

Buracos negros, divulgação científica e recursos didáticos existentes na internet

Ricardo Roberto Plaza Teixeira

Doutor em Física pela USP, Docente do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Caraguatatuba, SP, Brasil

João Pereira Neto

Graduando em Licenciatura em Matemática no Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Caraguatatuba, SP, Brasil

Vinicius Carvalho Rosa

Graduado em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus Caraguatatuba, SP, Brasil

Resumo: Este artigo tem os objetivos de descrever e de examinar o potencial educacional de recursos didáticos disponíveis na Internet para divulgação científica sobre buracos negros. Para a fundamentação teórica, foi feita uma revisão da literatura científica acerca de temas como divulgação da ciência, cultura científica, recursos didáticos, ensino de astronomia e buracos negros, por meio da síntese de trabalhos apresentados em congressos acadêmicos, artigos publicados em revistas especializadas, teses de doutorado, dissertações de mestrado e livros científicos. Foi realizada também uma pesquisa detalhada sobre diversas ferramentas didáticas existentes gratuitamente na *web* e que podem ser úteis para atividades de ensino de física e de divulgação científica sobre buracos negros, com a descrição das suas características principais e apontamentos sobre as suas potencialidades educacionais. Para que os leitores possam acessar os diversos recursos citados, os *links* disponíveis dos *sites* são informados. O estudo dos buracos negros mediado pelos recursos analisados apresenta um grande potencial na tarefa tanto de despertar o interesse dos alunos pelas ciências naturais quanto de colaborar para a aprendizagem de conceitos científicos importantes.

Palavras-chave: Astrofísica. Tecnologias da Informação e da Comunicação. Ensino de Física. Vídeo. Internet.

Abstract: This paper aims to describe and examine the educational potential of didactic resources available on the Internet for scientific dissemination about black holes. For the theoretical foundation, a review of the scientific literature was made on topics such as science dissemination, scientific culture, didactic resources, astronomy teaching and black holes, through the synthesis of works presented in academic congresses, articles published in specialized journals, doctoral theses, master's dissertations and scientific books. A detailed research was also carried out about several didactic tools available for free on the web and which can be useful for teaching physics and scientific dissemination activities on black holes, with the description of their main characteristics and notes on their educational potential. For readers to be able to access the various resources cited, the available links of the sites are informed. The study of black holes mediated by the analyzed resources has great potential in the task of both arousing students' interest in the natural sciences, as well as helping to learn important scientific concepts.

Keywords: Astrophysics. Information and Communication Technologies. Physics Teaching. Video. Internet.

INTRODUÇÃO

Este é um trabalho cujos objetivos principais são descrever e analisar recursos didáticos disponíveis na Internet que podem ser utilizados em atividades de ensino e de divulgação científica, tendo como eixo o tema dos buracos negros. A preocupação central é refletir sobre ferramentas que podem ajudar educadores a construir os seus próprios materiais de divulgação científica de modo a promover um ensino plural e de qualidade (NUNES; QUEIRÓS, 2020) sobre este tema de astrofísica que cada vez mais tem atraído a atenção dos alunos. Após uma discussão sobre as relações existentes entre ciência, cultura e divulgação científica na sociedade contemporânea, é feita uma breve apresentação sobre buracos negros, bem como sobre a história deste conceito. São, então, analisadas algumas ferramentas didáticas disponíveis na Internet e que podem ser úteis para atividades de divulgação e ensino sobre buracos negros, tais como vídeos, simulações, animações e jogos. Ao final, são feitas algumas considerações e conclusões acerca dos materiais analisados.

A ciência tem crescentemente se constituído como parte importante da cultura humana. A expressão “cultura científica”, pela forma como temas de ciência e tecnologia estão profundamente inseridos em elementos cotidianos de nossa sociedade, tem um significado, em certo sentido, mais amplo, do que aqueles abarcados por termos como divulgação científica, popularização da ciência e percepção/compreensão pública da ciência, até pelo fato de amalgamar todos eles, tendo como eixo a ideia de que o desenvolvimento científico é um processo cultural que estabelece relações entre os cidadãos, seus valores culturais, suas histórias e as realidades materiais em que vivem, nas diferentes perspectivas da produção, da educação e da difusão da ciência (VOGT, 2007). Esta concepção tem como pressuposto a ideia de que a ciência é algo para todos e não somente um objeto de uso exclusivo de alguns iluminados. Deste modo, a inserção da ciência na cultura envolve diversos aspectos e questões de natureza histórica, política, social e epistemológica: o pertencimento das ciências – em particular, da física – à cultura tem desdobramentos que precisam ser considerados em práticas de educação e divulgação científica, sobretudo pela dimensão humanística que os conhecimentos científicos a serem aprendidos devem possuir (ZANETIC, 1998).

Ao se engajar em atividades de divulgação científica, os pesquisadores também têm um ganho, já que este tipo de ação possibilita uma compreensão melhor acerca do que cada um faz no âmbito da especialidade científica na qual atua (JURDANT, 2006), algo que decorre da reflexividade que permite uma percepção mais ampla acerca dos paradigmas científicos hegemônicos vigentes. A divulgação científica como conhecemos tem seus primórdios na própria revolução científica do século XVII – com a preocupação de Galileu com o tipo de escrita (na forma de diálogos ou conversações) utilizada em seus trabalhos, que tinham o objetivo claro de atingir um público mais amplo, de modo a fortalecer o processo de discussão acerca dos paradigmas e das visões de mundo predominantes em sua época – e se expandiu nos séculos XVIII e XIX, quando procurou atender audiências diversas, como aquelas dos salões femininos e, mais à frente, um público constituído por operários e outros trabalhadores urbanos, conforme o processo de industrialização se acentuava. As atividades de divulgação científica apresentam um comprometimento com as características de oralidade que dão vida à língua que é usada por uma coletividade.

A divulgação é também um mecanismo de apropriação oral da ciência, com o objetivo de dialogar com as pessoas a respeito dela, relacionando as palavras e as coisas (JURDANT, 2006).

