



Pulsating Stars: o Contexto Histórico de Pós-deteccção dos Pulsares no Campo da Física e da Astronomia

Larissa do Nascimento Pires  • Luiz O. Q. Peduzzi 

Resumo

Em fevereiro de 1968, a então estudante de pós-graduação Jocelyn Bell, seu orientador Antony Hewish e demais integrantes do grupo de radioastrônomos da Universidade de Cambridge publicaram um artigo na Revista *Nature* sobre incomuns sinais pulsados em ondas de rádio, identificados inicialmente em meados de agosto de 1967, gerando um amplo movimento da comunidade científica para entendimento deste suposto novo objeto astronômico: os pulsares. Neste artigo, objetivamos discutir aspectos históricos envolvidos no processo de compreensão conceitual dos pulsares, tendo como base artigos científicos publicados à época, comentários sobre o episódio elaborados por Jocelyn Bell Burnell e Antony Hewish, além de estudos secundários sobre a história dos pulsares. A partir de reflexões de Ludwik Fleck e Thomas Kuhn, as discussões de Natureza da Ciência evidenciadas consistem, por exemplo, na extensão temporal e na construção coletiva de uma descoberta científica e no processo complexo de circulação de teorias e de observações sobre um fenômeno entre astrônomos.

Palavras-chave HISTÓRIA DA FÍSICA E DA ASTRONOMIA • NATUREZA DA CIÊNCIA • ENSINO DE FÍSICA

Pulsating Stars: the Historical Context of Post Detection in the Field of Physics and Astronomy

Abstract

In February 1968, the then postgraduate student Jocelyn Bell, her advisor Antony Hewish and other members of the Radio Astronomy Group at Cambridge University published an article in the journal *Nature* about “unusual signals” in the data coming from her radio telescope, initially identified in mid-August 1967. This mobilized the scientific community to understand this allegedly new astronomical object: the pulsars. In this paper, we aim to discuss historical aspects involved in the process of conceptual understanding of pulsars, based on scientific articles published at the time; comments on the episode by Jocelyn Bell Burnell and Antony Hewish, and also on secondary sources on the history of pulsars. From studies of Ludwik Fleck and Thomas Kuhn, discussions of Nature of Science consist, for example, in temporal extension and collective construction of a scientific discovery, as well as in the complex process of circulation of theories and observations of a phenomenon among astronomers.

Keywords HISTORY OF PHYSICS AND ASTRONOMY • NATURE OF SCIENCE • TEACHING OF PHYSICS

Introdução

Em 1972, a Agência Espacial Americana (NASA) lançou a sonda espacial Pioneer 10, com o objetivo de coletar dados sobre planetas gasosos, como Júpiter e Saturno. Nesta sonda, estava presente uma placa “[...] com uma espécie de mensagem informativa sobre a Terra destinada a quem a pudesse interceptar, uma mensagem interestelar numa garrafa” (García-Posada, 2017, p. 269, tradução livre). Elaborada por uma equipe coordenada pelo astrônomo Carl Sagan (1934–1996), a construção da Placa Pioneer possuía o objetivo de conceder respostas sobre a existência de vida fora da Terra. Para que possíveis seres extraterrestres pudessem reconhecer que a mensagem estava sendo emitida do Sistema Solar, os astrônomos utilizaram sinais eletromagnéticos emitidos por catorze pulsares. Em relação a estes objetos astronômicos, Carl Sagan menciona em seu livro *O Mundo Assombrado Pelos Demônios*, brevemente, o episódio de detecção dos pulsares:

Em 1967, cientistas britânicos encontraram uma fonte intensa de rádio muito mais próxima, acendendo e apagando-se com precisão espantosa, com período constante de dez ou mais números significativos. [...] Os cientistas até lhe deram, entre si, na Universidade de Cambridge, a designação desvirtuada de LGM-1, sendo LGM a sigla inglesa para homenzinhos verdes.

[...] Logo ficou claro que aquilo que estavam observando era o que agora se chama pulsar [...] o estado final de uma estrela maciça, um sol encolhido até o tamanho de uma cidade, que não é mantido, como as outras estrelas, pela pressão de gás, nem pela degeneração dos elétrons, mas por forças nucleares. [...] Não é uma civilização extraterrestre. É outra coisa: mas algo que nos abre os olhos e as mentes e indica possibilidades não imaginadas na natureza (Sagan, 2006, pp. 207–208).

Extrapolando o contexto científico, os pulsares apareceram em momentos da cultura popular, como na indústria musical. A representação gráfica de um dos pulsares encontrado pela cientista britânica Jocelyn Bell Burnell está presente na capa do álbum de estreia da banda *Joy Division*, intitulado *Unknown Pleasures* e lançado no ano de 1979. Sobre este fato, James (2017, p. 2, tradução livre) aponta que, atualmente, “[...] muitas pessoas reconhecem a imagem que aparece em tudo, de camisetas a tatuagens, mas poucos percebem que representa o primeiro pulsar descoberto”. A inspiração artística para o álbum parece ter se originado da seguinte maneira:

[...] na edição de 1977 da “The Cambridge Encyclopedia of Astronomy”, havia uma imagem de perfis de pulsos [...] sucessivos do PSR 1919+21¹. O retrato simples, mas enigmático, de rabiscos, poderia ter permanecido naquela enciclopédia e em artigos de jornal obscuros se não tivesse chamado a atenção de Peter Saville, que decidiu que seria a capa perfeita para o álbum de Joy Division (James, 2017, p. 2, tradução livre).

1 Esta é uma das denominações atuais para o primeiro pulsar encontrado por Jocelyn Bell, originalmente chamado de CP 1919.

Além de se evidenciar aspectos mais populares da ciência sobre este objeto astronômico, também se faz importante considerar o reconhecimento histórico sobre elementos do processo de construção conceitual sobre os pulsares. Na perspectiva do ensino de Ciências, diversos trabalhos (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; McComas, 2008; Moura, 2014; Peduzzi & Raicik, 2020) sugerem que a articulação de aspectos histórico-epistemológicos pode contribuir na discussão sobre elementos da Natureza da Ciência (NdC). De acordo com McComas (2008, pp. 249–250, tradução livre), a NdC pode ser descrita como “[...] uma rica descrição da ciência; como ela funciona, como os cientistas operam enquanto grupo social e como a própria sociedade tanto direciona como reage ao empreendimento científico”. Na área de História da Astronomia, especificamente, existem algumas pesquisas que contemplam a análise de elementos da atividade e da produção científica: a descoberta da expansão do Universo e o desenvolvimento da Lei de Hubble (Bagdonas, Zanetic & Gurgel, 2017), além do trabalho de Almeida (2021), que explorou elementos históricos que se manifestam na descoberta dos buracos negros.

Em relação à temática dos pulsares, Pires e Peduzzi (2022) realizaram um estudo sobre a presença da serendipidade na identificação destes objetos, além do protagonismo da então estudante de pós-graduação Jocelyn Bell. Em meio a uma procura de quasares para o desenvolvimento de sua pesquisa de doutorado na Universidade de Cambridge, Bell identificou os primeiros sinais que seriam posteriormente compreendidos como pulsares, “[...] as últimas estrelas estáveis [...] [que] podem ser consideradas como objetos que falharam na tarefa de tornarem buracos negros” (Longair, 2006, pp. 196–197, tradução livre).

Assim, este artigo tem como objetivo discutir elementos de cunho histórico que podem ser evidenciados no contexto de pós-deteção dos pulsares — que entendemos como o contexto científico de compreensão dos aspectos conceituais sobre estes objetos astronômicos — além de apontar possíveis discussões epistemológicas e sobre a natureza do conhecimento científico com base neste recorte histórico. Para tanto, pretendemos dar respostas aos seguintes questionamentos: “Que aspectos históricos podem ilustrar o contexto de construção conceitual sobre os pulsares? Que discussões sobre a Natureza da Ciência podem ser evidenciadas com base em elementos históricos presentes no contexto pós-deteção destes objetos astronômicos?”

Considerando aspectos metodológicos da análise documental (Cellard, 2012), versamos sobre determinados elementos históricos envolvidos no contexto histórico de compreensão dos pulsares pela comunidade científica, com base em fontes primárias, como relatos de Jocelyn Bell Burnell e Antony Hewish, bem como artigos científicos publicados entre os anos de 1967 e 1969; e fontes secundárias, como obras que apresentam reflexões retrospectivas sobre a importância dos pulsares. Desenvolvemos uma discussão epistemológica com base em Ludwik Fleck (2010) e reflexões pontuais de Thomas Kuhn (2011; 2018), no sentido de direcionar possíveis discussões de Natureza da Ciência no âmbito de ensino de Física e de Astronomia. Por último, apresentamos desdobramentos futuros do estudo realizado.

Contexto de Pós-Detecção dos Pulsares

Primeiras Comunicações

Cinquenta anos depois da detecção do primeiro pulsar, Jocelyn Bell Burnell (1943-) relembra sua atuação como estudante de doutorado na Universidade de Cambridge, orientada pelo radioastrônomo Antony Hewish (1924–2021). Entretanto, “ela não estava apenas construindo o radiotelescópio elaborado por Hewish para procurar fontes cintilantes. Ela também estava construindo [sem o saber] um dispositivo ideal para descobrir pulsares” (McGrayne, 1998, p. 369). De acordo com a cientista:

[...] encontrei mais de 150 fontes mais compactas que provavelmente seriam quasares, mas permaneceu um sinal inexplicável ocasional. Compreender esse sinal peculiar levou vários meses e, em seguida, descobrir que era uma sequência de pulsos regulares com um período de 1,33 segundos abriu mais problemas do que soluções. Ao longo de dezembro de 1967, meu supervisor de doutorado, Antony Hewish, e eu estabelecemos que as pulsações eram genuínas — não eram interferência de rádio — que tinham um período muito preciso [...] e que a fonte era pequena e massiva [...] Logo eu encontrei um segundo, claramente da mesma família (seja lá o que fosse) e algumas semanas depois, um terceiro e um quarto (Bell Burnell, 2017, p. 831, tradução livre).

