



POSSIBILIDADES EDUCACIONAIS DE UMA ATIVIDADE DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA SOBRE BURACOS NEGROS

Vinicius Carvalho Rosa¹

Ricardo Roberto Plaza Teixeira²

RESUMO

Este trabalho objetiva analisar o potencial educacional existente no uso de temas relacionados ao estudo dos Buracos Negros e da História da Ciência associada, como norteadores de atividades de ensino de física e de divulgação da ciência. São investigados os resultados de uma atividade de divulgação científica sobre o tema dos Buracos Negros, ocorrida em maio de 2019, junto a alunos de turmas dos anos finais do ensino fundamental de uma escola municipal localizada em São Sebastião, no litoral norte paulista. Essa atividade teve o objetivo de que os alunos desenvolvessem uma melhor compreensão científica acerca do conceito de Buraco Negro e de tópicos de astrofísica relacionados. Um ponto central foi refletir acerca da primeira imagem de um Buraco Negro que fora divulgada pela mídia cerca de um mês antes da sua realização, em abril de 2019. Para a elaboração da apresentação foi estudado o modo como o conceito de Buraco Negro se desenvolveu historicamente ao longo de mais de dois séculos. Após a realização da apresentação, um questionário foi respondido por n=40 alunos. A análise das distribuições estatísticas das respostas dadas tornou possível compreender as visões e concepções dos alunos sobre questões relacionadas ao teor da atividade feita.

Palavras-chave: Buraco negro. Educação científica. Ensino de física.

EDUCATIONAL POSSIBILITIES OF A SCIENCE DISSEMINATION ACTIVITY ON BLACK HOLES

ABSTRACT

This work aims to analyze the educational potential existing in the use of themes related to the study of Black Holes and the associated History of Science, as guidelines for teaching physics and science dissemination activities. The results of a scientific dissemination activity on the theme of Black Holes, held in May 2019, with students from the final years of elementary school at a municipal school located in São Sebastião, on the northern coast of São Paulo, are investigated. This activity had

¹ Graduando em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus de Caraguatatuba, São Paulo, Brasil. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-9945-2581>. E-mail: v.rosa@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutor em Física pela USP. Docente do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Campus de Caraguatatuba, São Paulo, Brasil. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-7124-1774>. E-mail: rteixeira@ifsp.edu.br



the objective that the students develop a better scientific understanding of the concept of Black Hole and related astrophysics topics. A central point was to reflect on the first image of a Black Hole that was released by the media about a month before its realization, in April 2019. For the preparation of the presentation, the way in which the concept of Black Hole was historically developed over two centuries was studied. After the presentation, a questionnaire was answered by $n=40$ students. The analysis of the statistical distributions of the answers given made it possible to understand the views and conceptions of the students about issues related to the content of the activity performed.

Keywords: Black hole. Science education. Physics teaching.

POSIBILIDADES EDUCATIVAS DE UNA ACTIVIDAD DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA EN AGUJEROS NEGROS

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo analizar el potencial educativo existente en el uso de temas relacionados con el estudio de los Agujeros Negros y la Historia de la Ciencia asociada, como pautas para la enseñanza de la física y las actividades de divulgación científica. Se investigan los resultados de una actividad de divulgación científica sobre el tema de los Agujeros Negros, realizada en mayo de 2019, con estudiantes de los últimos años de la enseñanza fundamental en una escuela municipal ubicada en São Sebastião, en la costa norte de São Paulo. Esta actividad fue diseñada para que los estudiantes desarrollen una mejor comprensión científica del concepto de Agujero Negro y temas relacionados con la astrofísica. Un punto central fue reflexionar sobre la primera imagen de un Agujero Negro que fue difundida por los medios de comunicación aproximadamente un mes antes de su realización, en abril de 2019. Para preparar la presentación se estudió la forma en que el concepto de Agujero Negro se ha desarrollado históricamente durante más de dos siglos. Después de la presentación, $n = 40$ estudiantes respondieron un cuestionario. El análisis de las distribuciones estadísticas de las respuestas dadas permitió comprender las opiniones y concepciones de los estudiantes sobre cuestiones relacionadas con el contenido de la actividad realizada.

