



LITTLE GREEN MEN: O EPISÓDIO DE DETECÇÃO DOS PULSARES E O PROTAGONISMO DE JOCELYN BELL BURNELL

Little Green Men: The Episode of Detection of Pulsars and the Leading Role of Jocelyn Bell Burnell

Larissa do Nascimento Pires [larissa.n.pires@hotmail.com]
*Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

Luiz O. Q. Peduzzi [luizpeduzzi@gmail.com]
*Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

Resumo

No ano de 1967, a então estudante de pós-graduação Jocelyn Bell identificou sinais pulsados de ondas de rádio, que posteriormente puderam corroborar observacionalmente a existência das estrelas de nêutrons. Neste trabalho, desenvolvemos um estudo histórico-epistemológico sobre o episódio de detecção dos pulsares a partir de relatos elaborados por Jocelyn Bell Burnell e por seu orientador, Antony Hewish, e de pesquisas que se debruçaram sobre este tema. Na análise epistemológica, consideramos, predominantemente, aspectos da filosofia da ciência de Thomas Kuhn e Norwood Hanson. Os resultados chamam atenção para o papel da serendipidade em uma descoberta científica e para a importância do trabalho coletivo em um período de ciência normal, que neste caso propiciaram novos estudos teóricos e observacionais para a compreensão deste novo objeto astronômico. Ressaltamos que a discussão da serendipidade e do acaso no contexto de ensino de ciências pode contribuir para desmistificar ideias equivocadas sobre este conceito, favorecendo uma melhor compreensão da natureza do conhecimento científico. O trabalho também possibilita evidenciar o protagonismo de uma mulher cientista em um importante episódio científico.

Palavras-Chave: História da Física e da Astronomia; Natureza da Ciência; Pulsares; Jocelyn Bell Burnell.

Abstract

In 1967, then graduate student Jocelyn Bell identified pulsed radio waves signals, which later corroborated observationally the existence of neutron stars. In this paper, we develop a historical-epistemological study about the episode of detection of pulsars, based on narratives written by Jocelyn Bell Burnell and by her advisor, Antony Hewish, and on researches about this topic. In the epistemological analysis, we predominantly consider aspects of the philosophy of science by Thomas Kuhn and Norwood Hanson. The results draw attention to the role of serendipity in a scientific discovery and to the importance of collective work in a period of normal science, which in this case provided new theoretical and observational studies to understand this new astronomical object. We emphasize the discussion of serendipity and chance in the context of science teaching can contribute to demystifying mistaken ideas about this concept, supporting a better understanding of the nature of scientific knowledge. The paper also makes it possible to highlight the role of a woman scientist in an important scientific episode.

Keywords: History of Physics and Astronomy; Nature of Science; Pulsars; Jocelyn Bell Burnell.

INTRODUÇÃO

*“Here was I trying to get a Ph. D. out of a new technique, and some silly lot of Little Green Men had to choose my aerial and my frequency to communicate with us” zookah
Jocelyn Bell Burnell (1977)¹*

Há pouco mais de cinquenta anos, o campo científico da Astronomia Moderna vivenciou um dos seus mais célebres eventos: a detecção observacional dos pulsares, que posteriormente corroboraram a existência das estrelas de nêutrons, possibilidade sugerida décadas antes, em 1930 (Longair, 2009). Apesar disso, a novidade desse achado residia no fato de que *“[...] ninguém suspeitava que estrelas de nêutrons pudessem emitir sinais pulsados de radiofrequência”* (Roberts, 1989, p. 121). A pesquisa protagonizada pela então estudante de pós-graduação Jocelyn Bell em seu doutorado na Universidade de Cambridge, durante os últimos anos da década de 1960, possibilitou o anúncio de

“[...] uma classe totalmente nova de estrelas que emitiam pulsos de ondas de rádio com extraordinária rapidez e precisão. Os pulsares foram logo reconhecidos como estrelas de nêutrons, as cinzas da evolução estelar que os astrônomos supunham serem fracas demais para serem detectadas da Terra” (Wade, 1975, p. 358).

A identificação dos pulsares *“[...] mostrou que objetos compactos, muito além das estrelas anãs brancas, existem”* (Kidger, 2007, p. 30). A biógrafa Sharon Bertsch McGrayne, em seu livro *Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries*, descreve que a pesquisa científica protagonizada por Jocelyn Bell *“[...] forneceu aos físicos novos laboratórios gigantes para o estudo de matéria superdensa, campos magnéticos superfortes, relatividade geral e gravitação”* (McGrayne, 1998, p. 357). Ademais, Almeida (2020, p. e20200197-2) aponta que o reconhecimento da possível existência dos buracos negros se fortaleceu por meio das *“[...] descobertas astronômicas dos quasares e pulsares e a ascensão da astrofísica relativística”*. Em suma, a identificação destes objetos propiciou uma melhor compreensão do processo de evolução estelar.

Além da sua relevância para o campo da Astronomia, os elementos históricos sobre o episódio de detecção deste novo objeto celeste proporcionam interessantes discussões, sob o ponto de vista educacional, acerca de aspectos relativos ao processo de construção de conhecimentos na ciência. Um destes curiosos aspectos diz respeito ao fato de que, à época da detecção, entre os membros do grupo em que Jocelyn Bell atuava como pesquisadora, se considerou *“[...] por um tempo que os sinais poderiam ser originários de outra civilização, motivo pelo qual eles apelidaram os pulsares de Little Green Men”* (Wade, 1975, p. 358). Não somente isso, McNamara (2008, p. 3) corrobora esta perspectiva elencando outros elementos sobre ciência envolvidos neste episódio:

“[...] a história do pulsar também está repleta de controvérsias, carreiras ameaçadas, comentários descuidados à mídia, o equilíbrio entre a comunicação científica aberta e a rivalidade que se esconde dentro e entre as instituições. É uma história de cooperação internacional e pesquisa de ponta em tecnologia. Acima de tudo, porém, é uma história de uma ciência fantástica”.

Outro aspecto, não menos importante, que a discussão histórica sobre os pulsares pode ensejar diz respeito à visibilidade das mulheres nas ciências, pelo fato de evidenciar o protagonismo da astrônoma Jocelyn Bell Burnell². Ainda que as investigações no âmbito do ensino de ciências com abordagens histórico-epistemológicas apresentem preocupações *“[...] em não reproduzir uma imagem de ciência neutra, rígida e elitista, [estas pesquisas] não têm mostrado a diversidade de personagens que produzem essa ciência”* (Lima, 2019, p. 64). Neste sentido, uma das reivindicações apresentadas em recentes trabalhos no âmbito da educação em ciências (Cordeiro, 2017; Lima, 2015; Maia Filho & Silva, 2019) diz respeito à elucidação de exemplos de mulheres cientistas cujas contribuições foram negligenciadas historicamente. De

¹ Tradução: *“Aqui estava eu tentando obter um doutorado com uma nova técnica, e alguns homenzinhos verdes tiveram que escolher minha antena e minha frequência para se comunicar conosco”*.

² À época do episódio de detecção dos pulsares, entre os anos de 1967 e 1968, a cientista assinou sua tese de doutorado com o nome *Susan Jocelyn Bell*. Entretanto, ao se casar, passou a assinar seus trabalhos com o nome *Jocelyn Bell Burnell*, como nos artigos em que relata a sua atuação neste episódio histórico.

fato, mediante a explanação histórica da atuação de mulheres no campo das ciências “[...] reconfiguramos a área de história das ciências, tornando-a mais representativa, a partir de novos olhares, novas narrativas e novas personagens mulheres” (Maia Filho & Silva, 2019, p. 137).

Cabe ressaltar que recentes trabalhos do campo de ensino se debruçaram em investigar os aspectos históricos de conceitos da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia, como a Teoria do Big Bang (Arthury & Peduzzi, 2015), a Lei de Hubble e a evolução do universo (Badgonas, Zanetic & Gurgel, 2017), a pré-história dos buracos negros (Almeida, 2020), as contribuições de Cecília Payne na composição estelar (Vieira, Massoni & Alves-Brito, 2021). Em relação aos pulsares, no entanto, Pires e Peduzzi (2021a) desenvolveram uma revisão bibliográfica na qual evidenciaram que esta temática ainda é pontualmente discutida sob uma perspectiva histórica em pesquisas do âmbito do ensino de Física e de Astronomia; algumas exceções, por exemplo, são as pesquisas de Araújo (2017) e Costa, Polati e Allen (2018), que apresentam aspectos históricos sobre os pulsares no contexto do ensino de conceitos de Radioastronomia e Evolução Estelar, respectivamente.

Assim, considerando a potencialidade deste episódio histórico para discussão destes importantes aspectos para o campo da educação em ciências, objetivamos, neste artigo, desenvolver uma discussão histórico-epistemológica acerca do episódio de detecção dos pulsares. Neste sentido, intencionamos prover respostas para as seguintes perguntas de pesquisa: “Que contribuições apresenta a pesquisa desenvolvida pela cientista Jocelyn Bell Burnell para o campo da Astronomia, no que se refere ao episódio de detecção dos pulsares? Que discussões sobre Natureza da Ciência podem ser abordadas por meio dos aspectos apresentados no episódio de detecção deste objeto?”.

Nesta perspectiva, o artigo apresenta a seguinte estrutura: inicialmente, elencamos elementos relacionados ao embasamento teórico-metodológico da pesquisa, que envolvem a defesa da utilização didática da História e Filosofia da Ciência. Em seguida, construímos um percurso histórico sobre o episódio de detecção dos pulsares, baseado em relatos das/os cientistas envolvidas/os, o que compreende desde a entrada de Jocelyn Bell no grupo de radioastrônomos na Universidade de Cambridge até a detecção dos pulsares pela cientista. Posteriormente, por meio da análise epistemológica desta discussão histórica, explicitamos determinados aspectos sobre a Natureza da Ciência presentes neste episódio, com base em reflexões de autores da moderna filosofia da ciência.

PRESSUPOSTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Diversas pesquisas do campo da Educação em Ciências (Matthews, 1995; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Freire Jr, 2002; Martins, 2007; Forato, 2009; Forato, Pietrocola & Martins, 2011; Oliveira & Silva, 2012; Moura, 2014; Krupczak & Aires, 2018; Peduzzi & Raicik, 2020) sugerem a utilização, em sala de aula, de elementos de História e de Filosofia da Ciência (HFC). Tais pesquisas apontam potencialidades, por possibilitar que docentes e discentes reconheçam as variadas particularidades presentes no processo de construção do conhecimento científico, sem restringir o ensino apenas à apresentação dos resultados científicos. De outra forma, o reconhecimento dos conteúdos da ciência “[...] é condição necessária, e indispensável, mas não suficiente para saber sobre a ciência, sobre a natureza do empreendimento científico” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 20).

Em termos de sua potencialidade pedagógica, cabe ressaltarmos que a abordagem histórico-filosófica promove discussões profícuas acerca de aspectos da Natureza da Ciência (NdC). Em especial, alguns trabalhos (Henrique, Andrade & L’Astorina, 2010; Carvalho, Nascimento & Silva, 2017; Gorges Neto & Arthury, 2021) elaboram discussões sobre a articulação de elementos de NdC com a História da Astronomia. Apesar do caráter multifacetado acerca da sua definição, podemos compreender que, em linhas gerais

“A natureza da Ciência é entendida como um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico. Isto pode abranger desde questões internas, tais como método científico e relação entre experimento e teoria, até outras externas, como a influência de elementos sociais, culturais, religiosos e políticos na aceitação ou rejeição de ideias científicas” (Moura, 2014, p. 32).

Podemos evidenciar determinados aspectos sobre a NdC mediante o desenvolvimento de narrativas sobre episódios históricos, pois, “estudos historiográficos trazem elementos que subsidiam discussões acerca da gênese do conhecimento científico” (Moura, 2014, p. 33). Neste sentido, a partir de

pressupostos elencados por Cellard (2012), construímos uma narrativa histórica baseada em elementos da análise documental. Assim, as fontes primárias utilizadas para a escrita da narrativa consistem em artigos redigidos por Jocelyn Bell Burnell sobre o episódio de detecção dos pulsares (Bell Burnell, 1977, 1983, 2004, 2007, 2010, 2017, 2018) bem como o relato desenvolvido pela astrônoma enquanto estudante de pós-graduação, presente no apêndice da sua tese de doutorado (Bell, 1969). Da mesma forma, como contribuição à narrativa, são elencadas algumas reflexões expostas no discurso de Antony Hewish, orientador de Jocelyn Bell Burnell, na Conferência do Prêmio Nobel de Física do ano de 1974 (Hewish, 1974). Estas fontes permitem uma imersão em aspectos do contexto de descoberta e justificação do achado científico. Em termos das fontes secundárias, são mencionadas reflexões de estudiosas/os que se debruçaram no estudo deste episódio (Wade, 1975; McGrayne, 1998; Longair, 2006, 2011; McNamara, 2008; Dick, 2013; Penny, 2013; Graham-Smith, 2014; Vidal, 2019), que apresentam possíveis interpretações em retrospectiva sobre o episódio em questão.

A análise preliminar da construção histórica desenvolvida permitiu identificar determinados elementos de Natureza da Ciência que podem ser investigados mediante reflexões baseadas na moderna filosofia da ciência. Por exemplo, é perceptível a presença da serendipidade no processo de detecção dos pulsares. A potencialidade de discussões sobre este aspecto, quando presente no processo de geração de conhecimento, é mencionado por Peduzzi e Raicik (2020). Neste âmbito, as reflexões histórico-epistemológicas desenvolvidas incluíram, predominantemente, conceitos da filosofia da ciência de Thomas Kuhn (2011, 2017, 2018) e Norwood Hanson (1967). Definimos a escolha destes autores pelo fato de que ambos discutem características das descobertas científicas e, principalmente, a presença da serendipidade no trabalho científico. As ponderações de Thomas Kuhn, em específico, oportunizam discutir a existência das práticas científicas em um contexto de ciência normal no âmbito da detecção dos pulsares. Cabe apontar, ainda, no que se refere às discussões sobre serendipidade, que consideramos trabalhos específicos que versam sobre este aspecto na ciência, como os de Rosenman (1988), Van Andel (1994), Merton e Barber (2004), Norrby (2010), Gillies (2015) e Copeland (2019).

O EPISÓDIO DE DETECÇÃO DOS PULSARES

A Procura por Quasares por Jocelyn Bell

Ainda que os objetos estelares denominados pulsares tenham sido identificados no ano de 1967 mediante os esforços acadêmicos de Jocelyn Bell (1943-), de seu orientador Antony Hewish (1924-2021), além de outros integrantes do grupo de radioastrônomos de Cambridge, “[...] *as sementes desta conquista foram plantadas muito antes, durante a emocionante época em que a radioastronomia se desenvolveu em uma busca especializada de físicos e engenheiros*” (Longair, 2011, p. 147). As ondas de rádio cósmicas, identificadas por Karl Jansky (1905-1950) e Grote Reber (1911-2002), na década de 1930, possibilitaram o início do desenvolvimento de um emergente campo na Astronomia: a radioastronomia³, que “[...] *era capaz de realizar descobertas completamente independentes da astronomia óptica. Uma nova era na pesquisa científica havia começado*” (McNamara, 2008, p. 33).

