

Originais recebidos em 19/07/2023. Aceito para publicação em 23/04/2024.
Avaliado pelo sistema *double blind peer review*. Publicado conforme normas da ABNT.
Open access free available online.
DOI: <https://doi.org/10.35700/2316-8382.2024.v2n15.3593>

MULHERES ASTROFÍSICAS: POSSIBILIDADES PARA O ENSINO

Alaís Cristina Dräger¹ - <https://orcid.org/0009-0006-4221-0155>

Luiz Henrique Martins Arthury¹ - <https://orcid.org/0000-0003-2666-9733>

RESUMO

Apresentamos, neste artigo, possibilidades para o ensino de Física centradas na contribuição de cinco mulheres astrofísicas: Henrietta Leavitt, Cecilia Payne, Jocelyn Bell, Vera Rubin e Andrea Ghez. A discussão em sala de aula sobre essas mulheres e suas contribuições à ciência visa estabelecer situações didáticas de grande valia para promover um maior incentivo para o estudo de Física, uma maior busca por áreas científicas, sobretudo por meninas, e promover debates sobre a natureza da ciência visando entendimentos mais adequados da atividade científica, particularmente o papel desempenhado por cientistas mulheres no desenvolvimento da ciência. Neste artigo, a partir de uma pesquisa bibliográfica, apresentamos cada uma dessas pesquisadoras e propomos sugestões de abordagens no contexto educacional.

Palavras-chave: astrofísica; mulheres astrofísicas; ensino de física; mulheres na ciência; natureza da ciência.

ASTROPHYSICISTS WOMEN: POSSIBILITIES FOR TEACHING

ABSTRACT

In this article, we present possibilities for teaching Physics centered on the contributions of five female astrophysicists: Henrietta Leavitt, Cecilia Payne, Jocelyn Bell, Vera Rubin and Andrea Ghez. The classroom discussion about these women and their contributions to science aims to establish educational situations of great value to promote greater encouragement for the study of Physics, a greater search for scientific areas, especially by girls, and promote debates about the nature of science, aiming for more adequate understandings of scientific activity, particularly the role played by female scientists in the development of science. In this article, based on a bibliographical research, we present each of these researchers and propose suggested approaches in the educational context.

Keywords: astrophysics; women astrophysicists; teaching physics; women in science; nature of science.

¹ Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Jaraguá do Sul – Centro.

INTRODUÇÃO

No que diz respeito ao ensino de Física e às diferentes abordagens em relação à história da ciência no contexto de sala de aula, pouco se destaca as contribuições das mulheres à ciência (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014). A história da ciência costuma ser contada sobretudo à luz da contribuição masculina e isso certamente é um desserviço à educação científica porque descaracteriza o desenvolvimento da ciência e facilmente pode afastar o público feminino de um interesse pela área (CORDEIRO, 2017). De fato, em um levantamento realizado em 2018 sobre alunos ingressantes e concluintes de cursos de Física, a cientista brasileira Débora Peres Menezes aponta que “Observamos claramente tanto o menor interesse das mulheres pela carreira quanto uma diminuição da proporção de mulheres conforme os estudos progredem, no típico recorte da tesoura” (MENEZES et al., 2018, p. 332).

Ao longo da história da ciência, as mulheres frequentemente foram tratadas com inferioridade, pois se acreditava que os homens seriam mais aptos intelectualmente para desenvolver atividades nesta área (ALVES; BARBOSA; LINDNER, 2019). Isso, por vezes, reflete-se dentro de sala de aula, quando o professor se vê diante de uma ciência historicamente formada por uma maioria de homens e acaba perpetuando essas informações, sem apresentar, muitas vezes por desconhecimento, a participação feminina. Mas o que vemos, e discutiremos na sequência, é que, historicamente, os fatores de caráter social, financeiro, e mesmo o preconceito contra as mulheres, não impediram a entrada delas no meio científico, o que mostra que, obviamente, as mulheres se interessam por ciência e qualquer obstáculo ao seu acesso só pode residir em preconceitos que precisam ser combatidos.

Para além das cientistas que iremos discutir neste trabalho, podemos citar os exemplos contundentes de Ada Lovelace, com seus estudos em lógica e precursora dos algoritmos computacionais, Marie Curie, prêmio Nobel² pelos estudos da radioatividade e o descobrimento dos elementos Rádio e Polônio (ALVES; BARBOSA; LINDNER, 2019), Lise Meitner, primeira cientista a explicar a fissão nuclear, Rosalind Franklin, cujos experimentos com difração de raios-X levou à descoberta da estrutura em dupla hélice do DNA, e Sau Lan Wu, física que ajudou a descobrir algumas partículas fundamentais como a *quark charm* e o *glúon*.

Infelizmente, muitas dessas pesquisadoras enfrentaram preconceitos e passaram por dificuldades de aceitação no meio acadêmico (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014), sendo algumas delas inferiorizadas por seu gênero e tendo suas pesquisas diminuídas frente às láureas de personagens masculinos ao seu entorno. Conhecer essas histórias é de grande valia no ensino. Além de se promover imagens mais adequadas da atividade científica, é uma forma de incentivar que meninas e mulheres ingressem em carreiras científicas:

[...] todas as dificuldades enfrentadas por essas e outras cientistas para que pudéssemos fazer parte da construção do conhecimento científico, serviu para que meninas e jovens vivessem tendo cada vez mais espaço na ciência, por meio da luta pela igualdade de gêneros que permanece até os dias atuais (ALVES; BARBOSA; LINDNER, 2019, p. 2).

Dessa maneira, elaborar uma aula “centrada em seus aspectos históricos pode [...] promover um debate acerca das contribuições científicas das mulheres, que por vezes são suprimidas dos livros didáticos, e das dificuldades superadas por essas cientistas” (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014, p. 558). No entanto, esses mesmos autores alertam sobre o cuidado como essas informações são apresentadas, pois é preciso ter cautela para não cair na armadilha de demonstrá-las como exceções, de que apenas mulheres especiais conseguem desenvolver ciência, o que denota uma visão elitista a ser combatida no ensino de ciências.

² Marie Curie é a única cientista a receber dois prêmios Nobel em áreas científicas distintas, no caso, Física e Química.

Como defendemos nesse trabalho, “conhecer a história das grandes físicas e dos obstáculos que elas passaram é, ainda, uma das formas mais consistentes de se atrair não apenas mulheres à ciência, mas os alunos em geral” (CORDEIRO, 2017, p. 671). Com esse objetivo realizamos uma pesquisa bibliográfica em trabalhos acadêmicos que abordam as cientistas apresentadas a seguir, com vista a avaliar sua possível inserção em discussões sobre a ciência nas aulas de Física do Ensino Médio, juntamente com sugestões gerais para o ensino e possíveis temas de Física a serem estudados a partir dessas cientistas. Apresentamos na sequência, em nossa metodologia, o recorte feito entre possíveis nomes femininos e discorreremos sobre cada uma das cientistas apontadas. A seguir, em nossa discussão, trazemos também considerações gerais a respeito do ensino, a partir do que pudemos constatar em relação às contribuições de cada uma delas para possíveis inserções desses temas em sala de aula.