A divulgação científica é um elemento crucial para alavancar a participação ativa dos cidadãos no processo cultural associado ao modo como a ciência e a tecnologia tornam-se cada vez mais presentes em nosso cotidiano. Ela é imprescindível para combater a perda de apoio político e econômico da ciência que se materializa no ataque à sua reputação social, no desinteresse por ela de parcelas consideráveis dos alunos da educação básica e na intensificação das ondas de anticiência e de irracionalismo. Mas, a divisão da sociedade em duas parcelas, o “público leigo” ignorante da ciência de um lado e os cientistas que detêm o conhecimento de outro lado, é artificial e contraproducente, porque cientistas, que são especialistas em uma determinada subárea do conhecimento, são leigos em outras disciplinas. Portanto, é necessário um pouco de modéstia associada à constatação de que é, na verdade, muito limitado aquilo que cada um de nós conhece e domina cientificamente com profundidade (LÉVY-LEBLOND, 2006). Para a inserção da ciência como parte real da cultura humana, é necessária uma mudança tanto no modo de fazer ciência, quanto de ensiná-la às novas gerações.

A divulgação científica no Brasil, que se consolidou sobretudo nos anos 1980, tem se diversificado a partir da constituição de políticas públicas municipais, estaduais e federais e das ações de universidades, instituições de educação básica, museus e centros de ciências, por meio de atividades envolvendo os mais variados campos e meios: pela arte (teatro, música, literatura, cinema), pelos veículos de comunicação (noticiário impresso, televisivo e radiofônico), por meio de eventos (seminários, palestras, conferências) e, de modo crescente, pela Internet (BORTOLIERO, 2009).

O fortalecimento da cultura científica na sociedade pode estimular uma compreensão mais ampla acerca da ciência e da tecnologia por parte dos cidadãos, de modo a ajudar a superar a visão de ciência como algo alheio às questões sociais. Para isso, é necessária a imersão dos estudantes na cultura científica, aproximando-os das atividades de cientistas e pesquisadores, por meio do estudo de situações-problema relevantes e desafiadoras (BYBEE, 1997), que possibilitem estimular o interesse pela ciência e favorecer a sua participação na construção de conhecimentos.

Para este intuito, é fundamental que as aulas sejam planejadas para que os alunos se tornem protagonistas e se envolvam com atividades científicas reais, abandonando-se, deste modo, apresentações a-problemáticas dos temas científicos e superando a separação entre teoria e prática: o desenvolvimento da literacia científica dos alunos é favorecido por ações didáticas calcadas em atividades autênticas imbricadas com a realidade e com as aspirações discentes (FERNANDES; PIRES; DELGADO-IGLESIAS, 2018).

A expressão divulgação científica define, de modo implícito, dois espaços: um, que seria interior à ciência, e outro, exterior a ela (SILVA, 2006). A grande questão posta para educadores e divulgadores é superar a versão em que há uma “colonização” do espaço externo pela ciência em prol de uma democratização do espaço interno à ciência, que deve ser mais permeado pela sociedade.

Os processos educacionais devem colaborar para o desenvolvimento de habilidades e valores adequados para a formação de um cidadão responsável socialmente e que compreenda a natureza da ciência, a sua forma de pensar e os seus métodos de ação, em oposição a uma ênfase excessiva na aquisição de conteúdos: a educação científica tem que ser vista muito mais como “educação por meio da ciência” do que como “ciência por meio da educação” (HOLBROOK; RANNIKMAE, 2009). Deste modo, algumas das principais habilidades que devem ser estimuladas são: capacidade de pensar cientificamente; capacidade de compreender a natureza da ciência, incluindo sua relação com a cultura; capacidade de pensar criticamente sobre a ciência; capacidade de refletir com discernimento acerca dos riscos e benefícios da ciência; capacidade de distinguir a ciência da não ciência, da pseudociência e da anticiência.

As atividades de divulgação devem colaborar para um aprofundamento da compreensão sobre a natureza da ciência – que é antes de tudo uma maneira de ver, pensar e entender o mundo – debatendo questões que evidenciem algumas características do conhecimento científico, como, por exemplo, que ele é tentativo (inconclusivo e sem verdades absolutas), testável (são necessárias evidências empíricas), replicável (passível de reprodução em situações das mais diferentes possíveis), histórico (se transforma com o passar do tempo), criativo (requer a imaginação e a inventividade humana) e, portanto, que a ciência é uma construção da

humanidade que precisa ter um caráter público e que necessita ser disseminada, transmitida e divulgada coletivamente (PEDUZZI; RAICIK, 2020).

Na contemporaneidade, estamos cada vez mais imersos em um novo período de aquisição de informação, que traz consequências para os modos como os conhecimentos científicos são apropriados pelas pessoas. O uso da Internet para conhecer mais sobre ciência e tecnologia se diferencia de outras fontes de informação porque permite que a pessoa busque e obtenha a informação que deseja, no momento que necessita, de modo “*just-in-time*”, sem a necessidade de armazenamento mental ou em algum formato físico, como é o caso do livro em papel, por exemplo (MILLER; PÉREZ, 2019). Assim, os jovens, em especial, se caracterizam por uma maior proporção de uso de meios digitais – em relação a meios tradicionais, como a televisão – para acessar e apreender conhecimentos científicos. Este dado da realidade precisa ser considerado e levado em conta nas atividades de ensino e de divulgação da ciência de modo a potencializá-las. A existência de uma maior interrelação entre ciência e sociedade é necessária, tanto para a melhoria do bem-estar social quanto para o desenvolvimento científico. Tendo em vista o potencial das novas tecnologias na hora de conectar as pessoas e trocar ideias pela Internet, torna-se evidente que vivemos, mais do que nunca, em uma sociedade em rede (CASTELLS, 2013), com o potencial de estimular a participação de todos, tanto no consumo quanto na produção de conteúdo, inclusive científico: enquanto antes existiam poucos “canais” disponíveis na televisão aberta, hoje, quase cada cidadão tem o seu próprio “canal” na plataforma YouTube de armazenamento de vídeos, por exemplo.