Após a definição das suas primeiras características, Hewish providenciou a redação de um artigo em meados de janeiro de 1968, a ser submetido para a Revista *Nature*. Em meio à época de avaliação da submissão, Hewish também organizou um seminário apresentado no dia 20 de fevereiro de 1968, no Laboratório Cavendish, na Universidade de Cambridge. Sobre este aspecto, em um de seus relatos, a cientista ressalta:

Poucos dias antes de o artigo ser publicado, Tony Hewish deu um seminário em Cambridge para anunciar os resultados. Todos os astrônomos em Cambridge, ao que parecia, compareceram àquele seminário, e seu interesse e entusiasmo me deram uma primeira apreciação da revolução que havíamos começado (Bell Burnell, 1977, p. 687, tradução livre).

No livro *Uma Breve História do Tempo*, Stephen Hawking (1942–2018) relata que estava presente nesta ocasião. Segundo ele, “[...] no seminário em que anunciaram sua descoberta², lembro-me de que chamaram as quatro primeiras fontes descobertas de LGM 1–4 [...] uma sigla para ‘Little Green Men’” (Hawking, 2015, pp. 121–122). Alguns aspectos da divulgação destes achados no seminário foram os seguintes:

2 Esta citação é um exemplo, dentre outras extraídas de fontes secundárias, em que as/os autores se referem ao termo *descoberta* como um evento unitário, ocorrido em um determinado lugar e com certo indivíduo. No âmbito deste artigo, no entanto, defendemos um entendimento sobre descobertas científicas no sentido que é descrito por Kuhn (2011), como um esforço coletivo desenvolvido em um determinado período de tempo.

Hewish revelou tudo... Bem, quase tudo: sua equipe havia detectado uma rápida fonte de rádio pulsante para a qual não havia explicação imediata. Ninguém na plateia sabia quais eram as fontes e, apesar da especulação extraterrestre inicial, agora estava claro que eles haviam encontrado um novo fenômeno [...] Havia um sentimento entre os presentes de que era o início de algo importante no mundo da astronomia. Hewish resumiu o artigo, mencionando que objetos semelhantes foram encontrados em outras partes do céu (McNamara, 2008, p. 48, tradução livre).

Durante esta exposição, cientistas apontaram conjecturas acerca do comportamento destes sinais. Apesar do período de um quarto de segundo do último pulsar encontrado por Jocelyn Bell ter tornado “[...] as explicações envolvendo estrelas anãs brancas cada vez mais difíceis” (Hewish, 1974, p. 178, tradução livre), Hewish sugeriu em sua apresentação que este objeto “[...] poderia ser algum tipo de anã branca vibrante” (McNamara, 2008, p. 48, tradução livre). Antony Hewish descreve que em determinado estágio da investigação, o grupo de pesquisa passou a considerar a possibilidade dos sinais consistirem em anãs brancas. Segundo ele, “meus amigos da biblioteca do observatório ficaram surpresos ao ver um radioastrônomo se interessando tanto por livros sobre evolução estelar” (Hewish, 1974, p. 178, tradução livre).

Neste seminário, se fazia presente o astrônomo e físico teórico Fred Hoyle (1915-2001). Na ocasião, apesar de o astrônomo dizer que não possuía conhecimento destas estrelas até então, a cientista descreve que Hoyle apontou o seguinte: “Não acho que [estas estrelas] sejam anãs brancas, acho que são remanescentes de supernovas” (Bell Burnell, 1983, p. 169, tradução livre). McNamara (2008, p. 48, tradução livre) discute que, possivelmente, Fred Hoyle, “[...] não estava mencionando as nuvens de gás em expansão, mas sim o que havia sido deixado para trás: as estrelas de nêutrons de Baade e Zwicky”.

No ano de 1934, Walter Baade (1893–1960) e Fritz Zwicky (1898–1974) sugeriram que explosões de supernovas poderiam consistir na passagem de uma estrela comum para uma estrela de nêutrons (Baade & Zwicky, 1934). Dick (2013) sugere que, no entanto, no momento da detecção dos pulsares, estas predições não foram consideradas pelo grupo de radioastrônomos de Cambridge como possíveis explicações para os primeiros achados. Outras hipóteses, como inclusive a possibilidade de comunicação extraterrestre, foram consideradas primeiramente, para somente semanas depois os cientistas começarem a elencar aspectos próximos às predições teóricas de Baade e Zwicky.

Após a comunicação dos achados, a Revista *Nature* publicou o artigo dentro de duas semanas, o que foi “[...] uma decisão extraordinariamente rápida por parte dos editores da revista” (Greenstein, 1984, p. 21, tradução livre). No resumo do artigo intitulado *Observation of Rapidly Pulsating Radio Source*, publicado no dia 24 de fevereiro de 1968, os autores apontam:

Sinais incomuns de fontes pulsantes de rádio foram registrados no *Mullard Radio Astronomy Observatory*. A radiação parece vir de objetos localizados no interior da galáxia e pode estar associada com oscilações de anãs brancas ou estrelas de nêutrons (Hewish et al., 1968, p. 709, tradução livre).

No artigo de Hewish et al. (1968), há a menção às características do radiotelescópio construído, evidenciando-se que após entrar em operação, “percebeu-se sinais que, apesar de inicialmente fracos, eram repetidamente observados em uma declinação e ascensão reta fixa: este resultado mostrou que a fonte não tinha origem terrestre” (Hewish et al., 1968, p. 709, tradução livre). Em um dos seus relatos, a cientista aponta que, “no artigo, fomos um pouco ambíguos sobre o que havíamos testemunhado, porque honestamente não sabíamos o que era” (Bell Burnell, 2004, p. 1.10, tradução livre). Sobre isso, os autores mencionam algumas hipóteses iniciais na tentativa da compreensão dos sinais: apontam que “a notável natureza destes sinais em um primeiro momento sugeriram que sua origem poderia ser de transmissões humanas que poderiam surgir de sondas espaciais” (Hewish et al., 1968, p. 709, tradução livre). Posteriormente, os autores discorrem que

A característica mais significativa a ser considerada é a extrema regularidade dos pulsos. Isso sugere uma origem em termos da pulsação de uma estrela inteira, ao invés de alguma perturbação mais localizada em uma atmosfera estelar. Com relação a isso, é interessante notar que já foi sugerido que a pulsação radial das estrelas de nêutrons pode desempenhar um papel importante na história das supernovas e seus remanescentes (p. 712, tradução livre).

Sobre a menção das estrelas de nêutrons e de explosões de supernovas, Lyne & Graham-Smith (2012, p. 5, tradução livre) apontam que “[...] é particularmente interessante ver que o artigo menciona especificamente uma estrela de nêutrons como uma origem possível, quando naquela época a existência de estrelas de nêutrons era apenas hipotética”. Apesar disso, não se apresentavam menções explícitas às elaborações teóricas propostas por Walter Baade e por Fritz Zwicky. Por certo,

Mesmo que o artigo de descoberta do pulsar de 1968 de Anthony Hewish, Jocelyn Bell e seus colegas tenham citado como possível explicação um artigo teórico recente de Meltzer e Thorne sobre pulsações radiais de anãs brancas e estrelas de nêutrons no ponto final da evolução estelar, nem esse artigo nem o artigo de descoberta cita a previsão teórica de Baade e Zwicky, feita mais de três décadas antes. Apesar da previsão, os astrônomos estavam céticos de que tal objeto pudesse existir na realidade (Dick, 2013, p. 309, tradução livre).

Nas considerações finais do artigo, os autores sugerem que “[...] evidências observacionais são claramente necessárias para obter uma melhor compreensão dessa estranha nova classe de fontes de rádio” (Hewish et al., 1968, p. 713, tradução livre). Em termos das reações da comunidade científica, Hewish (1974) argumentou em seu discurso no Nobel de Física em 1974 que “os meses que se seguiram ao anúncio de nossa descoberta foram ocupados tanto para observadores quanto para teóricos, pois os radiotelescópios de todo o mundo se voltaram para os primeiros pulsares” (p. 178, tradução livre). Houve um movimento da comunidade científica em se debruçar sobre as novas possibilidades deste novo objeto, como observado em inúmeras publicações

na *Nature* e em outras revistas, além de conferências entre cientistas: “[...] o problema passou das suas mãos [do grupo] para as da comunidade mundial de físicos e astrônomos como um todo” (Greenstein, 1984, p. 16, tradução livre).

O Comportamento Enigmático dos Pulsares

O comportamento deste objeto estelar exibia um aspecto que intrigava os cientistas envolvidos na sua deteção, bem como os demais estudiosos que se debruçaram sobre este achado. A paradoxal conclusão que se apresentava era que “[...] a ideia de algo piscando e apagando tão rapidamente implicava que era muito pequeno. Ao mesmo tempo, a incrível precisão do período indicava que era algo grande e regular” (McNamara, 2008, p. 45). Assim, a dúvida que pairava entre as/os cientistas consistia no fato de que embora fosse “[...] amplamente reconhecido que a extrema regularidade das emissões dos pulsares era algo que merecia atenção [...] nenhuma fonte astronômica havia sido encontrada pulsando com um comportamento tão próximo a sua regularidade” (Greenstein, 1984, p. 22, tradução livre). Em termos observacionais, considerava-se que “os primeiros pulsares descobertos giravam em apenas alguns segundos e não demoraria muito para que outros ainda mais rápidos fossem encontrados. Não é de se admirar que os astrônomos achassem esse conceito difícil” (McNamara, 2008, p. 55, tradução livre).