METODOLOGIA

Escolhemos investigar possíveis nomes ligados à Astrofísica devido a termos mais familiaridade com o tema e, essencialmente, por ser também uma área que a literatura mostra ser de grande interesse dos estudantes em geral (LANGHI; NARDI, 2009; GORGES *et al.*, 2020). Tendo em vista que os resultados dessa pesquisa serão efetivamente utilizados em uma segunda etapa onde proporemos uma sequência didática para alunos de Ensino Médio, foi nossa intenção escolhermos um conjunto de personagens que não fosse apenas um estudo de caso específico, com apenas uma ou duas cientistas, mas que também não representasse uma lista extensa para que não houvesse uma dispersão de contribuições, a ponto de não se saber mais “quem fez o quê”.

A partir de uma pesquisa bibliográfica em portais acadêmicos (Portal Capes e Google Acadêmico), usando inicialmente termos como “mulheres cientistas”, “mulheres astrofísicas” e “história da astrofísica”, procuramos identificar, por meio da leitura de alguns primeiros trabalhos consultados, nomes femininos de maior ocorrência e com possível impacto na discussão sobre ciência junto a estudantes do Ensino Médio. Escolhemos assim um conjunto de cinco cientistas de destaque na Astrofísica, para uma pesquisa adicional com base nesses nomes: Henrietta Leavitt, Cecilia Payne, Jocelyn Bell, Vera Rubin e Andrea Ghez. O professor interessado em trabalhar esse tema pode escolher outros nomes, e é natural que qualquer conjunto traga as escolhas pessoais do investigador. De modo geral, escolhemos nomes que trouxeram contribuições importantes ao longo da história da Astrofísica, e que aparecem frequentemente em exposições sobre o tema. Dentre os trabalhos consultados, trazemos em nossa discussão aqueles mais acessíveis de modo geral.

Procuramos trazer alguns elementos biográficos das cientistas pesquisadas, mas mantendo um importante foco em suas contribuições específicas para o campo da Astrofísica. A partir dessas contribuições, na sequência procuramos avaliar a potencialidade do uso desses temas em discussões sobre ciência, e, sendo o caso, apontando sugestões para que o possível professor interessado no tema possa incorporar apresentações ou discussões próprias envolvendo essas cientistas junto aos seus alunos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos a seguir as cinco cientistas pesquisadas, procurando apontar sugestões para discussão de suas contribuições no contexto do ensino de Física e ciências em geral. Ao final compilamos também alguns tópicos específicos de Física e sugestões gerais para mobilizar essas cientistas junto a turmas do Ensino Médio.

Henrietta Swan Leavitt

A astrofísica Henrietta Swan Leavitt (1868 - 1921) “nasceu em 14 de julho de 1868 em Lancaster, Massachusetts [...]. Ela estudou no Oberlin College e na Society for Collegiate Instruction of Women (mais tarde, Radcliffe College)” (MARCHI, 2011, p. 20). Para ingressar na Society for Collegiate, teve que realizar algumas provas, dentre elas, literatura, grego, latim, além de conhecimentos em astronomia e álgebra, destacando-se nas avaliações de cálculo diferencial e geometria (BARROS, 2018).

De acordo com Barros (2018), nesse colégio, Henrietta pode participar de um curso extra em astronomia, o que provavelmente influenciou sua entrada como voluntária no Harvard College Observatory, aos 25 anos. “Sua primeira função era fazer a observação das chapas fotográficas, essas chapas eram de vidro e tinham gravadas fotos de áreas de céu tiradas durante observações, havia chapas da região Sul e Norte” (BARROS, p. 16, 2018). Neste grupo, ela era uma das mulheres calculadoras, ficando assim conhecidas porque realizavam os cálculos astronômicos dessas chapas (MARCHI, 2011).

Realizou sua pesquisa com intuito de desenvolver uma forma de medir a distância das estrelas em nossa galáxia. Assim, “Leavitt desenvolveu sua pesquisa baseando-se nas medidas de magnitudes estelares, medindo e observando também o seu período. Este período está baseado nos dados coletados através de estrelas variáveis” (BARROS, 2018, p. 17). Esse tipo de estrela possui um brilho variável, apresentando uma relação matemática entre seu período (tempo entre dois máximos ou mínimos de brilho) e sua luminosidade (energia irradiada ao longo do tempo), descoberta pela própria Henrietta (SANTOS, 2017). Em linhas gerais, o método de medição da distância das estrelas variáveis desenvolvido por ela consiste em medir seu período e determinar sua luminosidade por meio da relação matemática entre os dois. Uma vez conhecida sua luminosidade, e sabendo que essa diminui com a distância por meio de uma relação matemática também conhecida (a luminosidade decai com o quadrado da distância), é possível comparar sua luminosidade real, obtida por meio de seu período, com sua luminosidade aparente vista aqui da Terra e estimar sua distância em relação ao observador.

De acordo com Wilson (2018), ao longo de seu trabalho Henrietta catalogou 1.777 estrelas variáveis nas Nuvens de Magalhães, conhecidas atualmente como galáxias companheiras (ou satélites) da Via Láctea. Esses resultados foram publicados pela astrônoma em 1908, observando que as estrelas variáveis (também chamadas de variáveis cefeidas) mais brilhantes também têm períodos mais longos (WILSON, 2018).

Com isso, Henrietta Leavitt contribuiu significativamente com o campo da Astrofísica:

catalogou mais de 2.400 estrelas variáveis, cerca de metade do total conhecido até a sua época. Essas estrelas brilhantes aumentavam e diminuían seu brilho de forma regular. [...] Leavitt e suas análises das estrelas variáveis contribuiu para o campo da astrometria deduzindo a relação período-luminosidade (MARCHI, 2011, p. 23).

Para se ter uma ideia do impacto dessa contribuição, foi usando essa relação período-luminosidade determinada por Henrietta que o astrônomo norte-americano Edwin Hubble descobriu, na década de 1920, que as galáxias se encontram, em média, em um movimento de mútuo afastamento, o que acabou se tornando a primeira evidência direta de que nosso universo observável está em expansão (ARTHURY; PEDUZZI, 2015).

Mais adiante, em sua vida, Henrietta se tornaria chefe do departamento de fotometria estelar, nomeada ao cargo por Harlow Shapley, diretor do Harvard College Observatory, em 1921. No entanto, a cientista acabou falecendo de câncer no final desse mesmo ano. Mesmo não sendo indicada a tempo ao Nobel, ela recebeu reconhecimentos póstumos, como a nomeação de um asteroide e uma cratera lunar com seu nome (WILSON, 2018).

