

“Você PODE fazer isso, você é uma garota!”: contribuições para a natureza da ciência na escola a partir dos trabalhos da cientista Andrea Ghez sobre detecção de buracos negros supermassivos¹

*Joice Vanessa Vogel*²

Instituto Federal de Santa Catarina

Jaraguá do Sul – SC

Pós-graduanda em Ensino de Ciências e Matemática

*Luiz Henrique Martins Arthury*³

Instituto Federal de Santa Catarina

Jaraguá do Sul – SC

Resumo

Apresentamos neste trabalho as contribuições da cientista Andrea Ghez, prêmio Nobel em Física de 2020, discutindo aspectos sobre a natureza da ciência a partir de sua trajetória acadêmica e seu trabalho na detecção de buracos negros supermassivos. Entre bases biográficas juntamente com questões mais técnicas da astrofísica, intentamos articular proposições de grande valia na discussão sobre elementos do funcionamento da atividade científica no ensino de Física e ciências de modo geral, bem como das dificuldades enfrentadas por figuras femininas em áreas científicas.

Palavras-chave: *Natureza da Ciência; Ensino de Física; Mulheres na Ciência; Astrofísica; Buracos Negros.*

Abstract

In this work, we present the contributions of scientist Andrea Ghez, winner of the 2020 Nobel Prize in Physics, discussing aspects of the

¹⁺ “You CAN do this, you’re a girl!”: contributions for nature of science in school from works of the scientist Andrea Ghez about detecting supermassive black holes.

* *Recebido: mês e ano.*

Aceito:

² E-mail: joy.vanessa.vogel@gmail.com

³ E-mail: luiz.arthury@ifsc.edu.br

nature of science based on her academic career and her work in detecting supermassive black holes. By combining biographical information with more technical aspects of astrophysics, we aim to articulate valuable propositions for discussing elements of how scientific activity functions in the teaching of physics and science in general, as well as the difficulties faced by women in scientific fields.

Keywords: *Nature of Science; Physics Education; Women in Science; Astrophysics; Black Holes.*

I. Introdução

Um dos temas mais fascinantes da ciência moderna é sem dúvida os buracos negros, que mexem com o imaginário dos estudantes e podem, por isso mesmo, ser um excelente tema motivador e gerador de aprendizagem. Dentre diversos episódios potencialmente instigantes da atividade científica, as contribuições da física Andrea Ghez formam um contexto bastante ilustrativo para se debater a própria atividade científica, uma das frentes que acreditamos ser indispensável a uma educação não apenas em ciências, mas, sobretudo, sobre ciências.

A Natureza da Ciência (NdC) tem sido relativamente bastante revisitada em propostas compromissadas com a contextualização do ensino, o que em si só já é um elemento importantíssimo no aprendizado de uma área específica do conhecimento, mas cujos objetivos vão muito além de se aprender seus conceitos e ferramentas. Levar discussões sobre a NdC para a escola vislumbra um alcance muito mais abrangente, rumo à constituição de uma cultura científica e geral. A ciência é certamente o motor mais determinante das mudanças sociais e impactam diretamente a vida do estudante de formas que frequentemente ele nem imagina, e pretender deixá-lo longe de debates a esse respeito é um desserviço à sua educação. Se os desafios naturalmente irão se elevar ao se pretender trabalhar com elementos históricos e epistemológicos no ensino, isso se justifica pela maior teia de significados e influências que podem impactar uma educação científica de qualidade, cujas fórmulas e conceitos estanques dos livros didáticos certamente pouco acrescentam.

Fosse apenas para se discutir a ciência, e já teríamos, com o episódio que trataremos nesse trabalho, uma fonte valiosa de debates. Mas em sendo uma cientista mulher, e a quarta a receber um Nobel de Física na história da premiação, Andrea Ghez pode representar também uma fonte de motivação que deve estar urgentemente presente na cultura escolar. Alguns trabalhos correlatos fazem justamente isso. É possível citar: Marie Curie e a radioatividade (Cordeiro; Peduzzi, 2010); Lise Meitner e a fissão nuclear (Cordeiro; Peduzzi, 2014); Chien-Shiung Wu e a violação da conservação da paridade na interação fraca (Maia Filho; Silva, 2019); Donna Strickland e a ampliação de pulso Chirped (Pires; Santos; Damasio, 2020); Maria Goeppert-Mayer e o modelo de camadas do núcleo atômico (Pires; Santos;

Damasio, 2021); Cecília Payne e a composição estelar (Vieira; Massoni; Alves-Brito, 2021); Jocelyn Bell e os pulsares (Pires; Peduzzi, 2022); Lise Meitner – novamente – e o efeito Auger (Morcelle; Ferreira; Santos, 2022); Mileva Marić e a relatividade (Rodrigues; Gedoz, 2023); Henrietta Leavitt e as estrelas cefeidas (Silvério; Sitko; Figuerôa, 2023); e Vera Rubin e a matéria escura (Medeiros; Ferreira, 2024).

Neste trabalho, através de entrevistas realizadas pela organização do Prêmio Nobel e algumas outras fontes primárias e secundárias, trazemos então um diálogo com alguns elementos biográficos da cientista Andrea Ghez e suas contribuições à astrofísica. Temática essa que pode proporcionar, além dos apontamentos de sua experiência como mulher na ciência, elementos da física moderna potencialmente geradores de debate sob muitos aspectos em um contexto didático, particularmente os relacionados à própria natureza da atividade científica.