Neste domínio, “três mecanismos [...] diferentes foram propostos em um ponto ou outro durante o debate sobre a natureza dos pulsares” (Greenstein, 1984, p. 22, tradução livre). Estas conjecturas foram discutidas em uma conferência organizada pelo cientista Alastair Cameron (1925–2003), entre os dias 20 e 21 de maio de 1968 na cidade de Nova York. As publicações em revistas científicas também apontavam estas sugestões: um destes modelos “explicava os pulsares como estrelas de nêutrons em rotação [...] outros artigos [...] discutiam anãs brancas vibrando ou um satélite orbitando uma estrela de nêutrons como a explicação” (Dick, 2013, p. 109, tradução livre).

A explicação mais considerada pelos cientistas envolvia o entendimento dos pulsares como *estrelas anãs brancas* que oscilavam ou vibravam. “liberando [...] ondas de energia eletromagnética que os astrônomos captavam como as radiopulsões” (McNamara, 2008, p. 57). Greenstein (1984) argumenta que tal fenômeno era “[...] tão bem conhecido que provavelmente é justo dizer que foi esse modelo que surgiu pela primeira vez na mente da maioria dos astrônomos quando o anúncio da descoberta dos pulsares foi feito” (Greenstein, 1984, pp. 26–27, tradução livre). De fato, “estrelas anãs brancas já eram observáveis e bem compreendidas” (Lyne & Graham-Smith, 2012, p. 6, tradução livre). De modo geral, estudos indicavam que seus períodos de oscilação eram da ordem de segundos. Um dos exemplos destes trabalhos, inclusive mencionado no artigo de Hewish et al. (1968), consistiu em um artigo de Meltzer & Thorne (1966), intitulado *Normal Modes of Radial Pulsation of Stars at the End Point of Thermonuclear Evolution*. Lyne & Graham-Smith (2012, p. 6, tradução livre) apontam que estes cientistas, “[...] pouco antes da descoberta [dos pulsares] [...] mostraram que uma estrela anã branca poderia ter uma periodicidade ressonante de cerca de 10 segundos”.

Entretanto, “[...] o pulsar mais rápido conhecido na época da conferência possuía um período de um quarto de segundo” (McNamara, 2008, p. 57, tradução livre), que consistia justamente no último pulsar encontrado por Jocelyn Bell. Ainda que este pulsar apresentasse um período consideravelmente inferior em comparação aos modelos teóricos que descreviam as anãs brancas, estas “[...] estavam dentro do reino da possibilidade e até mesmo eram consideradas como as candidatas mais prováveis” (McNamara, 2008, p. 57, tradução livre). Em artigos da época, cientistas apontavam que “a anã branca pulsante parece, atualmente, ser o candidato mais razoável [...] e esperase que a medição suficientemente precisa da sua posição seja capaz de fornecer uma identificação com uma anã branca reconhecível” (Smith, 1968, p. 5, tradução livre).

Outra explicação também considerada pelas/os cientistas consistiu na hipótese de *sistemas binários*, em referência a um planeta ou um satélite que orbitava uma estrela anã branca ou mesmo uma estrela de nêutrons. Um dos impasses desse modelo diz respeito “a perda de energia por meio da radiação gravitacional [que] levaria a uma diminuição do período orbital” (Lyne & Graham-Smith, 2012, p. 7, tradução livre). Em outras palavras, caso o planeta orbitasse em torno de estrelas mais compactas com raios consideravelmente menores, como estrelas de nêutrons, “[...] a energia do sistema - planeta e estrela - vazaria continuamente para o espaço na forma de radiação gravitacional, desacelerando o planeta e fazendo com que ele espirasse na estrela de nêutrons dentro de algumas horas” (McNamara, 2008, p. 58, tradução livre).

Outra possível explicação consistia na *rotação* deste objeto astronômico: este “[...] estágio posterior de condensação representado por uma estrela de nêutrons existia em uma teoria familiar apenas a certos astrofísicos que estavam preocupados com estados altamente condensados da matéria” (Lyne & Graham-Smith, 2012, p. 6, tradução livre). A dúvida consistia no fato de como os pulsares poderiam rotacionar tão rapidamente. Estudiosos que se destacaram por trabalhos nesta perspectiva são o italiano Franco Pacini (1939–2012) e o austríaco Thomas Gold (1920–2004): de maneira independente, estes astrônomos sugeriram a existência de estrelas de nêutrons em rotação que emitem ondas eletromagnéticas de maneira periódica (Hewish, 1974).

Em seu artigo intitulado *Energy Emission from a Neutron Star*, Franco Pacini questionou “[...] se a energia armazenada na estrela de nêutrons desempenha um papel importante na conexão com a atividade observada em alguns remanescentes de supernova, como a Nebulosa do Caranguejo” (Pacini, 1967, p. 567, tradução livre). O cientista sugeriu a existência de “[...] uma estrela de nêutrons em rotação rápida, com um forte campo magnético dipolar, [que] atuaria como um gerador elétrico muito energético que poderia fornecer uma fonte de energia para a radiação de uma nebulosa circundante” (Lyne & Graham-Smith, 2012, p. 9, tradução livre).

Thomas Gold, por sua vez, publicou o artigo *Rotating Neutron Stars as the Origin of the Pulsating Radio Source* em junho de 1968. Antes de o artigo ser publicado, Gold submeteu sua construção teórica na conferência ocorrida em Nova York, mas, suas ideias não foram aprovadas por Alastair Cameron, o qual disse que a sugestão era “[...]”

tão bizarra que, se isso fosse admitido, não haveria fim para o número de sugestões que também deveriam ser permitidas” (McNamara, 2008, p. 60, tradução livre). Apesar disso, o astrônomo publicou seu trabalho, estabelecendo que os objetos detectados por Jocelyn Bell pudessem consistir em estrelas de nêutrons em rotação:

A constância de frequência nas fontes de rádio pulsadas recentemente descobertas pode ser explicada pela rotação de uma estrela de nêutrons. Por causa dos fortes campos magnéticos e altas velocidades de rotação, as velocidades relativísticas serão estabelecidas em qualquer plasma na magnetosfera circundante, levando à radiação no padrão de um farol giratório (Gold, 1968, p. 731, tradução livre).

Gold (1968, p. 732, tradução livre) ainda menciona que “se o período de rotação ditar a taxa de repetição, a estrutura fina dos pulsos observados representaria feixes direcionais girando como um farol”. O astrônomo ainda discutiu a conjectura das anãs brancas como uma hipótese considerada por outras/os cientistas:

O caso em que as estrelas de nêutrons são responsáveis pelas fontes de rádio pulsantes recentemente descobertas parece ser forte. Nenhum outro objeto astronômico conhecido teoricamente possuiria periodicidades tão curtas e precisas quanto às observadas, variando de 1,33 a 0,25 [segundo]. Harmônicos superiores em uma frequência fundamental inferior que podem ser manifestados por uma anã branca foram mencionados; mas a estrutura fina e detalhada de vários pulsos curtos que se repetem [...] torna qualquer explicação [das anãs brancas] muito improvável (Gold, 1968, pp. 731–732, tradução livre).

Ao final de seu artigo, Gold (1968, p. 732, tradução livre) apresenta previsões dos seguintes aspectos sobre estas estrelas: “[...] pode ser possível encontrar uma desaceleração leve, mas constante, das frequências de repetição observadas. Além disso, pode-se supor que existem mais fontes com frequências [de repetição] mais altas do que mais baixas”. Em outras palavras, o astrônomo sugeriu que estas fontes de rádio, com o passar do tempo, sofreriam uma gradativa redução em sua energia rotacional, gerando um aumento no seu período de rotação (Dick, 2013).

No apêndice da tese de doutorado da astrônoma em que se apresentam aspectos da descoberta dos pulsares, Bell comentou que apesar da ampla variedade de explicações para o comportamento destes objetos, até aquela época, “[...] nenhuma explicação inteiramente satisfatória dessas fontes [...] [havia sido] ainda apresentada” (1969, p. 232, tradução livre). Desta maneira, destacamos que não somente construções teóricas foram empreendidas para a compreensão deste novo fenômeno, mas também, radioastrônomos se voltaram para o céu para o estudo mais aprofundado das fontes já reconhecidas por Jocelyn Bell, além de direcionarem a procura para novos objetos. Dentre estes, podemos destacar os pulsares encontrados na Nebulosa de Vela e de Caranguejo.

Vela e Caranguejo: Os Pulsares

Em 1968, o estudante Alan Vaughan ingressou no curso de doutorado na Universidade de Sydney, na Austrália, sob a supervisão de Michael Large. Nesta ocasião, Vaughan fora convidado para atuar no Observatório de Molonglo, objetivando observar os novos quatro pulsares encontrados por meio da pesquisa de Jocelyn Bell, mas também procurar por outros, mediante o Telescópio Mills Cross. Durante esta procura, os membros do grupo encontraram sinais com comportamentos característicos de pulsares que eram localizados “[...] perto do remanescente da supernova de Vela, ela própria o resultado de uma estrela que explodiu há cerca de dez mil anos” (McNamara, 2008, p. 62, tradução livre). Este achado poderia ser uma das primeiras evidências da associação entre os pulsares e as estrelas de nêutrons presentes em remanescentes de supernovas. Ainda que esta possibilidade tivesse sido apontada por Hewish, Bell e os demais colegas radioastrônomos de Cambridge, “[...] os quatro sinais originais não estavam localizados em nenhum lugar perto de qualquer remanescente conhecido de supernova” (Greenstein, 1984, p. 29, tradução livre).