Palabras clave: Agujero negro. Educación científica. Enseñanza de la física.

INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objetivo analisar o potencial educacional existente do uso de temas relacionados ao estudo dos Buracos Negros e da História da Ciência envolvida na produção deste conceito científico como norteadores de atividades de ensino de física e de divulgação científica. Em particular, ele investiga as características e desdobramentos de uma atividade de divulgação científica sobre o tema dos Buracos Negros realizada em maio de 2019 para alunos dos últimos anos do ensino



fundamental de uma escola municipal localizada em São Sebastião, no litoral norte do estado de São Paulo.

Após a introdução deste artigo, é apresentada a fundamentação teórica para o trabalho realizado envolvendo o uso da física dos buracos negros em atividades de divulgação e educação científica. Na sequência é apresentada a metodologia utilizada na apresentação de divulgação científica investigada, seguida pela análise dos dados obtidos e a discussão dos resultados, tendo como base tabelas, gráficos e quadros elaborados com este intuito. Ao final são feitas as considerações finais com reflexões e indicações baseadas na pesquisa realizada.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Buracos negros estão possivelmente entre os objetos mais intrigantes e extraordinários existentes (NUNES, 2021): basicamente, são objetos celestes tão massivos que nem mesmo a luz consegue escapar de sua atração gravitacional (LOBO, 2006). Originalmente, o astrônomo John Michell (1724-1793), na década de 1780, no contexto da mecânica newtoniana, foi o primeiro a propor a ideia de um corpo cuja massa seria tão grande que a velocidade de escape seria maior que a velocidade da luz: ele denominou este, na época, hipotético objeto de “estrela negra”. Tais objetos seriam invisíveis para nós, pois nenhuma luz proveniente dele poderia chegar até nossos olhos (COUPER; HENBEST, 2009). Alguns anos depois de Michell, na década de 1790, o matemático francês Pierre-Simon Laplace (1749-1827) também defendeu a mesma ideia de estrela negra, apresentando inclusive a demonstração matemática que fundamentou o seu raciocínio (MACHADO; TORT, 2016).

Devido às suas características físicas intrínsecas, como o intenso campo gravitacional, um aprofundamento do conceito de buraco negro só ocorreu após o advento da Teoria da Relatividade Geral, proposta por Albert Einstein (1879-1955), no final do ano de 1915. Poucos meses após a publicação da Relatividade Geral, no início de 1916, o astrônomo alemão Karl Schwarzschild (1873-1916) encontrou uma solução para as equações de



Einstein, descrevendo um campo gravitacional gerado na região exterior de fontes gravitacionais esféricas e sem rotação (SOARES, 2020). Neste trabalho, dada uma determinada massa, é previsto um raio crítico, denominado de raio de Schwarzschild, com a propriedade de que para um objeto com raio menor que ele, nada consegue escapar de sua atração gravitacional, nem mesmo a luz. Esta é a primeira solução exata obtida para as equações da Relatividade Geral (SCHWARZSCHILD, 1916). Os denominados Buracos Negros de Schwarzschild – estruturas que surgem nos limites da métrica desta solução – são os mais simples que existem, pois não tem momento angular nem carga elétrica (THORNE, 1994). Durante o colapso de uma estrela suficientemente massiva até tornar-se um Buraco Negro, os efeitos da Relatividade Geral são tão importantes que se tornam dominantes sobre todas as outras forças (PENROSE, 2002): neste processo de colapso, não há um estado de equilíbrio final e o corpo continua se contraindo até atingir uma singularidade física com raio nulo e, portanto, densidade, infinita (PENROSE, 1965).

