

OS FARÓIS ASTRONÔMICOS NA SALA DE AULA: PROPOSIÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO SOBRE OS PULSARES PARA A FORMAÇÃO DOCENTE EM FÍSICA E ASTRONOMIA

The Astronomical Lighthouses in the Classroom: proposal of a teaching unit about pulsars for teacher training in Physics and Astronomy

Larissa do Nascimento Pires [larissa.n.pires@hotmail.com]

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

Recebido em: 26/05/2022

Aceito em: 28/11/2022

Resumo

Apesar das inúmeras justificativas, expostas em documentos oficiais, sobre a importância da discussão de elementos sobre Astronomia no contexto escolar, é consensual em diversas pesquisas a necessidade de uma maior exploração deste campo do conhecimento na formação nas Licenciaturas em Ciências, Física e Astronomia. Um profícuo caminho para contribuir em tal perspectiva consiste na abordagem de elementos sobre a História da Astronomia: um dos mais importantes episódios históricos da área consiste na descoberta dos pulsares, que foram identificados por meio da atuação da astrônoma britânica Jocelyn Bell Burnell. De maneira a contribuir com o acesso docente a temáticas contemporâneas em Astronomia, embasadas em uma perspectiva histórica, propomos, em um âmbito teórico, uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que objetiva desenvolver discussões de caráter histórico-epistemológico sobre a descoberta dos pulsares, sendo direcionada ao contexto de formação inicial de professoras/es de Física e de Astronomia. A proposta é embasada em pressupostos educacionais da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira. Em conclusão, elencamos algumas reflexões e possibilidades teóricas relacionadas à sequência didática.

Palavras-Chave: Descobertas Científicas; Pulsares; Mulheres na Ciência; Jocelyn Bell Burnell; Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.

Abstract

Despite the numerous justifications, exposed in official documents, about the importance of discussing elements about astronomy in the school context, it is consensual in several research the need for further exploration of this field of knowledge in Science, Physics and Astronomy Teaching. A fruitful way to contribute to this perspective is the approach of elements about the History of Astronomy: one of the most important historical episodes in the area is the discovery of pulsars, which were identified through the work of the British astronomer Jocelyn Bell Burnell. In order to contribute to teaching access to contemporary themes in Astronomy, based on a historical perspective, we propose, in a theoretical context, a Potentially Significant Teaching Unit that aims to develop historical-epistemological discussions about the discovery of pulsars, being directed to the context of initial training of Physics and Astronomy Teachers. The proposal is based on educational assumptions of the Critical Significant Learning Theory of Marco Antônio Moreira. In conclusion, we list some reflections and theoretical possibilities related to the didactic unit.

Keywords: Scientific Discoveries; Pulsars; Women in Science; Jocelyn Bell Burnell; Potentially Significant Teaching Units.

INTRODUÇÃO

“Nothing is static, nothing is final, everything is held provisionally”.

Jocelyn Bell Burnell¹

Durante os últimos anos, houve uma ampla divulgação de descobertas e de pesquisas relativas ao campo da Astronomia, a exemplo da detecção das ondas gravitacionais por meio do interferômetro *Virgo* e o LIGO². Por certo, “com o advento da astronomia de ondas gravitacionais, ganhamos acesso a eventos cataclísmicos” (Mendes, 2021, p. 59): em 2015, a equipe do LIGO detectou a coalescência de dois buracos negros, e no ano de 2017, em conjunto com o *Virgo*, o LIGO também veio a identificar a fusão de duas estrelas de nêutrons. Assim, a partir dos esforços de astrônomas/os, físicas/os, engenheiras/os e outras/os profissionais, o investimento em ciência “[...] financiou um sem-número de pesquisas que, com auxílio de tecnologia de ponta, mudaram completamente nossa concepção do Cosmos ao longo das últimas décadas” (Slovinski, Alves-Brito & Massoni, 2021, p. e20210173-3).

Em relação à importância da abordagem de aspectos sobre descobertas astronômicas no contexto escolar, a exemplo das supracitadas, Soler e Leite (2012) ressaltam que trabalhos da área sugerem as seguintes justificativas: o despertar de sentimentos e inquietações sobre o Universo, a relevância sócio-histórico-cultural da Astronomia e a possibilidade de ampliação da visão de mundo por meio deste campo científico. Por meio deste tema, em nível de exemplo, é possível “[...] compreender as notícias sobre as pesquisas científicas a respeito da origem e evolução do universo, sobre a busca por vida em outros planetas e sobre novas descobertas realizadas com os telescópios espaciais” (Henrique, Andrade & L’Astorina, 2010, p. 22).

Em artigo recente, Horvath (2021) sugere que a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) indica, embora de maneira esparsa, a abordagem de conceitos de Astronomia e Astrofísica nas chamadas Unidades Temáticas, como *Terra e Universo*. Em relação ao Ensino Médio, por exemplo, algumas das habilidades preconizadas pelo documento que se relacionam com a Astronomia consistem em:

Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo.

[...]

Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (Brasil, 2018, p. 557).

Entretanto, considerando a reconhecida ausência de discussões sobre elementos da Astronomia na formação inicial de professoras/es (Langhi & Nardi, 2009; Henrique, Andrade & L’Astorina, 2010), propomos que um profícuo caminho para amenizar esta problemática em alguma medida, além de enriquecer a formação dos docentes, seja por meio de aspectos históricos *sobre* a ciência: “a história da astronomia é repleta de elementos que não apenas instigam a curiosidade [...] mas que propiciam debates valiosos acerca do desenvolvimento de seus conceitos e do próprio funcionamento da atividade científica” (Gorges Neto & Arthury, 2021, p. 167–168). As discussões de Natureza da Ciência (NdC) podem contemplar, por exemplo, que “[...] a astronomia não é algo

¹ Tradução: “Nada é estático, nada é definitivo, tudo é mantido provisoriamente”. Referência: DISCOVERY of Pulsars (Temporada 1, Episódio 1) *Beautiful Minds* [Seriado de Televisão]. United Kingdom: BBC, 2010.

² Em português, “Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser”.

exclusivamente teórico e desenvolvida somente com base em hipóteses não testadas [...] [podendo] modificar a concepção [...] de que a astronomia é algo imutável e livre de erros” (Almeida & Menezes, 2020, p. 78–79).

A descoberta dos pulsares, por exemplo, consiste em um dos mais importantes episódios históricos da Astronomia, sendo repleta de elementos que possibilitam reflexões acerca da natureza do conhecimento científico. Como explorado em determinados artigos (Pires & Peduzzi, 2022a; 2022b), a identificação dos primeiros pulsares explicita o papel da serendipidade em uma descoberta científica, sabendo que até o trabalho protagonizado pela astrônoma Jocelyn Bell Burnell, estrelas de nêutrons e buracos negros eram “[...] tomados como uma curiosidade intelectual, pouco plausível de realmente existir no mundo” (Cardoso & Duque, 2021, p. 30). Após o início da descoberta, entretanto, a investigação “[...] desses objetos exóticos e suas propriedades passou de um problema acadêmico para um tema central em astrofísica” (Mendes, 2021, p. 58). De modo mais amplo, tal descoberta reforçou a possibilidade da existência de objetos como buracos negros.