Após a Segunda Guerra Mundial, “*a tecnologia do rádio passou por uma grande evolução*” (McNamara, 2008, p. 30), possibilitando que muitos grupos de radioastrônomos comesçassem a investigar a natureza das emissões cósmicas de rádio. Neste contexto, “*os principais grupos envolvidos eram Cambridge, Manchester e Sydney*” (Longair, 2011, p. 147). O grupo de pesquisa de Cambridge era liderado por Martin Ryle (1918-1984), sendo Antony Hewish um dos integrantes. O objetivo desses cientistas consistia em desenvolver técnicas que possibilitassem a obtenção de “*alta resolução angular⁴ e sensibilidade combinando coerentemente os sinais de rádio recebidos por conjuntos de telescópios*” (Longair, 2011, p. 147). Antony Hewish, especificamente, ingressou neste grupo em 1948, sendo seu interesse investigar o “[...] *problema geral da propagação da radiação através de meios transparentes irregulares. Todos nós conhecemos o cintilar das estrelas visíveis e minha tarefa era entender por que as estrelas que emitiam em ondas de rádio também cintilavam*” (Hewish, 1974, p. 174). De outra forma,

“A pesquisa de Hewish envolveu a compreensão da natureza das flutuações, ou cintilações, das intensidades das fontes de rádio devido às nuvens de plasma em movimento [...] Assim como as estrelas cintilam mesmo nas noites mais claras, as

³ Em sua dissertação de mestrado, Araújo (2017) menciona aspectos históricos do surgimento da radioastronomia.

⁴ Resolução angular consiste na relação entre as dimensões do telescópio e a frequência das ondas eletromagnéticas. Na radioastronomia, para se conseguir “[...] *um poder de resolução comparável com a resolução dos telescópios ópticos, os instrumentos devem ter dimensões exageradamente grandes*” (Gregorio-Hetem, Jatenco-Pereira & Oliveira, 2010, p. 63).

fontes pontuais de emissão de rádio cintilam, especialmente nos longos comprimentos de onda do rádio” (Longair, 2011, p. 147).

No decorrer da década de 1950, os princípios físicos do processo de cintilação foram estudados por Hewish (1951, 1952). Em seu discurso na Conferência Nobel, Hewish (1974, p. 174) aponta que “*se as fontes de rádio fossem de tamanho angular pequeno o suficiente, elas iluminariam a atmosfera solar com coerência aceitável para produzir padrões de interferência na Terra que seriam detectáveis como uma flutuação muito rápida de intensidade*” (Hewish, 1974, p. 174). Ele aponta que, no entanto, pela falta de evidências disponíveis para verificação desta hipótese, a conjectura não fora levada adiante. No ano de 1962, porém, a astrofísica Margaret Clarke

“[...] percebeu que três fontes particulares mostravam variações de intensidade. Ela apontou que duas das fontes eram conhecidas por terem tamanhos angulares de menos de 2 segundos de arco e estimou que um mecanismo de cintilação exigia irregularidades no plasma [...] mas concluiu que as flutuações eram um mistério não resolvido” (Hewish, 1974, p. 174).

A partir destas contribuições e com o auxílio de outros radioastrônomos, Antony Hewish aprofundou seus estudos sobre o fenômeno denominado de cintilação interplanetária, o qual foi corroborado experimentalmente mediante a observação de fontes de rádio já conhecidas (Hewish, Scott & Wills, 1964). Em um de seus relatos, Jocelyn Bell define este fenômeno como a “*aparente flutuação na intensidade da emissão de rádio de uma fonte de rádio compacta*” e que ocorre devido “*à difração das ondas de rádio na medida em que atravessam o turbulento vento solar no espaço interplanetário*” (Bell Burnell, 1977, p. 685). Com base em investigações sobre estas cintilações provenientes de fontes de rádio, seria possível desenvolver

“[...] o estudo de três importantes áreas astronômicas: permitiria que muitos mais quasares fossem descobertos; seus tamanhos angulares poderiam ser estimados; e a estrutura e a velocidade do vento solar poderiam ser determinadas” (Longair, 2011, p. 150).

Um dos objetos estelares investigados pelos radioastrônomos de Cambridge foram os quasares, identificados por Maarten Schmidt (1929-) em meados dos anos de 1960. O achado deste astrofísico fora publicado no artigo *3C273: a star-like object with a large red-shift*, na *Nature*, em 1963, revelando que “*o objeto estelar consiste em uma estrela com um grande desvio para o vermelho [...] correspondendo a uma velocidade aparente de 47,400 km/s*”, (Schmidt, 1963, p. 1040). Além disso, “[...] *ser detectável em comprimentos de onda visíveis ou de rádio significava que 3C273 era incrivelmente brilhante, implicando suprimento e energia em uma escala nunca antes conhecida*” (McNamara, 2008, p. 37). Os quasares se transformaram no objeto de pesquisa de muitos astrônomos, incluindo Antony Hewish. Neste contexto, a cientista Jocelyn Bell, recém-formada em Física na Universidade de Glasgow, ingressou como estudante de doutorado no grupo de radioastrônomos da Universidade de Cambridge (Bell Burnell, 1977, 1983, 2004). Em um de seus relatos, a pesquisadora aponta que

“A natureza tem sido muito gentil conosco, porque as fontes compactas que mostram esse tipo de cintilação [interplanetária] tendem a ser os quasares, e as fontes de rádio de maior diâmetro angular que não cintilam são as galáxias de rádio mais comuns. Tony Hewish percebeu que essa seria uma excelente técnica para encontrar os quasares e ele fez um pedido de subvenção para construir um grande telescópio, especificamente para monitorar o céu em busca de fontes que mostrassem essa cintilação” (Bell Burnell, 1983, p. 160).

Em outras palavras, mediante esta técnica, havia a possibilidade de não somente “*estudar as flutuações de densidade no plasma interplanetário e seus movimentos, mas também [...] descobrir quasares, pois muitos deles são fontes de rádio compactas e, portanto, deveriam exibir grandes cintilações de rádio em baixas frequências*” (Longair, 2006, p. 193). Assim, o objetivo da pesquisa de doutorado de Jocelyn Bell consistiu em investigar o diâmetro angular de quasares, considerados “*os objetos detectáveis mais distantes do universo e também fontes extremamente poderosas de ondas de rádio*” (Bell Burnell, 2007, p. 579). Além disso, “*poucos eram conhecidos, e o objetivo do projeto no qual participei era descobrir mais com um novo radiotelescópio*” (Bell Burnell, 2017, p. 831). Naquela época,

“Os quasares eram um fenômeno celeste novo e celebrado. Esses luminosos sinais de rádio eram tão pontuais quanto às estrelas e ainda mais distantes que as galáxias. O que poderia estar tão distante, mas brilhar tão intensamente? [...] As

respostas a essa e a centenas de outras perguntas mantiveram a astronomia movimentada, mas o próximo passo lógico era ver quantos quasares estavam lá fora e como eles eram” (McNamara, 2008, p. 39).

Para desenvolver estes estudos, o grupo de pesquisa dirigido por Hewish construiu, entre os anos de 1965 e 1967, o radiotelescópio *Interplanetary Scintillation Array* (Figura 1), financiado pela Universidade de Cambridge, cujo objetivo era “[...] realizar um levantamento em grande escala de mais de mil galáxias de rádio usando cintilação interplanetária” (Hewish, 1974, p. 175). Os dois primeiros anos do doutorado de Jocelyn Bell foram destinados à construção do equipamento, sendo a pesquisadora também responsável pela sua manutenção. Seu orientador descreve que “[...] naquele ano, uma nova estudante de graduação, *Jocelyn Bell*, se juntou a mim, e ela se tornou responsável pela rede de cabos” do radiotelescópio (Hewish, 1974, p. 175).



Figura 1 – Jocelyn Bell e o radiotelescópio *Interplanetary Scintillation Array* (Extraído de Feder, 2019).

O radiotelescópio ocupava uma área de 1,8 hectares, o que equivale a cerca de cinquenta quadras de tênis (Bell Burnell, 1977) e foi construído com uma série de seis mil postes de madeira, além de trezentos e vinte quilômetros de cabos e mais de dois mil dipolos de cobre (Bell Burnell, 2004). Em um dos relatos da astrônoma, se apresenta, curiosamente, uma preocupação quanto à permanência física do radiotelescópio, pelo fato de que sua construção ocorreu “[...] no auge da crise de cobre na Rodésia⁵, utilizando várias toneladas de fios de cobre, e sempre tivemos pesadelos de que, ao sairmos em uma manhã, alguém pudesse ter aparecido e removido os fios de cobre com alicates” (Bell Burnell, 2004, p. 1.7).

A grande área ocupada pelo radiotelescópio era justificada pelo fato de que a frequência de coleta dos sinais, na faixa de 81,5 MHz (comprimento de onda de 3,7 m), era extremamente baixa, “a fim de se registrar as intensidades das rápidas flutuações de fontes de rádio em escalas de tempo tão curtas quanto um décimo de segundo” (Longair, 2011, p. 150). Sobre isso, a cientista também justificou que, pelo fato da cintilação ser um fenômeno que ocorre de maneira muito repentina

“[...] tem que ter um sistema que responda rápido o suficiente para acompanhar as mudanças no brilho. Portanto, o instrumento deve ter uma constante de tempo curta, como feito em uma exposição rápida com uma câmera. Se você tem uma constante de tempo curta você perde algumas das vantagens de integrar por um longo tempo. Você tem problemas de relação sinal-ruído e a maneira de contorná-los é aumentar a área de coleta de seu radiotelescópio” (Bell Burnell, 2004, p. 1.7).

O equipamento *Interplanetary Scintillation Array* entrou em operação no mês de julho de 1967 (Longair, 2006). A partir dele, a astrônoma coletou informações sobre quasares localizados a bilhões de anos-luz de distância (McGrayne, 1998). Para a coleta dos sinais de ondas de rádio pelo equipamento, seus fios eram “[...] conectados a um laboratório central de forma que o telescópio tivesse ‘feixes’ que apontavam para o sul e para uma declinação⁶ fixa no céu. Conforme a Terra girava, um círculo de céu daquela declinação varria cada feixe a cada dia” (Penny, 2013, p. 2). Sobre isso, a astrônoma relata que

⁵ A Rodésia do Norte, atual Zâmbia, foi uma das colônias britânicas responsáveis pela produção de minério de cobre; declarou sua independência no ano de 1963 (Mazrui & Wondji, 2010).

⁶ De acordo com Oliveira Filho e Saraiva (2014, p. 18), declinação consiste no “arco medido sobre o meridiano do astro, com origem

“Usamos quatro feixes por vez para escanear quatro declinações diferentes e, em seguida, mudamos para um conjunto diferente de feixes no dia seguinte, e assim por diante, de modo que demoramos quatro dias examinando todo o céu entre declinações de -10 e +50. Isso significa que cada pedaço do céu foi observado cerca de 30 vezes em um intervalo de 6 meses” (Bell Burnell, 1983, p. 162).

O equipamento registrava as observações em longos gráficos, cuja extensa análise era de responsabilidade da astrônoma. Segundo Bell Burnell (2004, p. 1.8), *“uma das coisas com as quais você deve se habituar ao começar a operar um radiotelescópio é o efeito da interferência e como ela aparece nos gráficos [...] Também nos acostumamos a identificar os quasares”*. Por sua vez, McGrayne (1998, p. 365) menciona outro relato da astrônoma relativo à diferenciação entre sinais de interferência e os sinais provenientes de quasares:

“Radiotelescópios são muito sensíveis - eles têm a finalidade de detectar os fracos sinais de raios cósmicos - mas isso significa que eles são facilmente inundados por interferência de rádio local. Felizmente, a cintilação e a interferência geralmente parecem diferentes nos gráficos, e logo se aprende a distingui-las”.

Bell Burnell atuava em sua pesquisa *“[...] mapeando os sinais que eram verdadeiras fontes de rádio cintilantes e descartando aqueles que vinham de fontes de interferência feitas pelo homem [...] altímetros de aeronaves e estações de rádio piratas”* (Wade, 1975, p. 359). Hewish (1974, p. 175), por sua vez, descreve que as fontes de ondas de rádio poderiam *“[...] ser distinguidas da interferência elétrica, uma vez que é improvável que esta se repita com as mesmas coordenadas celestes”*. Entretanto, apesar de computadores já existirem naquela época, os sinais registrados eram analisados manualmente por Jocelyn Bell. Sobre este aspecto envolvido no processo de observação destes objetos celestes, a astrônoma menciona algumas das razões para esta escolha metodológica:

“Analisá-los [os gráficos] manualmente foi uma decisão deliberada, em parte porque, com o novo equipamento, você não deseja colocá-lo diretamente no computador; você quer dar uma olhada e ver o que está acontecendo e ver se está funcionando bem. A outra razão pela qual foi feito manualmente, é porque não tínhamos certeza de que poderíamos programar um computador para distinguir entre essas cintilações e as interferências humanas. E certamente, quando comecei a fazer a análise, era possível reconhecer as fontes cintilantes, e reconhecer, geralmente como diferente, as interferências humanas” (Bell Burnell, 1983, p. 163-164).

Segundo a cientista, uma varredura completa do céu era registrada em gráficos (Figura 2) cujo comprimento compreendia cerca de 120 metros, atividade que perdurava durante quatro dias. Seu orientador ressalta que era *“[...] um grande crédito para Jocelyn Bell que ela era capaz de acompanhar o fluxo de papel dos quatro gravadores”* (Hewish, 1974, p. 175).

Neste contexto, ela menciona que, na época, pensou que *“essa era a maneira ideal de fazer ciência”* pelo fato de ter participado de *“todas essas maravilhosas palestras quando criança sobre o método científico”* (Bell Burnell, 1983, p. 164). Apenas com esta afirmação, é difícil evidenciar qual poderia ter sido o posicionamento da cientista quanto a sua concepção sobre o “método científico”, mas podemos especular algumas possibilidades: uma delas seria que Jocelyn se referiu ao método no sentido de evidenciar uma performance científica cuidadosa, como ela bem demonstra em sua atuação na detecção dos pulsares. Outra possibilidade diz respeito ao fato de que Jocelyn estaria se remetendo a uma perspectiva estereotipada do método científico, associada a uma sequência de etapas para a coleta e a análise de dados por cientistas em seus laboratórios. Esta última conjectura aparenta ser mais plausível, pelo fato de que, quando criança, supostamente, a cientista aprendeu sobre o método científico em um viés positivista. Em contraste, ainda podemos considerar que a cientista pudesse estar elaborando uma possível crítica à noção de um método científico rígido e imutável, pelo fato de que discussões filosóficas críticas a esta perspectiva já se faziam existentes na época de escrita dessa citação.

no equador e extremidade no astro”. Seu valor sofre variações entre -90° (declinações no hemisfério sul) e +90° (declinações no hemisfério norte).



Figura 2 – Jocelyn Bell e os longos gráficos, no ano de 1974 (Extraído de Mitchell, 2017).

Belisha Beacon: O Achado Inesperado

Em pouco mais de um mês de operação do radiotelescópio a cientista identificou um sinal com um comportamento diferenciado nos seus registros. A posição celestial do achado consistia em um sinal em ascensão reta⁷ em 19 horas e 19 minutos (McNamara, 2008). Nos gráficos investigados pela astrônoma, consta que este achado fora registrado pela primeira vez no dia 6 de agosto de 1967 (Figura 3). Sobre este aspecto, Dick (2013, p. 107), argumenta que esta consistiu em uma descoberta serendípica pelo fato dos pesquisadores estarem “[...] procurando quasares usando a técnica de cintilação interplanetária”. Wade (1975, p. 359) aponta que “[...] embora ainda houvesse muito a ser feito, o cerne da descoberta estava naquele único instante de reconhecimento”.

