# O "grito" do Cosmos

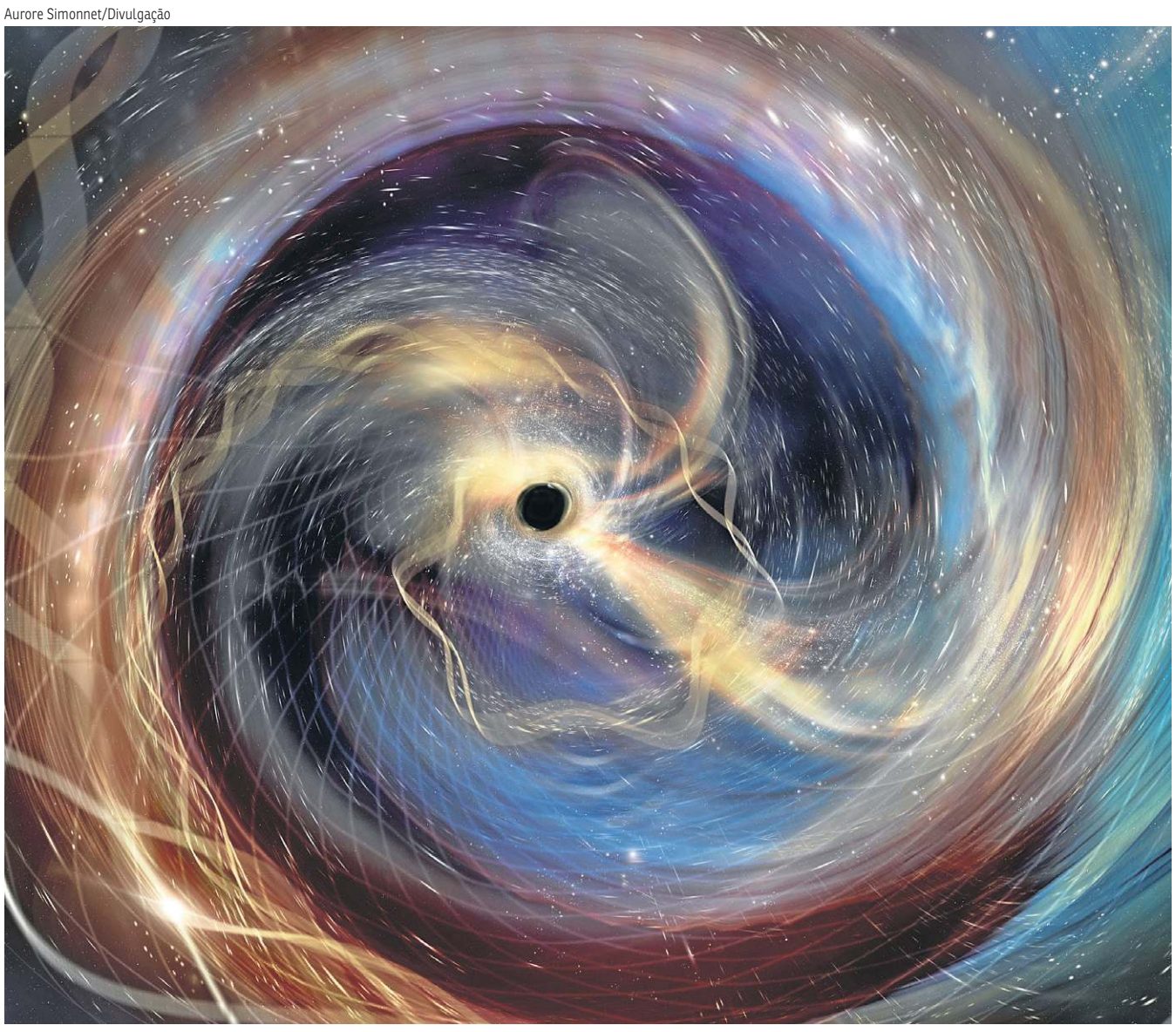
Uma década depois da confirmação das ondas gravitacionais previstas por Albert Einstein, fenômeno permite detectar novo sinal amplificado da colisão de buracos negros, confirmando uma ideia ousada do astrofísico Stephen Hawking

Dez anos depois de um momento histórico da ciência — quando, pela primeira vez, o ser humano ouviu o eco de dois buracos negros colidindo a uma distância maior que 1 bilhão de anos-luz da Terra —, um novo sinal amplifica o "grito" do Cosmos. O consórcio internacional Ligo–Virgo–Kagra (LVK) anunciou a observação de GW250114, a onda gravitacional mais nítida já registrada. O estudo não só permitiu testes sem precedentes da teoria da relatividade geral de Albert Einstein, como trouxe a confirmação mais forte até hoje de uma previsão ousada, feita em 1971, pelo astrofísico Stephen Hawking: a área do horizonte de eventos de um buraco negro — a superfície além da qual nada, nem mesmo a luz, pode escapar— nunca diminui.