Em 1967, Jocelyn Bell encontrou um sinal inesperado nos dados que coletava com o radiotelescópio que ajudara a construir em Cambridge, como parte do seu doutorado: um sinal periódico de rádio, extremamente estável, com período de 1,337 segundos. Naturalmente, a hipótese inicial foi que o sinal tivesse origem artificial, pois nenhuma fonte astrofísica conhecida até então exibia tamanha regularidade, variando num intervalo de tempo tão curto. No entanto, análise detalhada demonstrou tratar-se de uma fonte externa ao sistema solar; a ela deu-se o nome de *pulsar*. Antes da descoberta dos pulsares, não era óbvio se estrelas de nêutrons de fato existiam e como seria possível observá-las. [...] No ano que se seguiu à publicação do trabalho de Bell e Hewish, ferveu intenso debate sobre a natureza do sinal. Eventualmente, se consolidou a ideia de que pulsares são estrelas de nêutrons magnetizadas (Mendes, 2021, p. 59, grifo da autora).

Langhi e Nardi (2012) apontam que uma das dificuldades encontradas por docentes em abordarem a temática de Astronomia consiste no número reduzido de bibliografias confiáveis, além do restrito tempo para pesquisas. Tais fatores implicam na “[...] falta de atualizações constantes aos novos fenômenos e conhecimentos astronômicos por parte dos professores” (Lima *et al.*, 2021, p. 4). Procurando contribuir, em alguma medida, com o acesso das/os docentes para temáticas contemporâneas para o ensino de Astronomia com um devido respaldo histórico-epistemológico, apresentamos neste artigo, uma proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) com o objetivo de promover discussões de caráter histórico sobre a descoberta dos pulsares, na perspectiva da formação de licenciandas/os em Física e em Astronomia. Com o estudo, intencionamos responder ao seguinte questionamento: “*Como abordar o processo de descoberta dos pulsares protagonizado pela cientista Jocelyn Bell Burnell em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, considerando elementos histórico-epistemológicos, para a formação inicial de professoras e professores de Física e de Astronomia?*”.

O artigo está organizado nas seguintes seções: discutimos, em primeiro momento, elementos teóricos que orientam a elaboração de sequências didáticas no formato de uma UEPS, articulados com determinados aspectos do referencial educacional da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC). Em seguida, apresentamos a proposta da UEPS intitulada “*A Little Bit of Scruff: o episódio de descoberta dos pulsares e a trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell*”, direcionada à formação inicial de professoras/es em Física e em Astronomia, construída com base em artigos (Pires & Peduzzi, 2021; 2022a; 2022b; 2022c) e materiais de divulgação científica sobre a temática. Por último, apresentamos reflexões sobre a Unidade Didática, no sentido de se indicar potencialidades e limitações em sua implementação.

UEPS: ELEMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Nos últimos anos, no contexto de ensino de Física e de Astronomia, inúmeros trabalhos se debruçaram em proposições e implementações de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) nos mais diversos níveis educativos, desde o ensino médio (Silva, Damasio & Raicik, 2019; Souza & Andrade Neto, 2020), perpassando o contexto de formação inicial (Pantoja & Moreira, 2020) e formação continuada (Damasio & Peduzzi, 2016). Em uma revisão bibliográfica sobre as tendências e possibilidades de pesquisas com UEPS, desenvolvida por Souza e Pinheiro (2019), as autoras enfatizaram o fato de que, a partir do ano de 2011, os estudos com a utilização desta metodologia de ensino sugerem “[...] uma tendência crescente para área de ensino” (p. 120), apesar dos estudos apresentarem que “[...] há maior concentração com estudantes da etapa final da educação básica brasileira, o Ensino Médio” (p. 121).

De acordo com Moreira (2011), as UEPS consistem em sequências de ensino especialmente baseadas nos pressupostos educacionais da Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, mas também consideram elementos da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira, no interacionismo social de Lev Vygotsky e nos campos conceituais de Gérard Vergnaud. De forma a estabelecer uma aproximação com as temáticas apresentadas na proposta de ensino, consideramos os pressupostos educacionais da Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (TASC), que são derivadas, em grande medida, da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

A *Aprendizagem Significativa* consiste em um processo cognitivo em que novos conhecimentos são assimilados pela/o aprendiz de maneira *substantiva e não arbitrária*. Em relação a estes conceitos, “substantiva quer dizer não-litera [...] e não-arbitrária significa que a interação [é] [...] com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende” (Moreira, 2012, p. 30). Em outras palavras, para a aprendizagem de um conceito ser significativa, a/o aprendiz precisa assimilar “a substância [...] das novas ideias, não as palavras precisas para expressá-las” (Moreira, 1997, p. 20) e precisa associar o novo conhecimento a determinadas concepções prévias existentes em sua estrutura cognitiva. Isto resume a conhecida caracterização proferida por David Ausubel de que “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe”.

Assim, *subsunoçores* são chamados os conhecimentos compreendidos previamente pela/o aprendiz que servem de âncora para o aprendizado de novos conceitos. Segundo Moreira (2012, p. 32), “não é conveniente “coisificá-lo”, “materializá-lo” como um conceito, por exemplo [...] pode ser também uma concepção, um construto, uma proposição, uma representação, um modelo”. Em meio ao processo de aprendizagem significativa, tais subsunoçores são alterados, sendo mais bem elaborados ou aprofundados: “[...] os novos conhecimentos adquirem um significado para o sujeito, ao passo que os subsunoçores também são modificados; eles podem adquirir novos significados ou corroborar os já existentes” (Raicik, 2020, p. 167).

Entretanto, de maneira a elucidar ou ensejar o desenvolvimento de subsunoçores sobre determinada temática pelas/os aprendizes, recorre-se à utilização dos chamados *organizadores prévios*, que devem apresentar discussões mais gerais e abrangentes sobre a temática a ser explorada na proposta. Dentre diferentes possibilidades, podem consistir em “[...] um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas” (Moreira, 2012, p. 39). Cabe apontar que, embora a perspectiva da aprendizagem significativa se apresente num sentido de crítica à aprendizagem mecânica, esta última é

[...] necessária quando um indivíduo adquire informações em uma área de conhecimento completamente nova [...] isto é, a aprendizagem mecânica ocorre até que alguns elementos de conhecimento, relevantes a novas informações na mesma área, existam na estrutura

cognitiva e possam servir de subsunçores, ainda que pouco elaborados (Moreira, 1999, p. 154–155).

