

# *NANOGrav detecta o fundo de ondas gravitacionais*

por Jaziel G. Coelho, Valerio Marra e Jonas P. Pereira  
Universidade Federal do Espírito Santo

O universo é atravessado por ondas ultralongas (na faixa de nanohertz), caracterizadas por cristas e vales que se estendem por distâncias de anos-luz. Essas ondas têm origens diversas e incidem em todas as direções, constituindo o que é denominado de fundo de ondas gravitacionais (OGs). A observação desse fenômeno tem o potencial de desvendar segredos relacionados à formação e origem do universo. A revelação da descoberta do fundo de ondas gravitacionais em baixas frequências foi finalmente anunciada em 29 de junho de 2023, por meio de um anúncio transmitido ao vivo pela *National Science Foundation* dos EUA e uma série de artigos científicos publicados no renomado periódico *The Astrophysical Journal Letters* [1–6].

Essa descoberta é um marco significativo para a astronomia, sendo a primeira evidência de ondas gravitacionais em frequências excepcionalmente baixas. A detecção inédita foi possível após 15 anos de monitoramento meticuloso realizado pelo NANOGrav (*North American Nanohertz Observatory for Gravitational Waves*). Utilizando dados provenientes de alguns dos maiores radiotelescópios do mundo (*Arecibo Observatory, Green Bank Telescope e Very Large Array*), o NANOGrav monitorou com precisão 68 rádio pulsares de milissegundos. Essa abordagem envolve a utilização de uma técnica conhecida como *pulsar timing array (PTA)*, na qual os pulsares funcionam como uma “rede de bóias” flutuando em um oceano tranquilo de ondas gravitacionais.

Os pulsares têm origem nas explosões de estrelas massivas e emitem feixes regulares de radiação eletromagnética, que se assemelham a faróis cósmicos, devido ao fato dos seus pólos magnéticos não coincidirem com seus eixos de rotação. Sua regularidade é tão extrema que superam a precisão dos melhores relógios atômicos atualmente construídos. O impacto do oceano de ondas gravitacionais no espaço-tempo é capaz de ocasionar variações ínfimas na distância entre a Terra e um determinado pulsar. Como resultado, os momentos em que os pulsares emitem “flashes de luz” podem ser adiantados ou atrasados, de maneira coerente. O principal foco do NANOGrav é a detecção de ondas gravitacionais de baixas frequências, que se manifestam como perturbações no tecido do espaço-tempo causadas por eventos cósmicos massivos, como sistemas binários de buracos negros supermassivos espiralando, com massas de até bilhões de vezes a massa do Sol, ou até mesmo eventos exóticos de natureza primordial ou cosmológica (como cordas cósmicas). Ao monitorar cuidadosamente essa seleção de pulsares, a colaboração NANOGrav modelou vários processos de ruído que afetam as taxas de rotação observadas e intrínsecas dos pulsares. O observatório identificou variações sutis na chegada desses pulsos de luz e a explicação mais natural destes foi devido à passagem das ondas gravitacionais. Juntas,



**Figura 1:** Interpretação artística de uma rede de pulsares (as estrelas brilhantes com os faróis de radiação eletromagnética) sendo afetada por ondulações gravitacionais (a malha de xadrez) produzidas por um sistema binário de buracos negros supermassivos em uma galáxia distante (no canto superior esquerdo). Crédito: NANOGrav/Sonoma State University/Aurore Simonnet.

essas análises puderam prever os tempos de chegada de cada pulso com uma precisão de algumas centenas de nanossegundos ao longo de décadas. A Figura 1 ilustra artisticamente como a rede de pulsares é afetada pelas OGs emitidas por um sistema binário de buracos negros supermassivos.

Previu-se que o primeiro sinal de OGs detectado em frequências de nHz pelos PTAs é um fundo estocástico, uma superposição de um grande número de fontes de OGs, em vez de uma única fonte. Para tal conclusão, foram utilizados algoritmos, técnicas e códigos sofisticados desenvolvidos pela NANOGrav e pela comunidade do PTA na última década. A análise estatística desses dados ao longo do tempo permitiu que a colaboração identificasse fortes evidências, pela primeira vez, tanto em análises frequentistas quanto bayesianas, das correlações com o fundo estocástico de OGs. Em breve, artigos adicionais sobre explicações de binárias de buracos negros supermassivos, fundo de OGs e pesquisas por ondas contínuas e sinais anisotrópicos serão apresentados pelo NANOGrav.

A era da astronomia de ondas gravitacionais em nHz chegou, representando uma nova janela para a exploração do universo. Essa inovação complementa as detecções de ondas gravitacionais já realizadas pelos detectores do LIGO, Virgo e KAGRA. Esses detectores são sensíveis às coalescências de sistemas binários de origem estelar, como buracos negros binários, estrelas de nêutrons binárias ou binários de buraco negro-estrela de nêutron, na faixa de 10–1000 Hz.

O futuro da cosmologia e astrofísica, com as observações do fundo de ondas gravitacionais, é altamente promissor. Com esta nova capacidade, será possível testar modelos de evolução de

galáxias, a teoria da Relatividade Geral, e até mesmo hipóteses exóticas relacionadas a defeitos topológicos, como cordas cósmicas. Em suma, esta nova janela oferecerá uma visão valiosa das condições iniciais do nosso universo, determinadas pelo período inflacionário primordial, e abrirá novas avenidas para o entendimento do cosmos.

### **Referências**

- [1] G. Agazie et al., *The NANOGrav 15 yr Data Set: Evidence for a Gravitational-wave Background*, [The Astrophysical Journal Letters](#) **951**(1), L8 (2023).
- [2] G. Agazie et al., *The NANOGrav 15 yr Data Set: Observations and Timing of 68 Millisecond Pulsars*, [The Astrophysical Journal Letters](#) **951**(1), L9 (2023).
- [3] G. Agazie et al., *The NANOGrav 15 yr Data Set: Detector Characterization and Noise Budget*, [The Astrophysical Journal Letters](#) **951**(1), L10 (2023).
- [4] A. Afzal et al., *The NANOGrav 15 yr Data Set: Search for Signals from New Physics*, [The Astrophysical Journal Letters](#) **951**(1), L11 (2023).
- [5] G. Agazie et al., *The NANOGrav 15 yr Data Set: Bayesian Limits on Gravitational Waves from Individual Supermassive Black Hole Binaries*, [The Astrophysical Journal Letters](#) **951**(2), L50 (2023).
- [6] G. Agazie et al., *The NANOGrav 15 yr Data Set: Constraints on Supermassive Black Hole Binaries from the Gravitational-wave Background*, [The Astrophysical Journal Letters](#) **952**(2), L37 (2023).