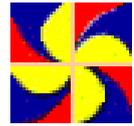




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



RELAÇÃO ENTRE HISTÓRIA E FÍSICA: O CASO DO PRÊMIO NOBEL DE FÍSICA DE 2017 (PNF/2017)

Neste verbete, vamos mostrar como um fato histórico (a implantação do Nazismo na Alemanha, na década de 1930) se relacionou com a Física, através do compartilhamento do PNF/2017 pelos físicos norte-americanos Rainer (“Rai”) Weiss (n.1932) (de origem alemã), que recebeu a metade e, a outra metade foi dividida, por Barry Clark Barish (n.1936) e Kip Stephen Thorne (n.1940) – *pelas decisivas contribuições na construção do detector LIGO e a observação de ondas gravitacionais* -, segundo o Comitê Nobel (CN).

Vejamos como aconteceu essa relação entre História e Física (ver: en.wikipedia.org/RainerWeiss_Autobiography e outros verbetes do wikipedia.org, relacionados com o tema). Weiss nasceu em 29 de setembro de 1932, em Berlim, capital da Alemanha. Seu pai era o médico, neurologista e psicanalista alemão Frederick Ernest Weiss (1865-1953), de origem judia e membro do Partido Comunista Alemão; sua mãe era a atriz (cristã) alemã Gertrude Loesner. Quando esta ainda estava grávida de “Rai”, seu pai foi preso pelos nazistas [por uma questão menor (testemunha de uma operação malfeita realizada por um médico Nazista), mas certamente por ser judeu e comunista] e depois de ser liberado, por ação política da *Família Loesner*, ele foi para Praga, capital da Tchecoslováquia. Logo depois do nascimento de “Rai”, sua mãe o levou para junto de seu pai, em Praga. Contudo, em setembro de 1938, quando a Ditadura Nazista do político alemão Adolf Hitler (1889-1945) (que assumiu o poder em 1933) anexou a Tchecoslováquia, exilados judeus que moravam neste país (inclusive a família de “Rai”), correram para os consulados em Praga para obter vistos em seus passaportes e conseguir sair da Tchecoslováquia, pois agora estava totalmente sob o domínio Nazista. Então, o pai de “Rai” foi ao Consulado Norte-Americano para tentar emigrar para lá, em virtude de sua grande relação profissional com a *Família Stix*, uma proeminente família judia norte-americana, sediada em St. Louis, Missouri, que estava resgatando os profissionais judeus perseguidos pelo Nazismo. Assim, o pai de “Rai” conseguiu o visto para os

Estados Unidos e, desse modo, a *Família Weiss* foi para a Nova York, chegando lá em janeiro de 1939.

Em Nova York, Weiss cresceu no lado oeste superior de Manhattan, frequentando escolas públicas dessa cidade. Quando era adolescente, na segunda metade da década de 1940, ele recebeu uma Bolsa de Estudos da *Columbia Grammar and Preparatory School*, onde completou o *High School*, em 1950. Nessa época, ele se interessou por eletrônica, em vista de haver adquirido (em fins de 1946), por preços bem baixos, na Rua Cortland, na parte mais baixa de Manhattan, vários componentes elétricos e eletrônicos (motores, transformadores, tubos de vácuo, capacitores etc.) que sobraram da participação americana na *Segunda Guerra Mundial* (1939-1945), compras essas que lhe ajudaram bastante em sua “profissão” de consertador de rádios. Nesse início de “pós-guerra”, Weiss e amigos (filhos também de imigrantes) assistiam concertos de música clássica no Brooklyn (ao ar livre), bem como na *New York Philharmonic* e no *Carnegie Hall*. Nessas audições alguns problemas eram frequentes, como os silvos que apareciam quando sons de uma música clássica apresentavam tons baixos e suaves, assim como dos microfones dos locutores. Sendo um “especialista” em sistemas de áudio, Weiss era convocado para resolvê-los. Contudo, estando no final do ensino médio (*High School*), ele percebeu que não tinha conhecimentos suficientes de Matemática e de Engenharia Elétrica para resolvê-los. Assim, depois de sondar algumas universidades técnicas norte-americanas, decidiu entrar, em 1950, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), escolhendo o Curso de Engenharia Elétrica, cuja estrutura curricular dos dois primeiros anos não o agradou, pois não incluía a parte de eletrônica. Em vista disso, no final do segundo ano ele se transferiu para o Curso de Física. Enquanto aluno do MIT, ele se envolveu emocionalmente com uma aluna de Música da *Northwestern University*, em Evanston, Illinois, que lhe ensinou a gostar de música folclórica e de piano (inclusive executando peças musicais) e, também, com uma aluna do MIT. A distância entre esses dois namoros (Boston e Evanston) ocasionou o fim deles. Além do mais, esse “imbróglio amoroso” teve como consequência sua reprovação no MIT, em 1952.