Os conhecimentos na forma de subsunçores cada vez mais diferenciados e contextualizados, mediante novas aprendizagens significativas, dependem da ocorrência de dois processos: a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integrativa*. A diferenciação progressiva consiste no “[...] processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor” (Moreira, 2012, p. 34). Para tanto, conceitos e ideias sobre determinada temática devem ser discutidos a partir de seus aspectos mais gerais em direção a elementos mais específicos. A reconciliação integrativa, por sua vez, ocorrendo de maneira simultânea à diferenciação progressiva, “[...] consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações” (Moreira, 2012, p. 35). Em outras palavras, é um processo de exploração entre relações entre diferentes conceitos e/ou preposições. Outros princípios considerados também consistem na *organização sequencial* e na *consolidação dos conteúdos*. Ao se pensar em uma sequência didática, é importante *organizar sequencialmente* os conteúdos de maneira que determinados tópicos sejam dependentes daqueles que os antecedem, o que significa “[...] tirar-se partido das dependências sequenciais naturais existentes” (Moreira, 1999, p. 162). É de suma importância assegurar que as/os aprendizes apresentem determinados conhecimentos antes de se adentrar em novos conceitos, logo, “exercícios, resoluções de situações-problema, clarificações, discriminações, diferenciações, integrações são importantes antes da introdução de novos conhecimentos” (Moreira, 2012, p. 50).

Em suma, é importante enfatizar que a ocorrência de aprendizagem significativa é também dependente das seguintes condições: o aprendiz deve apresentar uma *predisposição* para aprender a temática: “[...] se a intenção do[a] aprendiz for simplesmente a de memorizá-lo, arbitrária e literalmente, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos” (Moreira, 1999, p. 156); além do fato do material de aprendizagem dever ser *potencialmente significativo* – se diz “potencialmente” pelo fato de que o significado está em quem aprende.

Entretanto, Gulis *et al.* (2021, p. 92) argumentam que a TAS “[...] atribui pouca ênfase às dimensões sociais ou interacionistas. Em outras palavras, as críticas que são também fundamentais ao processo educacional devem ser consideradas”. Assim, embora considere princípios da teoria ausubeliana, a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Moreira (2005), que se baseia em aspectos do ensino subversivo definido por Neil Postman e Charles Weingartner, parte do princípio que “[...] em tempos de mudanças rápidas e drásticas não basta fomentar uma aprendizagem significativa, também é necessário que ela seja subversiva” (Damasio & Peduzzi, 2016, p. 20).

O ensino subversivo de Postman e Weingartner (1978) defende a exploração, no contexto de sala de aula, de conceitos como “[...] relatividade, probabilidade, incerteza, função, causalidade múltipla [...] relações não-simétricas, graus de diferença e incongruência” (Moreira, 2005, p. 84), em contraponto a *conceitos fora de foco*, que englobam, por exemplo, a noção da ciência como produtora de verdades absolutas e a educação científica como um mero processo de transmissão de conhecimentos. Moreira (2005), por sua vez, se baseia em uma aprendizagem subversiva, optando por chamar de aprendizagem significativa crítica, a qual possibilita que

[...] o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias. É através dessa aprendizagem que ele poderá lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela (Moreira, 2005, p. 88).

Estendemos a justificativa de Moreira (2005) na perspectiva que, por meio da TASC, também seja possível refletir sobre as dinâmicas de opressão reforçadas pela ciência, como de gênero, mas, no sentido de refletir sobre a necessidade de mudanças estruturais deste importante construto da humanidade. De outra forma, intenciona-se que docentes, tanto na educação básica quanto na educação superior, possam reunir elementos para sua prática de maneira a ensejar um ambiente educacional que seja mais acessível a mulheres e outros grupos sociais, direcionando-se

na construção de um espaço acadêmico e científico que considere a pluralidade de indivíduos em sua produção como parte de sua natureza. Deste modo, não somente é importante conhecer um conceito científico, a partir

de um ponto de vista interno às ciências da natureza, por exemplo, em conhecer seus métodos de funcionamento e conceitos científicos pertinentes, [...] [mas também] seus impactos externos não podem (e não devem) ser desprezados, acolhendo um ensino historicamente contextualizado, consistente e, igualmente, crítico em relação ao papel social das ciências [...] essa crítica é estendida, principalmente, ao que se refere à participação das mulheres no desenvolvimento científico e à importância que a própria crítica feminista à ciência assume para esse propósito (Vieira, 2021, p. 55).

Moreira (2005), ainda, aponta onze princípios para ensinar a aprendizagem significativa crítica, a saber: (a) princípio do conhecimento prévio – aprendemos somente em relação ao que já sabemos; (b) princípio da interação social e do questionamento – considerar o intercâmbio de perguntas entre participantes do processo de aprendizado; (c) princípio da não centralidade do livro-texto – partir da diversidade de materiais educativos; (d) princípio da/o aprendiz como preceptor/representador – o conhecimento não é passivamente aprendido, mas é assimilado a partir de percepções prévias; (e) princípio do conhecimento como linguagem – possuindo sua linguagem, a própria “[...] ciência é uma extensão, um refinamento, da habilidade humana de perceber o mundo” (p. 92); (f) princípio da consciência semântica – “o significado está nas pessoas, não nas palavras”, (p. 92); (g) princípio da aprendizagem pelo erro – até porque o próprio conhecimento científico se desenvolve pela superação de erros; (h) princípio da desaprendizagem – identificar conceitos ou concepções prévias que podem ser insuficientes ou incompatíveis na resolução de problemáticas; (i) princípio da incerteza do conhecimento – “nosso conhecimento é, portanto, incerto, pois depende das perguntas que fazemos sobre o mundo” (p. 96); (j) princípio da não utilização do quadro-de-giz – ou apenas das apresentações em *slides*, o que se direciona a diversidade de estratégias de ensino; (k) princípio do abandono da narrativa – propiciar que as/os aprendizes discorram sobre o conhecimento, sem recair em monólogos pela/o docente.

Para a elaboração das UEPS, Moreira (2011) apresenta orientações denominadas de *aspectos sequenciais*, sendo longe de serem entendidos como princípios prescritivos. Deste modo, recomenda-se a definição do tópico específico a ser abordado – no âmbito deste artigo, a história da descoberta dos pulsares. Em seguida, é importante a proposição de situações iniciais que oportunizem a manifestação de subsunçores sobre a temática. Posteriormente, considerando a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora como “[...] processos da dinâmica da estrutura cognitiva [que] podem também ser tomados como princípios programáticos do conteúdo da matéria de ensino” (Moreira, 2012, p. 35), deve-se apresentar situações-problema sobre a temática, de maneira introdutória. Em seguida, deve-se apresentar o conhecimento pelos seus aspectos mais gerais, “[...] dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos” (Moreira, 2011, p. 4). De fato, com base no princípio de reconciliação integradora, é importante se retomar os aspectos mais estruturantes em simultâneo com uma apresentação de novos conteúdos em nível mais alto de complexidade, por meio de novas situações-problema.