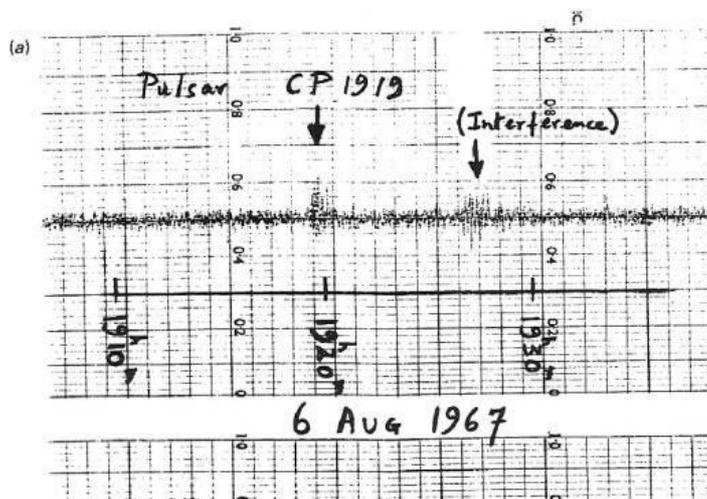


Figura 3 – Registro casual do sinal CP1919 por Jocelyn Bell em agosto de 1967 (Extraído de Roberts, 2019).

McNamara (2008, p. 42), aponta que “muitos teriam descartado o minúsculo registro como interferência, mas para Bell não parecia artificial”. Neste sentido, segundo a astrônoma, “em um quarto de

⁷ De maneira análoga a coordenada terrestre de longitude, a ascensão reta é o “arco medido sobre o equador, com origem no meridiano que passa pelo ponto Áries e fim no meridiano do astro. A ascensão reta varia entre 0h e 24h [...] aumentando para leste” (Oliveira Filho & Saraiva, 2010, p. 18). O ponto Áries consiste em “uma das duas interseções do equador celeste com a eclíptica” (Oliveira Filho & Saraiva, 2010, p. 18).

polegada daqueles quatrocentos pés, havia um pouco do que eu chamo de ‘scruff’, que não se parecia exatamente com interferência e nem com cintilação” (Bell Burnell, 1983, p. 164). Em outro relato, ela também retrata que o sinal parecia ser

“[...] outro enigma que era intermitente. Nas primeiras vezes em que vi, eu anotei isso como uma pergunta. Mas, pela segunda ou terceira vez, vi esse sinal engraçado e [...] minhas células cerebrais estavam começando a se conectar e disseram: ‘Já vi esse tipo de sinal antes. Eu já vi esse tipo de sinal, deste pedaço do céu antes, não é?’” (Bell Burnell, 2004, p. 1.8).

Nesse sentido, *“ela percebeu que essa fonte [...] às vezes reaparecia quando o telescópio apontava para uma determinada direção”* (Penny, 2013, p. 2). A cientista percebeu características que destoavam do que estava acostumada a observar: o sinal aparecia na mesma parte dos registros ou, melhor dizendo, na mesma parte do céu (Bell Burnell, 1977) e parecia se movimentar de acordo com o tempo sideral. Além disso, o sinal se manifestava no período noturno, quando geralmente a observação da cintilação de fontes de ondas de rádio era desenvolvida durante o período diurno. Segundo ela, *“era um pouco incerto se poderia ser cintilação ou não porque estava acontecendo no meio da noite naquela época do ano”,* pois *“[...] a cintilação interplanetária era um fenômeno de base solar, então você espera isso durante o dia”* (Bell Burnell, 1983, p. 165). A cientista também reporta que este aspecto *“[...] era digno de nota, porque não se esperava que muitas fontes cintilassem a uma distância tão grande do sol”* (Bell, 1969, p. 214):

“Um cientista, especialmente alguém treinado em ciências físicas, tem um cérebro que armazena problemas, como coisas que você não entende. Aqueles de nós que se formaram como físicos aprenderam a ser econômicos com o cérebro. Sabemos que, se entendermos algo, não precisamos nos preocupar, mas se houver algo que não entendemos, arquivamos em algum lugar. Em cada 400 pés de papel gráfico, ocasionalmente havia um quarto de polegada que eu não entendia” (Bell Burnell, 2004, p. 1.8).

Antony Hewish menciona que a astrônoma apresentou a ele os registros de uma fonte de rádio *“[...] sofrendo cintilação quando observada na direção antissolar. Isso era incomum, pois fortes cintilações raramente ocorrem nesta direção e nós pensamos que os sinais poderiam ser interferência elétrica”* (Hewish, 1974, p. 175). Embora estes sinais possuíssem características curiosas, o desenvolvimento de uma investigação aprofundada sobre este achado necessitou ser adiado por um tempo, pelo fato de que o radiotelescópio estava ainda em construção e necessitava de determinados receptores para o estudo de quasares já conhecidos (Bell Burnell, 1983). Assim, a cientista se concentrou no estudo da fonte 3C273, com o objetivo de *“[...] checar aspectos da teoria da cintilação interplanetária”* (Hewish, 1974, p. 177). Sobre isso, ela descreve que

“A fonte estava em trânsito durante a noite - um período em que a cintilação interplanetária deveria ser mínima [...] Fosse o que fosse, decidimos que merecia uma inspeção mais detalhada e que isso envolveria fazer gravações mais rápidas nos gráficos durante sua passagem. Perto do final de outubro, quando terminamos de fazer alguns testes especiais em 3C273 e quando finalmente tínhamos nosso conjunto completo de receptores e gravadores, comecei a ir ao observatório todos os dias para fazer as gravações” (Bell Burnell, 1977, p. 686).

A cientista concentrou seus esforços na procura desta fonte de rádio, em meados de final de outubro ou início de novembro (Bell Burnell, 1983). Para que fosse possível desenvolver este trabalho, a cientista e seu orientador instalaram um gravador de alta resolução, de maneira a possibilitar a análise do sinal em mais detalhes (Wade, 1975; McGrayne, 1998; Longair, 2006). Conforme ela explica, *“[...] planejamos fazer o equivalente a uma ampliação fotográfica. Queríamos que esse sinal ocupasse não apenas um quarto de polegada, mas se espalhasse para que pudéssemos ver sua estrutura”* (Bell Burnell, 2004, p. 1.8). Nessa circunstância, verificava diariamente os registros feitos durante a noite; no entanto, detectou apenas ruídos durante várias semanas (Bell Burnell, 1977, 1983). Segundo Wade (1975, p. 360), a cientista relata que *“Hewish estava pensando naquele momento que era uma estrela eruptiva e que a tínhamos perdido”*. A cientista aponta que

“Isso era intrigante porque a fonte estava, a essa altura, transitando apenas três ou quatro horas após o sol, cujo estágio a cintilação costuma ser máxima. Ficava cada vez mais claro que essa fonte não era ‘normal’: o motivo de seu

desaparecimento não era conhecido e não havia certeza de que voltaria a aparecer!” (Bell, 1969, p. 216).

Apesar disso, os sinais foram observados novamente no dia 28 de novembro de 1967 (Figura 4), que consistiam em “[...] uma série de pulsos de diferentes amplitudes, cada pulso durando cerca de 0,3 segundos, e os pulsos tendo cerca de 1,33 segundos de intervalo” (Bell, 1969, p. 216). Em um dos seus relatos (Bell Burnell, 2004, p. 1.8), a cientista afirma que encontrou os sinais em meio a seguintes circunstâncias:

“Houve uma palestra muito interessante em Cambridge, sobre envelhecimento, que coincidiu com a observação. Lembro-me vividamente [...] em parte porque é um tópico que se torna mais relevante à medida que você envelhece. Pela primeira e última vez, não fui ao observatório naquele dia e fui à palestra [...] Então, no dia seguinte [...] fiquei no observatório - não ousando voltar para Cambridge, e no gravador de alta velocidade encontrei uma série de pulsos, um sinal fraco que estava obviamente muito próximo do limite de detecção, com alguns dos pulsos faltando, mas mantendo a fase e mantendo um período muito preciso. Você podia ver, mesmo enquanto o gráfico fluía sob as canetas, a regularidade dos bipes e podia ver que o período era de cerca de $1^{1/3}$ segundos. [...] É muito interessante suas reações quando você vê esse tipo de coisa. Fui bem treinada na graduação na Universidade de Glasgow, e quando vi este sinal pulsado, metade do meu cérebro estava dizendo: ‘Puxa vida, é um sinal pulsado’, e a outra metade do meu cérebro estava dizendo: ‘O que eu faço a seguir?’”.

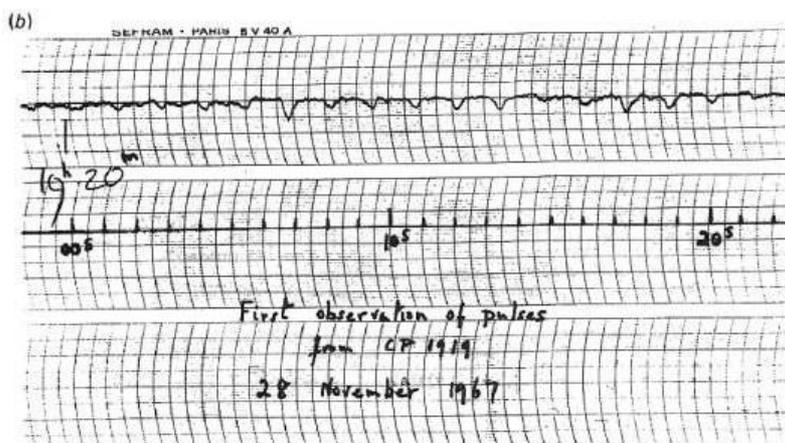


Figura 4 – Registro dos pulsos em novembro de 1967 (Extraído de Roberts, 2019).

Devido à diminuição na constante de tempo captada pelo receptor, “os pulsos foram detectados separadamente pela primeira vez” (Longair, 2011, p. 154). A cientista explica que, ao observar que os registros demonstravam uma série de pulsos periodicamente espaçados, comunicou o achado ao seu orientador, cuja “reação inicial foi que a fonte tinha que ser artificial: não havia nenhum fenômeno natural conhecido que pudesse produzir um sinal de rádio recorrente” (McNamara, 2008, p. 43). A pesquisadora, por outro lado, se mostrou intrigada com a hipótese explicitada pelo orientador e considerou, por um momento, que estes sinais poderiam ser oriundos de alguma estrela:

“Entrei em contato com Tony Hewish, que estava lecionando para a graduação em um laboratório em Cambridge e sua primeira reação foi que os sinais deveriam ser interferências humanas. Essa foi uma resposta muito sensata nas circunstâncias, mas [...] não vi por que eles não podiam ser de uma estrela” (Bell Burnell, 1977, p. 686).

Posteriormente, a cientista admitiu para McGrayne (1998, p. 366) que “o que eu não sabia [...] era que seria difícil obter uma variação tão rápida de uma estrela, galáxia ou qualquer outro tipo de objeto cósmico até então conhecido”. A cientista esclarece que, na noite seguinte, Hewish apareceu para verificar os sinais: “este foi um momento de ansiedade, dado o quão fracos eram esses sinais e quão raramente os detectávamos” (Bell Burnell, 2004, p. 1.9). Apesar disso, os pulsos foram identificados novamente por Bell e Hewish:

“Foi aqui que nossos problemas realmente começaram. Tony conferiu as gravações e verificou que essa coisa, seja lá o que fosse, se mantinha exatamente no tempo sideral. Mas pulsos com intervalos de $1^{1/3}$ segundos pareciam sinais suspeitamente feitos por ação humana. Além disso, $1^{1/3}$ segundos era uma taxa de pulsação muito rápida para algo tão grande quanto uma estrela” (Bell Burnell, 1977, p. 686).

Segundo Wade (1975, p. 360), o problema visualizado pelos cientistas se apresentava justamente no fato de que “[...] a estrela variável mais rápida conhecida até então possuía um período de um terço de um dia e ninguém poderia conceber uma estrela com um período de $1^{1/3}$ segundos”. Segundo McGrayne (1998, p. 367), em homenagem à regularidade destes sinais, estes foram denominados pela cientista e pelos seus colegas de maneiras cômicas. A cientista “[...] apelidou o ‘scruff’ de ‘Belisha Beacon’ em homenagem ao globo laranja cintilante que alerta os motoristas sobre travessias de pedestres na Inglaterra. Outros cientistas apelidaram de LGM, de Little Green Men”. Segundo ela, “começamos a apelidá-lo de ‘homenzinhos verdes’, embora não acreditássemos seriamente que se tratasse de homenzinhos verdes, mas era um nome tão bom quanto qualquer outro” (Bell Burnell, 2004, p. 1.9).

Os Homenzinhos Verdes: Como Explicar e Anunciar os Sinais?

O grupo de radioastrônomos de Cambridge começou a elaborar conjecturas sobre o do que se tratava, de fato, este enigmático scruff. Em um primeiro momento, os cientistas, principalmente Hewish, consideraram que o sinal poderia ser produzido artificialmente, mediante interferência humana (Tesh & Wade, 2017); no entanto, mesmo admitindo a origem artificial do sinal, reconheceram que ele

“[...] reaparecia com cada revolução das estrelas, não com a rotação da Terra. Poderiam ser sinais de radares refletidos na lua ou em um satélite em uma órbita peculiar? Isso não se encaixava. Burnell e Hewish, então, perceberam que as únicas pessoas na Terra que manteriam as programações de 23 horas e 56 minutos do tempo sideral eram outros astrônomos” (Wade, 1975, p. 362).

Considerando esta conjectura, a cientista relata que seu orientador entrou em contato com outros grupos de radioastrônomos da Grã-Bretanha, perguntando se tinham algum programa em andamento desde agosto que pudesse estar causando interferência: a resposta dada por todos os grupos consultados foi negativa (Bell Burnell, 1983). Corroborando este ponto, Hewish relata:

“Não pude acreditar que qualquer fonte natural irradiasse desta maneira e imediatamente consultei colegas astrônomos em outros observatórios para saber se eles tinham algum equipamento em operação que pudesse gerar interferência elétrica em um horário sideral próximo às 19h19m” (Hewish, 1974, p. 177).

Assim, após descartarem a possibilidade de radiointerferência, outra hipótese considerada pelo grupo de pesquisa consistiu em verificar se não havia algum problema técnico com o próprio radiotelescópio (Bell Burnell, 2007). Segundo a cientista,

“Não eram outros astrônomos, não era um radar sendo refletido da lua para o nosso telescópio, não era um satélite em uma órbita engraçada. Fiquei muito preocupada com aquele hangar do Ministério da Aeronáutica feito de metal corrugado, que ficava logo ao sul do telescópio, mas na verdade as ondulações nele têm um comprimento de onda de apenas alguns centímetros [...] então não era isso também. Ainda restava a possibilidade de que tivesse algo a ver com nossa instrumentação” (Bell Burnell, 1983, p. 167).

A cientista era a principal responsável pela construção do equipamento; por conta disso, ela relatou seu receio com o fato dos sinais serem resultado de uma falha com o radiotelescópio: “[...] estava com medo de ter literalmente cruzado alguns fios, que minha estupidez estava prestes a ser descoberta pelos cérebros [...] de Cambridge e eu poderia sair sem um PhD” (Bell Burnell, 2004, p. 1. 9). Como exposto em alguns relatos (Bell Burnell, 2017; 2018), esta citação certamente exemplifica que a cientista, durante seu doutorado em Cambridge, vivenciava a chamada “Síndrome de Impostora”.

Para analisar esta hipótese, o grupo de pesquisa entrou em contato com Robin Collins e seu supervisor Paul Scott (Bell Burnell, 1979, 1983), com o objetivo de detectar os sinais “[...] com um telescópio que operava na mesma frequência para ver se eles também podiam captar o sinal” (Bell Burnell, 2004, p.