Neste âmbito, os pesquisadores redigiram um artigo intitulado *A Pulsar Supernova Association*, em que apontam a suposta existência de um pulsar próximo à Supernova de Vela com um período de pulsação de 89 milissegundos. Em relação às construções teóricas consideradas por cientistas, os autores apontam que “o curto período de PSR 0833-45³ [...] torna muito improvável que eles possam ser associados a estrelas anãs brancas giratórias ou pulsantes” (Large et al., 1968, p. 341, tradução livre):

Em uma busca por pulsares no sul do Observatório Molonglo, um pulsar de período muito curto foi descoberto na posição de um remanescente suspeito de supernova. [...] A aparente coincidência do pulsar e da supernova pode ser fortuita, então é prematuro tirar conclusões de longo alcance. Mas é interessante explorar a possibilidade de uma associação física e assumir provisoriamente que o pulsar representa o estágio final de colapso da estrela que explodiu (Large et al., 1968, p. 340, tradução livre).

Também em 1968, o astrônomo David Staelin (1938–2011) começou a atuar no Telescópio Greenbank do Observatório Nacional de Radioastronomia em West Virginia. Neste contexto, o pesquisador “[...] queria combinar seus interesses em processamento de sinais e radioastronomia, e os pulsares recém-descobertos pareciam uma escolha lógica” (McNamara, 2008, p. 68, tradução livre). Para tanto, o pesquisador havia desenvolvido uma teoria para o funcionamento de um radiotelescópio, de maneira a detectar pulsares, que poderia observar não somente a periodicidade dos pulsos, mas também, sua dispersão:

3 McNamara (2008) ressalta que os primeiros pulsares identificados por Jocelyn Bell foram denominados mediante a sigla CP, que significava “Cambridge Pulse”. Posteriormente, cientistas como Alan Vaughan, passaram a denominar, em seus artigos, outros pulsares com a sigla PSR, que consistia em uma abreviação da palavra “pulsar”.

[...] na medida em que as ondas de rádio passam pelo espaço interestelar, elas encontram elétrons livres que atrasam ondas com comprimentos de onda mais longos do que aquelas com comprimentos de onda mais curtos. [...] Observando quanta diferença existe entre os tempos de chegada de um único pulso em dois comprimentos de onda diferentes, os astrônomos podem dizer quanto o pulso foi disperso. Esta é uma maneira de determinar quanto espaço o pulso percorreu e, portanto, a que distância ele está (McNamara, 2008, p. 68, tradução livre).

Para tanto, o pesquisador desenvolveu um espectrômetro para analisar as ondas eletromagnéticas provenientes destes objetos, mediante o auxílio de engenheiros e do pesquisador Edward Reifstein. Ambos apresentaram visível interesse em investigar a existência de pulsares em remanescentes de supernovas: a pesquisa direcionada desses cientistas acarretou na identificação de duas fontes, publicadas no artigo *Pulsating Radio Sources Near the Crab Nebula*. Tais fontes foram denominadas pelos cientistas de NP 0532 e NP 0527. Staelin e Reifstein (1968), no entanto, “[...] rapidamente decidiram publicar a dupla descoberta sem saber exatamente os períodos” (McNamara, 2008, p. 70, tradução livre):

As posições de ambas as fontes podem ser coincidentes com a Nebulosa do Caranguejo [...] Uma associação de uma fonte de rádio pulsante com um objeto celeste conhecido seria muito informativa e a determinação de uma posição mais precisa para essas fontes é muito importante (p. 1482, tradução livre).

Apesar da certa imprecisão de seu período, “a publicação da descoberta de pulsos aleatórios na Nebulosa de Caranguejo — uma remanescente de supernova — estimulou astrônomos a entrarem em ação” (McNamara, 2008, pp. 70–71, tradução livre). Em especial, um grupo de pesquisadores, que atuavam no radiotelescópio de Arecibo, em Porto Rico, “[...] não apenas confirmou que havia de fato um pulsar no coração da Nebulosa do Caranguejo, mas determinou seu período surpreendente e [...] sua localização” (McNamara, 2008, p. 71, tradução livre). Este trabalho fora protagonizado pelo então estudante Richard Lovelace, sob a orientação de Edwin Salpeter (1924–2008). O objetivo específico de Lovelace era “[...] trabalhar em um novo código projetado para encontrar pulsares com períodos muito mais curtos” (Lovelace & Tyler, 2012, p. 186, tradução livre). Cabe apontar que em 1968, as análises dos dados oriundos de radiotelescópios passaram dos longos gráficos para os computadores. Neste sentido, a pesquisa de Lovelace consistiu em “[...] desenvolver códigos de computador [...] e, em seguida, analisar os dados coletados pelo telescópio em busca de sinais de pulsares” (McNamara, 2008, p. 71, tradução livre).

Ainda que não fosse o objetivo inicial do grupo de Arecibo (Lovelace & Tyler, 2012), em novembro de 1968, Lovelace identificou os “[...] primeiros quatro dígitos do período do pulsar do Caranguejo: 33,09 milissegundos” (McNamara, 2008, p. 72, tradução livre). Além do fato deste pulsar estar “[...] embutido em um remanescente de supernova, [...] seu verdadeiro significado estava em outro lugar. Estava na extrema

rapidez do pulsar: o “Caranguejo” emitia radiação a uma taxa inédita de 30 rajadas por segundo” (Greenstein, 1984, p. 29, tradução livre). Estes resultados foram publicados pelo grupo no artigo *Crab Nebula Pulsar NP 0532*:

A posição do NP 0532 é uma boa evidência de que está associado a Nebulosa do Caranguejo. Como tal, é um exemplo de um pulsar de período muito curto localizado próximo ao local de uma supernova conhecida. O PSR 0833–45, que tem um período de 89 milissegundos e está localizado próximo ao remanescente suspeito de supernova, Vela X, é possivelmente outro exemplo. Os períodos desses pulsares podem ser explicados pela rotação das estrelas de nêutrons [...] Medições importantes para o futuro incluem a determinação da posição precisa de NP 0532 (Comella et al., 1969, p. 454, tradução livre).

Tal evidência oportunizou o fato de se considerar mais fortemente a possibilidade destes objetos serem ou estrelas de nêutrons em rotação ou mesmo estarem em movimento orbital em torno de outra estrela. No mesmo grupo de pesquisadores em Arecibo, o período do pulsar do Caranguejo veio a ser refinado por David Richards e John Comella. Além disso, os cientistas observaram que o pulsar do Caranguejo estava desacelerando ou que seu período estava aumentando gradualmente. Segundo os autores, “[...] um ajuste linear de mínimos quadrados aos dados [...] resulta em uma taxa de mudança do período de $36,48 \pm 0,04$ nano segundos por dia” (Richards & Comella, p. 551, tradução livre). A publicação destes resultados ocorreu no artigo intitulado *The Period of Pulsar NP0532*. A partir desta evidência, demonstrou-se que “apenas um modelo era capaz de diminuir sua velocidade. Este modelo era o de rotação. Objetos que giram podem facilmente diminuir sua taxa de rotação e, por fim, parar” (Greenstein, 1984, p. 30, tradução livre).

Nesta perspectiva, Jocelyn Bell Burnell reitera que o comportamento destes objetos se tornou melhor compreendido mediante a detecção deste pulsar e a diminuição de seu período de rotação: “[...] um sistema vibratório acelera conforme envelhece, enquanto um corpo em rotação desacelera; então, o modelo se torna uma estrela de nêutrons em rotação” (2017, p. 831, tradução livre). Da mesma forma, em seu discurso na Conferência Nobel em 1974, Antony Hewish apontou que

[...] a rotação das estrelas de nêutrons fornecia o mecanismo mais simples e flexível para explicar o movimento do pulsar, e sua previsão de que o período de pulso deveria aumentar com o tempo logo recebeu uma confirmação dramática com a descoberta de um pulsar na Nebulosa do Caranguejo (Hewish, 1974, p. 179, tradução livre).

Em suma, este conjunto de observações na Supernova de Vela e na Nebulosa do Caranguejo acarretou o relativo abandono da hipótese de que estes objetos celestes poderiam ser anãs brancas vibrantes ou oscilantes. Há quem argumente que a hipótese da anã branca, “[...] estava à beira da impossibilidade para os primeiros pulsares; a descoberta dos pulsares de curto período de uma vez a descartou completamente” (Lyne & Graham-Smith, 2012, p. 8, tradução livre).