BURACOS NEGROS

Buracos negros são objetos existentes no Universo, previstos teoricamente pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein e que contam com uma densidade de massa tão grande que a velocidade de escape destes corpos é maior que a velocidade da luz. Um objeto com estas características – uma região do espaço-tempo da qual a luz não pode escapar – já tinha sido previsto no final do século XVIII por John Michell (1724-1793) e Pierre Simon Laplace (1749-1827), que foram, deste modo, precursores do conceito moderno de buraco negro (MACHADO; TORT, 2016).

Em 1916, Karl Schwarzschild (1873-1916) propôs uma solução para as equações da Teoria da Relatividade Geral, proposta por Albert Einstein (1879-1955), meses antes: basicamente, ela envolvia a existência de uma singularidade gravitacional, uma região na qual a curvatura do espaço-tempo tende a infinito. Esta solução descreve o espaço-tempo ao redor de um buraco negro sem carga elétrica, com simetria esférica e sem rotação (LIMA JUNIOR *et al.*, 2020). Desde então, a denominada solução de Schwarzschild foi o ponto de partida para o desenvolvimento do conceito de buraco negro, um objeto que conta com surpreendentes propriedades físicas (SAA, 2016): mesmo que buracos negros pareçam ser mais estranhos que qualquer coisa já sonhada por escritores de ficção científica, eles são fatos do mundo da ciência, sobre os quais há uma ampla gama de evidências experimentais (HAWKING, 2016).

Estrelas muito massivas podem entrar em colapso devido ao peso da sua própria gravidade e, se a atração gravitacional for suficientemente grande, o objeto resultante deste colapso (compressão) é um buraco negro. Na singularidade que constitui um buraco negro, o espaço se curva completamente ao redor do objeto e impede que qualquer coisa, inclusive a luz, consiga sair dele. Deste modo, buracos negros são regiões do espaço em que a gravidade é tão gigantesca que todo o tecido do espaço e do tempo se curva sobre si mesmo, levando junto todas as saídas possíveis. A fronteira exata entre os pontos em que a luz pode e não pode escapar de um buraco negro é uma superfície denominada de “horizonte de eventos”: ela basicamente separa o que está no resto do universo e o que está para sempre dentro do buraco negro (TYSON, 2016).

Um buraco negro é formado quando o combustível nuclear, constituído de hidrogênio e outros elementos leves da tabela periódica, de uma estrela com uma massa suficientemente grande se extingue, deixando de existir a pressão para fora que a sustenta contra a sua própria gravidade: como consequência, a estrela começa a implodir para dentro de si mesma (MATSAS; VANZELLA, 2002). Mas, nem toda estrela pode se tornar um buraco negro: apenas cerca de uma em mil estrelas tem uma massa suficientemente grande para que isto possa, de fato, ocorrer.

Os buracos negros são objetos razoavelmente comuns em nosso Universo. No centro da grande maioria das galáxias, nos seus núcleos ativos, geralmente existe um

buraco negro supermassivo, cuja massa pode ser bilhões de vezes maior que a massa do Sol (BERGMANN, 2009). A sua presença pode ser detectada devido à ação do seu forte campo gravitacional que atua sobre estrelas localizadas nas suas proximidades.

VÍDEOS SOBRE O TEMA DOS BURACOS NEGROS

Existem, disponíveis na Internet, vídeos de curta duração com boa didática e fundamentação científica correta, que podem ser úteis para atividades educacionais sobre Buracos Negros. Vamos analisar alguns a seguir, começando pelos falados em português. Os *links* apresentados neste artigo foram obtidos em maio de 2022.

O canal “Ciência Todo Dia”, no Youtube, especializado no trabalho de divulgação de temas de áreas da física, tem alguns bons vídeos sobre buracos negros. Por exemplo, o vídeo “Buracos Negros Explicados”¹, produzido em 2020, com duração de cerca de dez minutos, se inicia abordando a história do conceito de buraco negro, tendo como ponto de partida as ideias propostas por John Michell.

O canal da “BBC News Brasil”, no YouTube, apresenta vídeos didáticos bem estruturados e com boa fundamentação sobre os mais variados temas. Em 2021, ele lançou o vídeo “O que existe dentro de um buraco negro?”², com duração de cerca de seis minutos; nele, a apresentadora Camilla Costa explica como os buracos negros estelares se formam e as características dos buracos negros supermassivos.

O canal “Socrática Português” do YouTube apresenta uma ampla gama de vídeos curtos sobre as mais variadas áreas, como matemática, química, física, astronomia e filosofia. Em particular, há o vídeo “Buracos Negros - Mistérios da Astronomia”³ com cerca de dez minutos de duração e que aborda temas como o momento angular e a carga de um buraco negro e as propriedades de estrelas binárias.

O canal “Nerdologia” do YouTube é especializado em temas de interesse da chamada comunidade “nerd”, em especial abordando tópicos de diferentes áreas das ciências naturais e suas relações com a cultura pop (sobretudo com o cinema e os

¹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GbJJRsS6OR4>. Acesso em: 23 mai. 2022.

² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1A76blKxcrA>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4HLFqA9Ejgg>. Acesso em: 23 mai. 2022.

quadrinhos), sempre com uma linguagem adequada para o público mais jovem: ao aproximar o usuário da ciência, o objetivo deste canal é facilitar o acesso ao conhecimento (MENDES; GONZAGA, MOURA, 2019). O divulgador Átila Iamarino apresenta o vídeo “Buraco Negro – Nerdologia”⁴, lançado em 2014, com duração de cerca de seis minutos, explicando as características de buracos negros, como, por exemplo, acerca das forças de marés e do chamado processo de espaguetificação, uma experiência de pensamento a respeito de um astronauta que se aproximasse de um buraco negro, atravessando o horizonte de eventos.