Publicado na revista *Physical Review Letters*, o artigo descreve o evento que envolveu dois buracos negros com massas em torno de 30 vezes a do Sol, e semelhantes aos do primeiro registro, em 2015. Ao colidirem, eles deram origem a um objeto único de 63 massas solares, girando a cerca de 100 rotações por segundo. A superfície passou de 240 mil km², correspondente ao estado de São Paulo, para cerca de 400 mil km², aproximadamente o tamanho do Paraguai.

"É como se um sussurro tivesse se tornado um grito", comparou, em apresentação do estudo à imprensa, Geraint Pratten, pesquisador da Universidade de Birmingham, no Reino Unido. "Esse sinal nos deu uma oportunidade sem precedentes de colocar as teorias de Einstein sob os testes mais rigorosos possíveis, ao mesmo tempo em que validamos uma das previsões pioneiras de Hawking."

Aurore Simonnet/Divulgação



**Representação artística de GW250114, a poderosa colisão de dois buracos negros detectada por observatório na Terra**

## Sino

O segredo da identificação extraordinária está na qualidade do sinal. Com a sensibilidade dos detectores quase quatro vezes maior que há dez anos, foi possível observar com clareza uma fase crucial do fenômeno: o chamado ringdown, ou anelamento — as vibrações finais do espaço-tempo enquanto o buraco negro recém-formado se estabiliza."O ringdown é como o som de um sino que ressoa após ser golpeado", explicou Katerina Chatziioannou, professora assistente no Caltech, nos Estados Unidos, e coautora do artigo, em nota. "Ao ouvir os modos desse eco cósmico, conseguimos extrair as propriedades do buraco negro remanescente."

A equipe liderada por Maximiliano Isi, astrofísico da Universidade de Columbia e do Instituto Flatiron, nos Estados Unidos, desenvolveu técnicas para fatiar o sinal e isolar as frequências específicas do anelamento. "É muito único dos buracos negros: dois objetos com a mesma massa e rotação são matematicamente idênticos", disse Isi. "Agora, temos dados com resolução suficiente para comprovar isso de forma inequívoca."

As vibrações medidas confirmaram que o buraco negro resultante segue fielmente o métrico de Kerr, solução matemática encontrada em 1963 pelo neozelandês Roy Kerr para descrever buracos negros em rotação. A equação mostrou que esses objetos são surpreendentemente simples: apesar de sua complexidade aparente, podem ser descritos por apenas dois parâmetros — massa e spin. "Dada a clareza do sinal de GW250114, pela primeira vez conseguimos identificar dois 'tons' da voz do buraco negro e confirmar que eles se comportam de acordo com a previsão de Kerr", afirmou Gregorio Carullo, professor da Universidade de Birmingham, no Reino Unido, em comunicado.

### Conceitos-chave

- **Ringtown:** Quando dois buracos negros se fundem, o espaço-tempo ao redor deles fica agitado. O novo buraco negro formado vibra por alguns milissegundos, como um sino que continua a soar depois de ser golpeado. Esse eco final é chamado de ringdown (ou anelamento). A análise dessas vibrações permite descobrir as propriedades do buraco negro resultante, como massa e rotação.
- **Área de Hawking:** Em 1971, o físico britânico Stephen Hawking propôs que a área do horizonte de eventos — a fronteira invisível de um buraco negro, além da qual nada pode escapar — nunca pode diminuir. Em outras palavras: quando buracos negros se fundem, o resultado sempre terá uma área de superfície maior que a soma das áreas dos anteriores. Essa lei ficou conhecida como teorema da área e se conecta à ideia de entropia, a "desordem" de um sistema, que também nunca diminui.
- **Métrica de Kerr:** Nos anos 1960, o matemático neozelandês Roy Kerr encontrou uma solução elegante para as equações de Einstein: a chamada métrica de Kerr. Ela descreve com precisão como o espaço e o tempo se comportam em torno de um buraco negro que gira. Uma das previsões é que buracos negros podem ser totalmente caracterizados apenas por dois números: massa e spin (a velocidade de rotação). Diferente das estrelas, que exigem uma longa lista de propriedades para serem descritas, buracos negros são surpreendentemente simples.

