

À PROCURA DE BURACOS NEGROS DE MASSA PLANETÁRIA ORIGINADOS NO UNIVERSO PRIMORDIAL

A [matéria escura](#) constitui cerca de 85% de toda a matéria do Universo, mas é completamente invisível para nós. Ainda assim, conseguimos medir os seus efeitos em diversos objetos celestes: ela envolve cada galáxia e [impede que as estrelas sejam expulsas das suas órbitas](#); [desvia os raios de luz provenientes de galáxias distantes](#); orienta a [formação das grandes estruturas do Universo](#), e deixou até marcas na [radiação cósmica de fundo em micro-ondas](#), a fotografia mais antiga e mais distante do Universo, registada quando este tinha apenas 380,000 anos.

Durante muito tempo, os cosmólogos suspeitaram que a matéria escura fosse constituída por um novo tipo de partícula que interage muito pouco com a matéria normal. Mas após anos de procura sem qualquer deteção, outras possibilidades começaram a ganhar interesse. Uma delas, antes vista como pouco provável, regressou ao centro das atenções após a [primeira deteção de ondas gravitacionais](#) por [LIGO](#) e [Virgo](#).

Alguns dos [buracos negros](#) observados por estes detetores têm propriedades inesperadas, como spins relativamente baixos ou massas invulgares. Estas pistas levaram os cientistas a questionar se alguns buracos negros poderão não ter sido formados a partir de estrelas em fim de vida, mas sim a partir de aglomerados densos de matéria, nas primeiras frações de segundo após o [Big Bang](#) (ver [Figura 1](#)). Se existirem, estes buracos negros antigos, chamados Buracos Negros Primordiais (PBHs, do inglês *Primordial Black Holes*), poderão constituir uma parte, ou mesmo a totalidade, da misteriosa matéria escura. Com cada nova deteção de ondas gravitacionais, o debate sobre esta possibilidade torna-se cada vez mais intenso.

Os detetores de ondas gravitacionais [LIGO](#), [Virgo](#) e [KAGRA](#) foram concebidos para procurar [ondas gravitacionais](#) provenientes da fusão de buracos negros e [estrelas de neutrões](#), de [pulsares](#) em rotação assimétrica, de [estrelas em explosão](#) e de combinações destes fenómenos. No entanto, a sua [sensibilidade](#) é tão elevada que pares de PBHs em espiral a centenas de [kiloparsecs](#) de distância com massas comparáveis às de planetas podem ser observados pelos nossos detetores durante horas ou mesmo dias. Estas durações são muito maiores que as das fusões de buracos negros mais massivos que detetamos habitualmente.

Aqui, procuramos sistemas binários de objetos ultracompactos com massa planetária em [aproximação em espiral](#) que emitem ondas gravitacionais à medida que se aproximam.

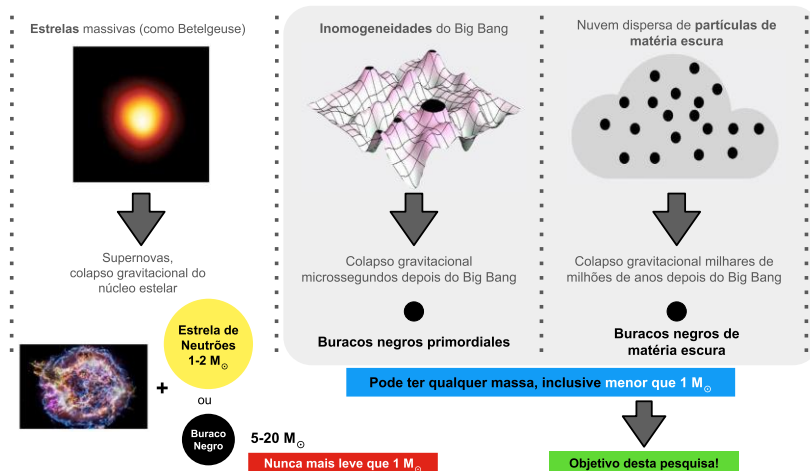


Figura 1: Ilustração esquemática dos diferentes processos de formação de buracos negros.