Diante do exposto, é possível levantar possibilidades para a implementação da história e contribuições dessa cientista no contexto de sala de aula. Esse tema sobre as estrelas cefeidas (estrelas variáveis) é de grande valia para tratar de Astronomia e Cosmologia, que despertam grande curiosidade por parte dos estudantes. Promover essa curiosidade não apenas permite um maior engajamento que pode resultar numa maior procura por áreas científicas, como também pode ser determinante para se obter uma atenção genuína para o ensino de elementos diversos de Física. Os conceitos de período, frequência, luminosidade, distância e espectroscopia em geral podem ser ricamente ilustrados por episódios como esse, trazendo mais significado para o que se estuda em sala de aula, para muito além do típico contrato didático que costuma resumir os conteúdos escolares a meras ferramentas para se fazer avaliações (MOREIRA, 2018).

Além de temas específicos de Física, naturalmente o professor ou professora pode desenvolver um plano de aula envolvendo discussões sobre o papel da ciência na sociedade, seus diferentes personagens, o papel feminino na ciência em uma época onde as condições de trabalho e direitos ainda eram diferentes entre gêneros (e sobre os quais há desafios ainda hoje), além de outras abordagens tomando como exemplo o trabalho dessa e das outras cientistas que apresentaremos.

Cecilia Helena Payne-Gaposchkin

A astrofísica Cecília Helena Payne-Gaposchkin (1900 -1979) nasceu na Inglaterra e

[...] cresceu em uma época e em um lugar no qual o acesso das mulheres à escolarização e à construção de uma carreira profissional sofria diversas restrições, fator que se entrelaça com sua trajetória ao tornar-se uma cientista pioneira na Astrofísica (VIEIRA; MASSONI; BRITO, 2021, p. 1).

Mesmo diante da dificuldade que mulheres sofriam em determinados ambientes, a cientista não desistiu de sua desejada formação. Em 1919, ingressou

[...] na Newnham College, instituição da Universidade de Cambridge também voltada para o ensino somente de mulheres, em um curso de formação generalista em Ciências da Natureza, com ênfase nas áreas de Botânica, Química e Física (VIEIRA, 2021, p. 12).

Em 1923, entrou em Harvard, doutorando-se em astronomia no Radcliffe College, sendo a primeira mulher a obter o título de doutora em uma pesquisa realizada no observatório de Harvard (MARCHI, 2011). Sua tese de doutorado ficou dividida em três partes:

A primeira traz uma revisão sobre conceitos centrais da Física Quântica e da Astrofísica, essenciais para a compreensão de sua pesquisa. Na segunda parte, é introduzida a teoria da ionização térmica de Saha e são estabelecidas relações com conceitos amplamente empregados na Astrofísica Estelar, como temperatura, pressão e suas implicações nas características dos espectros luminosos. Por fim, na terceira são explicitadas etapas que conduzem ao conhecimento da abundância relativa dos elementos químicos em diferentes estrelas (VIEIRA, 2021, p. 111).

Com isso, Payne

[...] resolveu um problema existente no meio astronômico dessa década que era a falta de informações sobre como se relacionava com a temperatura das estrelas e a identificação dos seus espectros

fotocromáticos. Ela, portanto, alinhou esse “problema” com estudos da mecânica quântica junto à química e obteve êxito em sua pesquisa, tendo como consequência a descoberta dos elementos formadores do Sol, o Hidrogênio e o Hélio (NASCIMENTO; SCHIMANDEIRO, 2019, p. 24).

No entanto, o cientista norte-americano Henry Norris Russell acabou discordando dos dados apontados por Cecília em seu trabalho e, com isso, a cientista acabou escrevendo, em sua tese, que sua descoberta era incerta. Mais tarde, Russell comprovou os dados e, mesmo citando Payne, acabou ficando com o reconhecimento pelo feito (NASCIMENTO; SCHIMANDEIRO, 2019).

De acordo com Vieira (2021), a pesquisadora obteve destaque no círculo astronômico local pelos estudos desenvolvidos em sua tese, mas infelizmente isso não lhe garantiu o reconhecimento devido nem boas condições de trabalho, pois tornou-se assistente do diretor do Observatório em Harvard, realizando funções distintas de seu cargo e recebendo um salário inferior ao de seus colegas homens.

Cecília Payne também passou por outras dificuldades: “enquanto mulher, não era permitido a Payne assumir oficialmente o cargo de professora em Harvard, o que só ocorreu em 1956, após mais de trinta anos na instituição, tornando-se a primeira mulher a conseguir a posição em tal Universidade” (VIEIRA; MASSONI; BRITO, 2021, p. 10).

De todo modo, as contribuições de Payne foram muito importantes para a Astronomia e possibilitaram avanços e estudos na área, propiciando que conhecêssemos mais o universo. Por isso, considerar seu trabalho dentro de sala de aula é mais uma forma de apresentar e dar reconhecimento à sua contribuição e dedicação com a ciência, sobretudo com a Astronomia.

Assim como no caso da Henrietta, o professor ou professora de Física, a partir da trajetória de Payne, pode também estabelecer relações entre ciência e sociedade, mostrando como uma influencia a outra, fugindo de visões científicas descontextualizadas. Uma discussão que pode entrar em sala de aula é a questão de que, naquela época, Payne não pôde assumir o cargo de professora, atestando a desigualdade de direitos entre homens e mulheres, o que pode ter sido um fator para que mulheres deixassem de procurar a carreira científica. Esses problemas se refletem ainda hoje e discussões a esse respeito podem ajudar os estudantes a desenvolverem uma maior criticidade e resiliência frente a pressões que ainda existem, mas que não devem ser mais toleradas.

Uma abordagem interessante que pode ser realizada, tanto com Cecília Payne quanto com as demais cientistas, é promover trabalhos interdisciplinares entre Física e Química, uma vez que sua formação e trabalhos envolvem ambas as áreas, o que pode ser um facilitador para o ensino e aprendizado dos estudantes, principalmente quando se trata, neste caso, da composição química do Sol e outras estrelas. Os temas de espectroscopia são naturalmente interdisciplinares, levando o aluno a perceber como a Astrofísica permite uma utilização direta dos elementos tipicamente associados às “coisas aqui da Terra” em contextos bem mais abrangentes. O professor ou professora pode comentar sobre esse episódio para enfatizar como, por exemplo, descobrimos o elemento Hélio em uma estrela (como nosso próprio Sol), antes mesmo de ser descoberto aqui na Terra. As linhas espectrais, emissões eletromagnéticas de frequências características aos elementos atômicos que a produzem, acabaram se tornando uma das ferramentas mais utilizadas na Astrofísica para detectarmos a composição de estrelas e de nossos planetas vizinhos e mesmo da atmosfera de exoplanetas distantes.

Jocelyn Bell Burnell

Jocelyn Bell Burnell nasceu em Belfast em 1943, na Irlanda do Norte. Seu pai era um arquiteto de sucesso e que gostava de Astronomia, participando inclusive da construção de um planetário. Influenciada por seu pai e por seus livros de Astronomia, cursou Física na Universidade de Glasgow, formando-se em 1965.

