF). O DES mapeou um oitavo do céu celeste em uma profundidade sem precedentes. Foram tiradas imagens de quatro cores entre 2013 e 2019, e atualmente o projeto está na fase final da análise científica dessas imagens. As instituições espanholas fazem parte do projeto desde o seu início em 2005 e, além de terem colaborado de maneira significativa no design, fabricação, teste e instalação da DECam e na aquisição de dados, têm importantes responsabilidades na gestão científica do DES até o momento.

Mais informações em: www.darkenergysurvey.org/collaboration.

Referência: <https://arxiv.org/abs/2402.10696>

Cientistas brasileiros de diversas instituições que formam o DES-Brazil *Consortium* participam do *Dark Energy Survey* desde 2007 através do [Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia](#) (LIneA), com financiamento da FINEP, CNPq, FAPERJ e do INCT do e-Universo, com o LIneA contribuindo com o desenvolvimento de diversas plataformas científicas para a colaboração.

Contatos DES-Brazil:

LIneA

Dr. Luiz Nicolaci da Costa, diretor-geral do LIneA, coordenador do INCT do e-Universo, ldacosta@linea.org.br

UNESP/LIneA

Dr. Rogério Rosenfeld, cientista, rogerio.rosenfeld@unesp.br

Brookhaven National Laboratory/LIneA

Dr. Hugo Camacho, pós-doc, hugo.camacho@linea.org.br

¹ <https://www.darkenergysurvey.org/des-year-3-cosmology-results-papers/>

MATERIAL GRÁFICO:

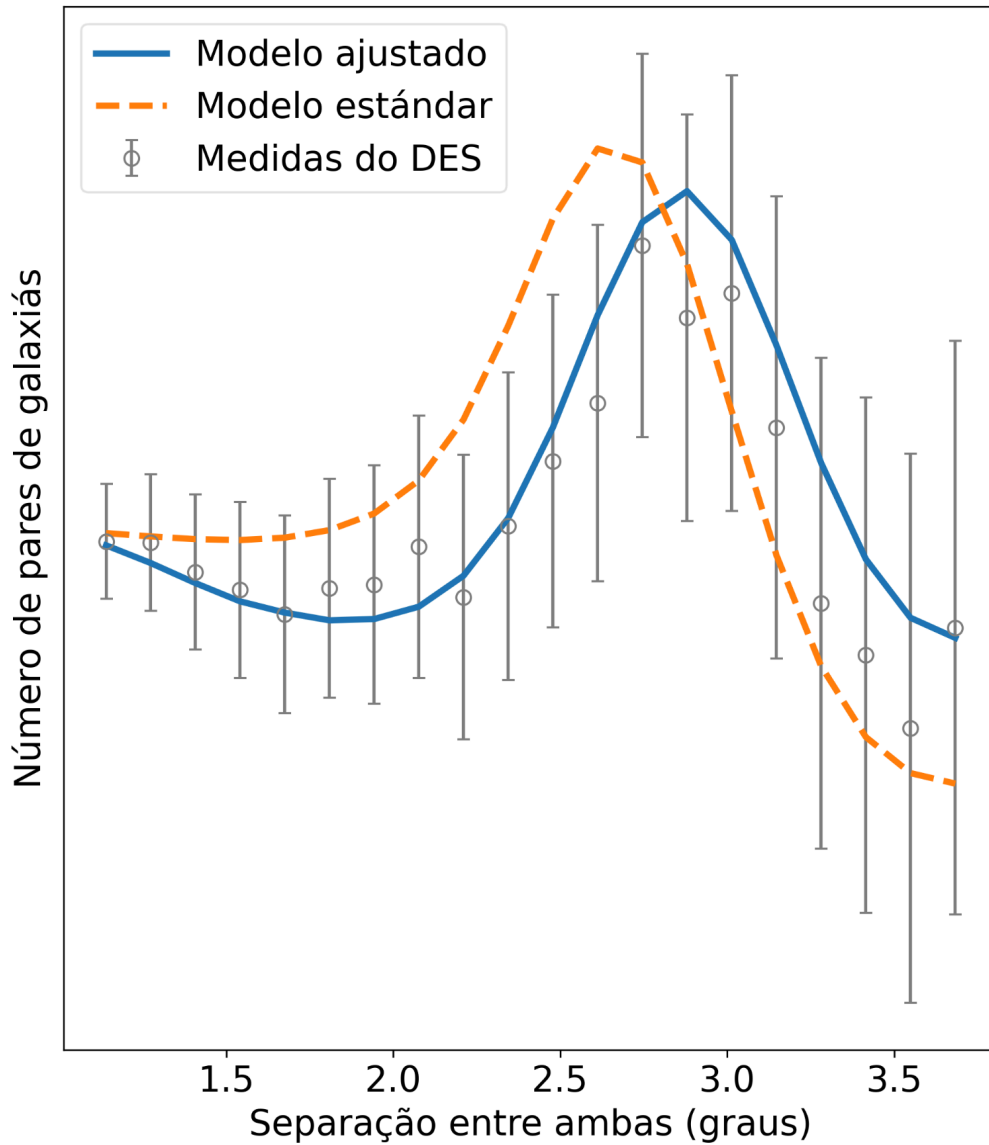


Figura 1: Sinal da Oscilação Acústica Bariônica (BAO) nos dados do Dark Energy Survey (DES). Ao plotar o número de pares de galáxias em função de sua separação angular no céu, encontramos um excesso de pares a 2,90 graus. Isso é causado pelas ondas acústicas da BAO que viajam centenas de milhões de anos-luz desde o Big Bang. Essas ondas subtendem um tamanho no céu um pouco maior do que o previsto pelo modelo padrão de cosmologia e pelos dados de Planck. Crédito da imagem: Dark Energy Survey Collaboration.