Na direção para encerramento da unidade, é importante reservar momentos para uma revisão dos conteúdos em uma perspectiva integradora. A avaliação consiste em aspecto importante neste processo: a *avaliação formativa*, que deve ser desenvolvido ao longo da implementação da Unidade Didática, além da importância de uma *avaliação somativa*, que oportunize para a/o aprendiz – no nosso exemplo, professoras/es em formação inicial – que utilize a informação apreendida em outros contextos. De outra forma, deve-se “[...] formular questões e problemas de uma maneira nova e não familiar, que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido” (Moreira, 1999, p. 156). Pelo fato de ser um processo extenso, a ocorrência de aprendizagem significativa deve se basear em

evidências de aprendizagem ao longo de todo o processo.

PULSARES EM SALA DE AULA: PROPOSIÇÃO DE UEPS

No âmbito das pesquisas em ensino de ciências, Moreira (2004) enfatiza a importância de tais investigações serem desenvolvidas com base em referenciais teóricos devidamente explicitados, que sejam coerentes mutuamente e adequados aos fins das pesquisas. Assim, construímos a Unidade Didática com base em três referenciais: o metodológico, o educacional e o epistemológico. Como já mencionado anteriormente, baseamo-nos em pressupostos metodológicos que fundamentam uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) (Moreira, 2011). O referencial educacional, por sua vez, é a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Marco Antonio Moreira (2005), especialmente escolhido por seu viés *crítico*, o que concede elementos explícitos que permitem discussões sobre elementos de gênero na ciência. Os referenciais epistemológicos, considerados para análise de elementos históricos envolvidos no processo de descoberta dos pulsares, incluem reflexões de estudiosos como Thomas Kuhn (2011, 2018), Norwood Hanson (1967) e Ludwik Fleck (2010), além de estudos que articulem relações entre Gênero e Ciências, como Margaret Rossiter (1993), Sharon McGrayne (1998) e Londa Schiebinger (2001).

Cabe mencionar que a proposta sugerida incorpora considerações e reflexões críticas sobre uma intervenção realizada no contexto de um Estágio de Docência, em que apresentamos para licenciandas/os em Física uma discussão de caráter histórico-epistemológico sobre a serendipidade³ na descoberta dos pulsares, evento científico protagonizado pela cientista Jocelyn Bell Burnell. A intervenção ocorreu no mês de julho de 2021 na disciplina de *Instrumentação Para o Ensino de Física A*, ministrada na sétima fase do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pelo fato de sua ementa contemplar, dentre vários pontos, a temática de História e Filosofia da Ciência, esta disciplina constitui um espaço profícuo para desenvolvimento de discussões histórico-epistemológicas.

Sendo baseada, em grande medida, nos princípios estruturantes das UEPS, a intervenção consistiu em três encontros. Nesses momentos, apresentamos uma introdução histórica sobre a detecção dos pulsares; em seguida, uma discussão epistemológica mais ampla sobre descobertas científicas; e, no encerramento, organizamos uma discussão específica sobre a presença da serendipidade neste episódio histórico. Após a intervenção, por meio de um questionário, as/os discentes desenvolveram apreciações críticas sobre a sequência didática e os materiais utilizados, apontando sugestões especialmente na organização sequencial dos conteúdos. Em suma, de certo modo, é possível considerar essa experiência de estágio como uma sondagem inicial relativa à receptividade de licenciandas/os em Física sobre a temática, que contribuiu no sentido de observar potencialidades e melhorias na construção da Unidade Didática.

Assim, a Unidade Didática intitulada “*A Little Bit of Scruff: o episódio de descoberta dos pulsares e a trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell*” é especialmente direcionada a uma disciplina de graduação em Física que disponibilize espaço para discussões de cunho histórico acerca da ciência, envolvendo cinco encontros.

Em consonância com o referencial educacional adotado, é essencial que o primeiro encontro compreenda um momento de levantamento de conhecimentos prévios, de maneira a verificar que subsunções as/os participantes possuem sobre as estrelas de nêutrons e os pulsares e sobre a história da descoberta destes objetos astronômicos. Pelo fato da Unidade de Ensino discutir um

³ A serendipidade consiste na ocorrência de descobertas fortuitas, ocorridas casualmente. No mundo científico, especialmente em campos empíricos, ocasionalmente cientistas se deparam com novos achados em meio as pesquisas, o que implica o que ilustra “[...] a poderosa interação do acaso com a mente preparada” (Van Andel, 1994, p. 134).

importante episódio de descoberta na Astronomia, também é relevante questionar o que as/os participantes entendem sobre uma descoberta científica. Posteriormente, por meio da utilização de organizadores prévios, como vídeos e reportagens que apresentem este fenômeno astronômico, orienta-se a discussão de determinados aspectos conceituais e históricos sobre os pulsares, em nível de uma situação-problema inicial.

No segundo encontro, elabora-se uma discussão de alguns pontos gerais do artigo de Pires e Peduzzi (2022a), em que os autores desenvolvem uma análise de caráter histórico-epistemológico sobre o episódio de identificação dos primeiros pulsares por Bell Burnell: deve-se solicitar, nesse momento, que as/os alunos coloquem suas impressões sobre a leitura. Em seguida, considerando o princípio de diferenciação progressiva, desenvolve-se um aprofundamento da temática em seus aspectos de NdC, como a serendipidade em descobertas científicas e o processo de produção de conhecimento em um contexto de ciência normal kuhniana. Em outras palavras, discute-se como os primeiros passos da descoberta dos pulsares aconteceram de maneira inesperada, a partir da postura atenta de Bell Burnell em sua pesquisa e da flexibilidade de seu orientador e dos demais radioastrônomos envolvidos, mas que a compreensão das características destas estrelas ocorreu, em um contexto de ciência normal, mediante conhecimentos estabelecidos pela Radioastronomia e Astrofísica Estelar.

No encontro seguinte, como uma nova situação-problema, apresenta-se o processo histórico de pós-deteção dos pulsares, que consiste no contexto mais amplo de compreensão destas estrelas pela comunidade astronômica. Com base na leitura prévia do artigo de Pires e Peduzzi (2022b), faz-se importante destacar alguns aspectos gerais do material e solicitar que as/os participantes coloquem seus comentários sobre a leitura. É de suma relevância apontar que o contexto de compreensão sobre as características destas estrelas não se encerra na identificação dos primeiros pulsares por Bell Burnell. Assim, em termos de uma nova discussão epistemológica, diferenciando-se progressivamente os conteúdos, faz-se importante elaborar uma discussão sobre a coletividade no processo de construção de uma descoberta científica e especialmente, por meio de reflexões oportunizadas pelo referencial fleckiano, discutir o contexto de circulação de novos conhecimentos científicos através de conferências, artigos e manuais – como o ocorrido no processo de entendimento das primeiras características dos pulsares pelos astrônomos.

