

PROCURA DE BURACOS NEGROS MAIS LEVES DO QUE O SOL ATRAVÉS DE ONDAS GRAVITACIONAIS

Cada [período de observação](#) da rede de detetores de [ondas gravitacionais LIGO-Virgo-KAGRA \(LVK\)](#) oferece uma oportunidade de detetar mais fontes (o número de [fusões de sistemas binários de objetos compactos](#) já [ultrapassa as 200](#)) e para realizar procuras mais aprofundadas de fontes que ainda não foram observadas. Entre estas, um alvo particularmente interessante são as fusões de objetos compactos com massas inferiores à [massa do Sol](#) (representada por M_{\odot}). Embora não exista qualquer processo astrofísico conhecido capaz de formar objetos tão leves a partir de estrelas normais (ver **Figura 1**), especula-se que alguns processos poderiam ter originado, por exemplo, [buracos negros primordiais](#) no Universo primitivo.

Embora as fusões de objetos leves emitam, em geral, ondas gravitacionais menos intensas do que os sistemas mais massivos, os nossos detetores são sensíveis a estas fontes desde que não se encontrem demasiado distantes (tipicamente até um décimo de [gigaparsec](#)). A sua procura tem o potencial de revelar nova física. Na primeira parte do quarto período de observação LVK (O4a), os detetores LIGO recolheram dados com uma sensibilidade sem precedentes, aumentando o seu alcance 15% a 45% em comparação com o terceiro período de observação e, por isso, sondando um volume maior do Universo.

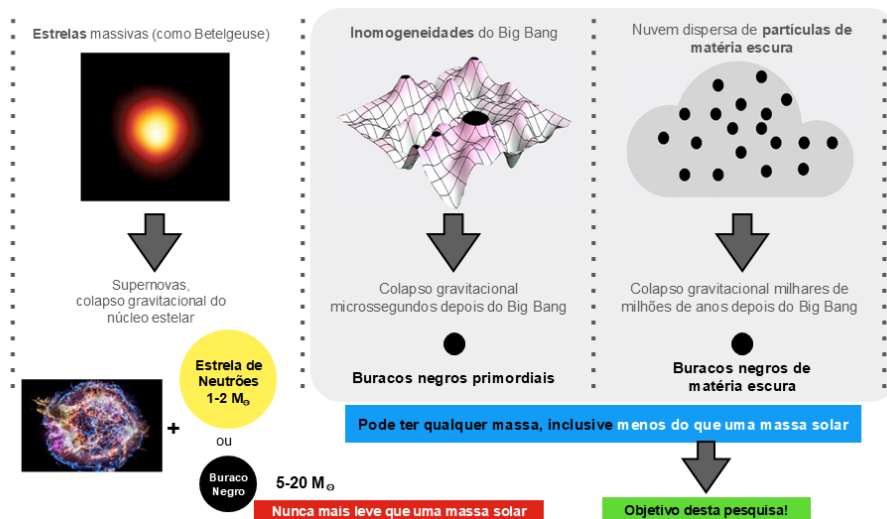


Figura 1: Ilustração esquemática dos diferentes cenários de formação de objetos compactos que podem ser observados pelos detetores LIGO-Virgo-KAGRA. Para além de estrelas de neutrões e dos buracos negros formados por evolução estelar, poderão existir no Universo buracos negros primordiais ou de matéria escura, de natureza hipotética, com massas inferiores à do Sol.

Utilizando três [pipelines de procura](#) independentes (GstLAL, MBTA, PyCBC – todas baseadas no conhecimento da [forma de onda](#) esperada mas diferindo nos métodos usados para separar sinais de [ruído](#) de fundo e para estimar a sua [significância estatística](#)), analisámos os dados de O4a para procurar fusões de massa subsolar, onde o objeto mais leve do sistema binário tem uma massa entre $0,2 M_{\odot}$ e $1 M_{\odot}$ e o objeto mais massivo tem uma massa entre $0,2 M_{\odot}$ e $10 M_{\odot}$. Para contextualizar este intervalo, os objetos compactos mais leves observados através de ondas gravitacionais até à data têm massas restringidas a valores acima de $1 M_{\odot}$, enquanto observações eletromagnéticas forneceram evidência para uma estrela de neutrões leve com uma massa estimada de cerca de $0,8 M_{\odot}$.

PARA SABER MAIS:

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



A procura não revelou qualquer novo evento candidato (embora tenha identificado o evento GW230529: ver o [resumo científico](#) sobre esta entusiasmante descoberta). No entanto, a partir da ausência de deteções, foi possível estabelecer limites superiores para a taxa de ocorrência deste tipo de eventos (ver **Figura 2**). Para tal, quantificámos a sensibilidade da nossa procura aplicando-a a sinais simulados de fusões de sistemas binários de buracos negros de massa subsolar, injetados nos dados de O4a.