II. Andrea Ghez e a detecção de buracos negros supermassivos

Nascida em Nova Iorque no ano de 1965, Andrea Mia Ghez demonstrou desde cedo um interesse pela ciência, mas isso não foi por acaso. Seu ambiente familiar e escolar a estimularam desde cedo:

Meu pai era um professor de economia e um grande professor universitário, por isso aprendi sobre o mundo acadêmico. E seu irmão era um físico, e eles costumavam amar quando nos reuníamos em família durante os feriados. Ah, e aí minha mãe é uma diretora de uma galeria de arte contemporânea, então ela é uma grande líder e ela me inspirou muito na escola. Eu também tive muitos professores incríveis incluindo uma professora de ensino médio (Nobel Prize, 2022, 2:26-3:16, tradução própria).

Esses anseios foram se desenvolvendo durante seu desenvolvimento: “tinha algo muito incrível nisso – esse processo de já entender a beleza das suas descobertas ou lógica” (Nobel Prize, 2021, § 8º, tradução própria), subsidiando suas escolhas futuras. Apesar de, quando ainda criança, sonhar em ser bailarina, foi também influenciada pelas missões Apollo que aconteceram nessa época:

[...] eu tinha quatro anos quando o primeiro pouso na Lua aconteceu e eu estava super empolgada, hum, e intrigada pela ideia do universo [...] e isso pode ser ao mesmo tempo inspirador e assustador. [...] era algo que realmente me intrigava mas, ao mesmo tempo, eu também queria ser uma bailarina (Nobel Prize, 2022, 1:22-1:45, tradução própria).

Mais tarde, passando pela fase da adolescência, já bastante inspirada pela temática do desenvolvimento espacial e nos interesses na resolução de *puzzles* mentais, foi novamente muito instigada por seus professores: “no colegial eu tive um mentor fantástico – professor

Hale – que me trouxe para a pesquisa, me deu oportunidades incríveis e realmente me encorajou para explorar muitas opções nesse mundo da pesquisa” (Nobel Prize, 2022, 3:37-3:52, tradução própria). Com isso, começou a perceber que sua paixão estava na matemática e em estudar o universo como cientista optando, após tempos de reflexão nessas questões, por entrar na faculdade logo após seu período no ensino médio.

Em suas palavras (Fig. 1), “[...] eu definitivamente pensava muito sobre o espaço. Isso costumava me deixar acordada à noite. A grandiosidade do espaço, o quão pequeno nós somos, nosso espaço e tempo é tão insignificante na escala do universo. É ao mesmo tempo fascinante e assustador” (Nobel Prize, 2021, § 6º, tradução própria), e complementa: “devo dizer que definitivamente ficou claro que eu amava enigmas – quebra-cabeças, palavras cruzadas, sudoku. Eu vejo que para ser uma cientista é fundamental ser uma resolvedora de enigmas. Encaixar as peças, tentar encontrar evidência, tentar ver o panorama geral” (Nobel Prize, 2021, § 5º, tradução própria).



Fig. 1 – O último ano de Andrea Ghez no Lab Schools na Universidade de Chicago (ensino médio), foto do anuário. Fonte: Laboratory Schools na Universidade de Chicago, 1983.

Graduou-se então em Física no ano de 1987 pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), prosseguindo em sequência para um mestrado e, posteriormente, seu doutorado em Física pelo Instituto de Tecnologia da Califórnia (CALTECH), em 1992. A partir desse momento, os episódios onde homens da área tentavam a desencorajar em progredir aumentaram: “Em cada etapa, alguém sempre dizia não, você não pode fazer isso porque você é uma garota. Me acostumei a ignorar quando as pessoas diziam que eu não

podia fazer algo. Há momentos quando as pessoas não acreditam que suas abordagens vão funcionar” (UCLA, 2020a, § 16º, tradução própria).

Em sua tese, ela iniciou suas pesquisas no campo das técnicas de observação em infravermelho para detectar o comportamento de estrelas binárias jovens, tema que, mais tarde, lhe abriu caminhos para a compreensão da astrofísica observacional em alta resolução – conhecimentos imprescindíveis para seus trabalhos que viriam a seguir (UCLA, 2020a). Durante esse período, teve orientadores que estimulavam sua participação como mulher na ciência: “eu fui sortuda [...] por trabalhar com Hale Bradt e depois com Gerry Neugebauer e também com Anneila Sargent, que foi uma conselheira para mim. Essas pessoas me apoiaram incrivelmente. Então eu sou muito grata” (Nobel Prize, 2021, § 9º, tradução própria).

Após obter seu PhD, iniciou sua carreira profissional como docente na Universidade da Califórnia, Los Angeles (UCLA) em 1994 e como líder e fundadora⁴ do grupo de pesquisa *Galactic Center Group*, em 1994 (Herdeiro, 2021). Já desde 1992, esse grupo tinha como objetivo, paralelamente com outra equipe concorrente⁵, observar e analisar o movimento das estrelas próximas ao centro da nossa galáxia, que apresentavam comportamentos peculiares. Entretanto, com a liderança de Andrea, essa pesquisa pôde avançar de muitas maneiras, principalmente considerando a adoção de técnicas mais modernas para essas observações. O diretor do W. M. Keck Observatory (instrumento utilizado em suas pesquisas), Hilton Lewis, comenta que:

Em meu escritório, há 25 anos atrás, uma astrônoma desconhecida [...] vindo com um pedido maluco – uma exigência, na realidade – para que minha equipe mudasse nosso software, detalhadamente testado [...] correndo um risco de danificá-lo [...] para fazer um experimento que era praticamente uma perda de tempo e impossível de ser realizado: provar que um buraco negro muito grande estava no centro da Via Láctea. Meu ‘de jeito nenhum’ inicial [...] gradativamente deu lugar ao seu rosto de empolgação e determinação inabalável (UCLA, 2020a, § 9º, tradução própria).