Posteriormente, como uma última situação-problema, no quarto encontro, desenvolve-se o aprofundamento da discussão sobre a descoberta dos pulsares e atuação da astrônoma na perspectiva do campo de estudos de Gênero e Ciências: esta temática é debatida no artigo de Pires e Peduzzi (2022c). Além de se discutir a predominância masculina no processo de compreensão deste fenômeno, deve-se apontar elementos da trajetória da astrônoma que problematizam a presença de fatores que favorecem ou dificultam o acesso e a permanência de mulheres no mundo científico e acadêmico. Da mesma forma, faz-se importante retomar os aspectos históricos do início da descoberta dos pulsares por Bell Burnell, evidenciando as problemáticas de gênero vivenciadas pela astrônoma em meio a sua atuação científica.

Por fim, o último encontro destina-se a uma revisão integrativa das discussões elaboradas nos momentos anteriores: desde aspectos conceituais sobre estas estrelas, o processo histórico de sua descoberta, perpassando por discussões epistemológicas como a existência da serendipidade, o trabalho científico em um contexto de ciência normal, a coletividade científica e a circulação de conhecimentos entre os cientistas e finalizando com discussões de Gênero e Ciências, analisando a trajetória científica e as contribuições da astrônoma. Como avaliação somativa, propõe-se que as/os participantes desenvolvam um plano de aula direcionado ao ensino de Física na educação básica, que articule algumas das discussões desenvolvidas na Unidade Didática.

Deste modo, a proposta objetiva que as/os professoras/es em formação conheçam o protagonismo de Bell Burnell no processo histórico de descoberta dos primeiros pulsares, o

caminho desenvolvido pelos astrônomos para a compreensão destes objetos como estrelas de nêutrons em rotação, além de evidenciar possíveis discussões sobre a natureza do conhecimento científico que se manifestam neste episódio. Para apresentação⁴ da proposta didática detalhada, consideramos a forma de organização presente no artigo de Raicik (2020).

Tabela 1 - Proposição da UEPS.

UEPS
<i>A Little Bit of Scruff: o episódio de descoberta dos pulsares e a trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell</i>
<p><i>Objetivo Geral:</i> Discutir elementos do processo histórico de descoberta dos pulsares, de maneira a evidenciar aspectos de natureza da ciência, além de problematizar questões de gênero presentes na trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell.</p> <p><i>Conceitos Centrais:</i> Estrelas de Nêutrons; Pulsares; Serendipidade; Descobertas Científicas; Mulheres na Ciência.</p> <p><i>Público-Alvo:</i> Licenciandas/os em Física e em Astronomia.</p> <p><i>Disciplina:</i> Deve contemplar discussões históricas, preferencialmente, nas últimas fases da graduação.</p> <p><i>Duração:</i> cinco encontros – ou dez aulas de 50 minutos.</p> <p><i>Constituintes da UEPS:</i> A Unidade de Ensino é constituída por quatro artigos; uma reportagem e dois vídeos de divulgação científica.</p> <p>O artigo de Pires e Peduzzi (2021) consiste em um levantamento bibliográfico de aspectos históricos sobre as estrelas de nêutrons e os pulsares que se apresentam em pesquisas do campo do ensino de Física e de Astronomia.</p> <p>O artigo de Pires e Peduzzi (2022a) apresenta uma discussão de caráter histórico-epistemológico sobre o episódio de detecção dos pulsares, elencando determinados aspectos sobre a prática científica, como a presença da serendipidade em descobertas científicas e a importância do trabalho científico em um contexto de ciência normal kuhniana.</p> <p>O artigo de Pires e Peduzzi (2022b) apresenta uma discussão histórico-epistemológica sobre a atividade científica empreendida ao final da década de 1960 para compreender as primeiras características dos pulsares. Em termos de discussões de NdC, destacam-se o processo de construção coletiva de uma descoberta científica, bem como o contexto de compartilhamento de novos conhecimentos sobre um fenômeno entre os cientistas, em uma perspectiva fleckiana.</p> <p>O artigo de Pires e Peduzzi (2022c) apresenta elementos da trajetória acadêmica da cientista Jocelyn Bell Burnell. Sendo analisados por meio de estudos sobre Gênero e Ciências, possibilitam refletir sobre determinadas fatores que favorecem a entrada de mulheres na ciência, bem como dificuldades estruturais encontradas por elas no campo científico e acadêmico.</p>

⁴ Os autores também elaboraram um *website* (<http://pulsarsteaching.wordpress.com>) para disponibilização da proposta e de seus materiais didáticos, como apresentações de *slides* e os artigos, bem como sugestões de textos e de vídeos de divulgação científica que podem ser explorados em implementações.

A reportagem “*Estrelas que Brilham no Tempo: Jocelyn Bell*” apresenta uma ampla discussão sobre os pulsares, em termos da identificação dos primeiros objetos por Bell Burnell, a explicação da atualidade sobre essas estrelas e seu reconhecimento no âmbito popular.

Os vídeos de divulgação científica, intitulados “*Journeys of Discovery: Jocelyn Bell Burnell and Pulsars*” e “*I Changed Astronomy Forever, He Won the Nobel Prize for It*” apresentam comentários de Jocelyn Bell Burnell sobre sua trajetória acadêmica e sua atuação no episódio de descoberta dos pulsares.

Primeiro Encontro (2 Aulas)

OS PULSARES: PRIMEIRAS IMPRESSÕES

Situação Inicial

Após se iniciar o módulo de ensino mediante a apresentação do título da proposta e o seu objetivo geral, faz-se essencial realizar um levantamento sobre os conhecimentos prévios que as/os participantes possuem sobre o fenômeno e discussões correlatas, por meio dos seguintes questionamentos: (a) *Você já ouviu falar sobre estrelas de nêutrons ou pulsares?* (b) *Conhece algum aspecto sobre a trajetória acadêmica da astrônoma Jocelyn Bell Burnell?* (c) *Você conhece algum aspecto sobre a história da descoberta dos pulsares?* (d) *O que vem a ser uma descoberta científica?*

Situação-Problema

De maneira que as/os participantes sejam introduzidos a alguns aspectos gerais sobre a história dos pulsares, propõe-se a leitura coletiva em grande grupo da reportagem⁵ intitulada “*Estrelas que Brilham no Tempo: Jocelyn Bell*”, que assinala determinados pontos sobre como os pulsares são entendidos conceitualmente, a história de sua descoberta, suas relações com a cultura popular e sua importância para as pesquisas da atualidade em Astronomia. A partir desse organizador prévio, espera-se que as/os participantes possam explicitar suas impressões sobre as características dos pulsares e a importância de sua descoberta para a Astronomia. Depois disso, desenvolve-se uma discussão por meio de perguntas orientadoras, como por exemplo: (a) *De que maneira este material apresenta os conceitos de estrelas de nêutrons e de pulsares?* (b) *Que conceitos de Física podem ser articulados para a compreensão do comportamento deste objeto?* (c) *Que elementos históricos e populares sobre os pulsares são evidenciados na reportagem?* (d) *Como os cientistas desenvolveram as construções teóricas sobre estas estrelas?* (e) *Como aconteceu a identificação dos primeiros sinais dos pulsares por Bell Burnell?* Em ambos os momentos da situação inicial, orienta-se que a/o ministrante escreva os comentários das/os participantes na lousa, de maneira a ensejar a discussão no grande grupo.