## Horizonte

O resultado mais simbólico, porém, foi a confirmação direta da teoria da área de Stephen Hawking. Em 1971, o físico britânico propôs que o horizonte de eventos de um buraco negro só poderia aumentar. A ideia se assemelha à segunda lei da termodinâmica, segundo a qual a entropia — medida da desordem de um sistema — só pode crescer."Mesmo sendo uma afirmação aparentemente simples, 'as áreas só podem aumentar, ela tem implicações imensas", afirmou Isi. "Nos diz que a relatividade geral carrega algo profundo sobre a natureza quântica desses objetos. A informação, ou entropia, contida em um buraco negro é proporcional à sua área."

A analogia levou, décadas atrás, à revolução que transformou os buracos negros em objetos termodinâmicos. Depois, conduziu à descoberta de que eles possuem entropia e emitem radiação — o famoso fenômeno hoje conhecido como radiação de Hawking.

## Ferramenta fundamental

Em 2015, o consórcio internacional Ligo captava um evento por mês. Hoje, após sucessivas melhorias técnicas, observa uma colisão de buracos negros a cada três dias. "O observatório é a chave", resumiu Robert Wald, físico teórico da Universidade de Chicago e coautor do estudo publicado na revista Physical Review Letters. "Com esses instrumentos, temos uma ferramenta fundamental para a astrofísica e a cosmologia."

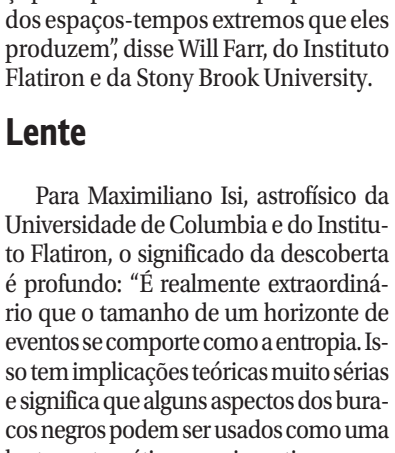
As perspectivas são ainda mais promissoras: na próxima década, espera-se que os detectores fiquem dez vezes mais sensíveis, ampliando ainda mais a capacidade de escutar os "tons" dos buracos negros e de testar a física fundamental. "Ouvir as vozes emitidas por esses objetos é nossa melhor esperança para aprender sobre as propriedades dos espaços-tempos extremos que eles produzem", disse Will Farr, do Instituto Flatiron e da Stony Brook University.

## Lente

Para Maximiliano Isi, astrofísico da Universidade de Columbia e do Instituto Flatiron, o significado da descoberta é profundo: "É realmente extraordinário que o tamanho de um horizonte de eventos se comporte como a entropia. Isso tem implicações teóricas muito sérias e significa que alguns aspectos dos buracos negros podem ser usados como uma lente matemática para investigar a verdadeira natureza do espaço e do tempo."

Se antes os buracos negros eram território quase exclusivo da especulação teórica, agora se tornaram laboratórios cósmicos acessíveis, destacam os autores. "Por muito tempo esse campo foi pura matemática e especulação teórica", disse Isi. "Mas agora estamos em posição de ver esses processos em ação, o que destaca o quanto avançamos — e o quanto ainda avançaremos."

SobreCiencia/Divulgação



**Maximiliano Isi, astrofísico: "Implicações teóricas sérias"**

MARTE

# Amostras podem ser de antigos micróbios

Amostras marcianas examinadas pelo rover Perseverance, da Agência Espacial Norte-Americana (Nasa), revelou assinaturas químicas potencialmente pertencentes a antigos micróbios. A descoberta foi publicada na revista *Nature* e soma-se a evidências anteriores de que o Planeta Vermelho pode ter abrigado, no passado, algum tipo de vida.