Essas observações geraram dados por mais de uma década e demonstraram de forma clara que essas estrelas possuem movimentos elípticos – com efeitos relativísticos – em torno do centro galáctico que, até então, demonstrava ser vazio e escuro (Fig. 2). Essas órbitas possuem um período muito curto: algumas com 16 anos apenas, o que é um *piscar de olhos* para a escala temporal galáctica (nosso Sol, por exemplo, demora cerca de 250 milhões de anos para isso). Esses resultados levantaram muitas hipóteses além daquelas já no início das observações, desde a consolidação da Relatividade Geral como *núcleo firme* (Silveira, 1996; Arthury e Peduzzi, 2015) da astrofísica, indicando a possibilidade de haver buracos negros diferentes daqueles de massa estelar:

⁴ Juntamente com Eric Becklin e Mark Morris (UCLA, 1995).

⁵ Instituto Max Planck de Física Extraterrestre, liderado desde 1990 por Reinhard Genzel, um dos ganhadores do Prêmio Nobel em Física de 2020 (Herdeiro, 2021).

O caso para o buraco negro super massivo no centro da nossa galáxia foi discutido nas últimas décadas, porém ainda não era possível provar essa hipótese tentadora. [...] observações revelaram estrelas [...] cuja as órbitas implicavam na presença de uma massa escura 3,7 milhões de vezes a massa do Sol com um raio interior de cerca de 0,0002 pc (6 anos-luz ou 600 vezes o raio solar). Isso excede a densidade de massa volumétrica aferida para qualquer outra galáxia e leva a conclusão de que nossa galáxia porta um buraco negro massivo central (UCLA, 2020b, § 3º, tradução própria).

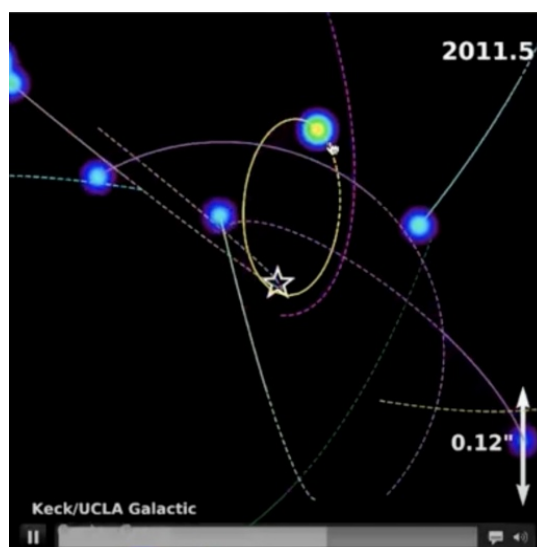


Fig. 2 – Simulação com os dados de órbita de estrelas em torno do buraco negro supermassivo no centro da galáxia. Fonte: Ghez, 2021.

Apesar da hipótese de as *estrelas negras* já existir desde a gravitação newtoniana⁶, os buracos negros só puderam ser formalmente conceituados e melhor entendidos a partir da Teoria Relatividade Geral, desenvolvida por Albert Einstein e concluída em torno de 1915. Em termos breves, a teoria relaciona as interações gravitacionais com a *curvatura do espaço-tempo*, causada pela concentração de matéria e energia, demonstrando assim, entre demais consequências, que a luz teria sua trajetória modificada ao passar por corpos massivos.

Buracos negros são regiões do espaço onde a força da gravidade é tão intensa que nada pode escapar; nem mesmo a luz. Por isso, não podemos vê-los diretamente. Eles também podem ser entendidos como regiões onde a gravidade superou todas as outras forças conhecidas, o que causa uma contração contínua do objeto até que ele se torna infinitesimalmente pequeno. Os buracos negros são previstos pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein, mas também representam um ponto de nossa compreensão física onde as leis conhecidas se quebram. Uma grande dificuldade

⁶ O filósofo natural inglês John Michell, por exemplo, já tinha proposto algo assim no final séc. XVIII (Oliveira Filho; Saraiva, 2017, Almeida, 2021). O termo Buraco Negro, em seu sentido atual, é atribuído ao físico John Archibald Wheeler, em 1967 (Oliveira Filho; Saraiva, 2017).

para o entendimento dos buracos negros é a falta de uma teoria que unifica as teorias de gravitação – como é a relatividade geral – e as teorias quânticas (Ghez, 2021, p. 1).

Assim que Einstein concluiu sua Teoria da Relatividade Geral, um outro cientista alemão, Karl Schwarzschild, começou a se debruçar em suas entranhas matemáticas e obteve uma solução que indicava a possibilidade de existência de *estrelas colapsadas*, que se tornam muito densas a ponto de sua gravidade não permitir que nem sua luz escape de sua influência gravitacional, região dada justamente pelo *raio de Schwarzschild*.

Se um objeto qualquer se comprimir até a escala de seu raio de Schwarzschild, então a gravidade deste objeto superará todas as outras forças conhecidas e este se tornará um buraco negro. O raio de Schwarzschild de cada objeto é proporcional à sua massa. Logo, quanto mais massivo um objeto, maior é seu raio de Schwarzschild (Ghez, 2021, p. 2).