Painel esquerdo: os buracos negros originados pela morte de estrelas muito massivas formam-se através de explosões de supernovas e nunca têm massas menores que a [massa solar](#). *Painel central:* buracos negros primordiais poderão ter-se formado logo após o Big Bang a partir de pequenas flutuações de densidade, podendo, em princípio, ter qualquer massa, até muito inferior à massa solar. *Painel direito:* buracos negros de matéria escura poderiam surgir muito mais tarde se nuvens de partículas exóticas de matéria escura colapsassem sob a influência da gravidade. A pesquisa apresentada neste trabalho procura especificamente buracos negros de baixa massa, como os ilustrados nos painéis central e direito.

PARA SABER MAIS:

Visita as www.ligo.org
nossas www.virgo-gw.eu
páginas gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/
web:



Estes sinais duram pelo menos várias horas nas frequências às quais os nossos detetores são sensíveis, o que significa que as análises por [filtros adaptados](#) têm dificuldade em lidar com a enorme quantidade de capacidade computacional necessária para procurar sinais tão longos. Por isso, usamos um novo método que se baseia na detecção de diferentes trajetórias em [representações tempo-frequência](#) dos dados do detetor, cada uma das quais corresponde de forma única a sistemas com [massas de “chirp”](#) diferentes. A massa de chirp é um dos principais parâmetros que define a forma de onda durante a aproximação em espiral e permite-nos distinguir entre diferentes sistemas astrofísicos.