O “Canal Nostalgia” é um dos canais com maior número de inscritos na plataforma YouTube. O vídeo “Buracos negros, como eles surgem?”⁵ com cerca de 16 minutos de duração, lançado em 2017, já tinha 6,1 milhões de visualizações em maio de 2021, mais que todos os outros vídeos anteriormente citados. Este vídeo tem uma linguagem claramente voltada para o público jovem, com imagens didáticas e animações que objetivam tornar mais compreensíveis as ideias apresentadas; nele, é explicada, por exemplo, a noção de singularidade a partir do cálculo da densidade.

Há vídeos de curta duração com abordagens interessantes sobre questões relacionadas ao estudo de buracos negros e que são falados em inglês, para os quais é possível acionar, pelo YouTube, o recurso de inclusão de legendas em português. Entre eles podemos citar: o vídeo “Como entender a imagem de um buraco negro”⁶ do canal “*Veritasium*” do YouTube; o vídeo “Como o tempo se torna espaço dentro de um buraco negro”⁷ do canal “*PBS Space Time*” do YouTube; o vídeo “Buracos negros explicados - Do nascimento à morte”⁸ do canal “*Kurzgesagt – In a Nutshell*” do YouTube; o vídeo “*Travel inside a Black Hole*”⁹ (“Viagem para dentro de um buraco negro”) do canal “*Vsauce*” do YouTube; a palestra TED de Sheperd Doeleman “*Inside the black hole image that made history*”¹⁰ (“Dentro da imagem do buraco negro que fez história”) do canal do TED do YouTube; a animação “*Can a black hole be destroyed?*”¹¹ (“Pode um buraco negro ser destruído”), criada pelo astrofísico Fabio

⁴ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ThG5RHBR7dA>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁵ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WvQlhMjGo4M>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁶ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zUyH3XhpLTo>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁷ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KePNhUJ2rel>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁸ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=e-P5IFTqB98>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3pAnRKD4raY>. Acesso em: 23 mai. 2022.

¹⁰ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=uyMtsyzXWd4>. Acesso em: 23 mai. 2022.

¹¹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AXR-etStvCl>. Acesso em: 23 mai. 2022.

Pacucci para o canal do TED-Ed no YouTube; o vídeo *The Black Hole Tipping Point*¹² (“O ponto de inflexão de um buraco negro”) do canal “*Minutephysics*” do YouTube; e o vídeo “*Black Holes: Crash Course Astronomy #33*”¹³ (“Buraco negros: Curso Intensivo de Astronomia # 33”) do canal “*Crashcourse*” do YouTube.

Em particular, duas palestras que o canal no YouTube “*The Royal Institution*” disponibiliza *The physics of black holes*¹⁴ (“A física dos buracos negros”), ministrada pelo astrônomo Christopher David Impey, com cerca de 53 minutos, e a palestra “*Black holes and the fundamental laws of physics*”¹⁵ (“Buracos negros e as leis fundamentais da física”), ministrada pelo físico Jerome Gauntlett, com duração de cerca de uma hora.

O Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), situado no Rio de Janeiro, realizou, em maio de 2020, o evento “Semana dos Buracos Negros”, com diferentes conferências que foram ministradas por especialistas e transmitidas pelo Youtube no canal da instituição¹⁶. Seis destas webconferências, cada uma com duração aproximada de uma 1 hora e meia, estão disponíveis para serem assistidas pelos interessados em uma *playlist*¹⁷. Os títulos dessas seis apresentações são: “Redemoinhos e máquinas fantásticas: Os buracos negros na cultura pop”, “Colapsos e densidades nucleares infinitas”, “Viagem ao centro das galáxias: buracos negros supermassivos”, “Relatividade Geral para leigos e a física dos buracos negros”, “O Universo no papel e no computador: Simulações de buracos negros” e “A importância da primeira imagem de um buraco negro”.

OUTROS RECURSOS DIDÁTICOS SOBRE BURACOS NEGROS

Há diferentes recursos didáticos sobre buracos negros, tais como simulações, animações, GIFs e *games*, que estão disponíveis na *Internet* para serem acessados livremente pelos interessados. Abaixo indicaremos e analisaremos alguns deles.

¹² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=brmjWYQi2UM>. Acesso em: 23 mai. 2022.

¹³ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qZWPBKULkdQ&t=47s>. Acesso em: 23 mai. 2022.

¹⁴ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=roM1QPr8INo&t=418s>. Acesso em: 23 mai. 2022.

¹⁵ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=laKp1XeEF74>. Acesso em: 23 mai. 2022.

¹⁶ Disponível em: <https://www.youtube.com/user/museuastronomia>. Acesso em: 23 mai. 2022.

¹⁷ Disponível em: https://www.youtube.com/playlist?list=PLk2-NAaoUZyspdkLPm2cCSUI8fsH-56_k. Acesso em: 23 mai. 2022.

A “*Black Hole Encyclopedia*”¹⁸ (“Enciclopédia do Buraco Negro”) é uma fonte de informações, em inglês, acerca de diferentes aspectos dos buracos negros (história, linha do tempo, influência na cultura pop, fotos, lista com buracos negros estelares etc.). Há, nesta página da *web*, diferentes tipos de materiais úteis para a divulgação científica.

Em português, por sua vez, uma outra fonte de informações é o *site* da astrofísica Thaisa Storchi Bergmann¹⁹ que é professora da UFRGS: os conteúdos estão divididos em 12 seções, tais como “Definição Geral”, “Discos de Acreção” e “Tipos de Buracos Negros”. Em 2015, Thaisa Bergmann recebeu o Prêmio L'Oréal-Unesco para “Mulheres na Ciência” da região da América Latina, devido ao seu trabalho sobre os buracos negros supermassivos no centro de galáxias e as regiões de gás denso, poeira e estrelas jovens que os cercam, bem como acerca de seu papel na evolução galáctica.