Após essas confirmações, os astrônomos se mantiveram em procuras sistemáticas por novos pulsares com emissões de radiação em outras regiões do espectro eletromagnético, como inclusive na faixa da luz visível. Bell Burnell (2017, p. 831, tradução livre) aponta que “[...] conhecemos cerca de 2500 pulsares radioemissores e acreditamos que possa haver até 100,000 em nossa galáxia. Apenas cerca de vinte foram vistos no visível, cem na faixa dos raios-X e duzentos na faixa dos raios gama”. Muitos questionamentos sobre a natureza e o comportamento dos pulsares ainda não são bem compreendidos, no entanto. Em nível de exemplo, Bell Burnell (2017, p. 832, tradução livre) expõe que “exatamente como eles emitem e como essa perda de energia retarda a rotação ainda não está claro”. Apesar disso, a cientista apresenta o entendimento relativamente consolidado da atualidade sobre estes objetos:

Agora, acreditamos que os pulsares são estrelas de nêutrons (isto é, estrelas ricas em nêutrons) formadas a partir do núcleo de uma estrela massiva à medida que sofre uma explosão de supernova no final de sua vida. Eles têm um raio da ordem de 10 km e uma massa de cerca de 10^{30} kg. Assim, sua densidade média é comparável à do núcleo do átomo! Eles parecem ter fortes campos magnéticos de até 10^{10} T, e cada pulsar gira com um período único; os períodos observados até agora variam de milissegundos a cerca de 10 s. Dois feixes de ondas de rádio são produzidos a partir dos polos magnéticos (deslocados) e varrem o céu conforme o pulsar rotaciona. Se a Terra interceptar qualquer um dos feixes, veremos um pulso uma vez a cada rotação (Bell Burnell, 2017, p. 831).

Descobertas Quase Serendípticas

Segundo Merton & Barber (2004, p. 196), descobertas serendípticas ocorrem a partir de uma “[...] pesquisa estabelecida para um determinado propósito, alguns dados inesperados [...] e um cientista capaz de ser intrigado”. Assim, ao longo da história, houve determinadas ocasiões em que os pulsares se manifestaram nos radiotelescópios, mas não chegaram a intrigar alguns observadores. Um desses exemplos ocorreu na década de 1950, no observatório da Universidade de Chicago. Uma visitante do laboratório sugeriu a presença de uma fonte celeste pulsante na região onde se localiza a Nebulosa do Caranguejo. Todavia, “Elliot Moore, um astrônomo da universidade, rejeitou a afirmação da mulher, dizendo a ela que todas as estrelas parecem piscar” (Brumfiel, 2007, p. 975, tradução livre). O relato de Bell Burnell corrobora esta passagem:

A pessoa responsável por organizar as observações do céu noturno apontou o telescópio para a Nebulosa do Caranguejo [...] e particularmente para a estrela de Minkowski, que agora conhecemos como Pulsar do Caranguejo. Uma mulher olhou para o telescópio e disse “Essa estrela está piscando”. O assistente explicou a ela sobre a cintilação. “Sim”, disse ela, “Sou piloto de avião. Eu sei a diferença entre cintilação aleatória e lampejo. Essa estrela está brilhando”. Ninguém acompanhou essa ideia (2004, p. 1.11).

Não somente em ondas de rádio, o Pulsar do Caranguejo também emite seus pulsos em outras faixas do espectro, como raios-X. Em outra ocasião, McNamara (2008, p. 67) aponta uma ocasião em que “[...] astrônomos americanos detectaram o sinal pulsante da Nebulosa do Caranguejo meses antes da descoberta de Hewish e Bell”, mas não direcionaram esforços para sua investigação em mais detalhes. O astrônomo Gerry Fishman era um dos cientistas envolvidos neste episódio. Em 1965, ingressou na Universidade de Rice, em um grupo de astronomia de raios gama liderado pelo cientista Bob Haymes. Uma das observações realizadas pelo grupo consistiu em analisar, por meio de um telescópio transportado por um balão, o espectro de energia da Nebulosa do Caranguejo “[...] realizado um mês antes das primeiras gravações de pulsares de rádio” (Fishman, 1992, p. 310, tradução livre).

Todavia, “[...] Fishman e seus colegas sabiam da sugestão de Baade e Zwicky de que a Nebulosa do Caranguejo poderia ser o local de repouso de uma estrela de nêutrons” (McNamara, 2008, p. 76, tradução livre). Apesar disso, Fishman (1992, p. 311) argumenta que “[...] as estrelas de nêutrons eram consideradas apenas uma invenção da mente dos teóricos. Nós, experimentalistas, tínhamos que nos preocupar com objetos mais concretos que existem e podem ser estudados e observados à vontade”. Após as publicações das fontes de rádio pulsantes pelo grupo de Cambridge (Hewish et al., 1968) e pela detecção do pulsar em ondas de rádio na Nebulosa do Caranguejo (Staelin & Reifenstein, 1968), Fishman (1992, p. 311, tradução livre) relata que estas

[...] observações do pulsar de rádio desencadearam uma busca para pulsos em outros comprimentos de onda. Mais ou menos nessa época, nosso grupo da Rice percebeu que tínhamos alguns antigos dados em raios gama da Nebulosa do Caranguejo que poderiam ser analisados para emissão pulsada.

Sabendo disso, no entanto, ele relata que “[...] foi aconselhado por um teórico respeitado da Rice, para não perder [...] tempo com essa pesquisa, porque o pulsar quase certamente não emitiria nenhuma radiação acima da faixa visível” (Fishman, 1992, p. 311, tradução livre), expectativa que não veio a se concretizar. Posteriormente, em fevereiro de 1969, Michael Disney, John Cocke e Donald Taylor publicaram o artigo *Discovery of Optical Signals from Pulsar NP 0532*, relatando a identificação de pulsos emitidos na faixa da luz visível oriundos da Nebulosa do Caranguejo (Cocke et al., 1969).

Pós-Detecção dos Pulsares: Reflexões Epistemológicas

Primeiramente, cabe reiterar que o recorte histórico apresentado sobre o contexto pós-detecção dos pulsares envolve desde o contexto de comunicação pública dos achados para a comunidade astronômica até o momento em que os pulsares foram compreendidos pelas/os astrônomos como estrelas de nêutrons em rotação. A partir destes elementos históricos, elaboramos uma análise epistemológica mediante aspectos da filosofia da ciência de Ludwik Fleck (1896–1961), com reflexões pontuais de Thomas Kuhn (1922–1996). Estes referenciais, entre tantos outros, especificamente oportunizam reflexões sobre o processo de comunicação de uma descoberta científica.

É imprescindível destacar que a construção de um conceito científico, como se ilustra no exemplo dos pulsares, ocorre de maneira coletiva, com contribuições oriundas de inúmeras/os estudiosas/os. Ainda que naturalmente se possa evidenciar a atuação individual das/os cientistas, Thomas Kuhn, destaca que “o conhecimento científico é intrinsecamente produto de um grupo [...] nem sua eficácia peculiar nem a maneira como se desenvolve são compreendidas se não houver referência à natureza especial dos grupos que o produzem” (2011, p. 21). De maneira semelhante, ao evidenciar a estrutura social do universo científico, Fleck (2010, p. 85) aponta que

[...] vemos um trabalho coletivo organizado com divisão de trabalho, colaboração, trabalhos preparativos, assistência técnica, troca de ideias, polêmicas [...] Muitas publicações mostram o nome de vários autores que trabalham em conjunto. [...] Há uma hierarquia científica, grupos, adeptos e adversários, sociedades e congressos, periódicos [...] O portador do saber é um coletivo bem organizado, que supera de longe a capacidade de um indivíduo.

Por certo, desde a deteção dos primeiros pulsares por Jocelyn Bell até os posteriores estudos teóricos e observacionais desenvolvidos para a compreensão do comportamento deste objeto celeste, as/os cientistas envolvidos se encontram em diferentes grupos de pesquisa. Greenstein (1984, p. 16, tradução livre) elenca que o processo de compreensão dos pulsares se estendeu por um tempo considerável, “[...] abrangendo os esforços de cientistas de todo o mundo”. Assim, a atividade científica que se iniciou no observatório em Cambridge rapidamente foi considerada como matéria de investigação por outros grupos.

Considerando a perspectiva de Ludwik Fleck, cientistas e seus grupos de pesquisa se organizam em coletivos de pensamento, que podem ser entendidos como “[...] a comunidade das pessoas que trocam pensamentos ou se encontram numa situação de influência recíproca de pensamentos” (Fleck, 2010, p. 82). Ele argumenta que a circulação de conhecimentos, como no campo científico, pode ocorrer entre membros de um coletivo de pensamento, o que se caracteriza como *circulação intracoletiva*, em que acontece o “[...] fortalecimento das formações de pensamento” (Fleck, 2010, p. 158). Neste caso, a circulação de ideias pode ocorrer entre os especialistas de uma área, o que Fleck (2010) compreende como círculo esotérico; ou entre especialistas (o círculo esotérico) e leigos instruídos de um coletivo (o círculo exotérico) — como entre cientistas especializados em campos da Astronomia e futuras/os astrônomas/os, por exemplo. A outra forma de circulação, denominada *intercoletiva*, consiste na circulação de conhecimento entre coletivos distintos, que geram transformações nos estilos de pensamento correspondentes.

No exemplo dos pulsares, é possível compreender que os cientistas envolvidos no episódio possuem uma ampla formação em Astronomia, com suas devidas especialidades, como Radioastronomia e Astrofísica: estes ramos podem ser entendidos como *matizes do estilo de pensamento astronômico*. Tais cientistas atuam, embora de maneiras ligeiramente diferentes, no coletivo de pensamento da Astronomia. Neste âmbito, os conhecimentos “peregrinam no interior da comunidade, são lapidados, modificados,

reforçados ou suavizados, influenciam outros conhecimentos, conceituações, opiniões e hábitos de pensar” (Fleck, 2010, pp. 85–86). Nesta perspectiva, podemos entender o processo de compreensão dos pulsares por meio de uma circulação intracoletiva⁴, entre o círculo esotérico de astrônomos, em especial, entre radioastrônomos e astrofísicos, fortalecendo possibilidades de pesquisa: por exemplo, a descoberta protagonizada por Jocelyn Bell Burnell permitiu se atentar a existência dos pulsares, estrelas de nêutrons que emitem pulsações regulares na forma de ondas de rádio.

