

# SURFANDO NO PULSAR “BIG GLITCHER”: ONDAS GRAVITACIONAIS DE MODOS-R EM PSR J0537-6910

O PSR J0537-6910, também conhecido como “The Big Glitcher”, é um pulsar muito especial, que chama muita atenção dos astrônomos. Os pulsares são [estrelas de nêutrons](#) de rápida rotação, que são os núcleos colapsados de estrelas massivas. Esses objetos são extremos de muitas maneiras. Eles não apenas abrigam alguns dos campos magnéticos mais fortes conhecidos na natureza (mais de um bilhão de vezes mais forte que o campo magnético da Terra), mas também estão entre os objetos mais compactos do Universo. Eles compactam mais do que a massa do Sol em um espaço do tamanho de uma grande cidade, e sua densidade interior excede a de um núcleo atômico.

O nome “pulsar” deriva do fato de que observamos esses objetos registrando pulsos de radiação eletromagnética. Esses pulsos se devem ao fato de que as ondas eletromagnéticas fluem continuamente dos pólos magnéticos da estrela de nêutrons. Quando o eixo magnético não está alinhado com o eixo de rotação, o feixe de radiação faz uma varredura, como um farol, e um pulso chega até nós quando o feixe se cruza com a Terra (veja algumas [animações](#)).

Cronometrando cuidadosamente os pulsos que chegam da estrela, podemos medir a taxa de rotação da estrela e como essa taxa varia com o tempo. A evolução temporal da taxa de rotação pode então ser comparada a modelos teóricos para entender qual é o principal mecanismo físico que está levando embora a energia rotacional do pulsar e fazendo ele diminuir a velocidade. Em particular, os astrônomos quantificam isso em termos de um parâmetro conhecido como *índice de frenagem (braking index)*. Se forem ondas eletromagnéticas que levam embora essa energia, então esperamos medir um *braking index* em torno de 3, enquanto que valores maiores indicam que ondas gravitacionais estão causando essa diminuição da rotação da estrela.

O pulsar PSR J0537-6910 é jovem e gira a 62 Hz (ou seja, 62 vezes por segundo) localizado na [Nuvem de Magalhães](#).

Observa-se que este pulsar está diminuindo a rotação rapidamente e também experimenta com frequência uma chamada “falha do pulsar”, ou seja, um aumento repentino de sua taxa de rotação (daí o apelido informal do pulsar “*The Big Glitcher*”). Ao contrário da maioria dos outros pulsares, PSR J0537-6910 não é observado com ondas de rádio, mas sim através de raios-X. Como os raios-X não penetram na atmosfera terrestre, é necessário ir ao espaço para este tipo de observação, e o PSR J0537-6910 foi descoberto pela primeira vez usando um telescópio espacial de raios-X chamado *Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE)*, que estava operacional entre 1996 e 2012. Em 2017, um telescópio de raios-X denominado *Neutron Star Interior Composition Explorer (NICER)* foi instalado na Estação Espacial Internacional, e este instrumento está sendo usado para observar o PSR J0537-6910.

As observações ao longo dos anos revelaram a intensa atividade de “falhas” do pulsar e também permitiram medições do *braking index* entre os *glitches*. Em particular, as observações *RXTE* e *NICER* sugerem que longe dos *glitches*, o *braking index* é de aproximadamente 7, que é um valor bastante incomum para um pulsar, o que é esperado se a estrela estiver diminuindo a rotação principalmente por ondas gravitacionais devido aos *modos-r* de oscilação. Um modo-r é um tipo de onda fluida que existe em estrelas em rotação e se deve à força de Coriolis, muito parecida com as ondas de Rossby na Terra, e pode gerar ondas gravitacionais. Na verdade, algumas teorias sugerem que a emissão de ondas gravitacionais devido aos modos-r está presente em todos os pulsares jovens, reduzindo-os da taxa de rotação rápida que eles têm no nascimento para a taxa atual mais lenta observada na população de pulsares padrão. A medição de um índice de frenagem de 7, portanto, sugere que PSR J0537-6910 pode ainda estar no final de sua evolução de rotação impulsionada pelo modo-r, embora outros efeitos, como por exemplo um campo magnético decadente, possam ser responsáveis por isso.

Para testar essa hipótese, a Colaboração LIGO, Virgo e KAGRA, em conjunto com a equipe do *NICER*, realizaram uma busca por um sinal de [onda gravitacional contínua](#) devido aos modos-r do pulsar J0537-6910.