Com um bom potencial para uso didático, há o game “*Black Hole Pong*”²⁰ que foi feito de modo que cada um de dois jogadores controla um buraco negro no vídeo e precisa usar o seu campo gravitacional (com uma força que cai com o quadrado da distância) para lançar uma estrela, que se aproxima, de volta para o oponente: ele é uma referência a um dos primeiros games da história, o “Pong” (CARBONE *et al.*, 2012).

A fusão de dois buracos negros é um dos eventos mais violentos do Universo: em apenas alguns poucos segundos, uma quantidade gigantesca de energia é liberada na forma de ondas gravitacionais, ondulações no espaço-tempo que viajam pelo Universo na velocidade da luz e eventualmente atingem detectores na Terra como ocorreu pela primeira vez, em 2015, no LIGO, nos Estados Unidos (VARMA; STEIN; GEROSA, 2019). Uma simulação visual com recursos úteis para compreender o movimento de precessão de um binário de buracos negros foi elaborada por Vijay Varma e colaboradores²¹. Além disso, o *site* do LIGO²² disponibiliza uma grande quantidade de recursos multimídia sobre o tema, tais como vídeos, áudios e imagens.

¹⁸ Disponível em: <http://blackholes.stardate.org/index.html>. Acesso em: 23 mai. 2022.

¹⁹ Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~thaisa/buracos-negros/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

²⁰ Disponível em: http://www.gwoptics.org/processing/blackhole_pong/. Acesso em: 23 mai. 2022.

²¹ Disponível em: <https://vijayvarma392.github.io/binaryBHexp/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

²² Disponível em: <https://www.ligo.org/multimedia.php>. Acesso em: 23 mai. 2022.

O site do *Event Horizon Telescope*²³ (EHT) instituição responsável pela obtenção da primeira imagem de um buraco negro em 2019, disponibiliza diversos recursos de mídia, tais como simulações, vídeos, infográficos e quadrinhos, que podem ser úteis para a elaboração de atividades educacionais; em particular, por exemplo, a galeria de simulações²⁴ permite que o usuário aprenda conceitos científicos envolvidos no estudo de buracos negros por meio de técnicas de modelagem. O EHT também conta com um canal no YouTube que disponibiliza vídeos sobre simulações de buracos negros e as pesquisas realizadas²⁵. O EHT também disponibiliza um pôster, em inglês, com imagens do céu noturno, fotos de radiotelescópios e textos explicativos²⁶.

O site do *Nuclear Spectroscopic Telescope Array*²⁷ (NuSTAR) apresenta uma seção com materiais educacionais e para divulgação científica sobre buracos negros e núcleos ativos de galáxias, especialmente voltada para professores, com recursos como guias educacionais, textos científicos, dicas de *websites*, jogos, vídeos e pôsteres.

O site “Ducksters” com materiais científicos e educacionais voltados para crianças apresenta, na seção “*Astronomy for Kids*” (“Astronomia para Crianças”), uma página especialmente destinada ao estudo de Buracos Negros, com textos informativos, imagens e um *quiz* (questionário) com dez perguntas²⁸.

A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), dos EUA, também disponibiliza material educacional em seu *site*²⁹, tanto artigos com informações a respeito da ciência envolvida no estudo de buracos negros³⁰ quanto recursos para trabalhar com alunos, como textos com respostas a perguntas, que podem ser

²³ Disponível em: <https://eventhorizontelescope.org/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

²⁴ Disponível em: <https://eventhorizontelescope.org/simulations-gallery>. Acesso em: 23 mai. 2022.

²⁵ Disponível em: <https://www.youtube.com/c/ehtelescope/videos>. Acesso em: 23 mai. 2022.

²⁶ Disponível em: [https://landing.perimeterinstitute.ca/hubfs/EHT%20Facts%20Poster%20\(1\)lowres.jpg](https://landing.perimeterinstitute.ca/hubfs/EHT%20Facts%20Poster%20(1)lowres.jpg). Acesso em: 23 mai. 2022.

²⁷ Disponível em: https://www.nustar.caltech.edu/page/education_outreach. Acesso em: 23 mai. 2022.

²⁸ Disponível em: https://www.ducksters.com/science/black_hole.php#:~:text=Black%20holes%20are%20formed%20when,and%20become%20a%20black%20hole. Acesso em: 23 mai. 2022.

²⁹ Disponível em: <https://www.nasa.gov/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³⁰ Disponível em: <https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/black-holes>. Acesso em: 23 mai. 2022.

excelentes problematizadoras em atividades educacionais³¹, como, por exemplo, “*How big are black holes?*” (“Quão grandes são os buracos negros?”), “*How do black holes form?*” (“Como buracos negros se formam?”), “*If black holes are ‘black’, how do scientists know they are there?*” (“Se os buracos negros são ‘negros’, como os cientistas sabem que eles estão lá?”) e “*Could a black hole destroy earth?*” (“Um buraco negro poderia destruir a Terra?”). Informações, imagens e vídeos curtos a respeito da visualização do disco de acreção de um buraco negro também estão disponíveis³². O jogo com tabuleiros e cartas denominado “*Fall into a Black Hole!*” (“Caindo dentro de um Buraco Negro!”) pode ser obtido, para impressão³³. Já o “*High Energy Astrophysics Science Archive Research Center (HEASARC)*” da NASA apresenta uma página³⁴ que disponibiliza recursos educacionais sobre buracos negros, tais como imagens, arquivos GIFs, animações e uma viagem virtual a buracos negros e a estrelas de nêutrons.

Da mesma forma, o *site* da *European Space Agency*³⁵ (ESA) apresenta uma página sobre buracos negros³⁶, com imagens, textos e *links* para artigos relacionados. Por sua vez, o *site* do *European Southern Observatory* (ESO) ou “Observatório Europeu do Sul”, que conta com a participação de Portugal, apresenta o recurso de poder ser colocado no idioma português³⁷. Há nele uma galeria de fotos e imagens sobre buracos negros que podem ser úteis para educadores³⁸. Além disso, na seção descobertas³⁹, há um texto explicativo (com *links* para outros artigos) intitulado “Um Buraco Negro no Centro da nossa Galáxia” sobre as pesquisas desenvolvidas pelo ESO acerca do centro da Via Láctea⁴⁰.