Jocelyn foi uma das pesquisadoras envolvidas na detecção dos pulsares, que viriam a ser identificados na sequência como sendo estrelas de nêutrons, devidamente previstas algumas décadas antes. Para isso, a então estudante de doutorado construiu um radiotelescópio: “os dois primeiros anos do doutorado de Jocelyn Bell foram destinados à construção do equipamento, sendo a pesquisadora também responsável pela sua manutenção” (PIRES; PEDUZZI, 2022, p. 113). Segundo a própria Jocelyn:

[...] quando cheguei em Cambridge, fui presenteada com minhas ferramentas e comecei a construir este radiotelescópio, acreditei que estava em um projeto para identificar o maior número possível de quasares no céu visível de Cambridge e tentar medir seus diâmetros angulares. E, de fato, era disso que tratava minha tese, porque quando surgiram os pulsares, meu supervisor, Tony, me avisou que era tarde demais para mudar o título da tese (BURNELL, 2004, p. 1.7, tradução nossa).

Assim, conforme o trecho, percebe-se que a partir de sua pesquisa com os quasares (que hoje sabe-se serem núcleos ativos de galáxias), ela identificou outras estruturas, demonstrando que os caminhos da ciência nem sempre seguem uma trajetória bem definida, podendo nos surpreender com outras descobertas importantes.

Ademais, levando em consideração que Jocelyn Bell não modificou o tema de sua tese, pode-se sugerir que talvez isso não a tenha permitido, naquele momento, ter o reconhecimento devido, o que pode até mesmo ter influenciado o fato de não ter sido laureada com o Nobel pela detecção dos pulsares, como de fato o foi seu orientador, Antony Hewish (“Tony”, na citação cima).

Mais adiante, Jocelyn também descreve o momento da detecção dos pulsares, no seguinte trecho de seu artigo “*Pliers, pulsars and extreme physics*” (2004):

[...] no gravador de alta velocidade captei uma série de pulsos, um sinal fraco que estava obviamente muito próximo do limiar de detecção com alguns dos pulsos ausentes, mas mantendo a fase e mantendo o período muito preciso. Você podia ver, mesmo enquanto o gráfico fluía sob as canetas, a regularidade dos blips e podia ver que o período era de cerca de um segundo e um terço. Assim que o trânsito terminou e o registrador voltou à velocidade normal, peguei esta caneta de gravação e a coloquei no chão e com uma régua estabeleci que o período foi mantido com precisão pelo menos durante a duração da gravação. [...] quando vi esse sinal de pulso chegando, metade do meu cérebro estava dizendo “Puxa, é um sinal pulsado”, e a outra metade do meu cérebro estava dizendo “O que eu faço a seguir?” (BURNELL, 2004, p. 1.8, tradução nossa).

E foi dessa maneira que a astrofísica primeiramente detectou os pulsares, que foram associados inicialmente a “homenzinhos verdes”, tamanha a surpresa ao constatar um sinal regular vindo do espaço (PIRES; PEDUZZI, 2021). No entanto, no final de dezembro de 1967, Jocelyn Bell detectou outro sinal no radiotelescópio vindo de uma região diferente do céu, com período menor que o primeiro (cerca de 1,2 segundos), afastando os indícios de extraterrestres (PIRES; PEDUZZI, 2021). Afinal, quais as chances de se obter uma comunicação extraterrestre de diferentes regiões do espaço e na mesma época?

Seus estudos não finalizaram com essa detecção. Jocelyn Bell continuou a trabalhar no laboratório com o radiotelescópio, e em:

[...] janeiro de 1968, a cientista detectou o terceiro e o quarto sinais com diferentes períodos, ainda menores. A partir desses resultados, o grupo de pesquisa decidiu divulgar os achados por meio da submissão do artigo *Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source*, com Hewish e Bell como

os primeiros autores, na Revista Nature, em fevereiro de 1968. Até o momento da publicação, não havia consenso sobre a natureza desses sinais. No artigo, o próprio grupo de pesquisa sugeriu que tais achados poderiam ser a manifestação de anãs brancas ou estrelas de nêutrons (PIRES, 2022, p. 32).

Sendo assim, de acordo com Pires e Peduzzi, “ainda que durante o desenvolvimento de seu doutorado Jocelyn Bell não tenha se comunicado, de fato, com “homenzinhos verdes”, sua atuação decisiva propiciou o início de uma das mais importantes descobertas científicas do século XX” (2022, p. 129). Isso contribuiu para o desenvolvimento de novos estudos sobre a Astronomia, pois a detecção dos pulsares possibilitou o aprofundamento de estudos dos corpos estelares, responsáveis pela corroboração de previsões teóricas das estrelas de nêutrons (PIRES, 2022).

Um grande reconhecimento desse trabalho veio mais tarde, em 1974, quando Antony Hewish e Martin Ryle, um colega do grupo de Jocelyn, foram laureados com o Nobel, “por sua pesquisa pioneira em radioastronomia: Ryle por suas observações e invenções [...] e Hewish por seu papel decisivo na descoberta de pulsares” (NOBEL, 1974). Impressionantemente, Jocelyn Bell não recebeu nenhuma honraria naquele momento, mesmo sendo ela uma das pioneiras e personagem principal na detecção e revelação desses corpos celestes.

Esse episódio corrobora com a imagem de uma ciência que, por muito tempo, não valorizava o trabalho feminino, e que até então ainda mostrava sinais de retrocesso. Por isso a abordagem dessa astrofísica no ensino é indispensável, tendo em vista ainda que, no contexto das discussões sobre a natureza da ciência (ARTHURY, 2020), seu trabalho permite ilustrar elementos sobre a atividade científica pouco discutidos nas aulas. Particularmente, o papel desempenhado pelas teorias na pesquisa empírica e as complexas relações entre supostas descobertas “ao acaso” e as teorias que as significam ou mesmo as permitem, com o olhar devidamente “armado” do cientista, como discutido no trabalho de Pires e Peduzzi (2021).

Outra discussão bastante interessante pode ser feita em relação à contribuição da pesquisa de Jocelyn para a Astronomia e para a ciência contemporânea. Recentemente, em 2023, foi divulgada, pelo “North American Nanohertz Observatory for Gravitational Waves” (NANOGrav), a descoberta de que estamos imersos em ondas gravitacionais de baixa frequência oriundas de sistemas binários de buracos negros supermassivos no passado de nosso universo. Essa detecção só foi possível por meio do acompanhamento de dezenas de pulsares, cuja variação em suas frequências relativas de pulsos mostrou a influência de perturbações gravitacionais “antigas”. O professor ou professora naturalmente pode se utilizar desse e de outros episódios para discutir a trajetória e a importância da contribuição que Jocelyn ofereceu à ciência, no momento em que detectou, pela primeira vez, os pulsares.