Já houve uma tentativa de pesquisar modos-r deste pulsar usando os dados públicos da primeira e segunda corridas observacionais do LIGO (O1 e O2 respectivamente), mas nenhum tempo de raio-X estava disponível durante essas corridas. Em nossa pesquisa, usamos os dados mais recentes da terceira corrida observacional dos observatórios LIGO e Virgo (O3).

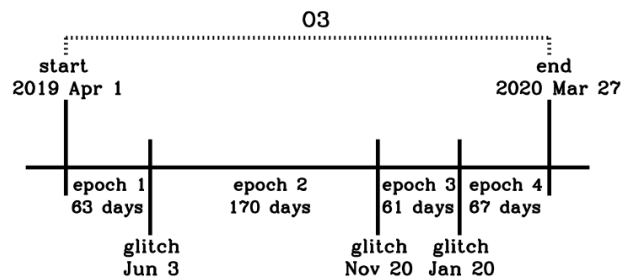


Figura 1: Linha do tempo da corrida observacional O3 do LIGO-Virgo, assim como os glitches (“falhas”) de J0537-6910, e as épocas entre as falhas observadas pelo telescópio de raios-x NICER (localizado na Estação Espacial Internacional).

Visite nossos sites:

[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)

[www.nasa.gov/nicer](http://www.nasa.gov/nicer)



SAIBA MAIS:

Leia o artigo original [aqui](#) ou em [arXiv.org](http://arXiv.org).

Os dados da O3 tem um nível muito mais baixo de ruído e qualidade consideravelmente melhor do que O1 e O2 e, o mais importante, há sobreposições com observações de PSR J0537-6910 feitas pelo NICER desde 2017. Os dados do NICER rastreiam com precisão a taxa de rotação do pulsar, o que nos permite saber exatamente quando os *glitches* ocorrem e analisar cuidadosamente os dados da onda gravitacional entre esses *glitches*, conforme ilustrado na Figura 2, a fim de produzir a busca mais sensível por um sinal fraco. A relação entre a frequência da onda gravitacional e a taxa de rotação do pulsar não é conhecida com precisão, pois depende da massa e do raio desconhecidos da estrela. Portanto, é necessário pesquisar sinais em uma faixa de frequências de ondas gravitacionais (ou seja, de cerca de 86 a 97 Hz; veja [aqui](#) uma pesquisa feita em frequências diferentes). Dois métodos independentes foram usados para realizar a pesquisa, ambos envolveram a combinação dos dados entre os *glitches* com um banco de modelos que prevêem o sinal da onda gravitacional da emissão por modos-r. Os modelos dependiam de dois parâmetros desconhecidos do sinal - frequência e taxa de variação da frequência, que estão relacionados ao *braking index*. Não encontramos nenhuma evidência de um sinal de onda gravitacional, mas este resultado nulo ainda nos permite colocar restrições rigorosas em modelos teóricos para o *spin-down*, isto é, para a diminuição da rotação das estrelas de nêutrons conduzida pelo modo-r no PSR J0537-6910. Em particular, obtemos uma série de limites superiores na amplitude das ondas gravitacionais emitidas pela estrela, ou seja, o valor acima do qual nossa pesquisa teria sido sensível o suficiente para detectar a emissão. A Figura 3 compara nosso limite superior na amplitude da onda gravitacional com as previsões dos modelos teóricos para o *spin-down* devido aos modos-r do pulsar PSR J0537-6910. Essas previsões são representadas por uma banda, pois a amplitude exata depende da massa e do raio desconhecidos da estrela.

Nossos resultados indicam que estamos sondando bem a região prevista e, para alguns dos métodos de pesquisa que usamos, especialmente em altas frequências, os limites superiores estão bem abaixo da amplitude da onda gravitacional sugerida pelos modelos teóricos. Na figura 3, apresentamos nossos resultados em termos de limites da massa da estrela de nêutrons. Nossas buscas excluem a possibilidade de que PSR J0537-6910 possa ser uma estrela de nêutrons de alta massa que emite ondas gravitacionais devido aos modos-r, mas este cenário ainda pode ser possível para estrelas de nêutrons de baixa massa. Com a próxima execução de observação (O4) prevista para ocorrer no segundo semestre de 2022, teremos uma nova oportunidade de pesquisar as ondas gravitacionais do pulsar J0537-6910 com dados mais sensíveis da rede de detectores LIGO, Virgo e KAGRA e quem sabe com um tempo preciso do Telescópio de raios-X NICER.