No verão de 1953, com o objetivo de aprender eletrônica, Weiss procurou um emprego de técnico no *Research of Laboratory of Electronics* (RLE), do MIT, e teve a sorte de encontrar-se com o físico norte-americano Jerrold Reinach Zacharias (1905-1986) que realizava pesquisas com feixes atômicos, buscando construir um relógio atômico usando transições hiperfinas do césio ($_{55}\text{Cs}$). Depois de conhecer a

formação científica de Weiss, os dois começaram a trabalhar nesse relógio tendo como fim medir o *redshift gravitacional* (mudança da frequência de um átomo radioativo em queda livre) previsto pela *Teoria da Relatividade Geral Einsteiniana* (TRGE) (1915). Eles trabalharam por cerca de dois anos nesse projeto do qual resultou uma versão prática do ainda hoje usado *Relógio Atômico a Feixe Efusivo de Césio*. Os trabalhos de Weiss com Zacharias renderam-lhe o *Bacharelado em Física*, em 1955, e o *Doutorado em Física*, em 1962, com a Tese Intitulada: **Stark Effect and Hyperfine Structure of Hydrogen Fluoride**, na qual ele calculou a estrutura hiperfina e o momento de dipolo elétrico dos estados de rotação da molécula de fluoreto de hidrogênio (HF). Enquanto trabalhava na Tese, entre 1960 e 1962, Weiss deu aulas na [Tufts University](http://www.tufts.edu).

Obtido o título de Doutor pelo MIT, Weiss iniciou, ainda em 1962, um pós-doutoramento com o físico norte-americano Robert Henry Dicke (1916-1997), na *Princeton University* (PU), pois este havia desenvolvido, em 1961 (*Physical Review* **124**, p. 925), com o físico norte-americano Carl Henry Brans (n.1935), uma *Teoria Escalar da Gravitação* (TEG), rival da TRGE, segundo a qual a força gravitacional é mediada por um campo escalar. Então, usando a TEG, Dicke e Weiss prepararam um experimento para medir os modos de vibração da Terra, decorrentes da ação de uma provável OG atingindo o nosso planeta. Contudo, esse experimento não conseguiu seu objetivo em virtude da interferência das ondas geradas pelo grande terremoto ocorrido no dia 27 de março de 1964, no Alasca. Então, no outono de 1964, Weiss retornou ao RLE, no MIT, para continuar seus estudos sobre Cosmologia e Gravitação, focados na *Radiação Cósmica de Fundo* (RCF) (esta decorrente do *Big-Bang*) e nas **Ondas Gravitacionais** (OG). Porém, como seu conhecimento matemático da TRGE era insuficiente para esses estudos, ele propôs, em 1967, ministrar um curso dessa teoria para alunos que realizavam a graduação e a pós-graduação no MIT.

Por essa época, os relativistas estavam interessados no trabalho que o físico norte-americano Joseph Weber (1919-2000) estava desenvolvendo para medir as OG, constituído de grandes cilindros de alumínio (Al), decorrente de uma ideia que tivera em 1960. Assim, em 1969 (*Physical Review Letters* **22**, p. 1320), ele anunciou que havia encontrado evidências experimentais de OG, oriunda do **pulsar** NP 0532, na *nebulosa de Caranguejo*, pois observou a coincidência de pulsos dessa radiação gravitacional em cilindros de Al (pulsos decorrentes da mudança nos tamanhos desses cilindros pela passagem da OG), que estavam

colocados a uma distância de 1.000 km, entre o *College Park*, em Maryland, e o *Argonne National Laboratory*, em Illinois.