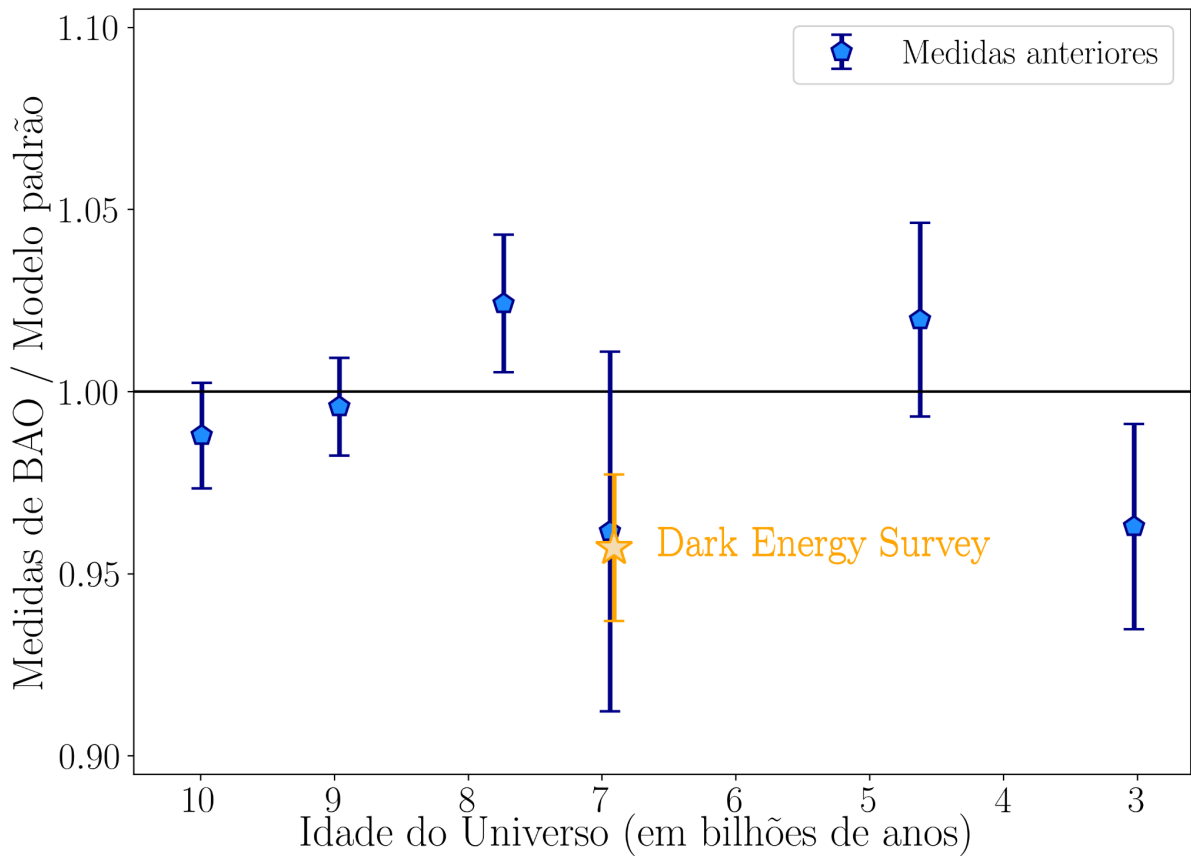


Figura 2: Em dourado, vemos a medida da escala de BAO do Dark Energy Survey, que se desvia do modelo padrão (linha horizontal em 1 neste gráfico) em 4%, enquanto as incertezas associadas à análise são de 2% (indicadas pela barra vertical dourada). Essa discrepância poderia ser uma pista sobre a energia escura ou uma mera flutuação estatística, com uma chance de 5%. Essa medida foi feita observando galáxias que emitiram sua luz quando o Universo, que tem 14 bilhões de anos, tinha cerca de metade de sua idade atual. Em azul, são mostradas as medidas do Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) e sua extensão (eBOSS). O DES fornece a medição mais precisa do Universo quando tinha cerca de 7 bilhões de anos. Crédito da imagem: Dark Energy Survey Collaboration.



Figura 3: Esquerda: Observatório Interamericano de Cerro Tololo (CTIO) nos Andes chilenos. Centro: Telescópio Victor M. Blanco, com espelho de 4m de diâmetro. Ele está localizado dentro da cúpula prateada do edifício central retratado à esquerda. À direita: Plano focal da DECam (Dark Energy Camera). Ela contém 62 sensores CCD ultrasensíveis especialmente projetados para o projeto DES e permite imagens do universo com profundidade sem precedentes. Crédito da imagem: DOE/FNAL/DECam/R. Hahn/CTIO/NOIRLab/NSF/AURA. Disponíveis publicamente em <https://noirlab.edu/public/es/images/>.