Vera Cooper Rubin

A física e astrônoma Vera Rubin (1928 - 2016) foi outra pesquisadora mulher no campo da Astronomia que contribuiu significativamente para essa área. Nasceu em 1928, na Pensilvânia, Filadélfia, sendo seu pai engenheiro de telecomunicações da Bell Telephone Company, e sua mãe dona de casa (CASANOVA, 2019, tradução nossa).

De acordo com Casanova,

Quando ela tinha dez anos, sua família mudou-se para Washington e da janela de seu novo quarto, Vera podia olhar as estrelas. Em muitas noites ela ficava acordada até tarde, olhando pela janela, fascinada pelos movimentos do céu. Quando havia uma chuva de meteoros, ela memorizava onde os meteoros apareciam e na manhã seguinte desenhava um mapa com eles. A curiosidade levou-a à biblioteca para procurar livros sobre astronomia, apesar dos protestos da bibliotecária, que pediu

autorização à mãe para "autorizá-la a ler livros para adultos" (2019, p. 49, tradução nossa).

Conforme também exposto por Casanova (2019), Rubin, aos seus quatorze anos, decidiu que seria astrônoma, vindo a construir um telescópio junto com seu pai. Mais adiante ingressou em Vassar, universidade onde conheceu ótimos professores, uma boa biblioteca e um telescópio à sua disposição, realidade diferente da que vivia em sua antiga escola. Em 1947, conheceu Robert Rubin, filho de amigos de seus pais, na mesma instituição, logo ficando noiva dele e se casando depois de sua formatura, casamento que veio a perdurar por 60 anos até a morte dele (CASANOVA, 2019).

Ao longo de sua vida acadêmica, Rubin realizou alguns estudos para a medição das "velocidades de rotação do disco de galáxias e [concluiu] que as altas velocidades das estrelas não poderiam ser explicadas pela teoria newtoniana com base na quantidade de matéria diretamente observada" (VELTEN, 2020, p. 42). De acordo com Teixeira e Souza (2022), foram esses estudos de Vera Rubin (que levaram mais de três décadas) que ajudaram no estabelecimento da matéria escura, consequência direta de sua pesquisa acerca das velocidades das galáxias espirais e estrelas periféricas.

Na verdade, estudos sobre a interação gravitacional no âmbito das galáxias já vinham sendo trabalhados por Vera Rubin desde a sua juventude no seu mestrado e doutorado: o mestrado deu origem a uma publicação intitulada "Differential rotation of the inner metagalaxy" [RUBIN, 1951] e os resultados do doutorado foram publicados no artigo intitulado "Fluctuations in the space distribution of the galaxies" [RUBIN, 1954] (TEIXEIRA; SOUZA, 2022, p. 5).

Em um estudo realizado com a galáxia Andrômeda, obteve como resultado que:

[...] a velocidade orbital das estrelas é basicamente constante, mesmo em regiões mais externas do disco. O que acarreta no fato de que a densidade de massa deve permanecer constante mesmo em regiões afastadas do centro luminoso das galáxias [...]. Requer-se então a existência de um vasto halo de matéria escura que englobe todo o sistema (LARANJEIRA, 2017, p. 16 - 17).

Ou seja, a partir dessa constatação a respeito da velocidade das estrelas em torno do centro da galáxia, foi possível perceber que, ao que tudo indica, existe bem mais matéria nas galáxias do que é possível observar diretamente. A ideia é relativamente simples. Segundo a gravitação, espera-se que as estrelas tenham uma velocidade em torno do centro da galáxia que vai diminuindo com sua distância ao centro: estrelas mais distantes, justamente por estarem sujeitas a uma força gravitacional menor, deveriam ter um movimento mais lento, da mesma forma que planetas mais distantes do Sol possuem uma velocidade também menor, o que já tinha sido proposto por Kepler. Mas não é o que a Vera mediu, com as estrelas mais distantes apresentando uma velocidade que não diminui conforme o esperado caso fossem atraídas apenas pela matéria no centro da galáxia. Justamente por ser "invisível", essa suposta matéria adicional foi denominada de matéria escura³.

³ Um termo que consideramos bastante infeliz, apesar de entendermos sua relação com algo que "não pode ser visto", uma vez que a "cor" escura denota uma falta de emissão (ou reflexão). Mas isso também deveria significar que algo "atrás" da matéria escura não pode ser visto, o que não é verdade. Nós conseguimos "ver" o que é visível ao longo de toda a galáxia, e o resultado continua sendo uma massa menor do que a necessária para explicar a velocidade das estrelas distantes. Por isso consideramos que "matéria transparente" seria um termo melhor, mas, claro, sabemos que culturalmente é bastante difícil mudar uma terminologia já estabelecida. Tecnicamente, a matéria escura não interage,

Esse termo já tinha sido proposto algumas décadas antes para descrever a maneira como as galáxias se aglomeram, também sugerindo uma maior gravidade do que o percebido diretamente. Mas Vera Rubin deu à comunidade científica uma nova evidência de sua existência, mostrando um problema que ainda hoje se encontra em aberto: afinal no que consiste essa matéria escura? Uma nova partícula? Uma nova força? A necessidade de se modificar nossas modernas teorias da gravidade? Não sabemos até o presente momento.

Além dessas contribuições, umas das preocupações da cientista ao longo de sua vida foi com a desigualdade de oportunidades na ciência. De acordo com Casanova:

Não há problema na ciência que possa ser resolvido por um homem, mas não por uma mulher; Em todo o mundo, metade dos cérebros estão nas mulheres. Todos nós precisamos de permissão para fazer ciência, mas por razões profundamente enraizadas na história, essa permissão é dada com muito mais frequência aos homens do que às mulheres (2019, p. 53, tradução nossa).

Uma maneira de o professor ou professora abordar temas complexos e pouco discutidos na educação básica, porém de grande importância para a investigação científica atual, seria iniciar os assuntos com uma contextualização histórica que signifique e justifique os temas trabalhados. Vemos como trazer esta cientista é uma maneira simples e interessante para se falar sobre Leis de Kepler, gravitação e sobre questões que o cientista lança para tentar compreender o universo. E como existem questões em aberto na ciência, que podem inclusive ser resolvidos com os “novos cientistas”, presentes nos atuais bancos escolares.

Andrea Mia Ghez

A astrônoma Andrea Ghez nasceu em 1965 em Nova York. O pouso na Lua em 1969 e toda a repercussão nos anos seguintes a levaram a querer ser astronauta, o que certamente a influenciou a ser uma cientista, formando-se inicialmente em Física no MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) em 1987. Na sequência fez seu doutorado no Caltech, o Instituto de Tecnologia da Califórnia, adquirindo um grande conhecimento na área de obtenção de imagens espaciais de alta resolução, o que levou aos seus estudos recentes sobre o buraco negro supermassivo no centro de nossa galáxia (GHEZ, 2024).