Em vista dessa informação, logo no começo da década de 1970, Weiss e seus estudantes começaram a trabalhar em uma ideia que ele próprio tivera, em 1968, que era a de medir as OG, por intermédio de um interferômetro do **Tipo Michelson-Morley** (IM-M) (1887), usando **laser óptico** [inventado, em 1960 (*Nature* **187**, p. 493; *British Communications Electronics* **1**, p. 674), pelo físico norte-americano Theodore Harold Maiman (1927-2007)]. Assim, em 1972, Weiss solicitou uma verba do *Joint Services Grant* do RLE (que era destinada pelos militares para o desenvolvimento de pesquisa básica) para construir (como tema de doutorado de seus estudantes) um protótipo desse equipamento, tendo 1,5 m de lado. Weiss, no entanto, sabia que esse protótipo dificilmente detectaria as OG. Assim, ele precisava construir novos protótipos com braços maiores. Porém, em virtude da *Guerra do Vietnã* (iniciada em 1959), as verbas militares para pesquisa foram cortadas e, então, Weiss apresentou sua ideia para a *National Science Foundation* (NSF) (“Fundação Nacional de Ciência”). Esta levou certo tempo para aceitá-la, pois consultou vários especialistas sobre o assunto. Dentre esses especialistas, estavam grupos do *Max Planck Institute for Astrophysics* e do *Max Planck Institute of Quantum Optics*, em Garching, na Alemanha, que também trabalhavam com a proposta de Weber e que acharam ser a **Interferometria Óptica** (IO) uma ótima alternativa para detectar as OG. Entraram em contato com Weiss para trabalharem juntos o que aconteceu com a ida de alunos de Weiss para Garching. Dessa parceria (com financiamento da NSF), foram construídos mais dois protótipos: um de 3 m de lado e outro de 30 m. Observe-se que, nessa mesma época, o físico norte-americano-escocês Ronald (“Ron”) William Prest Drever (1931-2017), na Escócia, iniciou suas pesquisas com a proposta de Weber e usando também a IO.

Ainda na primeira metade da década de 1970, Weiss deu continuidade à sua pesquisa sobre a RCF e com, seu grupo de estudantes-pesquisadores, começou a medir a natureza térmica dessa radiação, em grandes altitudes e por intermédio de balões atmosféricos. Como a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) havia também iniciado seu interesse nessa radiação, no verão de 1975, Weiss foi até ao seu Comitê-Técnico para tentar um financiamento para suas pesquisas em Cosmologia e Gravitação, tendo a IO como peça principal. Como existia um grupo de pesquisadores no *California Institute of Technology* (CALTECH), que também trabalhava naquelas áreas de pesquisa, dentre

eles o nobelista Thorne (que se bacharelou no CALTECH, em 1962, e se doutorou na PU, em 1965, em Física), Weiss sugeriu ao comitê que o convidasse para opinar sobre sua proposta. Aceita sua indicação, Weiss foi recebê-lo em Washington e, então, por uma noite, Weiss teve a oportunidade de descrever seu IO para Thorne que, no entanto, ainda não havia pensado profundamente sobre essa possibilidade.

De volta ao CALTECH, Thorne sugeriu à sua administração que investisse na proposta de Weiss e, então, formou um grupo de pesquisa para desenvolver um projeto análogo e que contou com a participação de Drever e do físico norte-americano Stanley Ernest Whitcomb (n.1951). Por sua vez, em 1976, a NASA convidou Weiss para dirigir um grupo científico [*Science Working Group* (SWG)], destinado a medir a RCF e suas flutuações quânticas (em torno de 3×10^{-7} K e conhecidas como **anisotropia térmica**) grupo esse que fazia parte do projeto do satélite *Cosmic Background Explorer* (COBE). Observe-se que esse satélite foi lançado em 18 de novembro de 1989.

Com o objetivo de usar a IO para observar o Universo (e detectar as OG), então Thorne e Drever, no CALTECH, assim como Weiss, no MIT, começaram a desenvolver o projeto do hoje famoso *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* (LIGO) (“Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser”) ([en.wikipedia.org/LIGO](https://en.wikipedia.org/wiki/LIGO)), inicialmente apresentado a NSF, em 1983, por Thorne, Drever e Weiss. Durante cerca de três anos esses cientistas desenvolveram-no ainda mais, bem como o divulgaram ao mundo científico interessado nesse inédito tema de observação astronômica. Desse modo, em 1986, o físico norte-americano Richard Lawrence Garwin (n.1928) recomendou ao NSF o financiamento da construção e operação desse dispositivo e sugeriu que o CALTECH e o MIT fizessem uma parceria. No ano seguinte, em 1987, o físico norte-americano Rochus E. (“Robbie”) Vogt, tornou-se o primeiro diretor do LIGO, que estava sendo gerenciado pelo CALTECH. Por fim, em 1990, o LIGO foi aprovado, sendo então o mesmo detalhado em um artigo escrito em 17 de abril de 1992 (*Science* **256**, p. 325), assinado por Alex Abramovici, William E. Althouse, Drever, Yekta Gursel, Seiji Kawamura (*Jet Propulsion Laboratory*), Frederick J. Raab, Lisa Sievers (*Jet Propulsion Laboratory*), Robert E. Spero, Thorne, Vogt, Whitcomb e Michael E. Zucker, do CALTECH, além de David H. Shoemaker e Weiss, do MIT.

