

# QUANDO UM PULSAR SOLUÇA, PODEMOS OUVI-LO COM ONDAS GRAVITACIONAIS?

Em 2024, um dos melhores velhos amigos dos [radioastrónomos](#) no céu apresentou uma oportunidade muito empolgante para buscas de [ondas gravitacionais](#) (OG): uma [estrela de neutrões](#) conhecida como [pulsar Vela](#) sofreu um “[glitch](#)”, uma espécie de soluço nos seus sinais de rádio, que de outra forma seriam estáveis. Os processos físicos por trás dos glitches dos pulsares ainda não são totalmente compreendidos, e detectar as suas consequências nas GWs pode ser um passo crucial para resolver este enigma.

## GLITCHES DE PULSARES

O pulsar Vela, localizado a cerca de mil [anos-luz](#) da Terra e com pouco mais de dez mil anos, pertence a um tipo de estrela particularmente fascinante: é um vestígio extremamente denso da [explosão de uma supernova](#) no final da vida de uma estrela massiva, comprimida a tal ponto que se tornou uma [estrela de neutrões](#). Ele também gira tão rapidamente (mais de 11 vezes por segundo) e tem um campo magnético tão intenso (mais de um trilião de vezes mais forte que o da Terra) que emite fortes feixes de [radiação eletromagnética](#). À medida que esses feixes passam pela Terra a cada rotação, os radiotelescópios (e aqueles que observam em outros comprimentos de onda) captam sinais pulsados – daí o termo pulsar. O pulsar perde energia lentamente ao longo do tempo e abranda, e uma pequena parte dessa perda de energia pode ser explicada pela [emissão contínua de ondas gravitacionais](#).

Mas, no caso do pulsar Vela, essa série muito regular de pulsos apresenta uma característica incomum a cada dois anos, aproximadamente: durante o chamado glitch, a rotação do pulsar acelera repentinamente novamente. Esses glitches são conhecidos em vários outros pulsares, mas o Vela foi o primeiro pulsar observado com glitches, apresentou alguns dos glitches mais fortes conhecidos e está entre os pulsares que produzem com mais frequência esses estranhos soluços. Ainda assim, apenas a partir das observações do telescópio, os glitches continuam a ser eventos muito enigmáticos. É provável que estejam ligadas a poderosos «terramotos estelares», a efeitos [superfluidos](#) no interior denso da estrela ou a uma combinação de ambos, mas os detalhes permanecem desconhecidos.

Em particular, do lado da Colaboração [LIGO-Virgo-KAGRA](#) (LVK), ficámos entusiasmados com o último grande glitch do pulsar Vela, que foi captado por radiotelescópios no final de abril de 2024, enquanto os detetores LIGO e Virgo estavam em modo de observação total. Como Vela é uma constelação do céu austral, os dois radiotelescópios que forneceram informações precisas sobre o tempo desse glitch foram os do [Instituto Argentino de Radioastronomia](#) e do [Observatório Mount Pleasant](#) da Universidade da Tasmânia.

## PORQUE É QUE GLITCHES DE PULSARES DEVERIAM CAUSAR ONDAS GRAVITACIONAIS?

Devido à sua densidade extrema e rotação rápida, as estrelas de neutrões também são interessantes como possíveis fontes de ondas gravitacionais. Além dos sinais fracos de longo prazo provenientes da sua lenta desaceleração, sinais mais fortes também podem ser produzidos em períodos mais curtos sempre que a estrela sofre algum evento violento, como um glitch de pulsar. E, de facto, existem vários modelos de como um glitch de pulsar poderia produzir ondas gravitacionais.

Primeiro, uma estrela de neutrões pode soar como um sino com vários [tipos de oscilações](#). As mais fortes são chamadas de “modos f”, abreviação de “modos fundamentais”. Glitches podem desencadear esses modos f, assim como um sino toca quando é batido com um martelo. À medida que a estrela de neutrões vibra, esperamos que ela emita ondas gravitacionais na faixa de [kilohertz](#), que duram apenas uma fração de segundo ou, no máximo, alguns segundos.