Próximo Encontro

Solicita-se que as/os participantes realizem previamente a leitura do artigo de Pires e Peduzzi (2022a), que permite um aprofundamento dos aspectos históricos envolvidos na detecção dos pulsares. Em especial, orienta-se que as/os participantes realizem uma leitura mais atenta da seção que apresenta determinadas discussões sobre a natureza do conhecimento científico, a exemplo da serendipidade em descobertas científicas.

Segundo Encontro (2 Aulas)

⁵ <https://divulgacao.iaastro.pt/pt/feature/estrelas-que-brilham-no-tempo-jocelyn-bell/>

A SERENDIPIDADE E OS PRIMEIROS PULSARES

Explorando o Tema

De maneira a ensinar algumas reflexões sobre a descoberta dos pulsares com o artigo lido previamente, as/os participantes são orientados a assistirem, no primeiro momento da aula, ao vídeo⁶ “*Journeys of Discovery: Jocelyn Bell Burnell and Pulsars*”. No material, a astrônoma aponta, dentre vários pontos, o fato dos sinais do primeiro pulsar serem entendidos como algo totalmente inesperado. Posteriormente, desenvolve-se uma discussão em grande grupo sobre pontos gerais do episódio que as/os chamaram mais a atenção das/os professoras/es em formação.

Em seguida, propõe-se a retomada dos aspectos históricos discutidos tanto no vídeo quanto no artigo por meio de um aprofundamento epistemológico. Assim, orienta-se uma exposição-dialogada, por meio de uma apresentação de *slides*, para apontar determinados trechos do artigo, em especial suas considerações epistemológicas. Como uma das possíveis discussões de natureza da ciência, faz-se importante evidenciar como os pulsares consistem em um exemplar da presença da serendipidade em uma descoberta científica. Para ensinar e fomentar a discussão, algumas perguntas orientadoras podem ser apresentadas: (a) *A partir do exemplo dos pulsares, como você descreveria o conceito de serendipidade?* (b) *Qual a importância da serendipidade para o desenvolvimento da ciência?* (c) *De que maneiras as/os cientistas atuam ou reagem no contexto de uma descoberta serendípica?*

Igualmente, faz-se importante também apontar, mesmo que brevemente, que a descoberta dos pulsares consiste em um profícuo exemplo de atuação científica em um contexto de ciência normal, com base na perspectiva de Thomas Kuhn. Em outras palavras, embora os primeiros sinais encontrados por Bell Burnell pudessem ser compreendidos como um achado anômalo, os pulsares, posteriormente, foram rapidamente compreendidos a luz de pressupostos paradigmáticos da Radioastronomia e Astrofísica Estelar.

Próximo Encontro

Recomenda-se fortemente que as/os licenciandas/os realizem a leitura do artigo de Pires e Peduzzi (2022b), que apresenta elementos histórico-epistemológicos relativos ao processo de construção conceitual sobre os pulsares pelas/os astrônomas/os.

Terceiro Encontro (2 Aulas)

AFINAL, O QUE SÃO OS PULSARES?

Aprofundando o Tema

Neste encontro, deve-se apontar que o processo de descoberta dos pulsares extrapola os importantes esforços de Jocelyn Bell Burnell e dos demais radioastrônomos da Universidade de Cambridge. Inicialmente, com o auxílio de uma apresentação de *slides*, propõe-se a apresentação de determinados aspectos sobre o contexto histórico de pós-detecção desse objeto astronômico, como exemplos de artigos que descrevem pesquisas desenvolvidas em âmbito teórico e observacional sobre o comportamento dessas estrelas. Neste contexto, de maneira a estimular as reflexões das/os participantes, formula-se as seguintes perguntas orientadoras: (a) *Como os astrônomos trabalharam no processo de compreensão sobre as características dos pulsares?* (b) *De que maneiras os astrônomos comunicaram seus conhecimentos relativos aos pulsares?* (c) *Qual o caminho trilhado pelos astrônomos até a compreensão dos pulsares como estrelas de nêutrons em rotação?* Igualmente, deve-se conceder espaço para as/os participantes apontarem

⁶ https://www.youtube.com/watch?v=z_3zNw91MSY

que segmentos da narrativa histórica consideram mais interessantes.

Na sequência, propõe-se um aprofundamento epistemológico na perspectiva de Ludwik Fleck: ressaltando a construção coletiva de uma descoberta científica, salienta-se que o episódio dos pulsares consiste em um frutífero exemplo para ilustrar o trabalho do *coletivo de pensamento astronômico*, com especialidade em Radioastronomia e Astrofísica, no processo de compreensão destes objetos. Concomitantemente, resgata-se outros conceitos fleckianos, a exemplo de *ciência dos periódicos* e *ciência dos manuais*, de maneira a explicar a gradativa construção conceitual sobre os pulsares nos artigos científicos até a consolidação de suas características nos manuais científicos.

Próximo Encontro

Indica-se que as/os participantes realizem a leitura do artigo de Pires e Peduzzi (2022c), que proporcionará subsídios para uma discussão sobre a presença das mulheres na ciência, a partir do exemplo da cientista Jocelyn Bell Burnell.

Quarto Encontro (2 Aulas)

NO-BELL: A PRESENÇA DAS MULHERES NA CIÊNCIA

Encerramento com Estudos de Gênero e Ciências

Neste encontro, como uma última situação-problema, propõe-se que a história dos pulsares seja aprofundada com uma discussão sobre a presença das mulheres nos campos da Física e da Astronomia. Para tanto, de maneira a suscitar aspectos do artigo lido previamente, indica-se que as/os alunos assistam ao vídeo⁷ “*I Changed Astronomy Forever, He Won the Nobel Prize for It*”, que apresenta aspectos da trajetória pessoal e científica de Bell Burnell. Posteriormente, realiza-se uma discussão em grande grupo por meio de questionamentos, como: (a) *Que desafios encontrados por Jocelyn Bell durante sua carreira científica chamaram a sua atenção? Por quê?* (b) *Que dificuldades encontradas por Bell Burnell se refletem na trajetória de outras mulheres cientistas?* (c) *Qual a importância de conhecermos a trajetória de mulheres cientistas, não somente suas contribuições à Ciência?*

Desse modo, o episódio histórico de detecção dos pulsares, explorado nos encontros anteriores, é retomado por meio da introdução de elementos de gênero envolvidos na atuação de Jocelyn Bell Burnell, a exemplo do Efeito Matilda e sua ausência no Prêmio Nobel de Física de 1974: este é um ponto especialmente discutido por Rossiter (1993). Outras barreiras, presentes na trajetória da astrônoma devem ser ressaltadas, como a discriminação pelos pares em sua formação em Física e seu processo de conciliação entre vida pessoal e profissional: aspectos que são problematizados por Schiebinger (2001). Também, por outro lado, faz-se importante discutir aspectos que impulsionam a entrada e a permanência de mulheres na ciência, como o apoio familiar, escolar e institucional.