Por sua vez, na Europa, a ideia de detectar as OG partiu de pesquisadores de seis países (França, Itália, Holanda, Polônia, Hungria e Espanha), sob a liderança da França e da Itália, por intermédio do *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) (“Centro Nacional de

Pesquisa Científica”), em 1993, e do *Istituto Nazionale di Física Nucleare* (INFN) (“Instituto Nacional de Física Nuclear”), em 1994, ao criarem o **Detector Virgo** nome derivado do fato de que tais cientistas queriam observar o Virgo Cluster (“Aglomerado de Virgem”), com cerca de 1.500 galáxias da Virgo Constellation (“Constelação de Virgem”), distante cerca de 50×10^6 anos-luz da Terra. Em 1996, o CNRS e o INFN, iniciaram a viabilização do Virgo (en.wikipedia.org/Virgo).

Agora, vejamos a construção desses detectores e suas atualizações (avanços). Segundo registramos acima, o LIGO foi proposto a NSF, em 1989, por uma colaboração entre alguns cientistas do CALTECH e do MIT, com seus detalhes publicados em 1992 (*Science*, op. cit.). Uma vez que essa construção envolvia milhões de dólares, sua viabilidade econômica deveu-se, fortemente, ao nobelista Barish, que havia se bacharelado (1957) e se doutorado (1962), em Física, na *University of California/Berkeley*. Em 1963, juntou-se ao CALTECH, para fazer parte do famoso grupo de *Física Experimental de Alta Energia*, que havia sido criado pelo físico-norte-americano Ernest Orlando Lawrence (1901-1958; PNF, 1939), no começo da década de 1930. Como Barish tornou-se um cientista de alto prestígio científico, embora não tenha participado do grupo inicial do LIGO, em 1994 ele tornou-se seu principal pesquisador e conseguiu, neste mesmo ano, a aprovação do projeto LIGO pela NSF e, para dar seguimento à construção do LIGO, Barish criou, em 1997, a *LIGO Scientific Collaboration* (LSC) e indicou Weiss para ser seu primeiro *spokeperson* (“porta-voz”).

O LIGO foi construído, em 1999, e é constituído de dois observatórios (cada um do tipo IM-M, em forma de L, com 4 km de comprimento de lado) para detectar as OG: o *Hanford Observatory*, do *Hanford Nuclear Reservation*, próximo de Richland, Washington (WA), e o *Livingston Observatory*, em Livingston, Los Angeles (LA), separados por 3.002 km, que corresponde a 10 ms ($1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$) na chegada das OG, uma vez que esta viaja, teoricamente, com a velocidade da luz no vácuo ($c = 300.000 \text{ km/s}$). Observe-se que o LIGO, começou a operar em 23 de agosto de 2002, mas somente foi finalizado em 2010 por dificuldades orçamentárias.

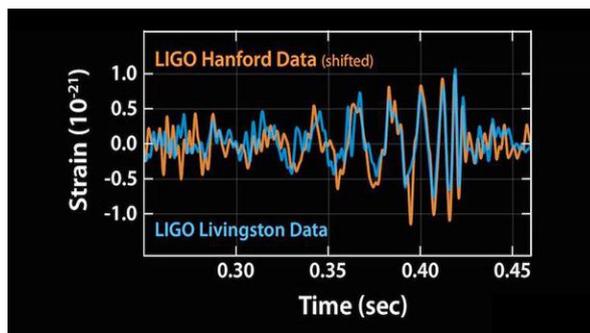
Em dezembro de 2000, o CNRS e o INFN criaram o *European Gravitational Observatory* (EGO), para promover a pesquisa em Gravitação, na Europa, sendo um de seus objetivos a construção e a atualização do Virgo, localizado em Cascina, próximo de Pisa, na Itália. Esse detector possui um IM-M, tendo 3 km cada um de seus lados.

Em 2007, os detectores LIGO e Virgo resolveram compartilhar

os resultados de seus trabalhos realizados por intermédio da *LIGO* e *Virgo Collaborations*, correspondentes às três detecções das OG, resultantes da **fusão de buracos-negros** (BN) e de uma quarta decorrente da **fusão de um par de estrelas de nêutrons**, tema principal do PNF/2017. Vejamos essas detecções.