A Universidade do Arizona, nos Estados Unidos, hospeda o *site* do “*Black Hole PIRE - Partnerships for International Research and Education*”⁴¹ com uma quantidade

³¹ Disponível em: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-a-black-hole-k4.html>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³² Disponível em: <https://svs.gsfc.nasa.gov/13326>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³³ Disponível em: <https://spaceplace.nasa.gov/black-hole-boardgame/en/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³⁴ Disponível em: <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/blackhole.html>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³⁵ Disponível em: <https://www.esa.int/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³⁶ Disponível em: https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Black_holes. Acesso em: 23 mai. 2022.

³⁷ Disponível em: <https://www.eso.org/public/brazil/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³⁸ Disponível em: <https://www.eso.org/public/brazil/images/archive/category/blackholes/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

³⁹ Disponível em: <https://www.eso.org/public/brazil/science/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴⁰ Disponível em: <https://www.eso.org/public/science/gc/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴¹ Disponível em: <http://bhpire.arizona.edu/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

razoável de recursos educacionais, sobretudo obtidos a partir do EHT, tais como uma seção a respeito de testes da Relatividade Geral⁴², uma seção sobre buracos negros⁴³, com imagens, textos informativos e respostas a questões como “*Why doesn't every star form a black hole?*” (“Por que nem toda estrela forma um buraco negro?”), e uma seção com uma galeria de simulações e animações⁴⁴.

Na Universidade do Colorado, em Boulder, EUA, no *site* do *Joint Institute for Laboratory Astrophysics* (JILA), há a página “*Inside Black Holes*”⁴⁵ que disponibiliza materiais e ferramentas educacionais úteis para o trabalho a respeito de buracos negros, como GIFs, visualizações dos diagramas de Penrose⁴⁶, uma viagem a um buraco negro de Schwarzschild⁴⁷ e um simulador de voo em um buraco negro⁴⁸.

A página em português do Projeto “*BlackHoles@Home*”⁴⁹, expressão que significa “Buracos Negros em Casa”, apesar de estar mais voltada para pesquisadores da área da astrofísica que estudam as propriedades de buracos negros, pode apresentar *insights* para serem usados em atividades de ensino. Além disso, ela permite que qualquer um com um computador em casa possa contribuir para a elaboração de um extenso catálogo sobre ondas gravitacionais, baseado na relatividade numérica.

No *site* da Universidade Estadual da Geórgia, nos Estados Unidos, está localizado o “*The AGN Black Hole Mass Database*” ou “A base de dados de massas de buracos negros AGN”⁵⁰, um conjunto de informações sobre massas de buracos negros supermassivos que constituem os Núcleos Ativos de Galáxias (“*Active Galactic Nucleus*” – AGN). Como essas massas têm valores entre milhões e bilhões de massas solares, elas são apresentadas na forma de uma escala logarítmica, tendo como referência, a massa solar que, neste caso, por definição, é igual a 1; um valor 8, significa, por exemplo, uma massa igual a cem milhões (10^8) de vezes a massa solar.

⁴² Disponível em: <http://bhpire.arizona.edu/outreach/testing-gr/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴³ Disponível em: <http://bhpire.arizona.edu/research/black-holes/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴⁴ Disponível em: <http://bhpire.arizona.edu/gallery/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴⁵ Disponível em: <https://jila.colorado.edu/~ajsh/insidebh/intro.html>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴⁶ Disponível em: <https://jila.colorado.edu/~ajsh/insidebh/penrose.html>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴⁷ Disponível em: <https://jila.colorado.edu/~ajsh/insidebh/schw.html>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴⁸ Disponível em: <https://jila.colorado.edu/~ajsh/insidebh/bhfs.html>. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁴⁹ Disponível em: http://astro.phys.wvu.edu/bhathome/blackholesathome_homepage_pt_BR-pt_BR.html. Acesso em: 23 mai. 2022.

⁵⁰ Disponível em: <http://www.astro.gsu.edu/AGNmass/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

Este recurso pode ser conhecido no artigo “*The AGN Black Hole Mass Database*” (BENTZ; KATZ, 2015).

DISCUSSÃO

Neste artigo foram apresentados e descritos diversos recursos disponíveis na Internet e que podem ser utilizados como ferramentas didáticas em apresentações de divulgação científica envolvendo o conceito de buraco negro como tema central: este levantamento pode ser bastante útil, em particular, para professores de física. Entretanto, cada um destes recursos tem características específicas que devem ser consideradas no momento da sua utilização: uma melhor compreensão da ciência pode ter o seu desenvolvimento favorecido pelo uso adequado de materiais de divulgação científica como estes (DELABIO *et al.*, 2021).

A Internet, ou seja, a rede mundial de computadores (*web*), é constituída de uma miríade descentralizada de *sites* com as mais variadas ferramentas que podem ser utilizadas com objetivos educacionais, tais como hipermídias, plataformas de armazenamento de vídeos, aplicativos de busca, portais de instituições científicas e educacionais, simuladores, blogs e páginas com imagens e GIFs (PARRA; COUTINHO; PESSANO, 2019). Além disso, é algo que a todo momento está se modificando, crescendo e produzindo novos recursos: seu caráter dinâmico exige do educador um tempo de dedicação que tem que ser destinado para a sua própria constante atualização.

Os vídeos analisados neste artigo e que abordam diferentes características dos buracos negros têm como característica principal não tentar mimetizar uma sala de aula convencional: seu formato mais flexível, o tipo de linguagem utilizada e a sua duração, os transformam em algo diferente de meras gravações em vídeo de aulas tradicionais (SOUZA; CYPRIANO, 2016). Além disso, há geralmente uma grande preocupação com a compreensibilidade dos conceitos científicos apresentados, bem como com a qualidade visual das imagens utilizadas.