Em segundo lugar, o glitch também poderia deformar a estrela de neutrões. Isso pode ser imaginado como a formação de uma espécie de “montanha transitória” que, por um tempo, se eleva da forma quase lisa do pulsar em repouso. Quando isso acontece, a rotação agora irregular também emite ondas gravitacionais. Mas, devido à imensa gravidade da estrela de neutrões, a montanha acabaria por se dissolver novamente. Essas ondas gravitacionais teriam frequências muito mais baixas (duas vezes a velocidade de rotação do próprio pulsar, ou seja, cerca de 22 Hertz para Vela) e seriam mais fracas do que as dos modos f, mas poderiam durar dias ou até meses, pelo que ainda temos boas hipóteses de detetar o seu efeito global.

## BUSCAS DE ONDAS GRAVITACIONAIS

Com o seu [quarto período de observação](#), os detetores [LIGO](#) alcançaram uma sensibilidade tão impressionante que agora, pela primeira vez, temos uma chance realista de encontrar ondas gravitacionais causadas por um evento como um glitch do pulsar Vela. Para aproveitar essa chance, usámos uma combinação de diferentes métodos para garantir que poderíamos encontrar algo, apesar das grandes incógnitas sobre o que realmente acontece durante a falha. É importante usar vários algoritmos de pesquisa diferentes para cada classe de sinal, a fim de garantir robustez diante de física desconhecida e padrões complicados de [ruído do detetor](#).

## PARA SABER MAIS:

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

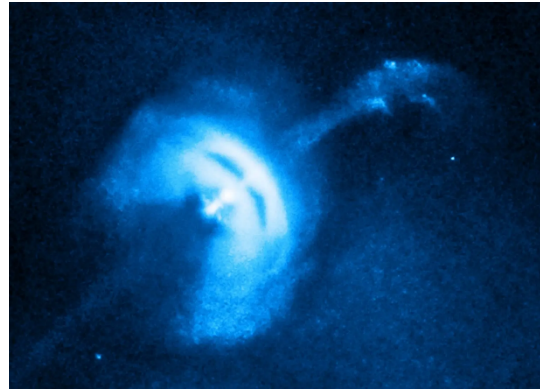


Figura 1: A nebulosa que envolve o pulsar Vela e o jato por ele lançado. Imagem composta de raios X (crédito: NASA/CXC/Univ of Toronto/M.Durant et al.) e óptica (crédito: DSS/Davide De Martin).



Figura 2: Os quatro observatórios que participaram neste trabalho: dois radiotelescópios na Argentina e na Tasmânia, e os dois detetores de ondas gravitacionais LIGO nos EUA. Créditos: Instituto Argentino de Radioastronomia, Universidade da Tasmânia, Laboratório LIGO (Caltech/MIT).

Utilizámos três algoritmos diferentes para procurar sinais com duração máxima de segundos ou minutos. Estes cobrem uma ampla gama de frequências e não pressupõem modelos de sinal específicos, pelo que são sensíveis aos modos  $f$  esperados, bem como a outros sinais de curta duração que uma estrela de neutrões perturbada poderia emitir.

Além disso, outros quatro algoritmos foram concebidos para sinais de longa duração, com duração possível de meia hora a quatro meses. Estes concentram-se em frequências de sinal de cerca de 11 Hertz e cerca de 22 Hertz, como esperado, por exemplo, no cenário de “montanha transitória”.

## PRIMEIRAS RESTRIÇÕES FÍSICAS E PERSPETIVAS FUTURAS

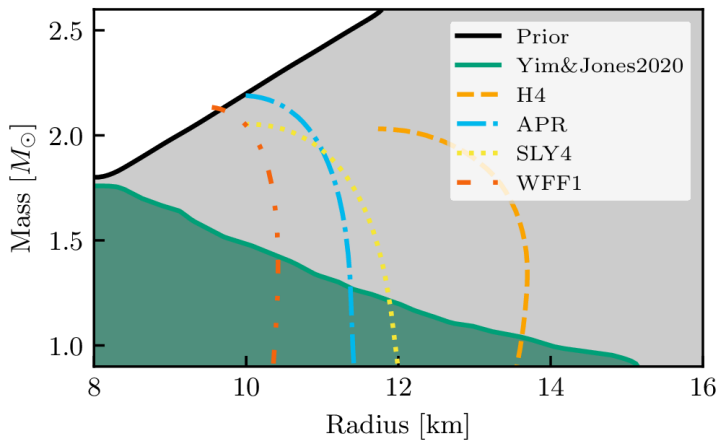
Infelizmente, apesar da [sensibilidade](#) recorde dos detetores LIGO no seu atual período de observações, ainda não encontramos sinais convincentes de ondas gravitacionais provenientes do pulsar Vela. No entanto, este conjunto de resultados representa um marco importante: pela primeira vez, fomos suficientemente sensíveis para impor restrições fisicamente significativas à radiação gravitacional após um glitch do pulsar. Isto significa que, se toda a energia libertada no evento de glitch tivesse sido usada para produzir ondas gravitacionais, deveríamos ter encontrado algo. Isto é verdade em toda a gama de sinais de longa duração, enquanto que, no caso do modo  $f$ , só alcançamos tais inéditas restrições em baixas frequências abaixo de um kilohertz, embora a maioria dos modelos realistas de estrelas de neutrões indique que a emissão deve ocorrer em frequências mais altas.