PRIMEIRA DETECÇÃO (GW150914)

Por ocasião de uma Conferência realizada na NSF, em Washington, D.C., em 11 de fevereiro de 2016, o físico norte-americano David Reitze (n.1961), Diretor Executivo do LIGO anunciou que duas Colaborações Internacionais (*LIGO Scientific Collaboration* e *Virgo Collaboration*) haviam observado (desde 14 de setembro de 2015) **Ondas Gravitacionais** (OG) provindas da fusão (*merger*) de um binário de **buracos-negros** (BN) com cerca de $62 M_{\odot}$ (M_{\odot} = massa do Sol $\approx 12,4 \times 10^{31}$ kg) e a uma distância de $\approx 1,2 \times 10^9$ anos-luz ($\approx 1,2 \times 10^{25}$ m) da Terra, evento esse conhecido como GW150914. Note-se que essas OG (“ondas no espaço-tempo”) produziram expansões e contrações nos lados dos dois LIGOS da LSC (cujos braços estariam em posição favorável para a medida, inclusive com uma frequência de 250 Hz pouco antes do *merger*), registradas em cada um de seus detectores (um em Hanford e o outro em Livingston) e com uma diferença de tempo de 7×10^{-3} s. {Para detalhes sobre como ocorrem os registros nos detectores, ver: M. Cattani [*arXiv:1004.2470v1 (gr-qc)* (2010)]}. É interessante destacar que este resultado corresponde ao *confidence limit* (“limite de confiança”): $CL > 5,1 \sigma$ (99,9999%, significando ser menor do que **um** evento em cada 203.000 anos). Assim, em 12 de fevereiro de 2016, esse trabalho foi publicado na *Physical Review Letters* **116**, article number (a.n.) 061102, com o título: **Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger**, com 1.011 autores [incluindo os três nobelistas: Weiss (LIGO/MIT), Barish (LIGO/CALTECH) e Thorne (CALTECH RELATIVITY THEORY GROUP)], pertencentes a 133 *Instituições de Pesquisas Internacionais* (p. ex.: *Centros, Institutos e Universidades*), com destaque para duas brasileiras: 1) *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, em São José dos Campos, em São Paulo (INPE/SP) e 2) *Instituto de Física Teórica/Universidade Estadual Paulista* (IFT/UNESP) em colaboração com o *International Centre for Theoretical Physics/South American Institute for Fundamental Research* (ICTP/SAIFR), de São Paulo.



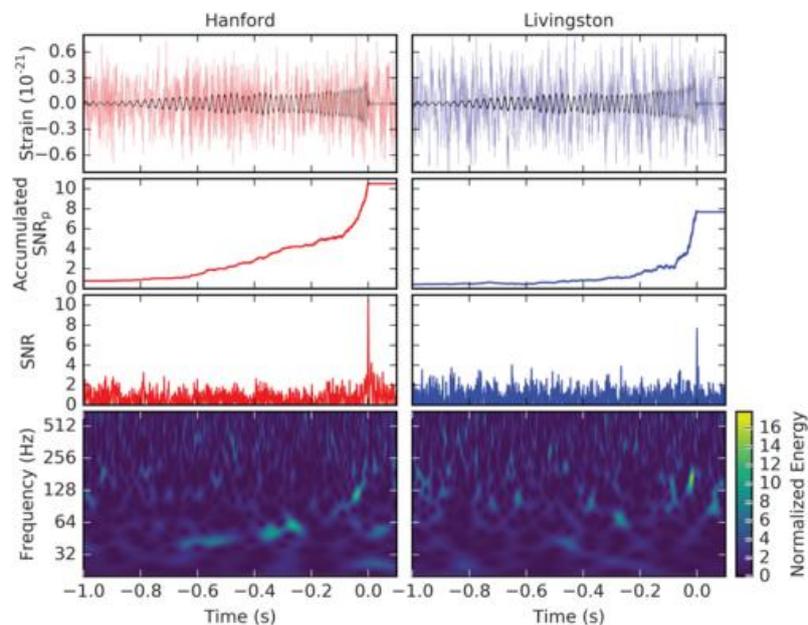
Neste instante, é oportuno destacar que existe outra interpretação para o evento (GW150914). Vejamos qual. Com uma visão instantânea de 70% do céu e 0,4 s depois do mesmo, o **Gamma-ray Burst Monitor** (GBM) [pertencente ao *Fermi Gamma-ray Space Telescope* (Fermi-GRST), levado pelo foguete DELTA II7920-H e lançado pela NASA, em 11 de junho de 2008], detectou a presença de uma fonte fraca de energia eletromagnética acima de 50 keV e com a duração de 1 s. No artigo publicado pelo GBM [*arXiv:1602.03920v3 (astro-ph.HE)*], em seu *Abstract*, seus 29 principais pesquisadores dizem que essa observação parece não estar conectada com nenhuma outra atividade astrofísica (solar, terrestre ou magnetosférica). Porém, por ser consistente com a direção do GW150914, tal observação sugere que tenha ocorrido uma **erupção de raios gama** (γ) e, portanto, incompatível com a **fusão de buracos negros**. Em vista disso, esses pesquisadores passaram a calcular a luminosidade (L) correspondente a emissão de **raios-X duros**, entre 1 keV e 10 MeV, e encontraram que: $L = [1,8^{+1,5}_{-1,0} \times 10^{49} \text{ (erg/s)}]$. Esse valor, ainda segundo os autores, tem uma confiabilidade de 75% e, mais ainda, assumindo que os dois eventos (LIGO/GBM) sejam correspondente ao mesmo GW150914, somente uma colaboração futura desses dois observatórios possa reduzir a 90% o intervalo de confiança numa locação do céu de 601 para 199 deg^2 . Observe-se que $\text{deg}^2 [\equiv (^\circ)^2]$ (“graus quadrados”) é uma medida de ângulo sólido, dado pela expressão: $(\pi/180)^2 \approx 3,0462 \times 10^{-4}$ esferoradianos. Registre-se que a associação desse evento com a emissão celeste de γ foi descartada, pois ele foi associado com uma atividade terrestre.