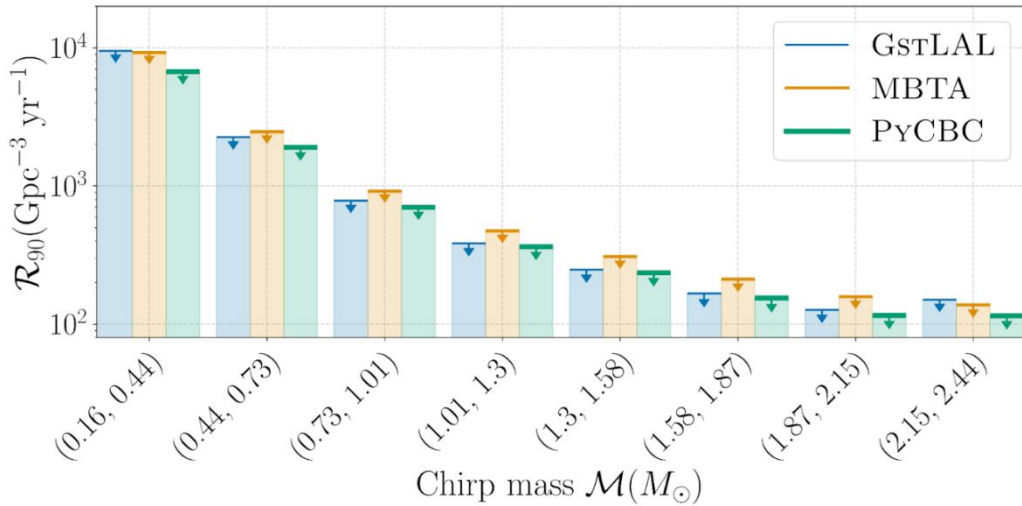


Figura 2: (Figura 5 do [artigo](#)): Limites superiores para a taxa de fusão de sistemas binários de buracos negros de massa subsolar, em função da massa de chirp, isto é, uma combinação das massas dos dois buracos negros que representa a massa efetiva do sistema binário. Estes limites superiores são inferidos a partir da ausência de deteções nos dados O4a e da sensibilidade estimada da procura realizada por cada pipeline.

Pela primeira vez, analisamos também a sensibilidade da nossa procura no caso em que os objetos de massa subsolar no sistema binários são [estrelas de neutrões](#). Embora não se espere que as estrelas de neutrões tenham massas inferiores à do Sol, se tais objetos existirem, os [efeitos de maré](#) na dinâmica do sistema binário – em que a atração gravitacional de uma estrela induz uma deformação na outra – deverão desempenhar um papel importante. Isto deve-se ao facto de essa deformação, subtil em estrelas de neutrões típicas, se tornar significativa em estrelas mais leves. Uma vez que a nossa procura assume que os objetos são [buracos negros](#), isto é, objetos sem efeitos de maré, poderá não captar perfeitamente um sinal proveniente de fusões de estrelas de neutrões de massa subsolar. Quantificamos a sensibilidade da procura neste caso específico aplicando-a a sinais simulados de fusões de sistemas binários de estrelas de neutrões e determinando com que frequência um sinal é detetado.

Os limites superiores para a taxa de fusões podem ser reinterpretados como restrições a modelos de [matéria escura](#) que preveem fusões de sistemas binários de buracos negros de massa subsolar. Um desses modelos propõe que os buracos negros primordiais se tenham formado no Universo primitivo e que se tenham associado em sistemas binários que acabam por fundir-se. Derivamos valores máximos para a fração de matéria escura que esses buracos negros primordiais poderão constituir, dependendo de várias hipóteses sobre a sua massa e sobre o cenário de formação dos sistemas binários. Outra classe de modelos considera a possibilidade de a matéria escura ser composta por partículas (desconhecidas) que podem interagir com o seu meio envolvente, acumulando-se em regiões densas e colapsando eventualmente para formar buracos negros. Estes buracos negros são designados por “buracos negros escuros” (ou “buracos negros de matéria escura” – ver **Fig. 1**), uma vez que teriam origem na matéria escura. Estes buracos negros escuros poderão depois formar sistemas binários e fundir-se, sendo que a sua fase [espiral](#) produziria uma onda gravitacional. Embora, mais uma vez, este procura não tenha produzido deteções, este resultado nulo permite restringir até que ponto a matéria escura poderá ser composta por buracos negros escuros, no intervalo de massas subsolares considerado neste estudo.

O período de observação O4 continuou até novembro de 2025 e acumulou muito mais dados, o que proporciona uma oportunidade para aprofundar a procura e abre portas para uma deteção ou para o estabelecimento de restrições mais apertadas. Fica atento!

PARA SABER MAIS

Visita as nossas páginas web:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/ (KAGRA)

Lê uma pré-impressão do artigo científico [aqui](#) ou no [arxiv](#).

Traduzido para o português por Tiago Fernandes e revisto por Inês Rainho a partir da versão original em inglês disponível [aqui](#).