1.9). Por meio deste equipamento, Bell e Hewish aguardaram pela manifestação dos sinais próxima à hora do seu trânsito. Entretanto, “[...] *na hora marcada nós todos nos agrupamos em volta do registrador gráfico - e nada aconteceu*” (Bell Burnell, 1983, p. 167). Segundo Bell Burnell (1983, 2004), seu orientador e o supervisor de Collins se distanciaram do radiotelescópio, questionando os motivos pelos quais os sinais não haviam aparecido. A cientista, em um dos seus relatos, conta que Scott, especificamente, perguntou a eles: “*O que é que aparece em nosso telescópio, mas não aparece no telescópio de vocês?*” (Bell Burnell, 1983, p. 167). Entretanto, Collins havia permanecido próximo ao instrumento e continuou observando os registros:

“Então, Robin gritou ‘Aqui está!’ [...] Havíamos calculado mal o alinhamento do segundo feixe do radiotelescópio, felizmente por apenas cinco minutos. Se tivesse passado meia hora, talvez tivéssemos ido para casa e não teríamos encontrado pulsares em Cambridge. Nosso radiotelescópio e receptor foram absolvidos” (Bell Burnell, 2004, p. 1.9).

Posteriormente, admitindo a existência deste objeto, o grupo de pesquisa se concentrou em calcular sua distância até a Terra, cujo trabalho fora desenvolvido por Paul Scott e por John Pilkington (Bell Burnell, 1983). De fato, Hewish (1974, p. 178) comenta que “*não encontrando nenhuma explicação terrestre satisfatória para os pulsos, começamos agora a acreditar que eles só poderiam ser gerados por alguma fonte muito além do sistema solar*”. Assim, por meio da medição da dispersão do sinal de ondas de rádio, os cálculos evidenciaram que a fonte estava além do Sistema Solar, mas ainda situada na Via Láctea (Bell Burnell, 1977, 2017). Em outro relato, a cientista aponta como ocorreu este cálculo protagonizado por Pilkington:

“Então começamos a medir a distância. [...] Trabalhar com um instrumento de trânsito é muito complicado. Se algo der errado e você não tiver tudo funcionando perfeitamente durante os cinco minutos certos do dia, você perde 24 horas. E este era um experimento tecnicamente complicado de fazer, embora seja baseado em um fenômeno de dispersão de rádio bem conhecido. [...] Da mesma forma no espaço, os sinais de rádio de estrelas e galáxias se propagam através de um espaço contendo elétrons livres que irão dispersar um sinal de rádio. Portanto, supondo que esses pulsos comecem como o golpe de um relâmpago [...] no momento em que viajarem para a Terra, eles terão se espalhado. A quantidade de dispersão depende de quantos elétrons eles atravessam. Se pudermos adivinhar o número de elétrons no espaço interestelar, então podemos adivinhar a distância. [...] E ele chegou ao resultado interessante de que esta fonte estava a cerca de 65 parsecs, ou algumas centenas de anos-luz de distância [...] na constelação de Vulpecula. Então, depois de cerca de um mês, tínhamos estabelecido que essa coisa mantinha uma ascensão reta constante, estava a essa distância, que pulsava com extrema precisão e com extrema rapidez. E não tínhamos certeza do que era” (Bell Burnell, 2004, p. 1.9).

Percebemos que o grupo elencou diferentes hipóteses na tentativa da compreensão destes objetos. Corroborando este aspecto, Dick (2013, p. 108) reitera que “*radares refletidos da Lua, satélites em órbitas peculiares, e os efeitos locais foram eliminados quando o telescópio [de Scott e Collins] confirmou os resultados*” da existência destes sinais. Além destas, outra hipótese passou a ser considerada: ainda que inicialmente a nomenclatura não passasse de uma brincadeira, a cientista e seus colegas passaram a considerar, durante um tempo, a hipótese de estes sinais serem uma possível detecção de inteligência extraterrestre (Penny, 2013; Graham-Smith, 2014). Vidal (2019, p. 219) argumenta que “*a alta frequência incomum das pulsações, bem como sua regularidade, levaram imediatamente à hipótese de que poderia ser uma inteligência artificial*”. A cientista pontua, por sua vez, que “*a possibilidade de que os sinais fossem de alguma civilização inteligente em outro lugar do universo não foi descartada*” (Bell, 1969, p. 221). Para investigar esta hipótese, em meados de dezembro de 1967, os cientistas iniciaram análises no desvio Doppler do movimento desta fonte. As impressões deste momento foram expostas por Bell Burnell e Hewish:

“Se não é um sinal terrestre produzido por homens, talvez sejam os ‘Homenzinhos Verdes’ tentando nos sinalizar. Ok, se são [...] eles provavelmente estão em um planeta. Seu planeta gira em torno de seu sol, e devemos ser capazes de ver os desvios Doppler, as mudanças no período de pulso conforme eles giram em torno de seu sol. [...] Então, começamos a fazer gravações rápidas dessa coisa todos os dias para estudar a hora de chegada do pulso” (Bell Burnell, 1983, p. 168).

“Tínhamos de enfrentar a possibilidade de que os sinais fossem, de fato, gerados em um planeta que girava em torno de alguma estrela distante [...] Eu sabia que as medições de tempo, se continuadas por algumas semanas, revelariam qualquer movimento orbital da fonte como um desvio Doppler, e me senti obrigado a manter uma cortina de silêncio até que esse resultado fosse conhecido com alguma certeza. Sem dúvida, aquelas semanas de dezembro de 1967 foram as mais emocionantes na minha vida” (Hewish, 1974, p. 178).

Enquanto essas análises eram efetuadas, em um momento anterior ao feriado de Natal de 1967, a cientista relata que se dirigiu a sala de seu orientador para elucidar algumas dúvidas, mas, acabou adentrando em uma reunião de teor deliberativo com outros pesquisadores sobre as implicações das divulgações destes achados (Bell Burnell, 1977, 2004) - encontro que, cabe apontar, a cientista não havia sido convidada. A astrônoma comenta que, de fato, *“esta foi uma discussão que eu acho que deveria ter participado, na verdade, desde o início”* (Bell Burnell, 2010).

Na reunião, em razão das evidentes contradições observadas no comportamento dos sinais, além da possibilidade dos sinais possuírem uma origem extraterrestre (McNamara, 2008), os pesquisadores estavam receosos sobre a maneira com que publicariam este achado, pois, de modo geral, os radioastrônomos consideram que *“[...] provavelmente serão as primeiras pessoas na Terra a detectar um sinal de outras civilizações do cosmos”* (McGrayne, 1998, p. 367):

“Houve uma reunião pouco antes do Natal de 1967 [...] Desci ao escritório de Tony para perguntar algo a ele e, excepcionalmente, a porta estava fechada. Bati e uma voz disse: ‘Entre’. Enfiei a cabeça pela porta e Tony disse: ‘Ah, Jocelyn, entre e feche a porta’. Então entrei e fechei a porta. Era uma discussão entre Tony Hewish (meu supervisor), Martin Ryle, (o chefe do grupo), e provavelmente John Shakeshaft (um dos outros membros seniores do grupo). A discussão girou em torno da pergunta: ‘Como publicamos esse resultado?’” (Bell Burnell, 2004, p. 1.9).

Em meio a possível consideração da hipótese de extraterrestres, estava claro que a divulgação do achado estando associada com a possibilidade de extraterrestres evocaria *“[...] visões da imprensa mundial clamando pelas primeiras notícias dos ‘homenzinhos verdes’ que estavam tentando se comunicar conosco”* (Graham-Smith, 2014, p. 109). Reconhecendo a *“[...] cobertura sensacional da mídia que iria acontecer, o trabalho de investigação seria prejudicado”* (Penny, 2013, p. 5). Ainda que não houvesse um consenso entre os membros do grupo sobre o achado poder ser uma demonstração de tentativas de comunicação extraterrestre (Penny, 2013), os cientistas do grupo aventaram esta hipótese em diferentes níveis, considerando que não possuíam, até o momento, *“nenhuma sugestão positiva sobre o que pudesse ser”* (Bell Burnell, 1983, p. 168):

“Pouco antes do Natal [...] entrei em uma conferência de alto nível sobre como apresentar esses resultados. Não acreditávamos realmente que havíamos captado sinais de outra civilização, mas obviamente a ideia havia nos passado pela cabeça e não tínhamos nenhuma prova de que era uma emissão de rádio inteiramente natural. É um problema interessante se alguém pensa que pode ter detectado vida em outro lugar do universo, mas como anunciar os resultados com responsabilidade? Para quem se conta primeiro?” (Bell Burnell, 1977, p. 686-687).

A divulgação de um achado científico está envolvida em um contexto de *“um delicado equilíbrio entre a urgência de entrar na imprensa científica para ganhar prioridade e a necessidade de verificação”* (McNamara, 2008, p. 45). Sem quaisquer perspectivas para resolução de como publicar os resultados encontrados até então, na época, Bell vivenciou certo aborrecimento com a situação. Em vários de seus relatos, (Bell Burnell, 1977, 1983, 2004) ela menciona que *“[...] estava tentando conseguir um PhD, e alguns homenzinhos verdes tolos escolheram meu radiotelescópio e minha frequência para entrar em contato com o planeta Terra”* (Bell Burnell, 2004, p. 1.9-2.0).

Um Adendo Nesta História: *Steady State versus Big Bang*

Certamente, não era apenas a delicada hipótese dos homenzinhos verdes a responsável por interferências na publicação destes achados. Algumas pesquisas (McNamara, 2008; Longair, 2011; Penny, 2013) apontam outra razão que pode ter contribuído para a possível relutância dos cientistas: durante a

década de 1950, pairava um contexto de controvérsia⁸ na aceitação dos cientistas entre a Teoria do *Big Bang* e a Teoria do Estado Estacionário (*Steady State*), proposta por Fred Hoyle (1915-2001), Hermann Bondi (1919-2005) e Thomas Gold (1920-2004) (McNamara, 2008). Nesta época, alguns pesquisadores de Cambridge começaram a desenvolver catálogos para organizar as fontes de rádio (Longair, 2006, 2011). Segundo Kragh (1996, p. 310), “[...] o programa de pesquisa dos radioastrônomos de Cambridge tornou-se cada vez mais orientado para a Cosmologia e, mais especificamente, para uma refutação da Teoria do Estado Estacionário”. Por certo, na divulgação destes resultados, expostos no Segundo Catálogo de Fontes de Rádio de Cambridge, Martin Ryle, um dos membros do grupo de radioastrônomos e colega de Antony Hewish, interpretou a grande quantidade de cerca de 1700 fontes encontradas como uma evidência favorável aos pressupostos teóricos do *Big Bang* (Kragh, 1996; McNamara, 2008). Nesta perspectiva, os dados catalogados eram “[...] inconsistentes com as expectativas da Cosmologia de Estado Estacionário” (Longair, 2011, p. 149).

Por sua vez, os pesquisadores australianos da Universidade de Sydney, liderados por Joseph Pawsey (1908-1962), desenvolveram uma catalogação semelhante. Mediante a observação de pouco mais de 1000 objetos, esses cientistas argumentaram que seus resultados não apresentavam diferenças significativas entre o número de galáxias previstas pela Teoria do Estado Estacionário. Assim, “[...] como o alvo das afirmações de Cambridge era a Cosmologia de Estado Estacionário, indiretamente, os resultados de Sydney agiram como um argumento a favor da possível validade desse modelo do universo” (Kragh, 1996, p. 315). Neste sentido, os resultados de Cambridge foram desmentidos pelos resultados apresentados pelo grupo de Sydney, que demonstraram que “a pesquisa de Cambridge carecia de resolução, resultando em confusão entre fontes individuais e fontes múltiplas mais fracas” (McNamara, 2008, p. 46). Cabe apontar que, posteriormente, por outras razões, como a descoberta da radiação cósmica de fundo, a Teoria do Estado Estacionário não se manteve vigente (McNamara, 2008).

Longair (2011, p. 149) aponta que, por conta deste contexto, “as relações entre Martin Ryle, os radioastrônomos de Sydney e os proponentes da Cosmologia do Estado Estacionário [como Hoyle] tornaram-se cada vez mais tensas”. Penny (2013, p. 5) descreve que o grupo “[...] teve no passado problemas [...] com colegas observacionais e teóricos. Em particular, as relações eram ruins [...] com Fred Hoyle [...] um teórico de outro departamento de Cambridge”. Considerando a provável repercussão deste acontecimento na comunidade científica, “[...] eles tinham que estar absolutamente certos de que essas fontes de rádio pulsantes eram reais antes de contar ao mundo” (McNamara, 2008, p. 46).

O Segundo Achado: Adeus, *Little Green Men!*

De maneira concomitante ao desenvolvimento das análises do Efeito Doppler, as quais não possibilitaram identificar evidências do sinal estar situado em um planeta, Bell identificou outro sinal com características semelhantes ao primeiro, o que, na perspectiva de muitos estudiosos sobre a temática, como McGrayne (1998, p. 368), “resolveu a questão da fonte do sinal de uma maneira diferente”. A astrônoma relata que detectou o segundo sinal na noite do dia 21 de dezembro de 1967. A cientista estava em pleno trabalho em seu laboratório, pois “[...] com todas essas travessuras de pulsares, essas coisas engraçadas e os gráficos de rotina sendo registrados a trinta metros por dia, a análise estava ficando muito atrasada” (Bell Burnell, 1983, p. 168). Neste estágio, cabe ressaltar que “as análises de gráficos rotineiras continuaram e uma vigilância foi mantida para outras fontes” (Bell, 1969, p. 222). Nesse momento, a cientista relata que ao verificar os gráficos de outra parte do céu, em “[...] um pedaço de gráfico por volta das onze horas e meia da ascensão reta” (Bell Burnell, 1983, p. 168), ela identificou um possível novo sinal:

“E pouco antes de o laboratório fechar às 10 horas, eu estava olhando para um pedaço de céu que incluía Cassiopeia A, uma forte fonte de rádio, em menor culminação. É circumpolar na Grã-Bretanha, o que significa que você pode pegá-lo lindamente no sul e, 12 horas depois, se você não tiver sorte, é tão forte que você pode pegá-lo novamente no norte, pela parte de trás do seu radiotelescópio. Então, ele está muito baixo no horizonte, cintila furiosamente e é uma bagunça. [...] No meio da bagunça lá parecia ser um desses pequenos sinais engraçados e desalinados. [...] Registros anteriores daquela parte do céu foram [...] espalhados pelo chão; e lá, em duas ou três ocasiões anteriores estava uma sugestão de ‘scruff’” (Bell Burnell, 2004, p. 1.10).

⁸ Henrique (2011) apresenta discussões sobre as controvérsias entre estas duas teorias cosmológicas, cujas reflexões são direcionadas ao ensino de ciências.

Entretanto, devido ao horário, a cientista descreve que precisou “[...] sair do laboratório antes que fechasse para a noite, sabendo que o sinal transitaria nas primeiras horas da manhã” (Bell Burnell, 1977, p. 687). De maneira a efetuar mais registros deste sinal, a astrônoma se dirigiu para o observatório no meio da madrugada, no horário do trânsito. Em meio a problemas no radiotelescópio, a cientista descreve que encontrou um possível segundo sinal, que em sua perspectiva possibilitou desconsiderar a hipótese dos *Little Green Men*:

“Às duas horas da manhã [...] eu estava no observatório, e estava extremamente frio. Por motivos que nunca entendi, quando estava muito frio o telescópio operava com metade da potência. E é claro que naquela noite ele estava com meia potência. Então, apertei os interruptores, respirei [...] e fiz com que funcionasse com força total por cinco minutos. Foram os cinco minutos certos e no cenário certo. Apareceu outro fluxo de pulsos, desta vez com um intervalo de $1^{1/4}$ segundo, e não $1^{1/3}$ segundo. [...] Não era uma falha com o equipamento, não era um sinal gerado localmente, era algo lá fora entre as estrelas. Fosse o que fosse, este era outro, em uma parte totalmente diferente do céu. [...] Tinha que ser algum tipo novo de algo estelar e nós encontramos os primeiros” (Bell Burnell, 2004, p. 1.10).