Hoje conhecemos duas classes de buracos negros, os estelares e os supermassivos. Buracos negros estelares são aqueles resultantes de explosões de supernovas – que podem produzir também estrelas de nêutrons ou pulsares (Pires; Peduzzi, 2022) –, e que possuem massas comparáveis às das estrelas em geral. “[...] Primeiro eles foram pensados de um ponto de vista teórico e depois descobertos observacionalmente. [...] eles se formam com mais de 30 vezes a massa do Sol e evaporam até se tornarem pequenos buracos negros de aproximadamente 10 vezes a massa do Sol” (Ghez, 2021, p. 2). Já os buracos negros supermassivos, como o nome sugere, são imensamente maiores, possuindo uma massa milhões de vezes maior que a do Sol. Esses buracos negros, diferentemente dos estelares, podem ter sido criados nos instantes iniciais do universo, quando as galáxias ainda estavam se formando, proposição teórica “que surgiu em meados da década de 60, início da década de 70” (Ghez, 2021, p. 2).

Os primeiros fortes candidatos a buracos negros, no contexto empírico, foram os quasares⁷, estruturas de alta emissão de radiação descobertos na década de 1960. Essas estruturas emitem fortes ondas de rádio, e os cientistas Edwin Salpeter e Yakov Zel'dovich propuseram na sequência que se tratavam de núcleos ativos de galáxias, justamente devido à interação com um buraco negro supermassivo central.

No modelo mais aceito, o buraco negro central acreta gás e estrelas da sua vizinhança, emitindo intensa radiação enquanto a matéria se acelera, espiralando no disco de acreção, e parte da matéria é ejetada por conservação de momentum angular. Quando o buraco negro consumir toda matéria circundante, ele cessará de emitir (Oliveira Filho; Saraiva, 2017, p. 626).

⁷ Nome derivado de *objetos quasi-estelares*.

É nesse contexto que Andrea Ghez começa um estudo sobre a dinâmica das estrelas na região central de nossa galáxia, resultado do buraco negro em seu centro. Em 2005, Andrea Ghez foi a principal autora de um artigo na revista *The Astrophysical Journal*, com o título *Stellar Orbits Around the Galactic Center Black Hole*. Este trabalho demonstrou os dados observacionais do seu grupo de pesquisa, bem como suas análises em relação à Relatividade Geral e a corroboração da existência de um buraco negro no centro da Via Láctea, o Sagittarius A*⁸ (Herdeiro, 2021).

Após quinze anos da publicação e consequentes revisitações pela comunidade científica, Andrea foi laureada com o prêmio Nobel em Física por esse trabalho, em 2020 (Fig. 3). Segundo a Academia Sueca de Ciência, a premiação foi motivada “pela descoberta do objeto compacto supermassivo no centro de nossa galáxia” (Nobel Prize, 2020, 3:17-3:23, tradução própria). Foram laureados também Reinhard Genzel, líder do grupo concorrente, e Sir Roger Penrose, “pela descoberta de que a formação de buracos negros é uma previsão robusta da teoria geral da relatividade” (Nobel Prize, 2020, 03:03-3:10, tradução própria). Dessa forma, Andrea Ghez tornou-se a quarta mulher a ser laureada em Física em toda a história da premiação, acompanhada de Marie Curie em 1903, Maria Goeppert-Mayer em 1963, Donna Strickland em 2018 e, mais recentemente, Anne L'Huillier em 2023 (Floriano, 2021).



Fig. 3 – A laureada em Física Andrea Ghez segurando seu diploma de Prêmio Nobel. Fonte: Nobel Prize Outreach - Annette Buhl, 2020.

Para mim, é sempre algo muito importante encorajar mulheres jovens para as ciências, então na minha opinião o Prêmio Nobel significa uma oportunidade e uma responsabilidade para encorajar a próxima geração de cientistas que são

⁸ O asterisco (lê-se *estrela*) é uma notação que trata justamente de um buraco negro.

apaixonadas por esse tipo de trabalho na área. É importante ter um modelo (UCLA, 2020a, § 14º, tradução própria).

Atualmente, Andrea Ghez é astrofísica observacional na UCLA e continua a lecionar Física na mesma instituição desde seu ingresso em meados dos anos noventa. Entretanto, mesmo demonstrando excelência nas atividades que desenvolve, em suas falas sempre lembra das inúmeras vezes, em vários momentos de sua formação e carreira, em que as pessoas lhe diziam que ela não podia ou não deveria seguir esses objetivos por ser uma mulher (UCLA, 2020a). Felizmente esse tipo de fala não a fez desistir de seus objetivos na ciência, evidenciando que, no seu caso, tinha o apoio que recebia dos pais e mentores. Apesar disso, tem ciência de que nem todas as mulheres possuem essa mesma sorte. “Nesse trabalho não há muitas mulheres” (Nobel Prize, 2021, § 31º, tradução própria). Por conta disso, se posiciona abertamente de forma frequente para que mais meninas e mulheres tenham apoio ao ingressar na área.

A persistência descrita por Andrea Ghez durante sua trajetória acadêmica e científica ajudou a aumentar as oportunidades da participação feminina na ciência e na luta contra a desigualdade de gênero nessa área. Apesar do crescimento da participação de mulheres na produção científica, a porcentagem delas no reconhecimento, valorização e protagonismo de seu trabalho ainda é bastante diminuta em comparação aos dos cientistas homens. Ser a quarta mulher laureada com o Nobel de Física entre mais de duzentos laureados na história do prêmio só mostra como ainda há muito a se progredir nessa proporção, e exemplos como ela podem ser inestimáveis no incentivo para que mais meninas e mulheres tenham sucesso na academia.