Como resultado, a melhor informação que obtivemos sobre o pulsar Vela, por não termos encontrado nada nesta pesquisa, surgiu para o cenário da “montanha transitória”. Neste caso, podemos dizer que:

- a ideia de que as alterações específicas observadas na emissão de rádio do pulsar após o glitch são causadas por essa “montanha transitória” não está correta, ou
- se essa ideia estiver correta e as ondas gravitacionais foram emitidas conforme previsto neste cenário, então o pulsar deve estar na extremidade menor e mais leve possível para este tipo de remanescente estelar compacto. Isso porque uma estrela de neutrões maior ou mais pesada teria emitido um sinal da sua “montanha transitória” que deveríamos ter encontrado – ver a figura 3.

Esses resultados são consistentes com os de outras observações de estrelas de neutrões (como a famosa [fusão binária GW170817](#)), que já nos dizem que o pulsar Vela deve ter uma [massa maior do que a do nosso Sol](#) numa esfera com um raio inferior a 15 km: não muito mais do que a maioria das cidades na Terra!

Após este resultado marcante, podemos esperar que futuros glitches em pulsares, ocorridas quando os detetores de ondas gravitacionais se tornarem ainda mais sensíveis, produzam restrições ainda melhores. E, eventualmente, a deteção direta de ondas gravitacionais provenientes de um pulsar com glitches ajudará a desvendar o mistério do porquê de Vela e os seus primos apresentarem esses estranhos soluções.



**Figura 3:** (figura 7 do [artigo científico](#)): Uma vez que os detetores de ondas gravitacionais LIGO não detetaram qualquer sinal do pulsar Vela após o seu glitch de 2024, isto indica-nos que ou alguns dos modelos de emissão não estão totalmente corretos, ou que esta estrela de neutrões deve possuir certas propriedades que tornam as ondas gravitacionais suficientemente fracas para que não as consigamos detetar. Em particular, os nossos resultados sobre sinais de longa duração indicam que ou as alterações específicas observadas na emissão de rádio do pulsar após o glitch não são causadas por uma “montanha transitória”, ou, se forem, que o pulsar não pode ter massa ou tamanho que excedam certos limites. Neste gráfico, vemos esses limites no raio (eixo horizontal) e na massa (eixo vertical). A grande área sob a linha preta contínua é o conjunto de valores possíveis que inicialmente consideráramos, enquanto a área sombreada a verde na parte inferior esquerda é o que resta depois de ter em conta que não observámos sinais de longa duração, mas onde ainda assumimos que uma montanha emitiu algumas ondas gravitacionais de acordo com o modelo específico que temos vindo a testar. As linhas tracejadas e pontilhadas correspondem a algumas previsões teóricas de como a massa e o raio de uma estrela de neutrões poderiam estar relacionados entre si.

## GLOSSÁRIO

**Radioastronomia:** O estudo da radiação eletromagnética de comprimento de onda muito longo, semelhante à utilizada para sinais de rádio e televisão na Terra, proveniente do espaço sideral.

**Ondas gravitacionais (OGs):** Ondulações no espaço-tempo criadas pela aceleração de objetos massivos. Assim como a radiação eletromagnética, elas viajam à velocidade da luz. São previstas pela teoria da relatividade geral de Einstein e são comumente conhecidas como ondas gravitacionais. Se quiser saber mais, veio ao lugar certo! Dê uma olhada nas nossas outras páginas sobre a ciência das ondas gravitacionais.