A cientista coloca que o sinal consistia em uma série de pulsos com o intervalo de 1,2 segundo, cujo período era ainda menor em comparação ao primeiro sinal encontrado (Bell Burnell, 1977, 1983). Naquele momento, ela descreve: *“Deixei a gravação na mesa de Tony e saí muito mais feliz para o feriado de Natal. Era muito improvável que dois grupos de homenzinhos verdes escolhessem a mesma frequência improvável e, ao mesmo tempo, tentassem sinalizar para o mesmo planeta Terra”* (Bell Burnell, 1977, p. 687). Esta justificativa da astrônoma possibilita apontarmos algumas importantes reflexões presentes em trabalhos voltados à investigação deste episódio histórico.

Alguns autores (Wade, 1975; McGrayne, 1998; Dick, 2013) sublinham que, além das evidências identificadas em relação ao Efeito Doppler, que possibilitaram rejeitar a possibilidade dos sinais serem emitidos de um planeta por comunicação extraterrestre, a detecção deste segundo sinal semelhante por Jocelyn Bell Burnell oportunizou a desconsideração definitiva da hipótese dos *Little Green Men*, aspecto que se direciona aos argumentos apresentados pela astrônoma. Outros pesquisadores (Penny, 2013; Vidal, 2019), entretanto, em uma análise retrospectiva do episódio, discutem as justificativas assumidas pelos cientistas para desconsiderar esta hipótese, argumentando que ambas as evidências observacionais obtidas pelo grupo possivelmente não eram conclusivas no sentido de abandonar a polêmica conjectura. Por exemplo, Vidal (2019) coloca que estas justificativas apresentavam um viés possivelmente antropocêntrico; além disso, indica várias razões que, combinadas, fortaleceram o abandono desta hipótese: em sua perspectiva, a razão mais influente seria o posterior desenvolvimento de uma explicação teórica para o comportamento destes sinais, que consistiria no modelo de farol cósmico elaborado por Thomas Gold. Por sua vez, Penny (2013, p. 10-11) argumenta que

“Em retrospecto, naquele momento, as razões para rebaixar a explicação dos sinais inteligentes não são de fato totalmente conclusivas. A falta de movimento orbital pode ser explicada pelos alienígenas colocando sua fonte longe de uma estrela. O fato de haver várias dessas fontes significaria apenas que os alienígenas eram comuns. O fato de os sinais serem intrinsecamente poderosos significaria apenas que os alienígenas eram muito avançados. Mas, no geral, o julgamento foi razoável: havia uma explicação natural plausível em estrelas de nêutrons pulsantes e a explicação LGM veio unicamente da nitidez e regularidade dos pulsos. Qualquer alegação 'LGM' precisa de evidências extraordinárias, e no início de janeiro de 1968, isso simplesmente não estava presente. No geral, o processo foi extremamente rápido. De 28 de novembro, quando a natureza pulsante foi vista pela primeira vez, até meados de janeiro, quando a explicação da estrela de nêutrons foi adotada durante a redação do artigo, durou apenas sete semanas. [...] Todo o processo foi um tour de force de persistência, descoberta, investigação e teorização”.

Encaminhamentos Para o Contexto Pós-Detecção

No mês de janeiro de 1968, o grupo de pesquisa de Hewish se organizou de maneira a caracterizar os achados de maneira sistematizada, a partir das detecções realizadas por Jocelyn Bell de um terceiro e quarto sinais nos registros gravados durante o seu período de férias (Bell Burnell, 1977, 1983, 2004): *“Em 6 de janeiro de 1968, durante a análise de gráfico de rotina, duas fontes pulsantes mais prováveis foram*

percebidas” (Bell, 1969, p. 224). Em sua conferência Nobel, Antony Hewish descreve a atuação persistente da pesquisadora, pois “*Jocelyn Bell examinava todas as nossas gravações de levantamento do céu com sua persistência e diligência típicas e produziu uma lista de possíveis posições de pulsares adicionais*” (Hewish, 1974, p. 178):

“Durante minhas férias, Tony gentilmente manteve a pesquisa em execução. Ele colocou papel novo no registrador de gráfico e tinta nova nos tinteiros, e empilhou os gráficos não analisados na minha mesa. Portanto, no meu retorno, ficou bem claro o que eu tinha que fazer. Comecei a pensar que tinha tido um feriado muito bom quando, depois de cerca de uma hora, encontrei mais dois sinais desalinhados. Tony veio e disse: ‘Quantos sinais mais você perdeu? Volte para todas as suas gravações antigas’. Isso eu diligentemente fiz, mas não descobri mais nada. Nas semanas seguintes, confirmamos os números três e quatro” (Bell Burnell, 2004, p. 1.10).

O terceiro e quarto sinais foram encontrados “*em um pedaço do gráfico, com uma hora ou mais de intervalo em ascensão reta [...] 0834 e 0950. Passaram-se mais duas semanas antes de 1133 [o segundo] ser confirmado, e logo depois disso o terceiro e o quarto*” (Bell Burnell, 1977, p. 687). Em outro relato, a cientista coloca que o terceiro sinal encontrado possuía “[...] *cerca de 1,27 segundo, mas 0950 era muito diferente. [...] O período de pulso é um quarto de segundo; trata-se do pulsar mais rápido que poderíamos ter detectado com aquela constante de tempo de décimo de segundo*” (Bell Burnell, 1983, p. 169). Sobre este último sinal, Bell Burnell e Hewish apontam que

“[...] era realmente empolgante porque apresentou um período de um quarto de segundo [...] e estava aumentando nosso entendimento. Também pode ser, ocasionalmente, um sinal incrivelmente forte. Tornou-se uma espécie de atração turística para outros pesquisadores e estudantes, que iam ao observatório no momento apropriado apenas para ver uma caneta varrendo o papel quadriculado e batendo contra as paradas finais quatro vezes por segundo” (Bell Burnell, 2004, p. 1.10).

“[...] antes de enviar nosso artigo para publicação, em 8 de fevereiro, estávamos confiantes de que existiam três pulsares adicionais, embora seus parâmetros fossem então apenas grosseiramente conhecidos. Lembro-me bem da manhã em que Jocelyn entrou na minha sala com a gravação de um possível pulsar que ela havia feito na noite anterior em ascensão reta 09h50m. Quando espalhamos o gráfico no chão e colocamos uma régua contra ele, uma periodicidade de 0,25 segundos era perceptível” (Hewish, 1974, p. 178).

Durante a redação do artigo, a astrônoma destaca que o grupo de pesquisa não sabia como nomear os achados. A cientista lembra “[...] *de uma discussão séria sobre o título. Seria ‘fonte pulsante’ ou ‘fonte pulsada’?*” (Bell Burnell, 2004, p. 1.10). Na visão da cientista (Bell Burnell, 1977, 1983, 2004), entretanto, a publicação dos achados ainda era relativamente arriscada, pelo fato de que as evidências empíricas coletadas não eram substancialmente suficientes para uma publicação. Apesar disso, a Revista *Nature* publicou o artigo (Figura 5) intitulado *Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source* (Hewish, Bell, Pilkington, Scott & Collins, 1968) no dia 24 de fevereiro, sendo Jocelyn Bell a segunda autora⁹. De maneira geral, o artigo apresenta um estudo mais aprofundado das características da primeira fonte encontrada pela cientista, embora mencione as outras três identificadas posteriormente.

⁹ É possível problematizar o fato de a cientista não ter sido indicada como primeira autora do artigo, tendo em vista seu papel importante na identificação destes objetos. Cabe apontar que, ainda, em artigo posterior publicado pelo grupo (Pilkington, Hewish, Bell & Cole, 1968), em que detalham as características dos outros três sinais identificados, o primeiro autor consistiu em um dos membros do grupo, o cientista John Pilkington – a cientista é a terceira autora deste artigo.

Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source

by

A. HEWISH
S. J. BELL
J. D. H. PILKINGTON
P. F. SCOTT
R. A. COLLINS

Mullard Radio Astronomy Observatory,
Cavendish Laboratory,
University of Cambridge

Unusual signals from pulsating radio sources have been recorded at the Mullard Radio Astronomy Observatory. The radiation seems to come from local objects within the galaxy, and may be associated with oscillations of white dwarf or neutron stars.

Figura 5 – Cabeçalho do artigo publicado na *Nature* em 1968 (Extraído de Hewish *et al.*, 1968).

Neste contexto, a cientista se concentrou na finalização da escrita de sua tese de doutorado. Segundo ela, “[...] entreguei as antenas ao próximo aluno de pesquisa e me retirei para analisar todos os gráficos, medir os diâmetros angulares de muitos quasares e escrever uma tese” (Bell Burnell, 1983, p. 169). Curiosamente, apesar de protagonizar uma importante descoberta no campo da Astronomia, seus achados relativos aos pulsares permaneceram no apêndice do seu trabalho, em uma seção chamada *Pulsed Radio Sources* (Bell, 1969). Nesta seção de sua tese, a pesquisadora descreve algumas das características das fontes de rádio identificadas e algumas conjecturas consideradas pelo grupo de pesquisa, como a hipótese de comunicação extraterrestre. Sobre este aspecto, a cientista relata que

“[...] quando cheguei a Cambridge, fui presenteada com minhas ferramentas e comecei a construir este radiotelescópio; acreditei que estava em um projeto para identificar tantos quasares quantos fossem possíveis no céu visível de Cambridge, e tentar medir seus diâmetros angulares. E, na verdade, era sobre isso que minha tese tratava, porque quando os pulsares apareceram, meu supervisor, Tony, me avisou que era tarde demais para mudar o título da tese. Pelo que agora sei sobre os sistemas universitários, acho que ele estava errado, mas como estudante de doutorado, acreditei nele. Então, os pulsares ficaram em um apêndice e eu escrevi uma tese substancial sobre os diâmetros angulares de quasares usando uma técnica de cintilação interplanetária, tudo feito em um período de três anos” (Bell Burnell, 2004, p. 1.7).

Em relação à repercussão, que não se restringiu apenas ao âmbito da comunidade científica, a astrônoma descreve que, no artigo “[...] mencionamos que em um determinado estágio pensamos que os sinais poderiam ser de outra civilização” (Bell Burnell, 1977, p. 688). No que se refere a este aspecto, como esperado, houve reações do achado no âmbito midiático. Várias notícias publicadas na época enfatizavam justamente que os cientistas consideraram as possibilidades de comunicação extraterrestre. A título de exemplo, no jornal *The Times*, no dia 08 de março de 1968, uma das passagens sobre o achado era a seguinte: “[...] no início, a assombrosa regularidade dos pulsos levantou a possibilidade de que os sinais viessem de algum tipo de vida extraterrestre” (Penny, 2013, p. 9). Cabe apontar que a nomenclatura para estes sinais acabou sendo definida mediante a sugestão despretensiosa de um jornalista científico do jornal *Daily Telegraph*:

“O nome ‘pulsar’ foi cunhado pelo correspondente científico do Daily Telegraph, Anthony Michaelis, e usado pela primeira vez em um artigo do Daily Telegraph em 5 de março de 1968. Ele foi um dos muitos jornalistas e comentaristas de TV que nos entrevistaram após o anúncio da descoberta. Não tínhamos pensado em um nome, a não ser debater se deveriam ser descritos como fontes de rádio ‘pulsantes’ ou ‘pulsadas’ [...] E aceitamos a sugestão de Michaelis do nome ‘pulsar’, análogo a quasar” (Bell Burnell, 2017, p. 831).

É importante destacar que a cientista vivenciou situações inconvenientes durante a divulgação do achado na imprensa, quando os jornais descobriram que uma mulher estava envolvida nesta descoberta científica. A título de exemplo, houve situações que, enquanto questionavam a Hewish sobre a importância da descoberta, perguntas de cunho pessoal eram direcionadas à cientista (Bell Burnell, 2004). Ainda assim, a atuação de Jocelyn Bell Burnell enquanto doutoranda na Universidade de Cambridge oportunizou uma importante descoberta para a História da Astronomia no Século XX. Quando questionada se havia sido emocionante estar envolvida na identificação dos objetos estelares que posteriormente seriam denominados de pulsares, ela respondeu negativamente, argumentando que fora algo “[...] assustador e preocupante. Foi ótimo ter encontrado os [pulsares] subsequentes, mas não encontrar o primeiro” (Bell Burnell, 2004, p. 1.9).

Posteriormente, outro fato polêmico consistiu na omissão de Jocelyn Bell Burnell no Prêmio Nobel de Física de 1974, cuja láurea fora concedida somente à Martin Ryle, chefe do grupo de radioastrônomos de Cambridge e ao orientador da cientista, Antony Hewish. Embora em seu discurso na premiação Hewish tenha agradecido Bell “[...] pelo cuidado, diligência e persistência que levou à nossa descoberta tão cedo no programa de cintilação” (Hewish, 1974, p. 183), estudos de Gênero e Ciência, a exemplo de Rossiter (1993), sugerem que esta premiação ilustra um fenômeno denominado *Efeito Matilda*, compreendido como a atribuição para homens, como orientadores ou parceiros, de pesquisas protagonizadas por mulheres. Por certo, o astrofísico Iosef Shklovsky (1916-1985), em um encontro acadêmico com a astrônoma, em meados da década de 1970, disse a ela: “Miss Bell, você fez a maior descoberta astronômica do Século XX” (Longair, 2006, p. 196-197).

A DETECÇÃO DOS PULSARES: REFLEXÕES EPISTEMOLÓGICAS

Embora o episódio histórico de detecção dos pulsares pelo grupo de radioastrônomos de Cambridge seja temporalmente breve, ele apresenta relevantes elementos para discussões epistemológicas, que podem ser realizadas no contexto de ensino de Física e de Astronomia. Nesta perspectiva, elencamos reflexões sobre este episódio com base em aspectos das filosofias de Thomas Kuhn (2011, 2017, 2018) e Norwood Hanson (1967) e em apontamentos de estudiosos que se debruçam, especificamente, sobre a serendipidade em descobertas científicas (Rosenman, 1988; Van Andel, 1994; Merton & Barber, 2004; Norrby, 2010; Gillies, 2015; Copeland, 2019). Para contribuir com a análise, retomaremos elementos dos relatos das/os cientistas envolvidos e reflexões de estudiosas/os sobre o episódio, além de aspectos apresentados em pesquisas do ensino de ciências sobre discussões histórico-filosóficas.

A identificação das fontes celestes em ondas de rádio por Jansky e Reber na década de 1930 inaugurou um novo e importante segmento da Astronomia: a Radioastronomia. Seu surgimento, como exposto por McNamara (2008) e Longair (2011), mediante o desenvolvimento dos radiotelescópios, gerou mudanças específicas na maneira como os objetos estelares poderiam ser observados, propiciando a possibilidade da identificação de entidades astronômicas ainda não conhecidas em outras faixas do espectro eletromagnético. Como destaca Thomas Kuhn (2018, p. 90), na sua obra *A Estrutura das Revoluções Científicas*, “[...] os radiotelescópios são apenas os exemplos mais recentes de até onde os investigadores estão dispostos a ir, se um paradigma os assegurar da importância dos fatos que pesquisam”. Com efeito, os radiotelescópios começaram a ser desenvolvidos com base em pressupostos paradigmáticos da Física e da Astronomia, fazendo com que novas possibilidades em termos teóricos e observacionais pudessem ser consideradas pelos radioastrônomos. Por certo, isso ilustra que “[...] o paradigma é um objeto a ser melhor articulado e precisado em condições novas ou mais rigorosas” (Kuhn, 2018, p. 88).