Quinto Encontro (2 Aulas)

REVISANDO E AVALIANDO

Faz-se importante a elaboração de uma revisão integrativa dos eixos discutidos na unidade de ensino: aspectos conceituais sobre os pulsares; a identificação e compreensão destes objetos astronômicos em uma perspectiva histórico-epistemológica; reflexões de gênero por meio do estudo da trajetória acadêmica de Jocelyn Bell Burnell.

⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=NDW9zKqyPJI>

Como atividade somativa, solicita-se para as/os participantes que estruturarem um plano de aula para o contexto de ensino de Física e de Astronomia na educação básica, que articule alguns dos elementos históricos, epistemológicos ou conceituais relacionados aos pulsares com determinados aspectos discutidos no currículo da Física. Esta atividade deverá ser iniciada durante o encontro, mas há a possibilidade de que ela seja finalizada em momento posterior, individualmente.

Para contribuir na construção da atividade, como leitura optativa, sugere-se que as/os participantes realizem o estudo do artigo de Pires e Peduzzi (2021). A partir deste texto, espera-se indicar aspectos históricos sobre pulsares que se apresentam em trabalhos do ensino de Física e de Astronomia nos últimos anos.

Ainda, cabe apontar que a avaliação das/os participantes não será baseada apenas na avaliação somativa, na qual se observa indícios de aprendizagem significativa sobre a temática, em sua utilização em novos contextos. A avaliação formativa, que compreende, por exemplo, a participação nas discussões coletivas, deve ser igualmente considerada.

AVALIAÇÃO DA UEPS

Além da avaliação somativa, é necessário que as/os participantes apontem suas avaliações sobre a organização sequencial da Unidade Didática, a lógica interna dos artigos e a potencialidade dos materiais de divulgação científica considerados na proposta; igualmente, orienta-se que apontem o que poderia ser mantido ou o que poderia ser modificado em futuras implementações. A UEPS também deve ser analisada pela/o ministrante, de maneira a ser aprimorada para futuras intervenções.

Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A UEPS

A Unidade Didática intitulada “*A Little Bit of Scruff: o episódio de descoberta dos pulsares e a trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell*” consiste em um importante esforço para a inserção de aspectos histórico-epistemológicos envolvidos na descoberta dos pulsares no âmbito da formação inicial de professoras/es de Física e de Astronomia. Sendo construída nos moldes de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (Moreira, 2011), a proposta apresenta uma contribuição na lacuna apontada por Souza e Pinheiro (2019, p. 126), no que diz respeito à necessidade de “[...] ampliação dos estudos [da utilização de UEPS] na formação inicial e continuada de professores”.

Além disso, é válido reiterar o fato desta proposta, em sua construção, considerar reflexões preliminares de uma intervenção realizada em um Estágio de Docência, que possibilitaram ponderar sobre a organização sequencial dos conteúdos, além de avaliar a receptividade das/os participantes sobre a temática. A proposta igualmente contribui na amenização, em alguma medida, da seguinte problemática apresentada por Paulucci *et al.* (2022, p. e20210226-9): “as abordagens [didáticas] específicas envolvendo supernovas, anãs brancas e estrelas de nêutrons são muito menos frequentes que as que envolvem buracos negros”.

Com base no princípio de *diferenciação progressiva*, em que “[...] ideias, conceitos, proposições mais gerais e inclusivos do conteúdo devem ser apresentados no início do ensino e, progressivamente, diferenciados, ao longo do processo, em termos de detalhes e especificidades” (Moreira, 2011, p. 9), os conteúdos da proposta se organizam, inicialmente, por uma apresentação inicial dos pulsares às/aos professoras/es em formação. Posteriormente, elementos históricos envolvidos na descoberta desse objeto astronômico são aprofundados, com a intenção de se

apresentar aspectos sobre a natureza do conhecimento científico envolvidos neste episódio, como a serendipidade e a coletividade na ciência. De maneira a problematizar a presença de Jocelyn Bell Burnell no episódio em sua totalidade, a última discussão da Unidade Didática compreende um momento de reflexão sobre a presença das mulheres na ciência, com o respaldo em estudos sobre Gênero e Ciências.

Em relação ao referencial educacional adotado, consideramos que a Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2005) apresenta importantes elementos para subsidiar reflexões críticas sobre conceitos científicos e seus contextos de produção. Especificamente, na discussão sobre a história dos pulsares, é possível problematizar o processo complexo envolvido na compreensão de uma descoberta científica, especialmente uma descoberta baseada na serendipidade. Em outras palavras, refletir que além do fato da importância da “mente preparada” de Bell Burnell na identificação de sinais diferenciados em seu radiotelescópio, a coletividade, exemplificada pelos demais radioastrônomos e astrofísicos, possibilitou consolidar a descoberta dos pulsares. Não somente isso; ao se discutir elementos de gênero presentes na trajetória de Jocelyn Bell Burnell, permite-se elucidar “[...] mecanismos de opressão que operam nas trajetórias acadêmicas das mulheres, como uma das instâncias da dinâmica de manutenção de desigualdade social e discriminação em nossa sociedade” (Sepulveda & Silva, 2021, p. 99). Como exposto por Vieira (2021, p. 147), a TASC possibilita embasar tanto

[...] o ensino dos conceitos inerentes à Física quanto promover o engajamento de um caráter crítico a docentes e estudantes e estender discussões [...] de uma mulher cientista como contraponto à sua invisibilização, bem como elucidar que tal aspecto também é parte indissociável do desenvolvimento das ciências e, por tal, não pode e não deve ser desqualificado, ainda que por desconhecimento ou, mais gravemente, por omissão.

Igualmente, ressaltamos que a proposta apresenta flexibilidade quanto à alteração dos materiais utilizados. Por exemplo, de maneira a ensejar uma apresentação inicial sobre os pulsares, podem-se selecionar outros organizadores prévios, como textos e vídeos de divulgação científica, que também contemplem discussões conceituais sobre estas estrelas. Outros materiais que debatam as questões de NdC abordadas na unidade – reflexões sobre descobertas científicas, serendipidade na prática científica e elementos de gênero na trajetória de cientistas – podem ser articulados na proposta, desde que conversem com a postura epistemológica elencada pela proposta, baseada em autoras/es da moderna filosofia da ciência. Ainda, no sentido de respaldar implementações futuras, consideramos profícuo o desenvolvimento de estudos que articulem discussões sobre evolução estelar, estrelas de nêutrons e pulsares no contexto do currículo de Física, a exemplo do mapeamento de conhecimentos prévios que professoras/es em formação podem manifestar sobre estas temáticas. Em relação às estrelas, de modo geral, Paulucci *et al.* (2022, p. e20210226-6) apontam que “[...] vários levantamentos mostram um desconhecimento bem maior e concepções alternativas múltiplas”.