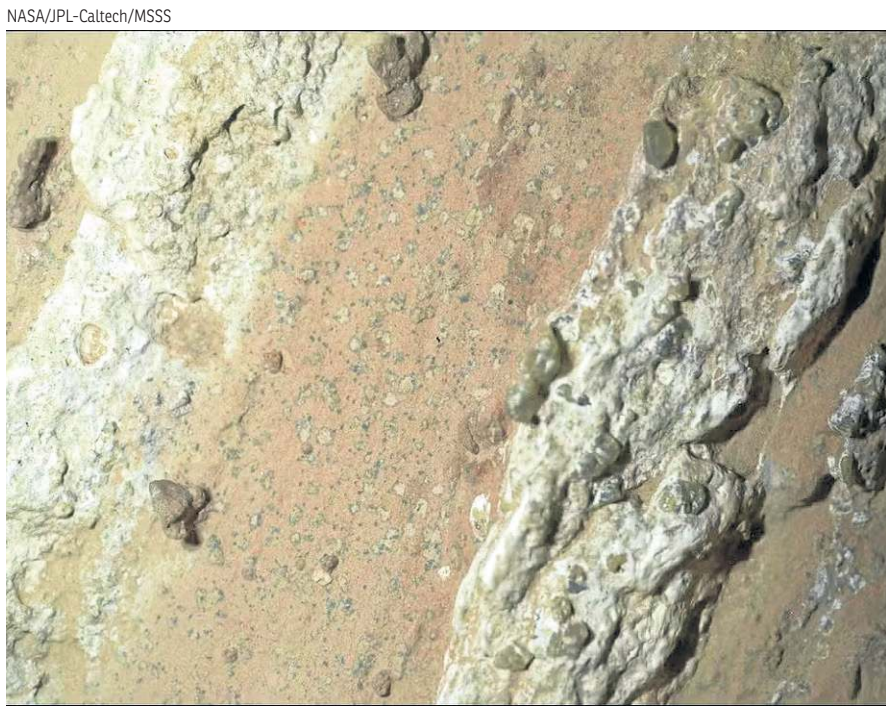
O material concentra-se em uma região da Cratera Jezero, conhecida como formação Bright Angel. Essa área, no Canal Neretva Vallis em Marte, contém folhelhos (rochas sedimentares) de grão fino ricos em ferro oxidado (ferrugem), fósforo, enxofre e — o mais notável — carbono orgânico.

Embora o carbono orgânico — possivelmente de fontes não vivas, como meteoritos — já tenha sido encontrado em Marte antes, a combinação de materiais poderia ter sido uma fonte rica de energia para micro-organismos antigos, afirmam os autores. "Quando o rover entrou na formação e começou a medir as composições das rochas locais, a equipe ficou imediatamente impressionada com o quão diferentes elas eram do que tínhamos visto antes", disse Michael Tice, geobiólogo e astrobiólogo da Universidade do Texas e um dos autores do estudo.

Segundo Tice, as composições mostraram evidências de ciclos químicos dos quais os organismos na Terra podem se aproveitar para produzir energia. "Quando olhamos ainda mais de perto, vimos coisas que são fáceis de explicar com base na vida marciana primitiva, mas muito difíceis de explicar apenas com processos geológicos", complementou.

"Até onde sabemos, parte da química que moldou essas rochas requer temperaturas elevadas ou vida, e não vemos evidência de altas temperaturas aqui", destacou o cientista. Ele ressaltou, porém, que o material precisa passar por diversos experimentos e, "em última instância, estudos laboratoriais aqui na Terra para descartar completamente explicações não biológicas".

NASA/JPL-Caltech/MSSS



**Assinaturas moleculares das rochas são compatíveis com organismos vivos**

## Formação

A formação Bright Angel é composta por rochas sedimentares depositadas pela água, incluindo folhelhos — rochas sedimentares de grão fino formadas por silte e argila e camadas que sugerem um ambiente dinâmico de rios em fluxo e águas paradas. As moléculas orgânicas e os pequenos agrupamentos de minerais foram detectados por um conjunto de instrumentos do Perseverance, incluindo os espectrômetros de massa extremamente precisos.

O Perseverance coletou uma amostra cilíndrica da formação Bright Angel, chamada "Sapphire Canyo", que agora está armazenada em um tubo lacrado transportado pelo rover. Esse material está entre aqueles priorizados para retorno à Terra em uma missão futura em potencial. "Trazer essa amostra para a Terra nos permitiria analisá-la com instrumentos muito mais sensíveis do que qualquer coisa que possamos enviar a Marte", disse Tice.

Segundo o cientista, seria possível estudar a composição isotópica da matéria orgânica, a mineralogia em escala fina, e até procurar microfósseis, se existirem. "Também poderíamos realizar mais testes para determinar as temperaturas máximas experimentadas por essas rochas e verificar se processos geoquímicos de alta temperatura ainda poderiam ser a melhor explicação para as potenciais bioassinaturas."