Embora já fossem teorizados há mais de duzentos anos (MACHADO; TORT, 2016), os buracos negros encontraram sua formulação moderna a partir de uma solução para as equações de campo de Einstein (que matematiza nossa moderna teoria da gravitação), obtida pelo físico alemão Karl Schwarzschild, em 1915. Essa solução de Schwarzschild formula que uma estrutura densa o suficiente poderia distorcer o tecido espaço-tempo ao seu redor, a ponto de não permitir que a luz saia de seu interior, daí o termo “buraco negro”.

Embora diferentes evidências já tivessem apontado para sua existência (STEINER, 2010), Andrea Ghez pesquisou uma relativamente próxima de nós, bem no centro de nossa galáxia. Em 2005, a pesquisadora publicou um artigo

[...] onde mostrava que no centro da Via Láctea, várias estrelas orbitam um objeto muito massivo e invisível, e que o que temos ali é de fato o que conhecemos por buraco negro. Este trabalho foi realizado com o

ou interage muito fracamente, com ondas eletromagnéticas, sendo indiretamente detectada apenas por seus efeitos gravitacionais.

astrofísico alemão Reinhard Genzel, e os dois dividiram o Nobel com Penrose (FLORIANO, 2021, p. 8).

Não conseguimos ver o que se passa no centro da galáxia no espectro visível, utilizando um telescópio comum, por exemplo, mas conseguimos estudar melhor suas propriedades usando o infravermelho, uma frequência que permite vermos “através” de gás e poeira interestelar. Usando esta frequência,

[...] algumas estrelas foram monitoradas desde 1992 por dois grupos concorrentes: [um] liderado por Andrea Ghez e [outro] liderado por Reinhard Genzel. Em particular, a estrela identificada mais próxima do centro galático, chamada S2, já foi vista ao longo de mais de uma órbita completa, que demora cerca de 16 anos (HERDEIRO, 2021, p. 6).

Ghez, juntamente com Reinhard, foi laureada com o Nobel de Física “pela descoberta de um objeto compacto supermassivo no centro de nossa galáxia” (PRÊMIO NOBEL, 2020), dividindo ainda o prêmio com Roger Penrose, “pela descoberta de que a formação de buracos negros é uma previsão robusta da teoria geral da relatividade” (PRÊMIO NOBEL, 2020). Apesar de ser um momento de grande importância na história da contribuição das mulheres à ciência, sendo recebido com grande satisfação pela comunidade de cientistas mulheres, a premiação também apresenta outro lado: esse Nobel de Física tornou a astrônoma a quarta mulher a receber o prêmio, em mais de um século de existência da premiação!

Atualmente, a agora Nobel de Física é professora do Departamento de Física e Astronomia da Universidade da Califórnia, em Los Angeles (BAGLA, 2020). Sua pesquisa tem foco no centro da Via Láctea e suas contribuições têm mostrado a importância da participação feminina na ciência.

Todas as astrofísicas aqui citadas possuem grande relevância na história da Astronomia e merecem destaque em qualquer narrativa ou situação didática. Em sala de aula isso não deveria ser diferente, mas infelizmente não é o que costumamos perceber. Andrea Ghez é um nome indispensável de ser abordado no ensino, particularmente por representar também um exemplo atual da participação feminina em investigações de grande relevância. Os buracos negros são estruturas um tanto misteriosas e de grande apelo à curiosidade dos estudantes, que podem, com os “olhos brilhando” de interesse, ser conduzidos com muito mais significado a discussões sobre toda a sorte de conceitos da Física. E, como discutiremos a seguir, todas essas cientistas deram contribuições que se complementam em nosso entendimento atual do universo, representando oportunidades excelentes de trazer temas contextualizados para se falar de ciência e sobre ciência, em contextos bem mais profícuos que as exposições enfadonhas e despropositais dos conteúdos escolares (quando conduzidas por um professor indiferente).

Reflexões para o ensino da Física

Já tecemos algumas sugestões na narrativa de cada cientista comentada, mas as contribuições dessas mulheres astrofísicas se complementam para se tecer um quadro conceitual bastante abrangente da Física na escola e permite, claro, que se discuta diversos aspectos sobre a natureza da ciência. Naturalmente as escolhas didáticas cabe ao professor ou professora, mas representamos, no quadro 1 abaixo, uma síntese de possíveis elementos específicos da Física a serem tratados com cada cientista.

Quadro 1 – Tópicos de Física presentes nas contribuições de cada cientista

Cientista	Tópicos de Física
Henrietta Leavitt	Período; frequência; luminosidade; distâncias interestelares; recessão das galáxias; em decorrência: desvio para o vermelho (<i>redshift</i>) ou para o azul (<i>blueshift</i>); velocidade das galáxias; Lei de Hubble; expansão do universo.

Cecilia Payne	Física atômica e eletromagnetismo (linhas espectrais); espectroscopia; identificação de elementos atômicos; composição estelar; síntese estelar; <i>Redshift</i> cosmológico e expansão do universo.
Jocelyn Bell	Radioastronomia; pulsares; estrelas de nêutrons; quasares.
Vera Rubin	Leis de Kepler; gravitação; velocidade estelar; rotação galáctica; matéria escura.
Andrea Ghez	Leis de Kepler; gravitação; velocidade estelar; buracos negros.

Fonte: Autores (2023).

Para além da abordagem de temas específicos da Física, naturalmente essas cientistas representam oportunidades para se discutir elementos de natureza da ciência, que ao mesmo tempo permitem entendimentos mais adequados da atividade científica e também contextos mais profícuos ao aprendizado, ao atrair a atenção dos alunos. Para tanto, sugerimos ainda o cuidado para não se transparecer que apenas mulheres muito especiais podem ser cientistas. Essa visão inadequada de cientista costuma ser recorrente no ensino (FERNÁNDEZ *et al.*, 2002), independentemente do gênero em questão: é comum narrativas “endeusarem” diversos cientistas masculinos também, esquecendo-se (ou jamais tomando ciência) que ciência é feita por pessoas. Mas se já temos preocupações com uma maior abordagem de cientistas mulheres no ensino, é claro que seria totalmente contraproducente passar uma imagem de que somente mulheres geniais (seja lá o que significa isso) poderiam ser cientistas. Ciência é atividade profissional também (que deve ser cada vez mais valorizada como tal), e todas as mulheres devem ter oportunidade de acesso, como em qualquer outra profissão.

Além dos exemplos, demonstrações e aplicações, recomendamos enfaticamente que todo tópico de Física seja, ao menos em sua apresentação inicial aos estudantes, fortemente ilustrado e contextualizado por meio de situações históricas e personificadas, afinal ciência é feita por pessoas. Esse contexto permite que se evidencie a produção do conhecimento científico, com todas as possibilidades epistemológicas de discussão a respeito do funcionamento da ciência. É indispensável discorrer sobre a imagem de cientista que as pessoas geralmente têm e evidenciar que a ciência sempre foi feita também por mulheres. Basta lembrarmos que há mais de mil e quinhentos anos, Hipátia de Alexandria já representava o gênero feminino na ciência (ou filosofia natural, à época), envolvendo-se em discussões importantes sobre Matemática e Astronomia.