SEGUNDA DETECÇÃO (GW151226)

Uma segunda observação de OG foi registrada pelos dois *detectores-avanzados* do LIGO (Hanford e Livingston) em 26 de dezembro de 2015. Esse evento, denominado de GW151226, teve seu sinal detectado identicamente ao do evento GW150914 e foi gerado pela

coalescência de um sistema binário formado por dois *buracos negros* (BN) com massas $\approx 14,2 M_{\odot}$ e $\approx 7,5 M_{\odot}$ (sendo sua massa total de $\approx 20,8 M_{\odot}$), tendo um dos componentes um spin $> 0,2$. A fonte de OG estaria localizada a uma distância de $\approx 1,3 \times 10^9$ anos-luz ($\approx 1,3 \times 10^{25}$ m) da Terra. A onda detectada durou cerca de 1 s e a frequência das ondas variou de 35 a 450 Hz, e apresentou um CL $> 5 \sigma$.

Em 15 de junho de 2016, essa detecção foi publicada na *Physical Review Letters* **116**, a.n. 241103, com o título: **Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence**, com 979 autores [incluindo os nobelistas: Weiss (LIGO/MIT) e Barish (LIGO/CALTECH)], pertencentes a 141 *Instituições de Pesquisas Internacionais*, ainda com a participação das brasileiras: INPE/SP e IFT/UNESP-ICTP/SAIFR.