Estas breves características denotam o que, de acordo com Thomas Kuhn, ocorre em um contexto de ciência normal. Segundo o filósofo, “[...] a pesquisa científica normal está dirigida para a articulação daqueles fenômenos e teorias já fornecidos pelo paradigma” (Kuhn, 2018, p. 89). Assim, a atuação dos membros do grupo de radioastrônomos da Universidade de Cambridge exemplifica um trabalho que ocorre no âmbito de uma ciência normal, pelo fato de que as/os pesquisadoras/es envolvidas/os trabalharam na articulação de alguns pressupostos elencados pelo segmento da Radioastronomia. De fato, Longair (2011) aponta que os objetivos do radiotelescópio construído pelo grupo envolviam investigações sobre a técnica de cintilação interplanetária em relação a possibilidades ainda não bem aprofundadas, como a procura por mais quasares e seus diâmetros angulares, além do estudo das características do vento solar. Neste campo, as/os cientistas objetivavam desenvolver a “[...] extensão da teoria existente a áreas em que se esperaria que fosse aplicável, mas nas quais isso nunca havia sido tentado” (Kuhn, 2011, p. 249).

Em específico, os objetivos da pesquisa de doutorado de Jocelyn Bell ilustram a existência deste contexto de solução de enigmas, próprio da ciência normal. O trabalho da cientista consistia em calcular diâmetros angulares de quasares mediante a técnica de cintilação interplanetária desenvolvida por seu orientador. Nestas condições, os esforços da cientista objetivavam “[...] elucidar, em vez de alterar, a tradição científica em que foram criados” (Kuhn, 2011, p. 250). Tal atuação implica em “[...] uma tentativa de ajustar a teoria ou observação existentes, de modo que ambas apresentem concordância cada vez maior” (Kuhn, 2011, p. 249).

Estes aspectos possibilitam compreender que a atuação das/os cientistas em um período de ciência normal é tão importante quanto nos períodos em que há grandes rupturas teóricas, com mudanças revolucionárias:

“[...] nem a ciência e nem o desenvolvimento do conhecimento poderão ser entendidos, caso a pesquisa seja vista exclusivamente pelas revoluções que produz de tempos em tempos. Por exemplo, embora os compromissos básicos sejam postos à prova apenas na ciência extraordinária, é a ciência normal que revela tanto os pontos a serem testados como a maneira de realizar os testes” (Kuhn, 2011, p. 289).

Cabe ressaltar que as pesquisas desenvolvidas no domínio de uma ciência normal “[...] não tem como propósito a produção de descobertas fundamentais ou mudanças revolucionárias na teoria científica” (Kuhn, 2011, p. 249). Apesar disso, a investigação aprofundada de determinado aspecto da natureza abre precedentes para que inconsistências sejam identificadas pelas/os cientistas – como observado por Jocelyn Bell. Assim, a detecção do *scruff* por Bell em meio de suas pesquisas sobre quasares ilustra que, eventualmente, “[...] fenômenos novos e insuspeitados são periodicamente descobertos pela pesquisa científica” (Kuhn, 2018, p. 128).

Neste sentido, Kuhn argumenta sobre a existência de determinadas descobertas “que não poderiam ser previstas com base nas teorias aceitas, e, portanto, apanharam de surpresa a profissão como um todo” (Kuhn, 2011, p. 184). Por outro lado, também reconhece descobertas na qual sua existência “[...] havia sido prevista na teoria [...] e os que realizaram a descoberta sabiam, portanto, o que procurar desde o início” (Kuhn, 2011, p. 185). Apesar destas classificações, Thomas Kuhn reconhece que nem sempre tais episódios podem ser caracterizados inequivocamente em uma ou outra destas categorias, como é possível constatar no episódio de detecção dos pulsares.

Outro estudioso que discorre sobre possíveis categorizações de descobertas científicas, esta feita com bastantes pormenores, é Norwood Hanson. Em seu artigo *An Anatomy of a Discovery*, ele descreve que existem descobertas *trip-over*, que ocorrem ao acaso, as quais se apresentam sem quaisquer expectativas das/os cientistas. Em seguida, indica a existência de descobertas resistivas, ou *back-into discoveries*, que são consideradas como descobertas que se opõem as expectativas das/os pesquisadoras/es. Também, aponta, como Kuhn, a existência das descobertas previstas, ou *puzzle-out discoveries*, que implicam expectativas teóricas para que sejam encontradas. Por último, elenca a existência das descobertas generalizadoras, ou *subsume and reticulate discoveries*, responsáveis por unificar determinadas construções científicas de forma teórica e/ou empírica. Em suma, Hanson (1967) e Kuhn (2011) ilustram que descobertas, de várias naturezas, “[...] podem ocorrer em distintos momentos procedimentais de uma investigação científica” (Raicik & Peduzzi, 2016, p. 154).

Em consonância com a interpretação de certos estudiosos (Wade, 1975; Rosenman, 1988; Roberts, 1989; McNamara, 2008; Norrby, 2010; Dick, 2013), o episódio histórico dos pulsares elenca elementos que possibilitam entender que o trabalho protagonizado por Jocelyn Bell acarretou um achado inesperado, uma descoberta serendíptica¹⁰. Primeiramente, seu objetivo de pesquisa era encontrar comportamentos ondulatórios de quasares ou, na pior das hipóteses, sinais de radiointerferência, o que permite ilustrar que “uma das coisas de que depende a prática da ciência normal é a capacidade aprendida de agrupar objetos e situações em classes de similaridade” (Kuhn, 2017, p. 213). O aprofundamento da cientista em meio a estas concepções teóricas exigidas por seus objetivos de pesquisa possibilitou se deparasse com algo insuspeito. Em suma, a cientista sabia reconhecer como os sinais apareceriam nos registros do radiotelescópio.

De outra forma, “o acaso beneficia os pesquisadores que estão imersos em determinada investigação” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 40), pelo fato de que “[...] conhecem bem seus instrumentos e sabem qual deve ser o comportamento da natureza” (Kuhn, 2011, p. 192). Tais descobertas se manifestam quando a/o cientista, “[...] sabendo com precisão o que deveria esperar, é capaz de reconhecer que algo saiu errado” (Kuhn, 2018, p. 143). De fato, este aspecto se apresenta nos relatos da astrônoma, a qual descreve sua inquietação concernente ao sinal com comportamento ondulatório diferenciado que havia encontrado em seus longos registros. Assim, tais descobertas se manifestam com base em um arcabouço teórico pré-existente, a partir de uma “mente preparada” que permite identificar algo inesperado. Desse modo, “[...] sem um estoque substancial de conhecimento, os indivíduos não têm os requisitos para que ‘algum tipo de catálise’ ocorra. Na verdade, o ‘dom da serendipidade’ depende de tal conhecimento” (Merton & Barber, 2004, p. 173). Em suma, “[...] a mente preparada do cientista [...] transformou uma observação trivial, feita por muitos antes, em uma alavanca para um novo entendimento” (Norrby, 2010, p. 48).

¹⁰ A origem etimológica do termo *serendipidade* é atribuída ao conto persa Os Três Príncipes de Serendip. Este conto relata que “[...] conforme suas altezas viajavam, eles estavam sempre fazendo descobertas, por acidentes e sagacidade, de coisas que eles não buscavam” (Rosenman, 1988, p. 132). Cabe destacar que desenvolvemos uma discussão prévia sobre a presença da serendipidade na detecção dos pulsares em Pires e Peduzzi (2021b).

Esta discussão também perpassa um importante aspecto: considerar apenas a postura individual de cientistas pode não ser suficiente na análise de uma descoberta científica permeada pela serendipidade. De outro modo, além da importância de se ressaltar a importância da “mente preparada”, a exemplo de Bell Burnell, igualmente é necessário enfatizar o contexto social e a coletividade que envolve a/o cientista, reconhecendo a importância da flexibilidade e da autonomia dos grupos de pesquisa na investigação de um achado inesperado (Merton & Barber, 2004; Gillies, 2015; Copeland, 2019) – o que de fato, observamos na postura dos membros do grupo de radioastrônomos de Cambridge.

“Assim, um processo de descoberta fortuita provavelmente envolverá a participação de vários cientistas, de uma forma ou de outra, e se estenderá ao longo do tempo. Em contraste com a representação individualista da serendipidade como um ‘lampejo de percepção’, então, temos uma imagem da serendipidade ocorrendo dentro de uma comunidade, envolvendo redes de indivíduos e interações” (Copeland, 2019, p. 2390).

Norwood Hanson (1967), por sua vez, contribui para a compreensão do acaso¹¹ em descobertas científicas ao apontar que ele se manifesta sem que haja qualquer expectativa anterior das/os pesquisadoras/es. A detecção dos primeiros sinais pulsados por Jocelyn Bell ilustra o fato de que em descobertas casuais

“Nenhuma expectativa teórica ou psicológica anterior sulca as fronteiras da investigação em tal caso. As teorias e suposições existentes eram independentes e evasivas em relação ao surgimento dessa descoberta” (Hanson, 1967, p. 336).

Ainda que essa caracterização elaborada por Hanson (1967) permita ressaltar que a identificação dos pulsares consistiu em uma descoberta ao acaso, a existência destes objetos, no entanto, já era parcialmente prevista mediante sugestões sobre a existência de estrelas de nêutrons, que posteriormente viriam a explicar o comportamento dos sinais encontrados por Jocelyn Bell. Na época da detecção, porém, estes elementos teóricos não foram imediatamente considerados pelo grupo de Cambridge na construção das primeiras conjecturas: eles foram se manifestar posteriormente, a partir da publicação do artigo na Revista *Nature* pelo grupo de radioastrônomos (Hewish *et al.*, 1968) e em artigos publicados por outras/os cientistas. Desta forma, este aspecto oportuniza argumentarmos que este episódio é um dos exemplos que aparenta não se enquadrar inequivocamente nas classificações sobre descobertas científicas elaboradas por Kuhn (2011), pelo fato de que as estrelas de nêutrons já eram parcialmente previstas, mas sua observação ocorreu de maneira inesperada. Em outras palavras, na perspectiva de Jocelyn e do grupo de pesquisa, encontrar os pulsares consistiu em um evento inesperado, mas, no ponto de vista da comunidade astronômica, estes achados vieram a corroborar uma predição parcial elaborada décadas antes.

Considerando a atuação de Jocelyn Bell, de Antony Hewish e dos demais radioastrônomos do grupo de Cambridge em um contexto de ciência normal, podemos perguntar se a descoberta protagonizada por Jocelyn Bell pode ser descrita como uma anomalia, nos termos de Thomas Kuhn. Em certa medida, podemos dizer que sim, no sentido de que fora “*reconhecível como uma violação das expectativas*” (Kuhn, 2011, p. 192) geradas no âmbito do corpo de conhecimento aceito. De outra maneira, Merton e Barber (2004, p. 197) apresentam que “[...] *uma descoberta acidental depende da observação de dados inesperados e anômalos*”. De fato, isto era visível nos relatos das/os cientistas envolvidos no episódio: não era esperado que um objeto astronômico pudesse emitir radiação eletromagnética na faixa do rádio em um período tão preciso e rápido, além de se manifestar de maneira incomum no período noturno.

No entanto, as/os cientistas envolvidos puderam assimilar, ainda que preliminarmente, este novo fato por meio de pressupostos da Radioastronomia, caracterizando parcialmente este objeto com o cálculo do seu período e de sua distância em relação a Terra, por exemplo. Posteriormente, novos conhecimentos sobre os pulsares foram desenvolvidos mediante o trabalho de outras/os cientistas, gerando uma ampliação na capacidade explicativa do paradigma. Não somente isso, cientistas atuaram no resgate de construções teóricas – a predição das estrelas de nêutrons por Baade e Zwicky publicadas em meados da década de 1930 – que antecedeu a detecção por Jocelyn Bell e que viria a contribuir na compreensão da natureza

¹¹ No texto, os termos *serendipidade* e *acaso* são mencionados de maneira indistinta. Ainda assim, reconhecemos a existência de estudos, a exemplo de Gillies (2015), que estabelecem discrepâncias entre estes termos. Por exemplo, a descoberta dos raios-X por Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) seria serendípica, pois ao estudar os tubos de raios catódicos, “*ele estava procurando uma coisa [...] e encontrou outra*” (p. 527). As descobertas casuais, por sua vez, envolvem acidentalidades nas práticas científicas e modificam substancialmente os rumos da pesquisa, como o caso da identificação da penicilina por Alexander Fleming (1881-1955). Com efeito, Merton e Barber (2004) apontam que existem diferentes compreensões sobre a serendipidade desenvolvidas ao longo da história.

destas estrelas. Assim, tal aspecto ilustra o início do processo de compreensão conceitual sobre estes novos sinais em um âmbito de ciência normal, na qual “[...] simplesmente revisa-se ou acrescenta-se uma única generalização e todas as outras permanecem as mesmas” (Kuhn, 2017, p. 41). Neste sentido, Thomas Kuhn reforça o caráter dinâmico das investigações desenvolvidas durante a ciência normal, ressaltando que, ainda que não gerem crises agudas, novos fenômenos podem surgir neste contexto:

“Depois da assimilação da descoberta, os cientistas encontravam-se em condições de dar conta de um número maior de fenômenos ou explicar mais precisamente alguns dos fenômenos previamente conhecidos. Tal avanço somente foi possível porque algumas crenças ou procedimentos anteriormente aceitos foram descartados e, simultaneamente, substituídos por outros. Procurei mostrar que alterações desse tipo estão associadas com todas as descobertas realizadas pela ciência normal” (Kuhn, 2018, p. 145).

A detecção dos pulsares é um dos episódios científicos que possibilita perceber que a identificação de um novo fenômeno de maneira inesperada e inicialmente não compreendida pode ser posteriormente digerida, sem grandes sobressaltos, pelo paradigma vigente. Mediante a modificação de determinadas crenças sobre o processo de evolução estelar, foi possível conceder uma compreensão mais estruturada, com respaldo observacional, sobre características das estrelas de nêutrons. Efetivamente, Kuhn (2018, p. 181) argumenta que “[...] um novo fenômeno pode emergir sem refletir-se destrutivamente sobre algum aspecto da prática científica passada”. No âmbito deste episódio, a identificação dos pulsares desencadeou uma ampliação nas possibilidades do que os radiotelescópios poderiam observar.

Além disso, ressaltamos que descobertas acidentais “[...] só adquirem significados quando captam a atenção de alguém capaz de colocá-las em um contexto científico” (Merton & Barber, 2004, p. 297). Isso implica a postura atenta das/os cientistas para que estes achados inesperados sejam identificados. Por certo, além da importância da/o cientista “[...] estar sempre atento a algo inesperado e refletir se essa ocorrência inesperada pode ter algum significado” (Gillies, 2015, p. 527), igualmente é importante que a/o cientista possua “[...] uma atitude flexível em relação aos seus planos de pesquisa e estar preparado para mudá-los à luz de desenvolvimentos inesperados” (Gillies, 2015, p. 528). Ainda que Jocelyn Bell e seus colegas de grupo não possuíssem expectativas teóricas para este achado, eles identificaram que o comportamento do sinal se diferenciava do que usualmente era esperado e se direcionaram para o estudo deste novo objeto. Em outras palavras, o achado “[...] apresentou resultados inesperados que “forçaram” os cientistas [...] a fazer mais investigações, e essas pesquisas adicionais foram frutíferas além de qualquer expectativa” (Merton & Barber, 2004, p. 188). Este aspecto evidencia a não existência da neutralidade das/os pesquisadores frente a descobertas como as inesperadas, pois “reconhecendo o imprevisto, e sua possível fecundidade para a pesquisa, o investigador passa a estudá-lo” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 40). Nesta perspectiva, o grupo de radioastrônomos de Cambridge se mobilizou de maneira a compreender, em um âmbito inicial, o comportamento deste objeto. Como exposto por Kuhn (2018, p. 112):

“[...] o cientista deve preocupar-se em compreender o mundo e ampliar a precisão e o alcance da ordem que lhe foi imposta. Esse compromisso, por sua vez deve levá-lo a perscrutar com grande minúcia empírica (por si mesmo ou através de colegas) algum aspecto da natureza. Se esse escrutínio revela bolsões de aparente desordem, esses devem desafiá-lo a um novo refinamento de suas técnicas de observação ou a uma maior articulação de suas teorias”.