Uma visão distorcida bastante comum sobre a atividade científica está associada a uma ciência ateuórica, que funcionaria com um empirismo exacerbado: os cientistas apenas observariam a natureza, fariam experimentos e descobririam suas leis e conceitos (FERNÁNDEZ *et al.*, 2002). Mas diversos epistemólogos mostram como, em geral, tanto observações quanto experimentos (que são uma extensão da observação) respondem a uma teoria ou, no mínimo, a expectativas teóricas (por vezes inconscientes) por parte do cientista (CHALMERS, 1993). Todas as cientistas comentadas podem ajudar a ilustrar o caráter teorético e inventivo da ciência. Henrietta usou uma relação matemática entre o período e a luminosidade de estrelas variáveis para se determinar suas distâncias ao observador, o que é bastante criativo e até mesmo ousado: uma “simples” determinação do tempo entre dois picos de intensidade pode acusar a distância de uma estrela, o que só poderia ser possível de modo indireto, por meio de uma teoria a respeito de como a luminosidade de uma estrela decai com a distância. Não conseguimos “medir” de modo direto essas distâncias, como fazemos com um sofá e uma trena, por exemplo. É necessário “confiar” numa relação teórica, mas que gera resultados fantásticos e compatíveis com outras análises.

Cecília Payne pôde identificar elementos presentes em uma estrela apenas analisando a luz que nos chega dela, o que só pode ser feito se soubermos como esses dois elementos estão associados: átomos e luz. E é toda uma teoria sofisticada que mostra essa relação, a Física Quântica, que nos permite saber como um átomo pode emitir (ou absorver) luz, a ponto de sabermos a composição de uma estrela por meio das linhas espectrais (as frequências específicas emitidas pelos elementos e a posição dessas no espectro eletromagnético). Ninguém olha para uma estrela e “vê” Hélio ou Hidrogênio. O que nós vemos são

diferentes características da luz que nos chega e, por meio de muitas considerações teóricas, inferimos a existência desses elementos lá. Quando percebemos que outros aspectos teóricos como, por exemplo, a física estelar (envolvendo gravidade, pressão, temperatura, fusão nuclear) e as condições energéticas para formação dos elementos “batem” com a suposição inicial (de que há Hidrogênio e Hélio na estrela observada, por exemplo), podemos atestar a contundência de nossas teorias para entender a natureza.

Como por vezes se diz, a vista do cientista está “armada” com muita teoria. Teorias que não apenas significam o que é observado, como também guiam a própria observação. Jocelyn Bell não foi procurar “ao acaso” fontes de rádio no céu, do mesmo modo que não construímos aceleradores de partículas sofisticados e caríssimos para “ver no que dá”. Nós temos pressuposições teóricas igualmente sofisticadas que nos dão razões para procurar o que procuramos, e mesmo quando nos deparamos com algo inesperado, como foi o sinal pulsado captado por Jocelyn, somente um tratamento teórico dará significado ao captado. Podemos mesmo problematizar essa questão do “ao acaso”, como alguns epistemólogos também o fizeram, a exemplo de Thomas Kuhn (PIRES; PEDUZZI, 2022).

Kuhn coloca dois tipos de descoberta ao acaso: aquela que acaba por ser explicada com alguma teoria vigente (e aqui se insere praticamente todos os episódios ocorridos) e aquela que não apenas não se esperava como também não há, no momento em questão, uma teoria capaz de explicar o que está ocorrendo. De fato, ambas ocorreram na história da ciência (com as do primeiro tipo sendo mais comum). Mas em todos os casos, nossa percepção está invariavelmente atrelada a predisposições e concepções que antecedem o percebido, do contrário nada sobraria para ser percebido (FREIRE; BASTOS FILHO, 1995; SILVEIRA; PEDUZZI, 2006). Esse já é um terreno epistemológico que pode ser bastante sofisticado para abordar em nível médio, mas nossa questão é que, mesmo nesse caso, trazer episódios como os comentados representam oportunidades certas para o debate.

Também pode ser interessante discorrer sobre as questões de reconhecimento e da história que nos fica pelos meios habituais de informação. Lendo somente os “autos”, poderíamos achar que Otto Hahn descobriu a fissão atômica, que Watson e Crick descobriram a estrutura em dupla hélice do DNA e que Antony Hewish descobriu os pulsares. Sem um professor atento a essas questões, facilmente pode ser “ocultado” dos estudantes que não saberíamos o que está ocorrendo na reação de fissão sem o trabalho de Lise Meitner (historicamente falando... consideramos que o avanço das pesquisas invariavelmente leva ao entendimento da natureza, mas os exemplares apresentados nos mostram o recorte histórico vigente), não chegaríamos na estrutura do DNA sem o trabalho de Rosalind Franklin e que o que Antony Hewish realmente descobriu foi a cientista Jocelyn, que por sua vez descobriu os pulsares. Esse efeito de “apagamento” da história também pode ocorrer com cientistas homens, claro. Lembremos que o físico brasileiro César Lattes ficou de fora no Nobel outorgado à pesquisa da qual ele foi protagonista, com o líder da pesquisa, Cecil Powell, levando o prêmio. Mas é fácil perceber que, com as mulheres, o problema parece se agravar em função de seu gênero.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esperamos que esse trabalho tenha ao menos despertado o interesse de professores da área de Física e ciências em geral em abrir possibilidades diversas para a abordagem dessas cientistas e suas pesquisas no contexto de sala de aula. Tendo em mente a necessária discussão sobre uma imagem mais adequada da atividade científica e de seus personagens, é claro que discorrer sobre essas mulheres permite também problematizar temas associados às questões de gênero na ciência, como bem apontam Menezes et al. (2018), Alves, Barbosa e Lindner (2019), Cordeiro (2017), e Cordeiro e Peduzzi (2014).

Diante de nosso propósito inicial de avaliar a possibilidade de inserção dessas cientistas pesquisadas em discussões sobre Física e ciências em geral, parece-nos que essa potencialidade não é apenas patente, mas também altamente recomendada para se fugir de um ensino que insiste em ignorar discussões sobre

a própria atividade científica (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; ARTHURY, 2020). Conforme apontado na discussão sobre cada uma das cientistas, existem contextos amplamente ilustrativos da atividade científica e seria no mínimo desarrazoado não trazer esses nomes (dentre diversos outros possíveis) para as discussões em sala de aula.

Algumas das discussões que trouxemos aqui serão mobilizadas em uma sequência didática centrada nessas mulheres astrofísicas para se discutir sobre suas contribuições, sobre a natureza da ciência e sobre temas específicos de Física, que são muito bem ilustrados pelos contextos associados a essas cientistas. Pretendemos avaliar as potencialidades didáticas desse material em uma implementação efetiva em sala de aula e apresentaremos esses resultados em um futuro trabalho.