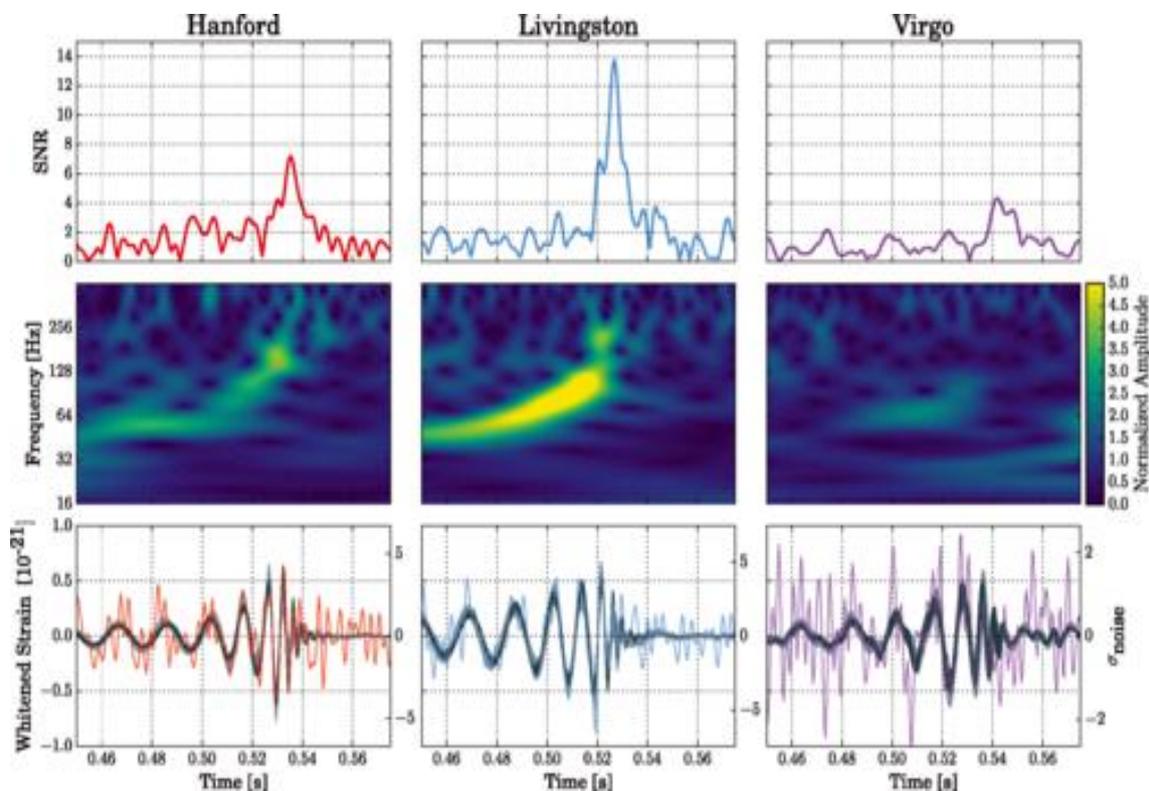


TERCEIRA DETECÇÃO (GW170814)

Uma terceira detecção das OG foi realizada no dia 14 de agosto de 2017 pelos dois *detectores-avançados* do aLIGO (Hanford e Livingston/USA) e pelo *detector-avançado* do adVirgo (Cascina/Itália), em um evento denominado de GW170814. As equipes dos três detectores [que observaram uma região de 60 deg^2 do Universo usando uma *Técnica de Triangulação* (TT) e que lhe permitiram, pela primeira vez, testar a natureza de polarização das OG] acreditam que as OG

detectadas foram emitidas durante os momentos finais da fusão (coalescência) de dois BN, um com uma massa $\approx 31 M_{\odot}$, o outro com $\approx 25 M_{\odot}$. Esse evento, localizado a $\approx 1,8 \times 10^9$ anos-luz ($\approx 1,8 \times 10^{25}$ m) da Terra e que resultou em um **buraco negro rotativo** (BNR) com $\approx 53 M_{\odot}$, o que significa que $\approx 3 M_{\odot}$ foram convertidas em energia de OG durante a fusão, apresentou uma taxa de *alarme-falso* de $\lesssim 1$ em 27.000 anos.

O PNF/2017 foi anunciado pelo CN em 03 de outubro de 2017 e, logo depois, em 06 de outubro, essa terceira detecção foi publicada na *Physical Review Letters* **119**, a.n. 141101, com o título: **A Three-Detector Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Coalescence**, com 1.108 autores [incluindo os nobelistas: Weiss (LIGO/MIT) e Barish (LIGO/CALTECH)], pertencentes a 160 *Instituições de Pesquisas Internacionais* [dentre elas as brasileiras: INPE/SP e o *International Institute of Physics* da *Universidade Federal do Rio Grande do Norte* (IIP/UFRGN)].

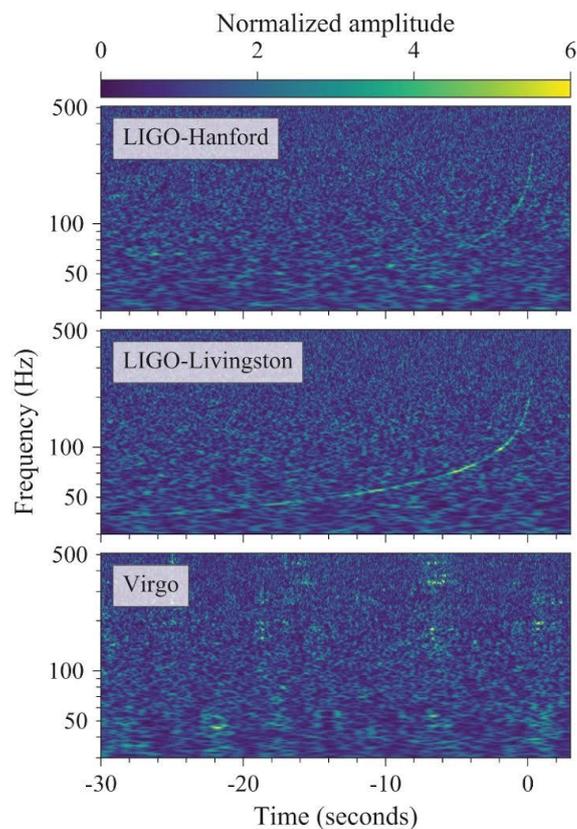


QUARTA DETECÇÃO (GW170817)

Uma quarta detecção, registrada no dia 17 de agosto de 2017,

além de confirmar os resultados das três detecções anteriores (sobre as OG devido à fusão de BN), anunciou uma descoberta inédita: a **fusão de um par de estrelas de nêutrons** (EN) produziu, além de OG, **ondas eletromagnéticas** (OEM) em várias frequências: *rádio, radiação luminosa visível, infravermelho, ultravioleta, raios-X duros e raios γ* . Vejamos como isso aconteceu.