Os relatos de Jocelyn Bell (1983, 2004) e Hewish (1974) ilustram que o grupo realizou a instalação de um receptor específico no radiotelescópio de forma a analisar o comportamento do primeiro sinal, fazendo com que assumissem que o achado consistia em uma novidade, de fato. Em seguida, outras ações foram desenvolvidas pelo grupo de pesquisa: Antony Hewish entrou em contato com outros radioastrônomos para verificar a possibilidade de interferência humana; de maneira a confrontar a hipótese de problemas técnicos com o próprio radiotelescópio, Jocelyn Bell, seu orientador e outros radioastrônomos procuraram pela manifestação do mesmo sinal em outro telescópio, expectativa que se concretizou. Este caminho percorrido por Jocelyn Bell e seus colegas ilustra que o empreendimento científico, além de não ser construído de maneira neutra, “possui um pluralismo metodológico e um dinamismo entre as teorias, as hipóteses e as experiências desenvolvidas” (Raicik & Peduzzi, 2016, p. 161), o que depõe contra a suposta existência de um método científico imutável, que pode ser aplicado em qualquer circunstância da prática científica. Em suma, este aspecto permite perceber o “[...] abandono da ideia de ciência como um empreendimento monolítico único limitado por um método único” (Kuhn, 2017, p. 149).

Ainda sob esta perspectiva, Kuhn (2018, p. 134) argumenta um aspecto importante, ao comentar sobre as descobertas do oxigênio e dos raios-X. Segundo ele, “[...] a percepção de que algo saíra errado foi apenas o prelúdio da descoberta. Nem o oxigênio, nem os raios X surgiram sem um processo ulterior de experimentação [ou observação] e assimilação”. De outra forma, somente a observação de algo inesperado não caracteriza uma descoberta científica, mas esta se constitui pelas investigações direcionadas que ocorrem posteriormente (Merton & Barber, 2004), o que implica que descobertas fortuitas não geram respostas imediatas e conclusivas; é necessário “[...] um período de reflexão [...] para que o[a] observador[a] reconheça o significado do evento casual” (Copeland, 2019, p. 2392). De fato, o grupo de radioastrônomos de Cambridge desenvolveu buscas pelo mesmo sinal, para um melhor entendimento de suas características, o que ilustra que “[...] busca dirigida e serendipidade não se excluem, mas [...] se complementam e até se reforçam mutuamente” (Van Andel, 1994, p. 644).

Além disso, em meio a sua procura por quasares, Bell Burnell, em conjunto com os demais membros do grupo, direcionou seu trabalho para também encontrar comportamentos ondulatórios em seus registros que fossem semelhantes ao do primeiro achado, evidenciando que observações e experiências “são conduzidas, sobretudo, pelo desejo de obter regularidades” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 39). Neste sentido, Jocelyn Bell veio a encontrar outros três sinais que apresentavam comportamento regular e pulsado, similar ao primeiro. Esses aspectos demonstram que “o trabalho científico sistemático sempre segue a observação fortuita inicial [...] evoluindo a partir de experimentação rigorosa e amplo conhecimento da área” (Rosenman, 1988, p. 135).

Cabe ponderar, ainda, sobre a hipótese mais polêmica, que consistia na remota possibilidade de os sinais serem tentativas de comunicação extraterrestre. O que começou como um nome desprezível, o grupo de cientistas passou a considerar como uma conjectura passível de investigação, como mostram as observações realizadas mediante o princípio do Efeito Doppler. De fato, “sua natureza [da fonte de rádio] era a princípio completamente incerta [...] alguns dos líderes do grupo tiveram que lidar com a possibilidade de terem detectado sinais de uma civilização alienígena” (Penny, 2013, p. 5). É importante destacar que, enquanto os cientistas não possuíam evidências mais consistentes, pairou sobre o grupo de radioastrônomos uma preocupação momentânea em relação à publicação do seu achado. Além disso, não há consenso entre os estudiosos deste episódio em relação ao abandono da hipótese dos *Little Green Men*, pelo fato de que determinados autores (Wade, 1975; McGrayne, 1998; Dick, 2013) indicam que observações posteriores de sinais semelhantes puderam derrubar a hipótese dos homenzinhos verdes, enquanto outros autores (Penny, 2013; Vidal, 2019) apontam que o achado de outros pulsares não seria o suficiente para o abandono desta hipótese. Em suma, a aceitação ou a rejeição de conjecturas dependerá da interpretação dos cientistas, dos seus objetivos e das suas expectativas de pesquisa.

À guisa de conclusão, destacamos outros aspectos presentes neste episódio histórico que se apresentam de maneira mais pontual: curiosamente, Jocelyn Bell optou deliberadamente por realizar a análise dos dados de forma manual, ainda que existissem computadores que pudessem realizar este trabalho. No apêndice de sua tese de doutorado, a cientista inclusive argumenta que as fontes poderiam não ter sido identificadas digitalmente, exceto por análises manuais. Segundo ela, “[...] se a saída da antena tivesse sido digitalizada e alimentada diretamente em um computador, essas fontes poderiam muito bem não ter sido descobertas, pois o computador não teria sido programado para buscar tais objetos inesperados” (Bell, 1969, p. 231). Isso possibilita perceber a não neutralidade nos procedimentos científicos e a influência das escolhas teóricas das/os cientistas em meio as suas pesquisas.

Por último, podemos constatar que as relações interpessoais entre os cientistas podem impulsionar ou dificultar o prosseguimento e a apresentação de investigações para a comunidade científica. De forma positiva, o grupo de radioastrônomos de Cambridge contactou outros colegas para verificar a existência destes sinais, o que implica em um senso de coletividade na ciência. Por outro lado, a inimizade entre alguns astrônomos e a reputação comprometida dos radioastrônomos de Cambridge acerca do conflito cosmológico possivelmente interferiu na publicação dos achados do grupo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que durante o desenvolvimento de seu doutorado Jocelyn Bell não tenha se comunicado, de fato, com “homenzinhos verdes”, sua atuação decisiva propiciou o início de uma das mais importantes descobertas científicas do Século XX. Neste sentido, embora seja imprescindível compreender a ciência como construída com base na coletividade, como observamos no episódio discutido neste artigo, evidenciamos que a astrônoma apresenta um papel de destaque na história dos pulsares. Assim, este aspecto permite reforçar a importância de se demonstrar o protagonismo de mulheres nas contribuições

científicas desenvolvidas ao longo da história (Lima, 2015; Maia Filho & Silva, 2019). De fato, “*se faz necessário que as discussões feitas sobre a natureza da ciência no ensino de Física, precisamente, considerem também os marcadores identitários das pessoas que produzem essa ciência*” (Lima, 2019, p. 164). Nesta perspectiva, iniciamos o desenvolvimento de um estudo que evidencia elementos da trajetória acadêmica desta cientista, cujos primeiros resultados são apresentados em Pires e Peduzzi (2021c). Por meio do exemplo de Bell Burnell, há potencialidades em se discutir a existência do Efeito Matilda, bem como a influência do casamento e da maternidade na carreira de mulheres cientistas.

A análise epistemológica deste episódio histórico, em especial, com base nas reflexões de Thomas Kuhn e Norwood Hanson, possibilitou evidenciar o papel da serendipidade em descobertas científicas, que, por certo, consiste em uma importante temática que pode contribuir para uma melhor compreensão sobre a Natureza da Ciência. Assim, em discussões sobre descobertas acidentais, é essencial situá-las em seu contexto histórico, evidenciando os objetivos iniciais de trabalho das/os cientistas envolvidos. Neste sentido, Kuhn adverte que “*sabendo que os cientistas se tornam famosos por resultados que não pretendiam alcançar*”, precisamos “[...] *perguntar em que problemas o autor trabalhava e como se tornaram problemas para ele*” (Kuhn, 2011, p. 132). Além disso, é imprescindível identificar, em decorrência de um achado inesperado, a imersão na pesquisa e as concepções teóricas dos envolvidos, que intencionalmente desenvolvem hipóteses e ações experimentais – ou observacionais, como no âmbito deste episódio – para compreender novos achados. Efetivamente, como exposto por David Bohm (2015, p. 89), “*um dos efeitos do acaso é permitir que ‘as coisas se agitem’, permitindo o início de desenvolvimentos qualitativamente novos*”.

Neste âmbito, outros estudos sobre a serendipidade em descobertas científicas por meio de outros episódios históricos são de suma importância, pois o “[...] *componente acidental tem sido subestimado, ou exagerado, ou simplesmente não compreendido*” (Merton & Barber, 2004, p. 159). De fato, existem na literatura perspectivas diversas sobre o papel da serendipidade e do acaso na ciência, que fazem com que este aspecto, em relatos científicos, seja desconsiderado ou sobrestimado, acarretando compreensões problemáticas sobre este conceito como um aspecto da natureza do conhecimento científico.

Nesta perspectiva, Merton e Barber (2004) expõem alguns destes pontos. Por exemplo, há posicionamentos os quais apontam que considerar a serendipidade e o acaso como um dos fatores para a ocorrência de descobertas científicas poderia ser um sinal de enfraquecimento da ciência, além de desmerecer o trabalho sistemático das/os cientistas. Esta concepção, possivelmente, parece ser oriunda de uma visão de ciência que a considera como um corpo de conhecimento rígido, pautado em um “método científico” imutável. Assim, é compreendido que a experimentação e a observação possuem a função de corroborar ou refutar teorias ou hipóteses, sem margens para ocorrências casuais. Diferente deste posicionamento, valorizar o acaso não implica no abandono dos pressupostos teóricos no desenvolvimento de experimentos ou de observações, mas possibilita “[...] *dar o devido reconhecimento ao modo como os dados empíricos podem desempenhar um papel [...] imprevisível*” (Merton & Barber, 2004, p. 187), podendo ser geradores para o reconhecimento de novos princípios e fenômenos (Raicik & Peduzzi, 2015). Em outras palavras, mesmo que a ciência tenha se consolidado como uma “[...] *busca por novos conhecimentos [...] mais estruturada, mais previsível e, portanto, menos dependente de eventos casuais [...] isso é apenas parcialmente verdadeiro [...] eventos fortuitos continuam a desempenhar um papel importante nas descobertas científicas*” (Norrby, 2010, p. 47). Em suma, “*a história da ciência mostra [...] que a ciência cresceu tanto por plano quanto por acidente*” (Merton & Barber, 2004, p. 186).

Outra noção, que se faz presente no âmbito popular, consiste no fato da serendipidade ser associada à ideia de um “acidente feliz”, como se as/os pesquisadoras/es descobrissem subitamente novos fenômenos e que, de imediato, soubessem suas definições. Esta “[...] *interpretação nociva da serendipidade [...] tornaria a palavra sinônima de uma dependência irracional, intuitiva e passiva da ‘inspiração’ para resposta a problemas científicos*” (Merton & Barber, 2004, p. 198). Assim, entende-se que tais descobertas resultam imediatamente em soluções de problemas científicos, sendo identificados de maneira simples e corriqueira, sem exigir investigações aprofundadas por parte das/os cientistas.

Neste âmbito, a literatura aponta críticas coerentes sobre abordagens estereotipadas da serendipidade na ciência, pois, entende-se, popularmente, que este aspecto se manifesta com “[...] *pessoas que ‘descobrem verdades universais’ observando fatos corriqueiros, por meio de insights*” (Forato, Pietrocola & Martins, 2011, p. 39, grifo no original). Tal concepção faz com que a atividade científica seja “[...] *reduzida a uma sucessão de eventos acidentais que supostamente culminaram em grandes feitos científicos*” (Garcia, 2019, p. 671). Diferente dessa perspectiva, pretendemos ressignificar o papel da serendipidade em descobertas científicas, considerando que estas não ocorrem de maneira corriqueira, mas, dentro de um contexto de imersão e de autonomia das/os cientistas em suas pesquisas. Ainda,

concordamos com Copeland (2019, p. 2386) sobre o fato da “*serendipidade na ciência [...] [ser] melhor compreendida quando observada dentro do contexto mais amplo da comunidade científica, em vez de estritamente pelas lentes da experiência individual*”. Em suma, essa categoria de descoberta possibilita o prelúdio de novos conceitos e de novos campos de estudo, bem como extensões de construções teóricas, que se consolidam após o trabalho coletivo de muitas/os cientistas.

Não somente quanto ao papel da serendipidade, o episódio de detecção dos pulsares é um profícuo exemplo para a ilustração de características da ciência normal. Foi possível evidenciar a dinamicidade que se apresenta neste contexto científico, a qual abarca o prelúdio e o desenvolvimento de novas descobertas, que não necessariamente acarretam em crises sem solução e em períodos de ciência revolucionária. Apesar disso, ainda que o artigo tenha evidenciado a importância da ciência normal, consideramos que, de maneira mais ampla, o desenvolvimento científico também deve ser compreendido por meio de suas revoluções científicas. Neste sentido, entendemos “[...] *o desenvolvimento científico como uma sucessão de períodos ligados à tradição e pontuados por rupturas não cumulativas*” (Kuhn, 2018, p. 321).

Além disso, o episódio de detecção dos pulsares proporciona, em certa medida, a reflexão sobre os contextos da descoberta e da justificativa. Como elencado por Raicik e Peduzzi (2015, 2016), estes contextos são delimitados de maneira dicotômica pelos filósofos positivistas, os quais consideram que o contexto da descoberta está associado com aspectos subjetivos nas descobertas e as origens psicológicas das ideias científicas, enquanto o contexto da justificação se refere à articulação lógica dos resultados científicos. Conforme os positivistas, estes contextos são bem delimitados.

Não obstante, autores pós-positivistas, entre eles Thomas Kuhn e Norwood Hanson, problematizam esta dicotomia, elencando que ambos os contextos, na prática científica, são indissociáveis. Dentre várias justificativas, podemos apontar que, “*o contexto da descoberta possui elementos complexos e lógicos – e está, de forma intrínseca, relacionado ao contexto da justificação*” (Raicik & Peduzzi, 2016, p. 151). Assim, no âmbito do episódio analisado, percebemos que após identificarem os primeiros sinais de rádio incomuns, o grupo de radioastrônomos mobilizou investigações teóricas e observacionais para justificarem, mesmo que preliminarmente, seu novo objeto de pesquisa. Em suma, isto ilustra que “[...] *descobrir algo significa adquirir conhecimento e, conseqüentemente, justificar [...] essa nova aquisição*” (Raicik & Peduzzi, 2015, p. 139).

Vale destacar, também, a potencialidade de discussões propiciadas pelas fontes documentais analisadas neste artigo. Estes materiais possibilitaram evidenciar elementos que envolvem o processo inicial de construção de conhecimentos relativos aos pulsares, como por exemplo: o processo de construção de conhecimento por meio de descobertas científicas, como aquelas permeadas pela serendipidade; o trabalho científico em seus aspectos individuais, mas também coletivos. Além disso, cabe apontar a possibilidade do desenvolvimento de outros estudos sobre este episódio a partir de outras temáticas: ainda que mencionado de maneira introdutória na análise, por meio da discussão da hipótese dos *Little Green Men*, é possível investigar elementos sobre valores envolvidos na aceitação ou rejeição de hipóteses, além da influência de aspectos culturais na construção de conjecturas na ciência – afinal, o contato com extraterrestres consiste em um tema largamente difundido na cultura popular.