Sendo M a massa do buraco negro, G a constante da gravitação universal e c a velocidade da luz, o raio de Schwarzschild pode ser definido como sendo $R_0=2GM/c^2$: assim o raio de um Buraco Negro cresce em proporção direta à sua massa (TYSON, 2016). O horizonte de eventos de um Buraco Negro é definido como sendo a superfície esférica de raio igual ao raio de Schwarzschild (ARCIDIACONO; GOMES; OLIVEIRA, 2017): ela separa dois mundos completamente diferentes, sendo que nós que estamos no mundo externo a um Buraco Negro, não podemos ter acesso a qualquer informação proveniente do seu interior. Por outro lado, quando visto de longe, um Buraco Negro se comporta como qualquer outro objeto massivo: por exemplo, hipoteticamente, se o Sol se transformasse instantaneamente em um buraco negro com a mesma massa que tem atualmente, a Terra continuaria com o mesmo movimento orbital em torno deste Buraco Negro.

A expressão Buraco Negro ("*Black Hole*" em inglês) foi cunhada em uma Conferência ocorrida em 1967, pelo astrofísico John Archbald Wheeler (1911-2008), para enfatizar o terrível destino do processo de colapso de



estrelas com massas grandes o suficiente (OVERBYE, 2008). Com certeza a escolha do nome foi feliz se a escala para a mensuração disso for o interesse despertado no público leigo pela expressão.

Os Buracos Negros são um tema complexo de astrofísica que pelas suas próprias características povoa o imaginário e a curiosidade de uma grande quantidade de pessoas (MARCHI; LEITE, 2013). Deste modo, eles podem ser usados para despertar a curiosidade, instigar a criatividade, estimular a imaginação e desenvolver a capacidade de abstração em torno de conceitos científicos com características contraintuitivas, como é o caso. Conceitos que são populares, como este, podem ser trabalhados educacionalmente para se tornarem um chamariz ou uma porta de entrada para o conhecimento científico em geral. Isto está em sintonia com pesquisas que indicam que temas de astronomia, astrofísica e cosmologia são considerados muito interessantes por estudantes da educação básica (FRÓES, 2013), o que é um fator que incentiva o estabelecimento de iniciativas envolvendo temas destas áreas para estimular o interesse por física e matemática.

A presença de buracos negros em muitos filmes e séries de ficção científica que fazem parte do universo cultural de uma grande quantidade de jovens é uma indicação da difusão deste conceito no público em geral. Um exemplo claro disso é o filme "Interestelar"³, lançado em 2014, no qual uma parte das cenas de ação se dá nas proximidades de um buraco negro (fictício) chamado Gargantua. Além das imagens de Gargantua serem realmente impactantes do ponto de vista artístico nessa obra cinematográfica, toda a ciência por trás da construção desta imagem foi feita a partir da consultoria realizada pelo físico Kip Thorne que escreveu um livro sobre este seu trabalho como consultor (THORNE, 2014) e que recebeu o Prêmio Nobel de Física de 2017 pela primeira detecção das ondas gravitacionais, em 2015, oriundas da fusão de dois buracos negros (ABBOTT *et al.*, 2016). Em uma cena deste filme de ficção científica há um diálogo

³ Mais informações sobre o filme "Interestelar" podem ser obtidas em: https://www.imdb.com/title/tt0816692/?ref_=fn_al_tt_1.



interessante em que um dos personagens afirma que os Buracos Negros na verdade são esferas e não círculos como normalmente aparece ilustrado em livros de astronomia (GHIZONI; NEVES, 2018): este pequeno trecho dessa obra cinematográfica, por exemplo, tem um bom potencial de uso didático, pelas reflexões que propicia.