Assim, cabe apontar que as possíveis primeiras sugestões sobre estes objetos astronômicos são aquelas que surgem com as contribuições de Walter Baade e Fritz Zwicky. Ainda, meses antes à descoberta dos pulsares, Franco Pacini havia publicado um modelo sobre estrelas de nêutrons em rotação. Apesar da existência destas previsões iniciais, manifestava-se a ausência de observações direcionadas para estas estrelas; a importante atuação científica na investigação dos pulsares desenvolvida por Bell Burnell possibilitou que essas previsões fossem retomadas, reinvestigadas e fortalecidas pelos astrônomos. A pesquisa de Gold, posteriormente, baseou-se nos resultados encontrados pelos radioastrônomos de Cambridge, complementando e ampliando as considerações de Pacini.

Em suma, podemos considerar que, a exemplo dos pulsares, conforme Fleck (2010, p. 153), “cada descoberta é, na verdade, a recriação do mundo inteiro de um coletivo de pensamento” — neste caso, a Astronomia. Assim, é possível observar que radioastrônomos, com base em diferentes hipóteses baseadas na Astrofísica Estelar, trabalharam em um âmbito observacional, na investigação de características de pulsares que já eram conhecidos e na procura de outros. Astrofísicos, por sua vez, considerando os resultados encontrados pelos radioastrônomos, trabalharam na construção de modelos que pudessem explicar o comportamento destes objetos celestes. Desta forma, em um mesmo coletivo de pensamento, “[...] há sempre um certo sentimento de solidariedade de pensamento a serviço de uma ideia transpessoal, o que produz uma dependência intelectual recíproca entre os indivíduos” (Fleck, 2010, p. 158). Em outras palavras, as contribuições de cada especialidade, oportunizaram a ampliação do estilo de pensamento astronômico: em termos da especialidade da Radioastronomia, os pulsares consistiram em um importante objeto que poderia ser investigado por meio de radiotelescópios; na Astrofísica, por exemplo, ampliou-se a compreensão sobre a evolução das estrelas.

4 Souza e Martins (2021) apontam que reflexões sobre o conceito fleckiano de *circulação intra/intercoletiva* se apresentam de maneiras distintas em artigos do campo do Ensino de Ciências, não havendo um entendimento consensual. Assim, cabe argumentar a possibilidade de interpretação do processo de compreensão dos pulsares como um trabalho de coletivos de pensamento relativamente próximos, como radioastrônomos e astrofísicos, em uma circulação intercoletiva. Nesta perspectiva, suas especialidades permitiram que as contribuições no entendimento da natureza destes objetos astronômicos ocorressem em perspectivas diferenciadas. Então, seria possível dizer que a descoberta dos pulsares acarretou, de certa forma, uma mudança que reformulou determinadas considerações tanto da Radioastronomia quanto da Astrofísica Estelar. Segundo Fleck (2010, p. 160), “[...] qualquer tráfego intercoletivo de pensamentos traz consigo um deslocamento ou uma alteração nos valores de pensamento [...] uma mudança desses valores em toda a sua escala de possibilidades”.

Esta circulação de conhecimentos, iniciada com a divulgação dos achados encontrados por Jocelyn Bell, aconteceu em diferentes ocasiões, como no seminário apresentado pelo orientador da cientista na Universidade de Cambridge, além da conferência organizada em Nova York. Isso permite “[...] o julgamento sobre a existência ou não existência de um fenômeno, do pesquisador individual para o coletivo exclusivamente legitimado” (Fleck, 2010, p. 172). Por certo, este aspecto ilustra a comunicação de novos conhecimentos entre os pares, como radioastrônomos e astrofísicos, neste caso, como elemento essencial para o desenvolvimento e validação dos conhecimentos científicos. Deste modo, “a sua publicidade e avaliação [de conhecimentos] pela comunidade é o que, via de regra, confere legitimidade e impulsiona o desenvolvimento da ciência” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 33).

Para o desenvolvimento efetivo desta circulação de conhecimentos, estes grupos de pesquisa realizaram a publicação de diversos artigos científicos: na discussão histórica, apresentamos características pontuais de determinados trabalhos que foram influentes para a compreensão conceitual dos pulsares. Em comum, estes artigos mostram um aspecto elencado por Fleck (2010), que diz respeito ao fato de os periódicos demonstrarem, como uma de suas características, que seu conteúdo costuma ser redigido com um caráter provisório, mas com intenções futuras de se transformar em um conhecimento consolidado:

Qualquer trabalho em periódicos contém, na introdução ou na conclusão, tal conexão com a ciência dos manuais como prova de que aspira à entrada no manual e que considera a posição atual como provisória. Esse caráter provisório também pode ser sentido a partir das indicações sobre planos e esperanças [...] Faz parte disso a cautela específica dos trabalhos em periódicos (Fleck, 2010, p. 173).

Atentando-se aos detalhes relativos ao desenvolvimento teórico ocorrido neste contexto, podemos destacar alguns aspectos sobre as primeiras interpretações e hipóteses. Os resultados preliminares das detecções protagonizadas por Jocelyn Bell Burnell, obtidos por radiotelescópios, foram interpretados pelas/os cientistas à luz de concepções teóricas da Astrofísica Estelar: noções sobre anãs brancas, sobre estrelas de nêutrons e sobre sistemas binários foram consideradas. Neste contexto, diferentes sugestões teóricas perante o mesmo fenômeno científico foram consideradas pelos astrônomos, o que implica que “os dados, *per se*, não geram teorias” (Peduzzi & Raicik, 2020, p. 25). Neste âmbito, ainda que no artigo de Hewish et al. (1968) tenha mencionado as estrelas de nêutrons como uma possibilidade remota de explicação destes sinais, sugestões baseadas nas anãs brancas foram predominantemente consideradas pelos cientistas. De fato, no âmbito do episódio,

[...] o fluxo de artigos teóricos especulativos que foi liberado pela descoberta nem mesmo seguiu essa ideia [das estrelas de nêutrons] no início, explorando, em vez disso, todas as configurações possíveis dos sistemas binários mais familiares e estrelas anãs brancas (Lyne & Graham-Smith, 2012, p. 5, tradução livre).

Este ponto sugere que as primeiras interpretações coletivas sobre a natureza dos pulsares foram desenvolvidas a luz de concepções teóricas que eram mais bem conhecidas pelos cientistas. Assim, Fleck (2010, p. 81) proporciona uma reflexão neste sentido ao apontar que “[...] algo já conhecido influencia a maneira do conhecimento novo; o processo do conhecimento amplia, renova e refresca o sentido do conhecido”. Também, é válido destacar que, mesmo com evidências observacionais que demonstravam divergências em relação à conjectura sobre as anãs brancas, cientistas mantiveram, por um tempo considerável, suas investigações sobre esta hipótese. Esta é uma postura científica cautelosa, que denota o fato de que evidências isoladas não são suficientes para o abandono de hipóteses ou conjecturas.

Cabe ressaltar a ausência inicial de menções às contribuições de Baade e Zwicky nos primeiros artigos publicados pelos radioastrônomos de Cambridge. Em um primeiro momento, Jocelyn Bell e seus colegas acabaram por desenvolver conjecturas mais próximas do seu contexto de trabalho, como a hipótese dos *Little Green Men*. Assim, Dick (2013, p. 265, tradução livre) argumenta que “no momento da descoberta, pela própria natureza do problema, às vezes é difícil decidir se uma nova classe de objeto foi encontrada”. Sobre o episódio de detecção dos pulsares, este autor ainda argumenta que

[...] a previsão [de Baade e Zwicky] foi esquecida quando Jocelyn Bell e seu mentor Anthony Hewish se debruçaram sobre o “scruff” em seus gravadores gráficos. Eles contemplaram a hipótese dos “Little Green Men” e outras possibilidades antes de [...] Gold dedilhar os “pulsares” como as estrelas de nêutrons previstas quase meio século antes. No caso dos [...] pulsares, havia um forte elemento de interação social que às vezes é o ingrediente essencial na descoberta (Dick, 2013, p. 195, tradução livre).

Podemos refletir que os teóricos podem realizar previsões científicas que, muitas vezes, não vão desempenhar um papel expressivo nos primeiros momentos de compreensão de determinados fenômenos, especialmente, se estes achados se manifestam de maneira inesperada — como o ocorrido com Bell Burnell e os radioastrônomos de Cambridge. Ademais, Kuhn (2018) apresenta considerações sobre o papel das teorias especulativas, apontando que as características de um fenômeno podem não ser exatamente aquelas que se apresentavam em previsões científicas — não se esperava, por exemplo, que estrelas de nêutrons pudessem emitir pulsos de rádio em períodos tão precisos — fazendo com que se necessite de uma articulação teórica e observacional por outras/os pesquisadoras/es:

[...] os cientistas costumam desenvolver muitas teorias especulativas e desarticuladas, capazes de indicar o caminho para novas descobertas. Muitas vezes, entretanto, essa descoberta não é exatamente a antecipada pela hipótese especulativa e experimental [ou observacional]. Somente depois de articularmos estreitamente a experiência e a teoria experimental [ou observacional] pode surgir a descoberta (Kuhn, 2018, p. 138).