Jogos e *games* podem ser aplicados em situações de ensino em sala de aula com bons resultados, pois, pelo seu caráter eminentemente lúdico, podem ajudar no envolvimento de cada aluno com o próprio processo de ensino-aprendizagem, que se torna mais descontraído e consegue escapar daquilo que muitos alunos consideram

a rotina maçante de sala de aula (MACHADO; HAEMMERL; BUZANELLO, 2020). Em particular, no caso do ensino de tópicos de astronomia, os jogos podem produzir uma genuína aproximação dos jogadores/alunos com a ciência e promover um maior interesse pelo estudo de objetos celestes, como ocorre com buracos negros.

Particularmente, o uso de recursos didáticos de caráter interativo, como as simulações e outras ferramentas das novas Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs), pode ser uma boa alternativa didático-metodológica, uma vez que eles apresentam várias potencialidades e são bastante flexíveis (HANSEN *et al.*, 2021). No caso da aprendizagem acerca de buracos negros, o uso destas simulações possivelmente é ainda mais sugerido, pelo fato de este ser um conceito extremamente distante das experiências do dia a dia de todos nós, seres humanos.

Para que os recursos disponíveis na Internet possam ser usados com sucesso, é necessário que os professores se engajem efetivamente no processo de apropriação destes aparatos tecnológicos, de modo a conhecer as suas possibilidades e limitações, o que lhes permitirá decidir, com autonomia, quais são aqueles que se enquadram em seus objetivos educacionais, bem como quando e como usá-los. Os cursos de licenciatura em física e os cursos de formação continuada de professores de física devem, portanto, colaborar com a tarefa de capacitar professores para que consigam usar tais ferramentas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A divulgação científica permite colaborar para que os cidadãos superem a diferenciação existente entre a ciência já realizada no passado e a ciência que está sendo feita no presente, ao evidenciar que a ciência é fruto de um processo de construção realizado pela coletividade dos seres humanos. Uma evidência deste aspecto da ciência como algo em construção, bastante pertinente no contexto deste artigo, foi a publicação, em abril de 2019, da primeira imagem de um buraco negro, situado no centro da galáxia Messier 87 (NEVES, 2020): a sua ampla divulgação pela mídia permitiu que essa imagem fosse debatida de modo geral pelos cidadãos, o que colaborou para popularizar ainda mais o conceito de buraco negro. O mesmo aconteceu em maio de 2022, com a divulgação da imagem do buraco negro

supermassivo Sagitário A* situado no centro da nossa galáxia, a Via Láctea (DRAKE, 2022).

O interesse que muitos alunos apresentam por temas de astronomia, astrofísica e cosmologia pode ser usado em iniciativas de divulgação e educação científica (FRÓES, 2014), colaborando com o processo de aprendizagem das ciências naturais e estimulando a criatividade e a imaginação dos jovens. Durante a pesquisa e revisão, realizadas neste trabalho, de potenciais ferramentas didáticas, foi possível perceber que diversos recursos didáticos existentes na Internet, tais como vídeos, sites, animações e jogos, apresentam um bom potencial para a ampliação do universo científico e a melhor compreensão de como a ciência funciona.

Os buracos negros hoje com certeza fazem parte do imaginário e da cultura científica da população em geral: o forte apelo da expressão “buraco negro” colaborou bastante para difundir este conceito entre os cidadãos leigos, assim como, por exemplo, ocorre com outros termos, como “matéria escura”, “energia escura” e “supernova”. Desde o uso, pela primeira vez, desta expressão, por John Wheeler nos anos 1960, a ideia de “buraco negro” passou a permear a cultura popular das mais diversas formas, em especial na ficção científica, como, por exemplo, é o caso do buraco negro fictício “Gargantua” que aparece no filme Interestelar (THORNE, 2014). Portanto, essa realidade factual pode ser aproveitada com intuítos educacionais. Os buracos negros, pela atenção que atraem, têm um grande potencial para despertar o interesse dos alunos pela área científica em geral e é possível incentivar que eles se aprofundem no seu estudo, com o auxílio dos diversos materiais e recursos disponíveis na *Internet* que foram foco deste artigo e que podem se mostrar bastante úteis para educadores e divulgadores da ciência.

REFERÊNCIAS

BENTZ, M. C.; KATZ, S. The AGN Black Hole Mass Database. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 127, n. 947. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/679601>. Acesso em: 22 maio 2022.

BERGMANN, T. S. Buracos negros supermassivos: os monstros que se escondem no centro das galáxias. **Ciência e Cultura**, v. 61, n. 4, p. 38-42, 2009. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252009000400013&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 11 maio 2022.

BORTOLIERO, S. O papel das universidades na promoção da cultura científica: formando jornalistas científicos e divulgadores da ciência. In: PORTO, Cristiane de Magalhães (org.). **Difusão e cultura científica**: alguns recortes. Salvador: EDUFBA, 2009. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/68/pdf/porto-9788523209124-03.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

BYBEE, R. W. Towards an Understanding of Scientific Literacy. In: GRAEBER, W.; BOLTE, C. (Orgs.). **Scientific Literacy**. Kiel, Germany: IPN, 1997.

CARBONE, L. *et al.* Computer-games for gravitational wave science outreach: Black Hole Pong and Space Time Quest. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 363, 012057, 2012. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/363/1/012057/pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 2013.

DELABIO, F. *et al.* Divulgação científica e percepção pública de brasileiros(as) sobre ciência e tecnologia. **Revista Insignare Scientia - RIS**, v. 4, n. 3, p. 273-290, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/12132>. Acesso em: 23 maio 2022.

DRAKE, Nadia. Divulgada primeira imagem do buraco negro no centro de nossa galáxia. **National Geographic Brasil**, 12 de maio de 2022. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/espaco/2022/05/divulgada-primeira-imagem-do-buraco-negro-no-centro-de-nossa-galaxia>. Acesso em: 23 jun. 2022.