III. Possíveis contribuições para uma discussão sobre a Natureza da Ciência

Um dos aspectos mais comuns da atividade científica é também fonte de visões inadequadas um tanto corriqueiras mesmo nas aulas de ciências nas escolas (Fernández *et al.*, 2002): sua natureza teórica e inventiva, que faz do cientista muito mais um investigador imaginativo, criativo e em certa medida mesmo apaixonado, cujas subjetividades não apenas não podem ser separadas de sua prática, como dela mesma faz parte. A imagem de uma ciência que opera por observação neutra e acúmulo de descobertas, com um *método científico* rígido o qual o cientista segue de modo objetivo, despido de opiniões e pressuposições, é (ou deveria ser) facilmente contrastada por narrativas compromissadas historicamente, com o desenvolvimento de episódios como esse da Andrea.

A começar por sua formação, percebe-se que o ímpeto de curiosidade em resolver problemas mostra que Andrea é, antes de tudo, uma apaixonada curiosa pelo universo, e pretender remover isso da pesquisa científica é, no mínimo, forjar uma imagem de ciência que simplesmente se distancia da realidade. Epistemologicamente isso pode complexificar as coisas, afinal como podemos pretender conhecer a natureza sem um método objetivo de

investigação? Mas a nós deveria provocar uma estupefata sensação de curiosidade, deixando-nos ainda mais maravilhados com as formas de proceder da ciência, resultado da atividade humana.

Um primeiro aspecto da atividade científica que gostaríamos de enfatizar é em relação aos próprios buracos negros. Uma imagem bastante comum de ciência, é a de que ela atua por meio de observações neutras e descobertas empíricas a partir dessas (Fernández *et al.*, 2002). Embora observações e descobertas sejam naturalmente muito importantes, e mesmo determinantes para os consensos da comunidade científica, podem ocultar aspectos igualmente – ou mais – centrais na investigação científica. Uma análise mais atenta de quase qualquer episódio do desenvolvimento da Física mostra um contexto complexo onde os elementos de empiria estão ancorados, e mesmo só significados, diante de uma estrutura teórica que guia e mesmo determina o que será – ou não – descoberto. A própria Andrea Ghez frequentemente lembra que os buracos negros foram inicialmente previstos a partir do contexto teórico da Relatividade Geral de Einstein na segunda década do séc. XX (Ghez, 2021, p. 1), o mesmo valendo para os buracos negros supermassivos a partir da década de 1960 (Ghez, 2021, p. 1).

Consideramos que esse é um dos aspectos mais centrais da atividade científica, e que definitivamente deveria fazer parte de qualquer aula: o quanto a natureza da investigação se dá geralmente em um contexto teórico que guia o cientista, sem o qual nem haveria razões para se pretender descobrir algo para início de conversa. No século XIX temos um exemplo muito ilustrativo da capacidade preditiva de uma teoria, quando astrônomos previram criativamente a existência do planeta Netuno. A partir de anomalias na órbita de Urano, que se distanciava sensivelmente da órbita prevista usando-se Gravitação Universal – que, por sua vez, trazia um quadro teórico de grande sucesso na explicação das órbitas dos demais planetas –, os cientistas propuseram que um outro planeta, desconhecido até então, poderia ser o responsável pela aparente anomalia (Silveira, 1996). De fato, em 1846 esse planeta foi encontrado, essencialmente porque havia, agora, uma motivação para sua busca: uma predição teórica!

Já no início do séc. XX, Karl Schwarzschild obtém uma solução para as chamadas equações de campo de Einstein, que permitiu a previsão dos buracos negros. Na época se achava que essas estruturas, além de muito hipotéticas, estariam fora do alcance de nossa observação, justamente por suas características fugidias, a começar por não deixar sua própria luz escapar de sua ação gravitacional. Foi novamente a partir de um trabalho teórico, agora da década de 1960, que cientistas propuseram uma dinâmica de acreção de matéria em torno de seu raio de atuação, que produziria alta emissão de radiação. Esses elementos teóricos guiaram as investigações, resultando então nas *descobertas* feitas na sequência.

O trabalho específico da Andrea Ghez, de mapeamento das órbitas das estrelas ao redor do centro da Via Láctea, acabou por corroborar essas estruturas, trazendo aí sim uma descoberta que motivará inclusive seu prêmio Nobel de 2020. Não haveria razões para observar durante mais de uma década, através de equipamentos tecnológicos que demandam recursos financeiros bastante elevados, um mesmo ponto muito específico no céu sem antes já

se ter a intencionalidade para tal, munida por todo o desenvolvimento teórico que a antecede. Ao trazer esses elementos para o estudante de Física, ou ciências em geral, permite-se não apenas uma imagem mais adequada da atividade científica, como também se aproveita contextos contemporâneos a ele para motivar e mostrar como a ciência é uma ação humana *viva* e sempre em construção, e não um corpo de conhecimento estanque que deve ser memorizado, normalmente em um contexto do ensino para a testagem.