Por fim, outra possível discussão, não abordada neste artigo, e potencialmente profícuo, diz respeito ao fato de que a história da descoberta dos pulsares não se encerra nas suas primeiras detecções. A descoberta de um novo fenômeno deve ser considerada como “*um desenvolvimento complexo que se estende no tempo e no espaço*” (Kuhn, 2011, p. 183), pois “[...] *envolve o reconhecimento tanto da existência de algo, como de sua natureza*” (Kuhn, 2018, p. 132, grifo no original)¹². Aqui, apresentamos somente o contexto de detecção, relativo ao “reconhecimento da existência de algo”, que consiste em um recorte extremamente relevante na história dos pulsares. É igualmente importante, e matéria para novos estudos, o desenvolvimento de discussões sobre o contexto de pós-deteção dos pulsares, que evidenciam todo o movimento científico ocorrido para a compreensão da natureza destes singulares objetos celestes.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa. Também, registramos nosso agradecimento

¹² Uma argumentação semelhante sobre a construção coletiva e a extensão temporal de descobertas científicas, baseada na epistemologia de Thomas Kuhn, também é desenvolvida no artigo de Bagdonas, Zanetic e Gurgel (2017), em que os autores apontam que o entendimento sobre a expansão do universo extrapola as contribuições de Edwin Hubble (1889-1953).

às/aos avaliadoras/es deste artigo e às/aos colegas do grupo *Apeiron - Grupo de História, Filosofia e Ensino de Ciências* (UFSC) pelas importantes contribuições para o aprimoramento do texto.

REFERÊNCIAS

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057–1095. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200012\)37:10<1057::AID-TEA3>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200012)37:10<1057::AID-TEA3>3.0.CO;2-C)
- Almeida, C. R. (2020). A pré-história dos buracos negros. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20200197. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0197>
- Araújo, M. L. (2017). *Simuladores experimentais de radiotelescópios para o ensino de astronomia no nível médio*. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Astronomia. Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA Recuperada de <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/tede/644>
- Arthury, L. H. M., & Peduzzi, L. O. Q. (2015). A Teoria do Big Bang e a Natureza da Ciência. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (20), 59-90. <https://doi.org/10.37156/RELEA/2015.20.059>
- Bagdonas, A., Zanetic, J., & Gurgel, I. (2017). Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(2), e2602. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2016-0257>
- Bell, S. J. (1969). *The measurement of radio source diameters using a diffraction method*. (Doctoral Thesis). Cambridge University. Cambridge, United Kingdom. Recuperada de <https://doi.org/10.17863/CAM.492>
- Bell Burnell, J. (1977). Petit Four. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 302(1 Eighth Texas), 685–689. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1977.tb37085.x>
- Bell Burnell, J. (1983). The Discovery of Pulsars. In K. Kellermann, & B. Sheets (Eds.). *Serendipitous Discoveries in Radio Astronomy* (pp. 160-170). Green Bank: National Radio Astronomy Observatory. <http://library.nrao.edu/public/collection/02000000000280.pdf>
- Bell Burnell, J. (2004). Pliers, pulsars and extreme physics. *Astronomy and Geophysics*, 45(1), 1.07-1.11. <https://doi.org/10.1046/j.1468-4004.2003.45107.x>
- Bell Burnell, J. (2007). Astronomy: Pulsars 40 years on. *Science*, 318(5850), 579–581. <http://doi.org/10.1126/science.1150039>
- Bell Burnell, J. (2010). Discovery of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1). *Beautiful Minds* [Seriado de Televisão]. BBC: United Kingdom. <https://www.bbc.co.uk/programmes/b00ry9jq>
- Bell Burnell, J. (2017). The past, present and future of pulsars. *Nature Astronomy*, 1(12), 831–834. <http://doi.org/10.1038/s41550-017-0323-x>
- Bell Burnell, J. (2018). The woman who heard stars spin. Entrevista Concedida a Leah Crane. *New Scientist*, 239(3195), 16. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(18\)31644-0](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(18)31644-0)
- Bohm, D. (2015). *Causalidade e acaso na física moderna*. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto.
- Carvalho, H. R., Nascimento, L. A., & Silva, B. V. C. (2017). Uso de Textos Históricos para uma Abordagem Pedagógica sobre a Natureza da Ciência. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, (23), 7–37. <https://doi.org/10.37156/RELEA/2017.23.007>
- Cellard, A. (2012). A Análise Documental. In Poupart, J., Deslauriers, J. P, Groulx, L. H., Laperrière, A., Mayer, R., & Pires, A. P. *A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos* (pp. 295-316). (3a. ed.). Petrópolis, RJ: Vozes.
- Copeland, S. (2019). On serendipity in science: discovery at the intersection of chance and wisdom. *Synthese*, 196, 2385–2406. <https://doi.org/10.1007/s11229-017-1544-3>

- Cordeiro, M. D. (2017). Mulheres na Física: um pouco de história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(3), 669–672. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n3p669>
- Costa, B. L., Polati, F., & Allen, M. P. (2018). Uma proposta de discussão de controvérsias históricas e epistemológicas acerca da evolução estelar para o ensino médio. In *Atas do V Simpósio Nacional de Educação em Astronomia*. Londrina, PR. Recuperado de https://sab-astro.org.br/wp-content/uploads/2020/01/SNEA2018_TCP83.pdf
- Dick, S. J. (2013). *Discovery and Classification in Astronomy: Controversy and Consensus*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Feder, T. (2019). Q&A: Pulsar pioneer Jocelyn Bell Burnell. *Physics Today*. <http://doi.org/10.1063/PT.6.4.20190130a>
- Forato, T. C. M. (2009). *A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz*. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Recuperada de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-24092009-130728/pt-br.php>
- Forato, T. C. M., Pietrocola, M., & Martins, R. A. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27–59. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>
- Freire Jr., O. (2002) A relevância da filosofia e história das ciências para a formação dos professores de Ciências. In Waldomiro, J. S. *Epistemologia e Ensino de Ciências* (pp. 13-30). Salvador, BA: Arcádia/UCSal.
- Garcia, J. O. (2019). A imaginação como recurso heurístico na construção do conhecimento científico e algumas implicações para o ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 36(3), 660–674. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n3p660>
- Gillies, D. (2015). Serendipity and Chance in Scientific Discovery: Policy Implications for Global Society. In Archibugi, D., & Filipetti, A (Eds.). *The Handbook of Global Science, Technology and Innovation* (pp. 525-539). New Jersey, United States of America: Wiley-Blackwell.
- Gorges Neto, L., & Arthury, L. (2021). A formação docente e as concepções dos estudantes no âmbito da astronomia. *Cadernos de Astronomia*, 2(1), 159-170. <https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v2n1.33137>
- Graham-Smith, F. (2014). *Unseen Cosmos: The Universe in Radio*. Oxford: Oxford University Press.
- Gregorio-Hetem, J., Jatenco-Pereira, V., & Oliveira, C. M. (2010). Fundamentos de Astronomia. São Paulo, SP: IAG/USP. Recuperado de <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aqa215/>
- Hanson, N. R. (1967). An Anatomy of Discovery. *The Journal of Philosophy*, 64(11), 321–352. <https://doi.org/10.2307/2024301>
- Henrique, A. B. (2011). *Discutindo a Natureza da Ciência a partir de episódios da História da Cosmologia*. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Recuperada de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-19072011-112602/pt-br.php>
- Henrique, A. B., Andrade, V. F. P., & L'Astorina, B. (2010). Discussões sobre a natureza da ciência em um curso sobre a história da astronomia. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, 10, 17–31. <https://doi.org/10.37156/RELEA/2010.09.017>
- Hewish, A. (1951). The diffraction of radio waves in passing through a phase-changing ionosphere. *Proceedings of the Royal Society of London*, 209(1096), 81–96. <https://doi.org/10.1098/rspa.1951.0189>
- Hewish, A. (1952). The diffraction of galactic radio waves as a method of investigating the irregular structure of the ionosphere. *Proceedings of the Royal Society of London*, 214(1119), 494–514. <https://doi.org/10.1098/rspa.1952.0185>
- Hewish, A. (1974). Pulsars and High Density Physics. *Nobel Lectures*, 174–183. Recuperado de <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/hewish-lecture.pdf>

- Hewish, A., Bell, S. J., Pilkington, J. D. H., Scott, P. F., & Collins, R. A. (1968). Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. *Nature*, 217(5130), 709–713. <https://doi.org/10.1038/217709a0>
- Hewish, A., Scott, P. F., & Wills, D. (1964). Interplanetary Scintillation of Small Diameter Radio Sources. *Nature*, 203(4951), 1214–1217. <https://doi.org/10.1038/2031214a0>
- Kidger, M. (2007). *Cosmological Enigmas: Pulsars, Quasars, and Other Deep-Space Questions*. Baltimore, United States of America: The Johns Hopkins University Press.
- Kragh, H. (1996). *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*. Princeton, United States of America: Princeton University Press.
- Krupczak, C., & Aires, J. A. (2018). Natureza da ciência: o que os pesquisadores brasileiros discutem? *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática*, 14(32), 19–32. <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v14i32.6180>
- Kuhn, T. S. (2011). *A Tensão Essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica*. São Paulo, SP: Unesp.
- Kuhn, T. S. (2017). *O Caminho Desde A Estrutura: ensaios filosóficos, 1970-1993, com uma entrevista autobiográfica (2a. ed.)*. São Paulo, SP: Unesp.
- Kuhn, T. S. (2018). *A Estrutura das Revoluções Científicas (13a. ed.)*. São Paulo, SP: Perspectiva.
- Lima, I. P. C. (2015). *Lise Meitner e a fissão nuclear: uma visão não eurocêntrica da ciência*. *Revista Gênero*, 16(1), 51–65. <https://doi.org/10.22409/rq.v16i1.745>
- Lima, I. P. C. (2019). *Lise Meitner e a fissão nuclear: caminhos para uma narrativa feminista*. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. Recuperada de <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/31996>
- Longair, M. (2006). *The Cosmic Century: A History of Astrophysics and Cosmology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Longair, M. (2009). *History of astronomical discoveries*. *Experimental Astronomy*, 25, 241–259. <https://doi.org/10.1007/s10686-009-9145-x>
- Longair, M. (2011). The Discovery of Pulsars and the Aftermath. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 155(2), 147–157. <https://www.jstor.org/stable/23056832>
- Maia Filho, A. M., & Silva, I. L. (2019). A trajetória de Chien Shiung Wu e a sua contribuição à Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 36(1), 135–157. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p135>
- Martins, A. F. P. (2007). História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(1), 112–131. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6056>
- Matthews, M. R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 12(1), 164–214. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084>
- Mazrui, A. A., & Wondji, C. (2010). *História Geral da África: África desde 1935*. Brasília, DF: UNESCO.
- McGrayne, S. B. (1998). *Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries (2a. ed.)*. Washington, United States of America: Joseph Henry Press.
- McNamara, G. (2008). *Clocks in the Sky: The Story of Pulsars*. New York, United States of America: Praxis.
- Merton, R. K., & Barber, E. (2004). *The Travels and Adventures of Serendipity*. Princeton, United States of America: Princeton University Press.
- Mitchell, S. (2017). *#PulsarWeek: The women who study pulsars*. Recuperado de <https://asd.gsfc.nasa.gov/blueshift/index.php/2017/08/06/pulsarweek-the-women-who-study-pulsars>

- Moura, B. A. (2014). O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(1), 32–46. https://www.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1932
- Norrby, E. (2010). Nobel Prizes and Life Sciences. London, England: World Scientific.
- Oliveira, R. A., & Silva, A. P. B. (2012). História da ciência e ensino de física: uma análise meta-historiográfica. In L. O. Q. Peduzzi, A. F. P. Martins, & J. M. H. Ferreira (Orgs.). *Temas de história e filosofia da ciência no ensino* (pp. 41–64). Natal, RN: Edufrn.
- Oliveira Filho, K. S., & Saraiva, M. F. O. (2014). *Astronomia e Astrofísica*. Porto Alegre, RS: Livraria da Física.
- Peduzzi, L. O. Q., & Raicik, A. C. (2020). Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 19–55. <http://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19>
- Penny, A. J. (2013). The SETI Episode in the 1967 Discovery of Pulsars. *European Physical Journal*, 38(4), 535–547. <https://doi.org/10.1140/epjh/e2012-30052-6>
- Pilkington, J. D. H., Hewish, A., Bell, S. J., & Cole, T. W. (1968). Observations of Some Further Pulsed Radio Sources. *Nature*, 218(5137) 126-129. <https://doi.org/10.1038/218126a0>
- Pires, L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2021a). Jocelyn Bell Burnell e a Descoberta dos Pulsares: Revisando Pesquisas do Ensino de Física e de Astronomia em uma Perspectiva Histórica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 26(3), 157-180. <http://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n3p157>
- Pires, L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2021b). Serendipidade em descobertas científicas: o episódio histórico de detecção dos pulsares. In *Anais do XIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Campina Grande, PB. Recuperado de <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/76253>
- Pires, L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2021c). Jocelyn Bell Burnell e os Pulsares: Trajetória e Contribuições para a Astronomia Moderna. In *Anais do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Santo André, SP. Recuperado de <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxiv/sys/resumos/T0801-1.pdf>
- Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2015). Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 8(1), 132–146. https://www.sbhc.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1991
- Raicik, A. C., & Peduzzi, L. O. Q. (2016). A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 9(2), 149–176. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2016v9n2p149>
- Roberts, R. M. (1989). *Serendipity Accidental Discoveries in Science*. New York United States of America: Wiley.
- Roberts, S. (2019). *World first as Bell Burnell pulsar chart goes on display*. Recuperado de <https://www.cam.ac.uk/Discovery>
- Rosenman, M. F. (1988). Serendipity and Scientific Discovery. *The Journal of Creative Behavior*, 22(2), 132–138. <https://doi.org/10.1002/j.2162-6057.1988.tb00674.x>
- Rossiter, M. R. (1993). The Matthew Matilda Effect in Science. *Social Studies of Science*, 23(2), 325–341. <https://doi.org/10.1177/030631293023002004>
- Schmidt, M. (1963). 3C 273: A Star-Like Object with Large Red-Shift. *Nature*, 197(4872), 1040. <https://doi.org/10.1038/1971040a0>
- Tesh, S., & Wade, J. (2017). Look happy dear, you've just made a discovery. *Physics World*, 30(9), 31–33. <http://dx.doi.org/10.1088/2058-7058/30/9/35>
- Van Andel, P. (1994). Anatomy of the Unsought Finding. Serendipity: Origin, History, Domains, Traditions, Appearances, Patterns and Programmability. *British Journal for the Philosophy of Science*, 45(2), 631–648. <http://www.jstor.org/stable/687687>

- Vidal, C. (2019). Pulsar positioning system: A quest for evidence of extraterrestrial engineering. *International Journal of Astrobiology*, 18(3), 213–234. <https://doi.org/10.1017/S147355041700043X>
- Vieira, P. C., Massoni, N. T., & Alves-Brito, A. (2021). O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210028. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0028>
- Wade, N. (1975). Discovery of Pulsars: A Graduate Student's Story. *Science*, 189(4200), 358–364. <http://doi.org/10.1126/science.189.4200.358>

Recebido em: 19.07.2021

Aceito em: 20.12.2021