Por ora, gostaríamos de enfatizar que professores interessados nessas questões da contribuição feminina à ciência, particularmente no contexto da Astrofísica, têm, nos nomes de Henrietta, Cecília, Jocelyn, Vera e Andrea, exemplos a estarem cada vez mais presentes em suas aulas.

REFERÊNCIAS

ALVES, Maiara Rosa; BARBOSA, Marcia Cristina; LINDNER, Edson Luiz. Mulheres na Ciência: a busca constante pela representatividade no cenário científico. **Encontro nacional de educação em ciências**, XII, p. 1-8, 2019.

ARTHURY, L. H. M. A natureza da ciência no ensino de Física: entre recortes e sugestões. **Revista do Professor de Física**, v. 4, n. 2, p. 1-17, 2020.

ARTHURY, L. H. M.; PEDUZZI, L. O. Q. A teoria do Big Bang e a natureza da ciência. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia** - RELEA, n. 20, p. 59-90, 2015.

BAGLA, J. S. Compact Objects and Black Holes: 2020 Nobel Prize in Physics. **Resonance**, v. 25, n. 12, p. 1659-1668, 2020.

BARROS, Magali Conceição de. As mulheres do Harvard College Observatory: Henrietta Swan Leavitt-a mulher que descobriu como medir a distância das galáxias. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 18, p. 12-21, 2018.

BURNELL, Jocelyn Bell. Pliers, pulsars and extreme physics. **Astronomy & Geophysics**, v. 45, n. 1, p. 1.7-1.11, 2004.

CASANOVA, Sara Gil. Vera Rubin, la astrónoma que nos hizo replantearnos de qué está hecho el universo. **Revista Española de Física**, v. 33, n. 1, p. 49-55, 2019.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CORDEIRO, Marinês Domingues. Mulheres na Física: um pouco de história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Vol. 34, n. 3, p. 669-672, 2017.

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz O. Q. Entre os transurânicos e a fissão nuclear: um exemplo do papel da interdisciplinaridade em uma descoberta científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 536-563, 2014.

FERNÁNDEZ, I.; PÉREZ, D. G.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 477-488, 2002.

FLORIANO, Tiago Cardoso. Introdução aos buracos negros. **Revista Brasileira de Física**, v. 1, n.1, 2021. Disponível em: <https://zenodo.org/record/5188081#.Y3jn33bMLcc>. Acesso em: 19 nov. 2022.

FORATO, Thaís C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência na Sala de Aula. **Caderno Brasileiro e Ensino e Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011.

FREIRE, M. I. B.; BASTOS FILHO, J. B. É possível pensar sem teoria? O que veria um suposto tabula rasa teórico? **Caderno Brasileiro e Ensino e Física**, v. 12, n. 2, p. 79-94, 1995.

GHEZ, Andrea. **Página pessoal profissional**. Disponível em: <https://www.astro.ucla.edu/~ghez/>. Acesso em: 18 mar. 2023.

GHEZ, Andrea Mia. **The Multiplicity of T Tauri Stars in the Star Forming Regions Taurus-Auriga and Ophiucus-Scorpius: A 2.2 μm Speckle Imaging Survey**. 1993. Tese (PhD in Physics). California Institute of Technology. 1993.

GORGES, L.; DUMS, E. H.; PAGANELLI, E.; ARTHURY, L. H. M. Ensino de astronomia em espaços não formais: uma atividade com um grupo de escotismo, **Cadernos de Educação Básica**, vol. 5, n. 2, 2020.

HERDEIRO, Carlos A. R. Um prêmio Nobel para os Buracos Negros. **Gazeta de Física**, v. 43, n. 3/4, 2021.

IBARRA, José Rubén Morones. Materia exótica. **Ingenierías**, v. 14, n. 52, p. 6, 2011.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 31, n. 4, 2009.

LARANJEIRA, Sergio Eduardo. **Análise das evidências da matéria escura: perfis de densidade em curvas de rotação galácticas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Astronomia) - Observatório Nacional. Rio de Janeiro, p. 57, 2017.

MACHADO, R. R.; TORT, A. C. Michell, Laplace e as estrelas negras: uma abordagem para professores do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 38, n. 2, 2016.

MARCHI, Magali Conceição de Barros de. **Henrietta Swan Leavitt e a relação período-luminosidade de estrelas variáveis**. 2011. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) - PUC-SP. São Paulo, p.74, 2011.

MENEZES, Débora Peres; BUSS, Karina; SILVANO, Caio A.; D'AVILA, Beatriz N.; ANTENEODO, Celia. A Física da UFSC em números: evasão e gênero. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 324-336, 2018.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, 32(94), 73-80, 2018.

NASCIMENTO, Ana Flávia Ribeiro do; SCHIMANDEIRO, Ana Paula. **Uma proposta de ensino de ciências baseada nas práticas científicas de mulheres**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PIRES, Larissa do Nascimento. **Jocelyn Bell Burnell e os pulsares: um estudo histórico epistemológico para a educação científica**. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, p. 205, 2022.

PIRES, Larissa do Nascimento; PEDUZZI, Luiz O. Q. 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**, v. 26, n. 3, 2021.

PIRES, Larissa do Nascimento; PEDUZZI, Luiz O. Q. Little green men: o episódio de detecção dos pulsares e o protagonismo de Jocelyn Bell Burnell. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 1, p. 108, 2022.

SANTOS, E. F. **Variáveis cefeidas e a contribuição feminina na ciência: recursos para o ensino de oscilações, ondas e óptica**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2017.

SILVEIRA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 26-52, 2006.

STEINER, J. E. Buracos negros: sementes ou cemitérios de galáxias? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. Especial, p. 723-742, 2010.

TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza; SOUZA, Diego Corrêa Peres de. Matéria escura, energia escura e história da ciência na educação científica. **ACTIO: docência em ciências**, v. 7, n. 2, p. 1-22, 2022.

The Nobel Prize in Physics 2020. **The Nobel Prize**. Disponível em:
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/prize-announcement/>. Acesso em: 30 nov. 2023.

VELTEN, Hermano. Matéria escura, energia escura e a busca por uma nova teoria para a gravitação. **Cadernos de Astronomia**, vol. 1, n. 1, p. 40-51, 2020.

VIEIRA, Patrese Coelho. **Uma estrela eclipsada na ciência: um resgate histórico de Cecilia Payne e seu papel na determinação da composição estelar**. 2021. Tese (Doutorado em Ensino de Física.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em:
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/233013/001133179.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 jun. 2023.

VIEIRA, Patrese Coelho; MASSONI, Neusa Teresinha; BRITO, Alan Alves. O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

WILSON, Teresa. Este mês na história astronômica. **American Astronomical Society**, 2018. Disponível em: <https://aas.org/posts/news/2018/07/month-astronomical-history>. Acesso em: 20 jun. 2023.