Posteriormente à divulgação dos primeiros pulsares, em relatos retrospectivos, a exemplo do discurso de Antony Hewish no Nobel de Física em 1974, menciona-se a importância das previsões teóricas de Walter Baade, Fritz Zwicky e Franco Pacini, além da contribuição posterior de Thomas Gold. Atualmente, como exposto por Jocelyn Bell Burnell, de modo geral, os pulsares consistem em um fenômeno astronômico consolidado e, utilizando a perspectiva de Fleck (2010), fazem parte da chamada ciência dos manuais. Neste sentido, “uma proposição [nos manuais científicos] se apresenta por si só com muito mais certeza e muito mais caráter comprobatório do que na exposição fragmentária dos periódicos” (Fleck, 2010, p. 175). Em nível de exemplo, para ilustrar como os pulsares são mencionados em manuais científicos, o livro-texto *An Introduction of The Sun and Stars*, sendo Jocelyn Bell Burnell uma das colaboradoras na escrita do material, define que

Um observador na Terra com o equipamento receptor de rádio apropriado pode detectar o sinal produzido por uma estrela de nêutrons devidamente alinhada. O sinal recebido é uma sequência de pulsos regulares, um conjunto de rajadas de emissão de rádio igualmente espaçadas [...] Essas estrelas de nêutrons são chamadas de pulsares; o nome é uma abreviação para fonte de rádio pulsante (Bell Burnell et al., 2004, p. 254, tradução livre).

Em relação aos trabalhos publicados em âmbito observacional, é válido evidenciar que “[...] um único experimento [ou uma única observação] comprova muito pouco e que seu resultado não tem um caráter impositivo” (Fleck, 2010, p. 147). No âmbito da discussão histórica, apresentamos alguns exemplos de trabalhos observacionais que contribuíram para a compreensão da natureza dos pulsares. Desse modo, é um arcabouço de observações, desenvolvidos por vários grupos de pesquisa, que concederam respaldo para a definição conceitual sobre os pulsares. Assim, construir a compreensão de um conceito científico não ocorre

[...] por nenhum experimento isolado, mas apenas por uma experiência ampla, um estilo de pensamento particular, constituído a partir de um saber prévio, de muitos experimentos bem e malsucedidos, de muita prática e educação e, o que é mais importante em termos epistemológicos, de muitas adaptações e transformações conceituais (Fleck, 2010, pp. 147–148).

Em suma, as reflexões de Kuhn (2011) e Fleck (2010) dialogam no sentido de demonstrar o caráter coletivo e a extensão temporal de uma descoberta científica. Por conseguinte, “para tornar uma descoberta analisável [...] temos que adotar um ponto de vista social, isto é, considerá-la como acontecimento social” (Fleck, 2010, p. 124). Sobre os pulsares, observamos que sua descoberta ocorreu mediante a atuação decisiva de Jocelyn Bell Burnell, cujo trabalho possibilitou identificar os primeiros sinais pulsados; mas o prosseguimento da pesquisa se estendeu para um contexto de definição de suas características e seu comportamento que envolveu o trabalho de especialistas em Astronomia, a exemplo de radioastrônomos e astrofísicos. Isto demonstra que, como elencado por Thomas Kuhn

[...] a descoberta de um novo tipo de fenômeno é necessariamente um processo complexo, que envolve reconhecer tanto *que* algo ocorre quanto *o que* ele é. A observação e conceituação, o fato e assimilação do fato encontram-se inseparavelmente associados na descoberta da novidade científica. É inevitável que esse processo se estenda no tempo e, às vezes, envolva várias pessoas (Kuhn, 2011, p. 189, grifo do autor).

Outro aspecto, debatido por Pires & Peduzzi (2022), consiste na presença da serendipidade neste episódio. Bell Burnell (2004, p. 1.11) argumenta que, em meio a suas pesquisas, “[...] seguiu coisas que poderia muito bem ter ignorado — um mero quarto de polegada em 120 metros”. Este ponto considerado pela cientista sumariza um aspecto relevante para que descobertas inesperadas possam ocorrer: “um fator importante e recorrente [...] não é apenas fazer as observações certas na hora certa, mas reconhecer o que você viu” (McNamara, 2008, p. 67, tradução livre), mesmo que este reconhecimento ocorra de forma preliminar. Em outras palavras,

[...] as ocorrências “inesperadas” [...] são passivamente vistas por outros cientistas; elas são ativamente notadas apenas pelo descobridor [...] isto é, pelo cientista que estudou cuidadosamente seu problema por um longo tempo e está, portanto, pronto — se ele puder criar algumas ideias antecipatórias — para tirar proveito da ocorrência inesperada (Merton & Barber, 2004, pp. 196–197, tradução livre).

Também, observamos a existência de situações, como ilustrado nas observações do Pulsar de Caranguejo que antecederam o trabalho de Jocelyn Bell, em que cientistas deliberadamente podem desconsiderar um achado diferenciado, tratando-os como meros erros. Neste sentido, descobertas serendípicas apenas se desenvolvem a partir do “[...] envolvimento que [o cientista] empreenderá para compreender o novo fato. O investigador que vê apenas o que espera e descarta os resultados inesperados como sendo ‘errados’ não fará nenhuma descoberta” (Raicik & Peduzzi, 2016, p. 171).

Considerações Finais

Em seu livro *Clocks in the Sky: The Story of Pulsars*, McNamara (2008, p. 2, tradução livre) argumenta que “a descoberta dos pulsares realmente ocorreu em momentos distintos: eles foram previstos, depois detectados e, então, reconhecidos”. Nesta perspectiva, procuramos abordar elementos envolvidos no processo de reconhecimento destas estrelas, no sentido de se compreender como cientistas atuaram no processo de entendimento das primeiras características dos pulsares. É notório que este contexto se iniciou com o trabalho de Jocelyn Bell Burnell, Antony Hewish e demais integrantes do grupo de radioastrônomos da Universidade de Cambridge, que apresentaram as primeiras explicações sobre esses sinais, ainda de maneira preliminar (Pires & Peduzzi, 2022). Além disso, de maneira a compreender este fenômeno astronômico, ressaltamos aspectos da atuação coletiva de vários cientistas e grupos de pesquisa, com base em

reflexões de Thomas Kuhn e Ludwik Fleck, que oportunizaram evidenciar que “[...] todo conhecimento é uma atividade social, não apenas por cooperação, mas porque este é sempre baseado em conhecimento e habilidades circuladas de ideias anteriores” (Souza & Aires, 2020, p. 318).

O episódio histórico abordado proporciona questionar a visão empírico-indutivista de ciência que se faz presente no âmbito da educação científica. Esta visão apresenta uma “[...] interpretação limitada acerca da construção do conhecimento [que] traz consigo a presunção de [...] evidências independentes de pressupostos teóricos” (Raicik, 2019, p. 53) e que não considera “[...] o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como dos corpos coerentes de conhecimentos [...] disponíveis, que orientam todo o processo” (Gil Pérez et al., 2001, p. 129). Diferente disso, a análise epistemológica do contexto de pós-deteção dos pulsares ilustra a estreita articulação entre as concepções teóricas e as evidências observacionais elaboradas pelas/os cientistas, além de apontarem a relevância das concepções teóricas no direcionamento das observações.

Outro aspecto que vale ser ressaltado diz respeito à consideração dos valores na ciência, elencados pelo ensaio *Objetividade, Juízo de Valor e Escolha de Teoria* de Thomas Kuhn (2011). No âmbito deste episódio, dentre os valores expostos por Kuhn, é perceptível a fecundidade como um possível valor epistêmico que se apresenta no episódio histórico discutido neste artigo, pelo fato de que se observa o empenho de cientistas, tanto em âmbito teórico quanto observacional, para explorar novas possibilidades sobre este fenômeno. A citação de Greenstein (1984, p. 28) reforça esta constatação, por elencar que “[...] no espaço de apenas alguns meses, mais pesquisas foram feitas sobre estrelas de nêutrons do que em todas as décadas desde que foram originalmente propostas”. Ainda sobre esta temática, seria profícuo investigar a presença de diferentes valores — epistêmicos e não epistêmicos — envolvidos na aceitação e na rejeição das diversas conjecturas consideradas pelas/os cientistas, desde a hipótese dos *Little Green Men* até aos diferentes modelos teóricos construídos para a compreensão deste fenômeno. Tal discussão é relevante, pois, estes valores “[...] dependem grandemente do cientista que os adota [...] A maneira como certo cientista interpreta cada um desses critérios também depende de seu contexto, não apenas epistêmico, mas também social, cultural, além de suas subjetividades” (Cordeiro & Peduzzi, 2014a, p. 3).

Igualmente importante, na perspectiva de novos estudos, seria investigar a importância das predições científicas no desenvolvimento da ciência, por meio o exemplo histórico das estrelas de nêutrons. Neste sentido, seria válido compreender o contexto de desenvolvimento das predições desenvolvidas por Fritz Zwicky e por Walter Baade, que sugeriram, décadas antes da identificação destes objetos, que as estrelas de nêutrons seriam o resultado das explosões de supernovas. Um exemplo de pesquisa semelhante, nesta perspectiva, encontra-se no artigo de Almeida (2020), que desenvolveu uma investigação histórica sobre as pesquisas iniciais que acarretaram na construção do conceito de buracos negros, outro importante conceito no âmbito da evolução estelar.