ASPECTOS METODOLÓGICOS DA ATIVIDADE E DA PESQUISA

Este presente trabalho descreve e analisa uma atividade de divulgação científica envolvendo a temática dos Buracos Negros, que foi realizada para alunos de uma Escola Municipal de Ensino Fundamental, situada na região periférica do município de São Sebastião, situado no litoral norte paulista, em uma terça-feira do mês de maio de 2019, pela manhã. A atividade de divulgação científica realizada foi estruturada nas semanas precedentes. Esta foi a primeira apresentação realizada para os alunos nessa manhã, a qual se seguiram outras três apresentações sobre temas também relacionados à astronomia: cada uma dessas quatro apresentações durou aproximadamente entre 20 e 30 minutos. Os 40 alunos participantes, provenientes de turmas do 8º e do 9º ano do ensino fundamental, foram selecionados para assistir estas apresentações pelos seus professores a partir dos maiores interesses que tinham manifestado, anteriormente, acerca de temas das áreas das ciências naturais, em particular, dos conteúdos de astronomia, como os abordados nas apresentações.

A sala onde ocorreram as apresentações estava equipada com um computador (com o programa "PowerPoint" para exibição de apresentações), com um projetor *datashow* e com uma caixa de som ligada a um microfone. A projeção das imagens ocorreu na região do alto da parede branca situada na parte frontal da sala de aula. A luminosidade da sala de aula foi diminuída de modo que as imagens projetadas foram vistas com bastante nitidez. Além disso, as condições sonoras associadas tanto ao silêncio nas proximidades desta sala de aula durante as apresentações, quanto ao uso do microfone acoplado à caixa de som, foram bastante favoráveis à execução da atividade de forma similar à planejada.



Os materiais didáticos utilizados para a realização desta apresentação (tais como informações, gráficos, fotos, imagens, vídeos, simulações etc.) foram obtidos em larga margem na internet, mas também em livros de divulgação científica e em manuais didáticos. A pesquisa para a estruturação da ação foi realizada no âmbito do campus de Caraguatatuba do Instituto Federal de São Paulo (IFSP). Dentre alguns dos temas e conceitos abordados na apresentação estavam: a história do conceito de Buraco Negro; a relatividade e a deformação do espaço-tempo; a formação de um Buraco Negro a partir da queima de combustível de uma estrela suficiente grande e do seu colapso gravitacional; a estrutura de um Buraco Negro; os conceitos de singularidade e de horizonte de eventos; o denominado processo de espaguetificação que sofreria hipoteticamente uma pessoa que caísse verticalmente dentro de um Buraco Negro; os atributos do Buraco Negro Supermassivo existente no centro da Via Láctea; as características da primeira imagem feita de um Buraco Negro e a forma como ela foi elaborada.

A atividade foi realizada em maio de 2019, exatamente no mês seguinte à divulgação pela mídia da primeira imagem (ou foto) de um Buraco Negro, algo que ocorreu em 10 de abril de 2019 (CAIRES, 2019), de modo que este fato se tornou um dos eixos condutores da apresentação. A discussão sobre como essa imagem fora obtida tornou-se um elemento problematizador, uma situação-problema que foi apresentada e discutida com os alunos de modo a desafiá-los a expandir seus conhecimentos científicos e suas potencialidades (SANTANA; VALENTE; FREITAS, 2019). As imagens de Buracos Negros existentes anteriormente eram apenas concepções artísticas tentando representar o conceito em questão a partir de considerações teóricas envolvendo leis físicas, cálculos matemáticos, simulações computacionais e observações da vizinhança de um Buraco Negro, que por definição é invisível em todo o espectro eletromagnético, inclusive na faixa da luz visível (MATSUURA, 2020). A primeira tentativa de simular visualmente a imagem de um Buraco Negro foi feita 40 anos antes por Jean-Pierre Luminet (1979).