**Pulsar:** De “fonte de rádio pulsante”: uma estrela compacta altamente magnetizada em rotação que emite feixes de radiação eletromagnética a partir dos seus pólos magnéticos. ([Wikipedia](#))

**Pulsar Vela:** Uma estrela de neutrões na constelação de Vela, no hemisfério celestial sul, a cerca de 1000 anos-luz da Terra. É um dos pulsares mais próximos, brilhantes e ativos que se conhecem. Também nos referimos frequentemente a este pulsar simplesmente como “Vela”. Para mais informações e um vídeo sobre o pulsar, consulta também <https://www.nasa.gov/missions/chandra/vela-pulsar/>

**Estrelas de neutrões:** Um vestígio de uma estrela massiva. Quando uma estrela massiva esgota o seu combustível nuclear, ela morre de forma catastrófica — uma supernova — que pode resultar na formação de uma estrela de neutrões: um objeto tão massivo e denso (embora não tanto quanto um buraco negro) que os átomos não conseguem manter a sua estrutura tal como normalmente os percebemos na Terra. Estas estrelas têm aproximadamente a mesma massa do nosso sol, mas com um raio de cerca de dez quilómetros. ([Wikipedia](#))

**Glitches de pulsares:** Mudanças repentinas na velocidade de rotação de um pulsar. Os mecanismos responsáveis no interior da estrela de neutrões ainda não são totalmente compreendidos. Não confundir com glitches do detetor, efeitos de ruído irritantes que dificultam as nossas pesquisas de ondas gravitacionais.

**Radiação eletromagnética:** A luz visível (óptica) estende-se do vermelho ao violeta, mas além dessa faixa o [espectro](#) continua. Além da luz vermelha, há a luz infravermelha, as microondas e as ondas de rádio, enquanto além do violeta há a luz ultravioleta, os raios X e os raios gama. Os astrónomos usam diferentes partes do espectro para ver diferentes aspetos do Universo. No entanto, algumas coisas são escuras e, portanto, difíceis de ver com qualquer parte desse espectro. ([Wikipedia](#))

**Emissão contínua de ondas gravitacionais:** Ondas gravitacionais extremamente fracas, mas constantes, que normalmente se espera que provenham de estrelas de neutrões em rotação com pequenas deformações. Também procuramos por elas em muitos pulsares, incluindo Vela, em dados recentes do LIGO, descobrindo que menos de 1% da perda de energia observada pode ser atribuída a ondas gravitacionais. (Ver [aqui](#).)

**Superfluido:** Um estado peculiar da matéria em que o fluido flui sem viscosidade. ([Wikipedia](#))

**Kilohertz:** Uma frequência de oscilação de mil Hertz. Para ondas sonoras, isso estaria na faixa superior da audição humana e, para ondas gravitacionais, também estaria na faixa superior da sensibilidade dos nossos detetores LIGO, tornando mais difícil encontrar sinais do que na sua melhor frequência de algumas centenas de Hertz.

**Quarto período de observação:** Um período de observação em que os detetores de ondas gravitacionais da rede global LIGO-Virgo-KAGRA recolheram dados entre maio de 2023 e novembro de 2025.

**LIGO:** O Observatório Interferométrico de Ondas Gravitacionais a Laser (LIGO) é um par de detetores de ondas gravitacionais com sede nos Estados Unidos. Um está situado perto de Livingston, Louisiana, e o outro perto de Hanford, Washington. Ambos os detetores são interferómetros a laser com dois braços perpendiculares de 4 km de comprimento. ([Wikipedia](#))

## PARA SABER MAIS:

Visita as nossas páginas web:

- [www.ligo.org](http://www.ligo.org)
- [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)
- [gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/) (KAGRA)
- [www.iar.unlp.edu.ar](http://www.iar.unlp.edu.ar) (Instituto Argentino de Radioastronomia – em espanhol)
- [ra-wiki.phys.utas.edu.au](http://ra-wiki.phys.utas.edu.au) UTAS Radio Astronomy Group (Mt. Pleasant Radio Observatory)

Lê uma pré-impressão de livre acesso [aqui](#) ou no [arxiv](#).

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