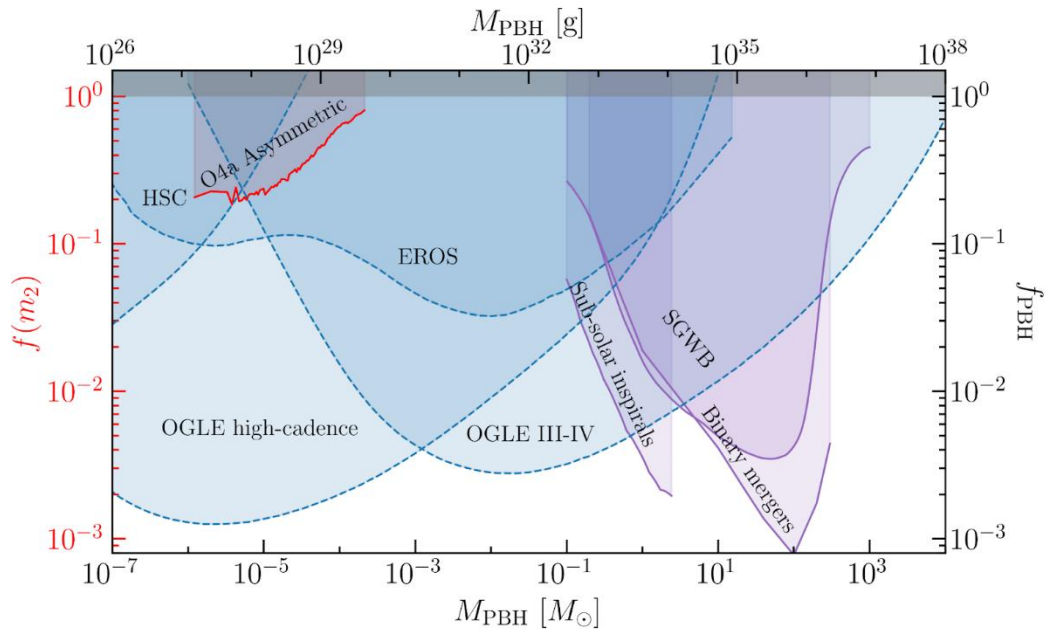


Figura 2 (Figura 4 no [artigo](#)): Os **limites superiores** à fração de matéria escura que os buracos negros primordiais (PBHs) poderiam representar, em função da sua massa, são mostrados a vermelho. Os eixos horizontais indicam a massa dos PBHs em gramas e em massas solares, enquanto o eixo vertical direito mostra a fração correspondente a matéria escura, f_{PBH} , utilizada para comparação com outras restrições experimentais. Estes limites existentes assumem tipicamente que todos os PBHs têm a mesma massa. Em contraste, os nossos limites (a vermelho) aplicam-se à abundância de PBHs para massas específicas (eixo vertical esquerdo), assumindo que os PBHs constituem toda a matéria escura. Cada curva reflete suposições específicas sobre os mecanismos de formação dos PBHs e a sua distribuição de massas. Os nossos resultados restringem esta fração a valores inferiores a 1 para massas entre $[10^{-6}, 10^{-4}]$ massas solares, complementando os limites existentes obtidos através de microlente gravitacional pelo [HSC](#), [EROS](#) e [OGLE](#), embora assumam que toda a matéria escura é composta por PBHs e só sejam válidos para formas específicas de formação destes buracos negros.

O nosso trabalho usa dados do primeiro período do quarto [período de observação](#) do [Advanced LIGO](#), [Advanced Virgo](#) e [KAGRA](#) para determinar se algum objeto ultracompacto estaria em aproximação em espiral na nossa galáxia durante a recolha de dados. Embora não tenhamos detetado nenhum sinal, como mostra a **Figura 2**, podemos estabelecer [limites superiores](#) para: (1) a distância máxima à qual poderíamos ter detetado tais aproximações em espiral, (2) as taxas com que estas aproximações ocorreriam, e (3) a fração de matéria escura que poderia ser composta por PBHs.

A nossa busca produziu as primeiras restrições a partir de ondas gravitacionais à fração de matéria escura que poderia ser composta por PBHs na gama de massas planetárias. Embora menos sensível do que buscas direcionadas a buracos negros isolados, o nosso estudo investiga PBHs que se formam em binários, fornecendo restrições complementares à sua possível abundância ao longo de várias massas.

GLOSSÁRIO

LIGO: O *Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory* (LIGO) é um par de detetores de ondas gravitacionais nos Estados Unidos. Um encontra-se perto de Livingston, Louisiana, e o outro perto de Hanford, Washington. Ambos são interferómetros de laser de grande escala, com braços perpendiculares de 4 km de comprimento, que tentam medir quaisquer variações no comprimento relativo dos braços causadas pela passagem de uma onda gravitacional.

Virgo: Detetor de ondas gravitacionais situado perto de Pisa, Itália. É também um interferómetro a laser, mas com braços de 3 km de comprimento.

KAGRA: Detetor de ondas gravitacionais subterrâneo situado perto de Toyama, Japão. Também é um interferómetro a laser, com braços de 3 km de comprimento e espelhos arrefecidos criogenicamente.

Pulsar: Estrela compacta altamente magnetizada e em rotação, que emite feixes de radiação eletromagnética pelos polos magnéticos.

Sensibilidade: Descrição da capacidade de um detetor para identificar um sinal. Detetores com níveis de ruído mais baixos conseguem detetar sinais mais fracos e, por isso, dizem-se ter maior sensibilidade.

Período de observação: Um intervalo de tempo em que os detetores de ondas gravitacionais estão a recolher dados para observações astrofísicas.

Limite superior: Uma indicação do valor máximo que uma determinada grandeza pode ter, permanecendo consistente com os dados. Frequentemente associamos um grau de confiança de 95% ao limite superior, ou seja, considerados os dados disponíveis, acredita-se que exista 95% de probabilidade de que o valor verdadeiro da grandeza esteja abaixo deste limite.

Buracos Negros Primordiais: Buracos negros que se podem ter formado nos primórdios do Universo, uma fração de segundo após o [Big Bang](#), a partir de regiões de matéria excepcionalmente densas.

PARA SABER MAIS:

Visita as nossas páginas web:

www.ligo.org www.virgo-gw.eu gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Lê uma pré-impressão de acesso livre do artigo científico [aqui](#) ou no [arxiv](#). Divulgação dos dados do GWTC-4.0 pelo Gravitational-Wave Open Science Center disponíveis [aqui](#).

Traduzido para o português por Tiago Fernandes e revisto por Inês Rainho a partir da versão original em inglês.