Um outro aspecto muito importante que pode ser levantado a partir da apresentação dos elementos biográficos de Andrea é em relação à própria instituição científica, que acaba por refletir as características humanas que obviamente a caracteriza, nesse caso como algo a ser problematizado e combatido: as *desmotivações* por parte dos próprios colegas, que facilmente poderia minar seu interesse em continuar na área. Não sem surpresa isso não é *algo de agora*, sendo, por exemplo, um problema já presente em relação à primeira cientista ganhadora de um Nobel de Física, a cientista Maria Skłodowska. Conforme relatado em Cordeiro e Peduzzi (2010), Maria teve diversos problemas simplesmente por ter sido uma mulher na academia e, ainda como elementos dificultadores, por ter sido imigrante na França do final do séc. XIX e início do séc. XX.

Outro episódio bastante ilustrativo foi o da cientista Jocelyn Bell, que na década de 1960 descobriu os pulsares, que por sua vez se tratavam das estrelas de nêutrons, já previstas duas décadas antes (Pires; Peduzzi, 2022). Sua investigação, embora central e decisiva na identificação dessas estruturas – uma característica do pulsar é justamente sua emissão periódica de ondas de rádio com uma frequência dada pela rotação da estrela de nêutrons –, acabou resultando em um prêmio Nobel de Física o qual ela NÃO foi contemplada⁹. Injustiça de mesma monta se deu com a física Lise Meitner, que no final da década de 1930 ajudou a explicar a reação de fissão nuclear, não sendo devidamente laureada, como o foram alguns de seus colaboradores (Cordeiro; Peduzzi, 2014).

Essas discussões podem trazer uma certa indignação por parte dos estudantes – e de fato temos constatado isso repetidas vezes em nossas aulas – que, por sua vez, pode ser materializada em posturas mais críticas e cientes das questões humanas que sempre fizeram parte da ciência. A questão principal, então defendemos, nunca é retirar a característica humana do fazer científico, mas com ela perceber como podemos entender a natureza, o universo, justamente como resultado das vicissitudes humanas do cientista que, embora possam representar por vezes situações de injustiças e mesmo reações dogmáticas, podem também mostrar como fazer ciência é a “maior aventura da espécie humana”, como apontou Richard Feynman (1965).

Voltando à questão do método científico, como um suposto conjunto de passos que todo cientista segue, é natural que na escola chegue uma visão um tanto empírico-indutivista (Fernández *et al.*, 2002). As narrativas presentes mesmo nos materiais didáticos estão ancoradas em visões romanceadas e epistemologicamente equivocadas (Silveira, 1996).

⁹ Enquanto seu orientador do doutorado, programa que resultou na descoberta de Jocelyn, efetivamente levou o prêmio.

Apresentar e discutir diversos episódios do desenvolvimento da Física é naturalmente uma forma de problematizar essa visão. Segundo a própria Andrea, “É realmente importante que os contratempos sejam uma parte natural ao se fazer pesquisa. [...] Pesquisa e descoberta é sobre explorar nossas fronteiras do conhecimento, onde nós não sabemos, nós não temos nada trabalhado” (Nobel Prize, 2021, § 15º, tradução própria). Isso sugere uma ciência que naturalmente exige metodologias diversificadas, uma vez que, ao não se ter *nada trabalhado*, e ao lidar com os contratempos, obviamente uma receita pronta do que se fazer não ajudará muito (se é que ajudaria em algum contexto).

Pensamos que mais auspicioso seja, portanto, falar em metodologias científicas ou formas de se proceder cientificamente, como uma forma geral de se referir a um processo que é complexo e não-enumerável. Ainda, trazer discussões sobre diferentes episódios da atividade científica possibilita aos alunos formarem, por eles próprios, uma visão mais intrincada, de metodologias diversificadas e humanas, que mesmo assim acabam por sugerir um rigor científico. Ainda assim, com um número considerável de diferenças daquelas apontadas frivolamente em manuais tecnicistas.

Entrementes, discussões que remetam a metodologias científicas mais compromissadas epistemologicamente podem mostrar uma ciência mais coletiva, de trocas e debates, como sempre foi o caso dos contextos de seu desenvolvimento. Nesse contexto, o pensamento divergente, apontado inclusive como elemento a ser destacado em um ensino afinado com uma imagem mais adequada de ciência (Gil Pérez *et al.*, 2001), pode ser ilustrado também nas falas de Andrea:

Eu acho que é muito interessante quando as coisas não funcionam porque esse é o caminho da descoberta. Cientificamente quando você descobre coisas que são inconsistentes com nosso atual paradigma isso é como ‘Ah, bem, isso é interessante! Há algo mais para descobrir aqui’. De certa forma, você diria que é uma falha na teoria, mas na verdade é uma grande oportunidade para descobertas e entendimentos (Nobel Prize, 2021, § 17º, tradução própria).

Essa fala sugere ainda como o cientista, embora trabalhando costumeiramente em um paradigma, não é um sujeito artificial a seguir receitas do que fazer. Ao contrário, ele próprio é personagem ativo e criativo a determinar suas condutas mesmo em contextos onde suas ideias entram em confronto com o paradigma vigente. Toda a história dos buracos negros é carregada por esses contextos, ao sugerirem um tipo de estrutura tão exótica que foi colocada em dúvida mesmo por cientistas do nível de um Einstein, que recusou suas bases mesmo quando apresentado a elementos teóricos ancorados em sua própria teoria da relatividade (Pais, 1995).