Assim, naquele dia (17), o GBM anunciou ao mundo que havia identificado um sinal decorrente de uma **erupção de raios gama** (γ) e seguida de uma explosão violenta, chamada então de **kilonova**, que ocorreu em uma região no céu do hemisfério Sul, na galáxia NCG 4993, na direção da *constelação de Hydra*, sinal esse oriundo da fusão de um binário de objetos celestes altamente massivos. Note-se que a *Collaboration* aLIGO/adVirgo detectou uma OG longa e com a duração de ≈ 100 s, com seu pico gravitacional 1,7 s antes da detecção do GBM. Imediatamente vários observatórios no mundo (em terra e no espaço) começaram a investigar esse evento. Por exemplo, aquela *Colaboração*, ainda no dia 17, usou seus dados em conjunto para estudar esse evento. Realizado esse estudo, elas comunicaram, no dia 16 de outubro, que haviam publicado na *Physical Review Letters* **119**, a.n. 161101, o artigo intitulado: **Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral**. Em seu *Abstract*, seus autores afirmaram que o sinal, que recebeu a denominação de GW170817, apresentava uma *razão de sinal-ruído* de 32,4 e com um *alarme-falso* < 1 em 80.000 anos. Eles encontraram que o componente massivo do binário celeste estava no intervalo de $(0,86 - 2,26) M_{\odot}$, de acordo com as massas conhecidas de **estrelas de nêutrons** (EN). Além do mais, também inferiram que as massas dos componentes do binário variavam de $(1,17 - 1,60) M_{\odot}$, sendo a massa total do sistema de $2,74^{+0,04}_{-0,01} M_{\odot}$. Eles também informaram que a fonte do evento estava localizada em uma região do céu de 28 deg^2 (90% de probabilidade) e sua luminosidade se encontrava a uma distância de 40^{+8}_{-14} Mpc ($\approx 0,13 \times 10^9$ anos-luz). Note-se que esse artigo foi assinado por 1.096 autores, incluindo os nobelistas: Weiss, Barish e Thorne, pertencentes a 162 *Instituições de Pesquisas Internacionais* (ainda dentre elas, as brasileiras: INPE/SP e IIP/UFRGN).



Na conclusão deste verbete, é oportuno fazer quatro (4) comentários e um agradecimento especial. O primeiro se relaciona com o título do artigo, pois acreditamos que o fato histórico sobre a saída de Weiss da Alemanha Nazista para os Estados Unidos (em 1939), foi fundamental para o encontro dele com os outros dois nobelistas: Thorne e Barish. O segundo tem haver com a morte de Drever, em 07 de março de 2017, uma vez que ele foi um dos inventores do LIGO, junto com Weiss e Thorne. Certamente se ele estivesse vivo por ocasião da escolha do PNF/2017, em 03 de setembro de 2017, a *Nobel Foundation* teria duas alternativas: a) alterar o número máximo de nobelistas, para cinco (5), para incluí-lo, bem como Vogt, por este haver também trabalhado bastante para o êxito do LIGO na detecção das OG; ou b) escolher outro tema da Física e manter o número mágico 3. O terceiro é o nome das *Nobel Lectures*, apresentadas pelos nobelistas no dia 08 de dezembro de 2017: **LIGO and Gravitational Waves I** (Weiss); **LIGO and Gravitational Waves II** (Barish); **LIGO and Gravitational Waves III** (Thorne). O quarto relaciona os nomes dos físicos brasileiros, do INPE/SP, que participaram desse grande evento: Odylio Denys Aguiar; César Augusto Costa; Márcio Constâncio Junior; Elvis Camilo Ferreira e Allan Douglas dos Santos Silva, que participaram de todas as detecções, e Marcos André Okada, que participou das duas últimas detecções.

O agradecimento especial que fazemos é ao físico italiano Riccardo Sturani (que participou das quatro detecções, sendo as duas primeiras pelo IFT/UNESP-SICTP/SAIFR e as duas últimas pelo IIP/UFRGN) pelas importantes informações (via e-mails) dadas à elaboração deste verbete.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)