Em suma, a proposta consiste em um importante esforço teórico que direciona contribuições à abordagem didática de episódios da História da Astronomia no contexto de Educação em Ciências. De fato, concordamos com Paulucci *et al.* (2022, p. e20210226-4) com o fato de “apresentar as estrelas desde pontos de vista histórico-filosófico e físico é totalmente coerente na educação dos cidadãos do Século 21”. Tendo em vista que, especialmente na abordagem didática de História e Filosofia da Ciência, “o desafio a ser enfrentado neste momento seja o como incorporar” (Moura, 2014, p. 44), consideramos importante que docentes apliquem e desenvolvam novas versões da proposta, mantendo a essência de seus pressupostos, de maneira a refletir sobre as potencialidades das estratégias de ensino e das discussões propostas na Unidade Didática, bem como para suscitar novos elementos relativos à receptividade sobre a temática.

REFERÊNCIAS

- Almeida, A. S., & Menezes, M. C. F. (2020). A história da astronomia nos livros de ciências naturais dos anos finais do ensino fundamental do PNLD 2017-2019. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 13(2), 75–98. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v13n2p75>
- Brasil. Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base*. Brasília.
- Cardoso, V., & Duque, F. (2021). Buracos negros: a derradeira fronteira. *Cadernos de Astronomia*, 2(2), 16–41. <https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v2n2.35943>
- Damasio, F., & Peduzzi, L. O. Q. (2016). A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. *Revista Labore em Ensino de Ciências*, 1(1), 14–34. <https://periodicos.ufms.br/index.php/labore/article/view/2749>
- Fleck, L. (2010). *Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico*. Belo Horizonte: Fabrefactum.
- Gorges Neto, L., & Arthur, L. H. M. (2021). 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>
- 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., 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>
- Horvath, J. E. (2021). Subsídios para uma discussão da formação das estrelas na sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210237. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0237>
- Kuhn, T. S. (2011). *A Tensão Essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica*. São Paulo: Editora Unesp.
- Kuhn, T. S. (2018). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. 13. ed. São Paulo: Perspectiva.
- Langhi, R., & Nardi, R. (2009). Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(4), 4402. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000400014>
- Langhi, R.; Nardi, R. (2012). *Educação em Astronomia: Repensando a Formação de Professores*. São Paulo: Escrituras.
- Lima, G. K., Ghirardello, D., Machado, D. S., Oliveira, R. F., & Langhi, R. (2021). Investigações sobre Educação em Astronomia: estado do conhecimento da RELEA, SNEA, RBEF e CBEF. *Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia*, 10(1), 1–22. <https://doi.org/10.35819/tear.v10.n1.a4794>
- McGrayne, S. B. (1998). *Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries*. 2. ed. Washington: Joseph Henry Press.
- Mendes, R. (2021). Estrelas de nêutrons e seus múltiplos mensageiros. *Cadernos de Astronomia*,

2(2), 58–70. <https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v2n2.35937>

Moreira, M. A. (1997). Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente. In: Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa. 3., Burgos. *Anais...* Burgos: ENAS. <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>

Moreira, M. A. (1999). *Teorias da Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.

Moreira, M. A. (2005). Aprendizagem Significativa Crítica. *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación*, (6), 83–101. <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>

Moreira, M. A. (2011). Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43–63. http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf

Moreira, M. A. (2012). ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? *Curriculum: Revista de Teoría, Investigación y Práctica Educativa*, (25), 29–56. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96956>

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://doi.org/10.53727/rbhc.v7i1.237>

Pantoja, G. C., & Moreira, M. A. (2020). Conceitualização do conceito de campo elétrico de estudantes de Ensino Superior em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas sobre eletrostática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20200288. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0288>

Paulucci, L., Fornazari, J. F., Brasil Neves, K., & Horvath, J. E. (2022). Levantamento de recursos e uma avaliação atual do Ensino de Astrofísica Estelar. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44, e20210226. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0226>

Pires L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2021). 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. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n3p157>

Pires L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2022a). 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. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p108>

Pires L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2022b). Pulsating Stars: o contexto histórico de pós-detecção dos pulsares no campo da Física e da Astronomia. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 22(e37497), 1–27. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u633659>

Pires L. N., & Peduzzi, L. O. Q. (2022c). Look Dear, You've Made a Discovery: aspectos da vida e da trajetória da astrônoma Jocelyn Bell Burnell. *Submetido à publicação*.

Postman, N., & Weingartner, C. (1978). *Contestação – Nova Fórmula de Ensino*. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura.

Raicik, A. C. (2020). Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. *Experiências em Ensino de Ciências*, 15(2), 164–197. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/719>

Rossiter, M. W. (1982). *Women Scientists in America: Struggles and Strategies to 1940*. Baltimore: Johns Hopkins Press.

Rossiter, M. W. (1993). The Matthew Matilda Effect in Science. *Social Studies of Science*, 23(2), 325–341. <https://doi.org/10.1177/030631293023002004>

Schiebinger, L. (2001). *O feminismo mudou a ciência?* Bauru: EDUSC.

Silva, T., Damasio, F., & Raicik, A. C. (2019). Thaysa Storchi Bergmann e a Astrofísica: um ensino de e sobre ciência a partir dos estudos de uma mulher cientista. *Experiências em Ensino de Ciências*, 14(3), 133–157. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/210>

Slovinski, L.; Alves-Brito, A., & Massoni, N. T. (2021). A Astronomia em currículos da formação inicial de professores de Física: uma análise diagnóstica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210173. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0173>

Soler, D. R., & Leite, C. (2012). Importância e Justificativas para o Ensino de Astronomia: um olhar para as pesquisas da área. In: II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 2., São Paulo. *Anais...* São Paulo: Universidade de São Paulo.

Souza, G. F., & Pinheiro, N. A. M. (2019). Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS): Identificando Tendências e Possibilidades de Pesquisa. *Revista Dynamis*, 25(1), 113–128. <http://dx.doi.org/10.7867/1982-4866.2019v25n1p113-128>

Souza, M. G., & Andrade Neto, A. S. (2020). Uma investigação acerca das concepções sobre a natureza da ciência de alunos do Ensino Médio após ensino combinado da epistemologia de Laudan e de problemas em aberto de Física Contemporânea dentro de UEPS. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, 3(2), 441–466. <https://doi.org/10.5335/rbecm.v3i2.10380>

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. <https://doi.org/10.1093/bjps/45.2.631>

Vieira, P. C. (2021). *Uma estrela eclipsada na ciência: um resgate histórico de Cecília Payne e seu papel na determinação da composição estelar*. Porto Alegre. 172 p. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/233013>