É natural que o cientista siga as teorias de base da Física, afinal essas próprias são resultado de uma história extensa de debates e corroborações que, se atingiram um status de consenso, geralmente o foram pelos méritos próprios de explicação confrontada com resultados empíricos que, daí sim, atestam a validade do que se afirma. Mas se achar que o cientista não possa superar e extrapolar os limites do que conhece é também uma visão

destoante com o próprio desenvolvimento da ciência. A insistência de Andrea em pesquisar as órbitas das estrelas no centro de nossa galáxia, apontada anteriormente por seus próprios colegas de pesquisa, é um exemplo da liberdade criativa do cientista¹⁰ e que certamente pode ser levada para se conversar com os estudantes.

E entre suas motivações, é claro que toda sorte de influências tomará parte de suas escolhas, mas pretender excluir as paixões, as vontades do cientista, é, como já apontamos, descaracterizar o que se faz em ciência. Enfatizando também a questão do pensamento divergente, a própria Andrea aponta: “Eu acho que nós aprendemos muito quando trazemos diferentes pontos de vista sobre a mesa. [...] Eu pessoalmente acho que as pessoas com as maiores paixões para fazer o trabalho são as que melhor o executarão” (Nobel Prize, 2021, § 27º, tradução própria).

[...] você pode falar sobre isso em termos de gênero, você pode falar sobre em termos de ética, mas você também pode falar sobre em termos de treinamento científico, seus entendimentos, e ficamos mais abertos para novas ideias. Eu acho que isso melhora nossa ciência no fim do dia (Nobel Prize, 2022, 12:59-13:15, tradução própria).

Ademais, indo a um outro contexto, dos impactos de sua atuação na sociedade, pensamos ser importante caracterizar o cientista também como sujeito não apartado de seu contexto social. À exemplo de Albert Einstein, que ao longo das duas guerras mundiais se envolveu em debates importantes sobre a criticidade de seu próprio trabalho (Isaacson, 2007), Andrea Ghez também aponta que o cientista deve ocupar esse papel.

Eu penso que os cientistas deveriam estar muito envolvidos ao redor dos debates éticos do que nós fazemos. Nós somos responsáveis por introduzir novas capacidades e, é claro, nem sempre você entende – digo, de forma geral – qual utilidade tem, – digo, é a natureza básica da pesquisa – é que você faz isso porque você é curioso e nem sempre você entende que as aplicações a longo prazo poderão ser realmente boas e empolgantes e muitas podem ficar complicadas e nós não podemos parar o progresso, então, [...] cabe a nós participar da discussão de como isso será usado (Nobel Prize, 2022, 11:53-12:38, tradução própria).

É claro que exigir que o cientista adote posições não comuns a ele pode ser também uma forma de impor artificialmente uma caracterização que simplesmente não condiz com a realidade, e não temos dúvidas de que muitos cientistas podem não possuir um perfil *socialmente crítico* – e assim o exigir não seria diferente de exigir que todos sigam um método científico bem definido, de passos enumeráveis e onipresentes a qualquer

¹⁰ Sem dúvidas que existem aquelas situações de pressões profissionais, entre editais de fomento, editores de periódicos e mesmo de colegas que podem representar uma força contrária às vontades do cientista, como de fato aconteceu com Andrea. Apenas chamamos atenção para as questões de princípio: naturalmente que em todo contexto de coletividade haverá pressões diversas, mas que não representam necessariamente um dogma insuperável, tampouco a anulação dos próprios anseios do pesquisador, do contrário não existiriam os avanços que sempre marcaram a história da ciência.

investigação. Apenas gostaríamos de insistir para que exemplos como esse da Andrea – e Einstein – mostram que esse pode ser também o caso, que cientistas se interessam mesmo por questões que transcendem seu trabalho específico, como seria de se esperar em uma atividade essencialmente humana.

VI. Considerações finais

Procurar levar episódios contextualizados para o ensino de Física, como esse das contribuições de Andrea Ghez, pode ser uma excelente maneira de levar uma imagem mais fidedigna do que é o fazer científico. Os temas ancorados em suas falas, particularmente em relação a *ser uma garota*, são impactantes e bastante influentes, sobretudo no ensino básico, para incentivar meninas a se interessarem em carreiras científicas (e, por que não, em serem professoras das áreas científicas!). E isso deveria por si só justificar toda ação que pretenda debater a NdC através da HFC nas aulas de ciências da natureza.

O tema dos buracos negros se encaixa muito bem nessa perspectiva, pois além de naturalmente – e usualmente – instigar e mexer com o imaginário dos estudantes – e por isso mesmo ser um importante tema gerador de aprendizado – está associado a diversos conceitos presentes nas aulas de física do ensino médio – e até mesmo do ensino fundamental. É possível citar, entre outros pontos: gravitação e relatividade; movimentos, campos e forças; eletromagnetismo, óptica e ondas eletromagnéticas; aplicações tecnológicas presentes no cotidiano; e, inclusive, mecânica quântica, em relação à radiação Hawking, associada à “evaporação” de buracos negros, conforme indicado nas citações que trouxemos da Andrea Ghez. Representa, pois, uma oportunidade certa para se levar ensinamentos mais contextualizados junto aos (e às) estudantes, com as consequências possíveis – e desejáveis – de uma discussão pautada pelos elementos levantados aqui.