Não obstante, problematizando as categorias de Fleck e de Kuhn, podemos nos questionar: Quem veio a ocupar o coletivo de pensamento da Astronomia, responsável por compreender os pulsares? Por quais cientistas a comunidade astronômica era composta naquela época? Assim, é inegável destacar a presença expressiva de homens em meio à compreensão desse novo fenômeno da Astronomia. Este ponto apresenta consonância com uma citação de Jocelyn Bell Burnell em uma entrevista para o documentário *Beautiful Minds* da BBC, em que, segundo ela, “a ciência foi nomeada, desenvolvida e interpretada por homens brancos durante décadas” (Bell Burnell, 2010), o que se ilustra no exemplo dos pulsares. Neste âmbito, este aspecto reforça a necessidade de estudos históricos que evidenciem mulheres que, em meio a dificuldades estruturais, puderam alcançar posições de destaque no campo científico e acadêmico (Lima, 2015). Em meio a essa escrita, no entanto, é crucial atentar-se ao fato de que ao se evidenciar estes exemplos, que “não se caia na armadilha de [...] pintá-las como exceções [...] de que apenas mulheres muito especiais podem empreender a atividade científica” (Cordeiro & Peduzzi, 2014b, pp. 558–559).

Por meio dessas narrativas históricas sobre mulheres cientistas, além de se ressaltar suas contribuições à ciência, devemos problematizar que lugares elas ocuparam e ocupam no desenvolvimento científico e em sua história (Schiebinger, 2001). É essencial elencar “[...] os percalços existentes na sua trajetória; a conquista do espaço acadêmico; os prêmios que por ventura tenha conquistado” (Lima, 2015, p. 54). Tendo em vista estes aspectos, pretendemos investigar, posteriormente, elementos da trajetória acadêmica de Jocelyn Bell Burnell, com base em referenciais do campo de Gênero e Ciências, de maneira a evidenciar determinadas problemáticas vivenciadas por mulheres no acesso e permanência nas carreiras científicas.

Considerando o contexto de ensino de Física e de Astronomia, podemos evidenciar que os elementos históricos sobre os pulsares possibilitam refletir sobre diversos aspectos relativos à Natureza da Ciência, como o aspecto comunitário da ciência, o papel da serendipidade e a complexidade de uma descoberta científica. Além disso, estes aspectos históricos também apresentam potencialidades em discutir “[...] temáticas presentes nos nossos dias, como as próprias questões de gênero na ciência, relações de poder e de como a ciência é, de fato, uma construção humana e colaborativa” (Vieira et al., 2021, p. e20210028–10).

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a elaboração desta pesquisa e às/aos pareceristas pelas 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, 1–6. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0197>
- Almeida, C. R. (2021). Buracos Negros: mais de 100 anos de história. *Cadernos de Astronomia*, 2(1), 93–105. <https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v2n1.33499>
- Baade, W., & Zwicky, F. (1934). Cosmic Rays from Super-Novae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 20(5), 259–263. <https://doi.org/10.1073/pnas.20.5.259>
- 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, 1–14. <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, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom). Apollo — University of Cambridge Repository. <https://doi.org/10.17863/CAM.4926>
- 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. 160–169). 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. (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, B., Green, S. F., Jones, B. W., Jones, M. H., Lambourne, R. L. A., & Zarnecki, J. C. (2004). *An Introduction to the Sun and Stars*. Cambridge University Press.
- Brumfiel, G. (2007). Air force had early warning of pulsars. *Nature*, 448(7157), 974–975. <https://doi.org/10.1038/448974a>
- Cellard, A. (2012). A análise documental. In J. Poupart, J. P. Deslauriers, L. H. Groulx, A. Laperriere, R. Mayer, & A. P. Pires (Org.), *A Pesquisa Qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos* (3ª ed., 295–315). Editora Vozes.
- Cocke, W. J., Disney, M. J., & Taylor, D. J. (1969). Discovery of Optical Signals from Pulsar NP 0532. *Nature*, 221(5180), 525–527. <https://doi.org/10.1038/221525a0>
- Cordeiro, M. D., & Peduzzi, L. O. Q. (27–31 de outubro, 2014a). *Contribuições Axiológicas para a Discussão da Essência do Conhecimento na Educação em Física*. XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias, São Paulo. <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/epef/xv/sys/resumos/T0276-1.pdf>

- Cordeiro, M. D., & Peduzzi, L. O. Q. (2014b). Entre os transurânicos e a fissão nuclear: um exemplo do papel da interdisciplinaridade em uma descoberta científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(3), 536–563. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n3p536>
- Comella, J. M., Craft, H. D., Lovelace, R. V. E., Sutton, J. M., & Leonard Tyler, G. (1969). Crab Nebula Pulsar NP 0532. *Nature*, 221(5179), 453–454. <https://doi.org/10.1038/221453a0>
- Dick, S. J. (2013). *Discovery and Classification in Astronomy: Controversy and Consensus*. Cambridge University Press.
- Fishman, G. J. (1992). Gamma Ray Observations of the Crab Pulsar — Past, Present, Future. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 655(1), 309–318. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1992.tb17079.x>
- Fleck, L. (2010). *Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico*. Fabrefactum.
- García-Posada, A. M. (2017). Vueltas por el espacio: Reflexiones arquitectónicas sobre escalas y mensajes. In J. J. V. Avellaneda, & R. M. A. Abajas (Org.), *Investigaciones Departamentos de Proyectos Arquitectónicos* (pp. 265–277). RU Books.
- Gil Pérez, D., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7(2), 125–153. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>
- Gold, T. (1968). Rotating Neutron Stars as the Origin of the Pulsating Radio Sources. *Nature*, 218(5143), 731–732. <https://doi.org/10.1038/218731a0>
- Greenstein, G. (1984). The Discovery of Pulsars. In G. Greenstein (Org.), *Frozen Star* (pp. 13–31). Freundlich Books.
- Hawking, S. (2015). *Uma breve história do tempo*. Intrínseca.
- 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. (1974). Pulsars and High Density Physics. *Nobel Lectures*, 174–183. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/hewish-lecture.pdf>
- James, C. R. (2017). *Pulsars at 50: Still going strong*. <https://astronomy.com/bonus/pulsars>
- Kuhn, T. S. (2011). *A Tensão Essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica*. Editora Unesp.
- Kuhn, T. S. (2018). *A Estrutura das Revoluções Científicas* (13ª ed.). Perspectiva.
- Large, M. I., Vaughan, A. E., & Mills, B. Y. (1968). A Pulsar Supernova Association? *Nature*, 220(5165), 340–341. <https://doi.org/10.1038/220340a0>

- 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/rg.v16i1.745>
- Longair, M. (2006). *The Cosmic Century: A History of Astrophysics and Cosmology*. Cambridge University Press.
- Lovelace, R. V. E., & Tyler, G. L. (2012). On the Discovery of the Period of the Crab Nebula Pulsar. *The Observatory*, 132(3), 186–188. <https://adsabs.harvard.edu/full/2012Obs...132..186L>
- Lyne, A., & Graham-Smith, F. (2012). *Pulsar Astronomy* (4^a ed.). Cambridge University Press.
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science and Education*, 17, 249–263. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y>
- McGrayne, S. B. (1998). *Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries* (2^a ed.). Joseph Henry Press.
- McNamara, G. (2008). *Clocks in the Sky: The Story of Pulsars*. Praxis.
- Meltzer, D. W., & Thorne, K. S. (1966). Normal Modes of Radial Pulsation of Stars at the End Point of Thermonuclear Evolution. *The Astrophysical Journal*, 145, 514–543. <https://doi.org/10.1086/148792>
- Merton, R. K., & Barber, E. (2004). *The Travels and Adventures of Serendipity*. Princeton University Press.
- 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
- Pacini, F. (1967). Energy Emission from a Neutron Star. *Nature*, 216(5115), 567–568. <https://doi.org/10.1038/216567a0>
- Pacini, F., & Salpeter, E. E. (1968). Some Models for Pulsed Radio Sources. *Nature*, 218(5143), 733–734. <https://doi.org/10.1038/218733a0>
- 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>
- Pires, L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2022). Little Green Men: O Episódio de Detecção dos Pulsares e o Protagonismo de Jocelyn Bell Burnell. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(1), 108–136. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p108>
- Raicik, A. C. (2019). Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino. 2019 (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina). Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215647>

- 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>
- Richards, D. W., & Comella, J. M. (1969). The Period of Pulsar NP 0532. *Nature*, 222(5193), 551–552. <https://doi.org/10.1038/222551a0>
- Sagan, C. (2006). *O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro*. Companhia das Letras.
- Schiebinger, L. (2001). *O feminismo mudou a ciência?*. EDUSC.
- Smith, F. G. (1968). The Pulsating Stars. In F. G. Smith, & A. Hewish (Org.), *Pulsating Stars: A Nature Reprint*. Springer Science.
- Souza, I. L. N., & Aires, J. A. (2020). A construção coletiva sobre as séries infinitas por Leibniz e Newton. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 13(3), 300–323. <https://doi.org/10.3895/rbect.v13n3.9303>
- Souza, B. A., & Martins, A. F. P. (2021). Um panorama da epistemologia de Ludwik Fleck em periódicos brasileiros da área de pesquisa em ensino de ciências. *Revista Insignare Scientia*, 4(6), 84–105. <https://doi.org/10.36661/2595-4520.2021v4i6.12368>
- Staelin, D. H., & Reifenstein, E. C. (1968). Pulsating Radio Sources near the Crab Nebula. *Science*, 162(3861), 1481–1483. <https://doi.org/10.1126/science.162.3861.1481>
- 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>

 **Larissa do Nascimento Pires**

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
larissa.n.pires@hotmail.com

 **Luiz O. Q. Peduzzi**

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
luizpeduzzi@gmail.com

Editora Responsável

Márcia Gorette Lima da Silva

Manifestação de Atenção às Boas Práticas Científicas e de Isenção de Interesse

Os autores declaram ter cuidado de aspectos éticos ao longo do desenvolvimento da pesquisa e não ter qualquer interesse concorrente ou relações pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado no texto.