FERNANDES, I. M. B.; PIRES, D. M.; DELGADO-IGLESIAS, J. Perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade, Ambiente (CTSA) nos manuais escolares portugueses de Ciências Naturais do 6.º ano de escolaridade. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 24, n. 4, p. 875-890, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v24n4/1516-7313-ciedu-24-04-0875.pdf>. Acesso em: 15 maio 2022.

FRÓES, A. L. D. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172014000300016>. Acesso em: 23 maio 2022.

HANSEN, Taís Regina *et al.* O uso de simuladores e a Astronomia na Educação Básica: potencializando o processo de ensino-aprendizagem. **Revista Insignare Scientiae - RIS**, v. 3, n. 2, p. 551-563, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/11356>. Acesso em: 22 maio 2022.

HAWKING, S. **Buracos Negros**: Palestras da BBC Reith Lectures. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

HOLBROOK, J.; RANNIKMAE, M. The Meaning of Scientific Literacy. **International Journal of Environmental & Science Education**, v. 4, n. 3, p. 275-288, 2009. Disponível em: <https://www.pegem.net/dosyalar/dokuman/138340-20131231103513-6.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.



JURDANT, B. Falar a Ciência? In: VOGT, C. (org.). **Cultura Científica: Desafios**. São Paulo: EDUSP/Fapesp, 2006.

LÉVY-LEBLOND, J.-M. Cultura Científica: Impossível e Necessária. In: VOGT, Carlos (org.). **Cultura Científica: Desafios**. São Paulo: EDUSP/Fapesp, 2006.

LIMA JUNIOR, H. C. D. *et al.* Sombras de buracos negros: desvendando a física por detrás da imagem de M87. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20200232, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0232>. Acesso em: 10 maio 2022.

MACHADO, M.; HAEMMERL, P.; BUZANELLO, C. A. Jogo de cartas como metodologia de ensino de Astronomia para a educação básica. **Revista Insignare Scientia - RIS**, v. 3, n. 2, p. 539-550, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uuffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/11357>. Acesso em: 19 maio 2022.

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**, v. 38, n. 2, e2314, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0017>. Acesso em: 14 maio 2022.

MATSAS, G. E. A.; VANZELLA, D. A. T. Partículas elementares à luz dos buracos negros. **Ciência Hoje**, v. 31, n. 182, p. 28-33, 2002. Disponível em: <https://professores.ift.unesp.br/george.matsas/ch.pdf>. Acesso em: 14 maio 2022.

MENDES, L. H. R.; GONZAGA, E. P.; MOURA, S. V. O. Análise do canal Nerdologia: um modelo de edutenimento no YouTube. **REnCiMa**, v. 10, n. 6, p. 39-55, 2019. Disponível em: <http://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/2030>. Acesso em: 20 maio 2022.

MILLER, J. D.; PÉREZ, B. L. Los factores que influyen en la cultura científica. In: GARCÍA, Paloma Domingo. **Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología en España 2018**. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2019. Disponível em: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/percepcion-social-de-la-ciencia-y-la-tecnologia-en-espana-2018>. Acesso em: 20 maio 2022.

NEVES, Juliano C. S. O buraco negro e sua sombra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20200216, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0216>. Acesso em: 11 maio 2022.

NUNES, R. C.; QUEIRÓS, W. P. Um panorama das pesquisas sobre divulgação científica em periódicos da área de ensino. **REnCiMa**, v. 11, n. 4, p. 333-347, 2020. Disponível em: <http://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/2229>. Acesso em: 22 maio 2022.

PARRA, M. R.; COUTINHO, R. X.; PESSANO, E. F. C. Um breve olhar sobre a cienciometria: origem, evolução, tendências e sua contribuição para o ensino de ciências. **Revista Contexto & Educação**, v. 34, n. 107, p. 126-141, 2019. Disponível em: <https://revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/7267>. Acesso em: 14 maio 2022.



PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/1606>. Acesso em: 17 maio 2022.

SAA, A. Cem anos de buracos negros: o centenário da solução de Schwarzschild. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 4, e4201, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0191>. Acesso em: 15 maio 2022.

SCHWARZSCHILD, K. **On the Gravitational Field of a Mass Point according to Einstein's Theory**. ArXiv, 1916. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/physics/9905030.pdf>. Acesso em: 16 maio 2022.

SILVA, H. C. **O que é divulgação científica?** Ciência e Ensino, v. 1, n. 1, p. 53-59, 2006.

SOUZA, R.; CYPRIANO, E. F. MOOC: uma alternativa contemporânea para o ensino de astronomia. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 22, n. 1, p. 65-80, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1516-731320160010005>. Acesso em: 12 maio 2022.

THE EHT COLLABORATION *et al.* First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. **The Astrophysical Journal Letter**, v. 875, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab0ec7>. Acesso em: 21 maio 2022.

THORNE, K. **The Science of Interestellar**. New York: W. W. Norton & Company, 2014.

TYSON, N. G. **Morte no buraco negro e outros dilemas cósmicos**. São Paulo: Planeta, 2016.

VARMA, V.; STEIN, L. C.; GEROSA, D. The binary black hole explorer: on-the-fly visualizations of precessing binary black holes. **Classical and Quantum Gravity**, v. 36, n. 9, 2019. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6382/ab0ee9/meta?casa_token=yNcDGWgBoNcAAAAA:JaGfWJL7HInFvZTmsPgXHsRnRKnZjb5TLbuollsdiqNT4B4JHewATrr3q-jMDXr7843QV-035SpHYg. Acesso em: 18 maio 2022.

VOGT, C. A espiral da cultura científica. **Comciência**, Labjor, 2007. Disponível em: <https://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/cultura/cultura01.shtml>. Acesso em: 16 maio 2022.

ZANETIC, J. Literatura e cultura científica. *In*: ALMEIDA, M. J. P. M.; SILVA, H. C. **Linguagens, leituras e ensino da ciência**. Campinas: Mercado de Letras, 1998.