Em relação às questões de gênero na ciência, com todos os seus desdobramentos para uma imagem mais completa da atividade científica – passando por todos os elementos da NdC passíveis de problematização junto aos estudantes – é naturalmente bastante propícia de ser articulada a partir da cientista Andrea Ghez. E o fato de ela representar não *somente* uma mulher cientista, mas uma cientista contemporânea, pode agregar ainda mais interesse, particularmente de meninas – que ainda representam minoria em espaços científicos. Além disso, abre possibilidades para reflexões acerca de oportunidades, condições e capacidades em aspectos de gênero, visto que a própria cientista comenta que, apesar de seu imenso esforço e dedicação, também teve muita sorte de ter uma família e mentores que a apoiaram e encorajaram sempre, de muitas formas, a se interessar e seguir a área das ciências e se enxergar como líder – algo que infelizmente é uma exceção ao que costuma ocorrer.

Enfatizamos então que trazer aos alunos tópicos atuais da física moderna, particularmente no que se refere a esse episódio, enfatizando como *isso tudo aqui da escola* está presente *naquilo tudo que está sendo feito hoje*, e como está sendo feito, é uma forma auspiciosa de se ensinar física em diversas instâncias: desde questões de motivação,

compreensão das formas de proceder da ciência, e até mesmo melhor entendimento de tópicos específicos da física (e defendemos mesmo que todos esses elementos estão amalgamados em uma boa aula).

Referências bibliográficas

ALMEIDA, C. R. Buracos negros: mais de 100 anos de história. **Cadernos de Astronomia**, v. 2, n. 1, p. 93-105, jan. 2021.

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**, n. 20, p. 59-90, 2015

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. As conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 473-514, dez. 2010.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. 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, dez. 2014.

FERNÁNDEZ, I. *et al.* Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 477-488, 2002.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The Feynman Lectures on Physics**. Vol. III. California: Addison-Wesley, 1965.

FLORIANO, T. C. Introdução aos buracos negros. **Revista Brasileira de Física**, v. 1, n. 1, p. e202108010101, ago. 2021.

GHEZ, A. M. A descoberta de um buraco negro supermassivo no centro da nossa galáxia. *In: Anais do Encontro Brasileiro de Meninas e Mulheres da Astrofísica, Gravitação e Cosmologia: As Astrocientistas*, 1., 2021., São Paulo: Editora Blucher, 2022. p. 1-8.

GIL PÉREZ, D. *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

HERDEIRO, C. A. R. Um prêmio Nobel para os buracos negros. **Gazeta de Física**, v. 43, n. 3/4, p. 1-8, mar. 2021.

ISAACSON, W. **Einstein: sua vida, seu universo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

MAIA FILHO, A. M.; SILVA, I. L. A trajetória de Chien Shiung Wu e a sua contribuição à física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 135-157, abr. 2019.

MEDEIROS, J.; FERREIRA, G. K. Universo escuro para as mulheres: Gênero e Ciência na trajetória de Vera Rubin na Astronomia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, p. 598-625, dez. 2024.

MORCELLE, V.; FERREIRA, R. M. S.; SANTOS, A. C. F. Ciência e reparação: 100 anos das Contribuições de Lise Meitner para o Efeito Auger. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, p. e20220103, 2022.

NOBEL PRIZE. **Announcement of the 2020 Nobel Prize in Physics**. 2020. 36:45. Disponível em: <https://www.youtube.com/live/5JFKNDVmx6k?si=JjSST6fVm7pFdlgk>. Acesso em: 04 jan. 2026.

NOBEL PRIZE. **The Nobel Prize in Physics 2020**: Interview with Andrea Ghez. 2021. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/ghez/168954-ghez-interview-march-2021/>. Acesso em: 04 jan. 2026.

NOBEL PRIZE. **Andrea Ghez, Nobel Prize in Physics 2020**: Official Interview. 2022. 15:15. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NVzVmK4BZB8>. Acesso em: 04 jan. 2026.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

PAIS, A. **Sutil é o senhor - A ciência e a vida de Albert Einstein**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

PIRES, L. N.; SANTOS, I. M.; DAMASIO, F. Lasers, as ferramentas de luz: Prêmio Nobel de 2018. **A Física na Escola**, v. 18, n. 1, p. 54-61, 2020.

PIRES, L. N.; SANTOS, I. M.; DAMASIO, F. Maria Goeppert-Mayer e o modelo nuclear de camadas: contribuições de uma mulher cientista e implicações para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 293-324, abr. 2021.

PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. 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. 108-136, abr. 2022.

RODRIGUES, R. F.; GEDOZ, L. O que a (controversa) participação de Mileva Maric-Einstein nos trabalhos publicados por Albert Einstein entre 1901 e 1905 pode ensinar sobre a iniquidade de gênero na história da ciência?. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 40, n. 2, p. 289-314, abr. 2023.

SILVEIRA, F. L. A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 219-230, 1996.

SILVÉRIO, B. A.; SITKO, C. M.; FIGUERÔA, S. F. M. O protagonismo de Henrietta Leavitt na elaboração da relação período-luminosidade da astronomia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. 670-703, 2023.

VIEIRA, P. C.; MASSONI, N. T.; ALVES-BRITO, A. O papel de Cecilia Payne na determinação da composição estelar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210028, maio 2021.

UCLA. **Galactic Center Group**: The Founders. 1995. Disponível em: www.astro.ucla.edu/~ghezgroup/gc_edit/Latest/about.html. Acesso em: 06 maio 2026.

UCLA. **Physics & Astronomy**: About Andrea Ghez. 2020a. Disponível em: <https://www.astro.ucla.edu/~ghez/>. Acesso em: 04 jan. 2026.

UCLA. **Physics & Astronomy**: Research Interests of Andrea Ghez. 2020b. Disponível em: <https://www.astro.ucla.edu/~ghez/research-interests.html>. Acesso em: 04 jan. 2026.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).