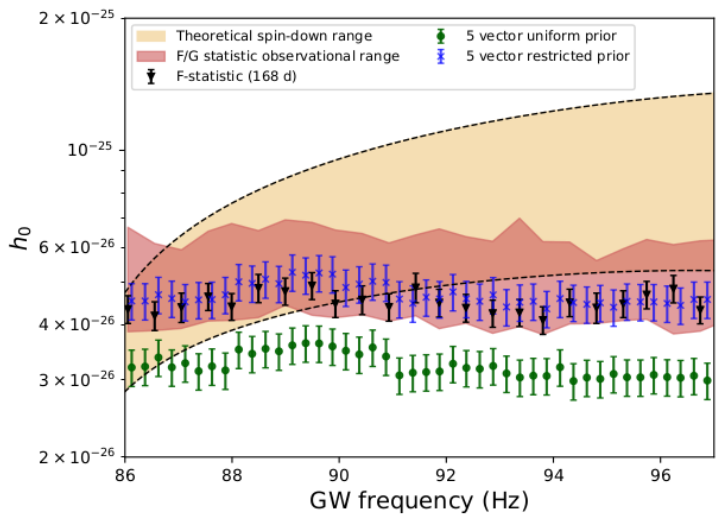


Figura 2: Limites superiores selecionados para a amplitude da onda gravitacional  $h_0(f)$  (eixo vertical), em função da frequência da onda gravitacional (eixo horizontal), obtidos por meio de nossas buscas utilizando o método estatístico chamado F/G e outro chamado 5 vetores. As curvas tracejadas denotam a faixa teórica de "spin-down", enquanto a região sombreada escura marca os limites estabelecidos pela pesquisa; veja o artigo para mais detalhes.

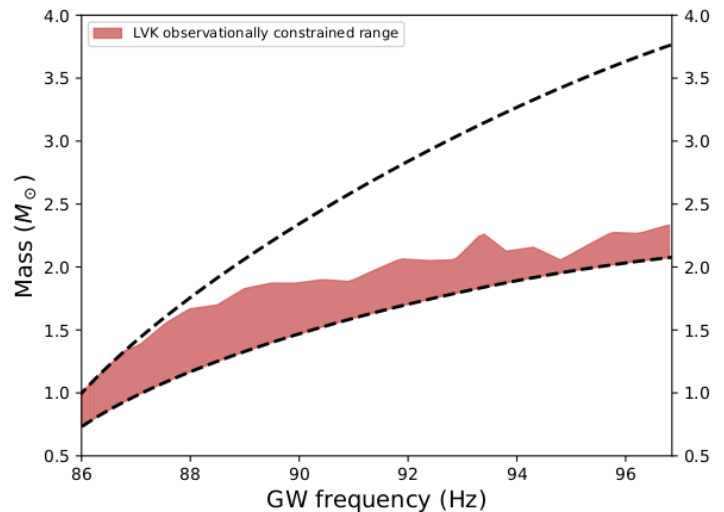


Figura 3: Limites para a massa do pulsar J0537-6910 (eixo vertical) em função da frequência da onda gravitacional (eixo horizontal), assumindo que a emissão da onda gravitacional devido aos modos-r está fazendo com que a estrela de nêutrons gire cada vez mais devagar. A região sombreada denota os valores não excluídos pela pesquisa.

## GLOSSÁRIO

**Estrela de Nêutrons:** Remanescente do processo de supernova de uma estrela com uma massa entre 10 e 25 vezes a massa do nosso Sol. As estrelas de nêutrons típicas têm uma massa de cerca de 1-2 massas solares e um raio de 10-15 quilômetros, o que implica que são alguns dos objetos mais compactos já descobertos.

**Ondas Gravitacionais Contínuas:** Um sinal de onda gravitacional que está sempre presente e em uma frequência quase fixa, ao contrário dos sistemas de buracos negros em fusão, para os quais o sinal só é visível em um detector por um curto período de tempo e tem uma frequência crescente.

**Spin-down:** Taxa na qual a rotação de uma estrela de nêutrons diminui devido à emissão de energia, por ondas gravitacionais ou por outras causas.

**Grande Nuvem de Magalhães:** Uma galáxia anã companheira da Via Láctea a uma distância de 50.000 [parsecs](#). Tanto a Grande quanto a Pequena Nuvem de Magalhães são visíveis a olho nu no hemisfério sul.

**Modos-R:** Uma onda fluida viajando na estrela e impulsionada pela força de Coriolis devido à rotação; veja também [aqui](#).