Estritamente falando, a expressão “imagem de um Buraco Negro” não pode ser encarada de modo inteiramente literal, pois o conceito de Buraco Negro remete a um objeto que não emite ou reflete qualquer tipo de radiação ou partícula, pois a sua velocidade de escape é maior que a velocidade da luz. Este paradoxo em certo sentido tornou ainda mais midiático o evento de divulgação da imagem pelo “*Event Horizon Telescope*”⁴, uma colaboração internacional para obter imagens de Buracos Negros usando telescópios espalhados em diferentes regiões da Terra e que por isso permite um grande poder de resolução e de detalhamento de imagens (THE EHT COLLABORATION *et al.*, 2019).

A radiação usada para a montagem da imagem do Buraco Negro não era constituída de luz visível, mas sim de ondas de rádio: trata-se, portanto, de um trabalho de radioastronomia (GUIMARÃES, 2019). A imagem foi elaborada a partir de sinais eletromagnéticos – ou seja, de fótons – provenientes da região situada nas proximidades do objeto que está localizado no centro da Galáxia M87 que, por sua vez está situada a uma distância de cerca de 55 milhões de anos-luz de nós. Esses sinais foram processados computacionalmente e, a partir disso, foi gerada a imagem divulgada pela imprensa. Portanto, a imagem divulgada não foi obtida por uma fotografia tirada de algo visto por um telescópio que atua na região da faixa do espectro da luz visível. Em certo sentido, a imagem divulgada mostra a sombra do Buraco Negro Supermassivo M87* que está situado na região central da galáxia M87 (NEVES, 2020).

Para fornecer dados e informações que pudessem subsidiar esta pesquisa, foi elaborado um questionário contendo questões fechadas (alternativas) e abertas (dissertativas). Este questionário (impresso em papel) foi disponibilizado aos participantes após a realização da atividade que é foco dessa presente investigação: a quantidade total de indivíduos que responderam a este questionário foi de N=40 alunos. Diante disso, para a realização da análise dos dados do presente questionário, foi utilizada a

⁴ Disponível em: <https://eventhorizontetelescope.org/>.



linguagem de programação Python juntamente com o método de Análise Exploratória de Dados (AED), que possibilitou compreender as concepções dos alunos e obter alguns "insights" a partir da determinação das características principais do conjunto de dados. Essa análise envolveu o exame das respostas dadas pelos alunos, para conseguir uma compreensão básica a respeito delas e sobre as relações existentes entre as variáveis analisadas. Na sequência, foram analisados as tabelas e os gráficos gerados com as porcentagens das respostas dadas, bem como as respostas escritas pelos alunos para as questões abertas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No início do questionário, que foi respondido por um número total de 40 alunos, foram feitas duas questões caracterizadoras da amostra aos respondentes para traçar o perfil dos alunos de acordo com o gênero e a idade. A Tabela 1 mostra a distribuição percentual dos alunos presentes na atividade de acordo com o gênero. Como os alunos foram selecionados pelos seus professores para participarem da atividade de acordo com os seus maiores interesses, sobretudo por áreas das ciências exatas, tais como física e astronomia, isto pode indicar que nesta faixa etária as alunas apresentam um interesse concreto por estas áreas, o que em algum sentido se opõe a tendência oposta de existência de uma maioria masculina em cursos universitários das áreas das ciências exatas, como é o que ocorre por exemplo no IFSP-Caraguatatuba no curso de Licenciatura em Física e no curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, onde as turmas de ingressantes sistematicamente apresentam uma quantidade significativamente maior de alunos que de alunas.

TABELA 1 - Distribuição das porcentagens dos alunos que responderam ao questionário de acordo com o gênero.

Gênero	Porcentagens
Feminino	70 %
Masculino	30 %
TOTAL	100 %

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).



No que diz respeito à idade, 90% dos alunos que responderam ao questionário têm 13 ou 14 anos de idade (Tabela 2), o que reflete o fato de eles estarem terminando a etapa de seus estudos no nível do ensino fundamental.

TABELA 2 - Distribuição das porcentagens dos alunos que responderam ao questionário por idade (em anos).

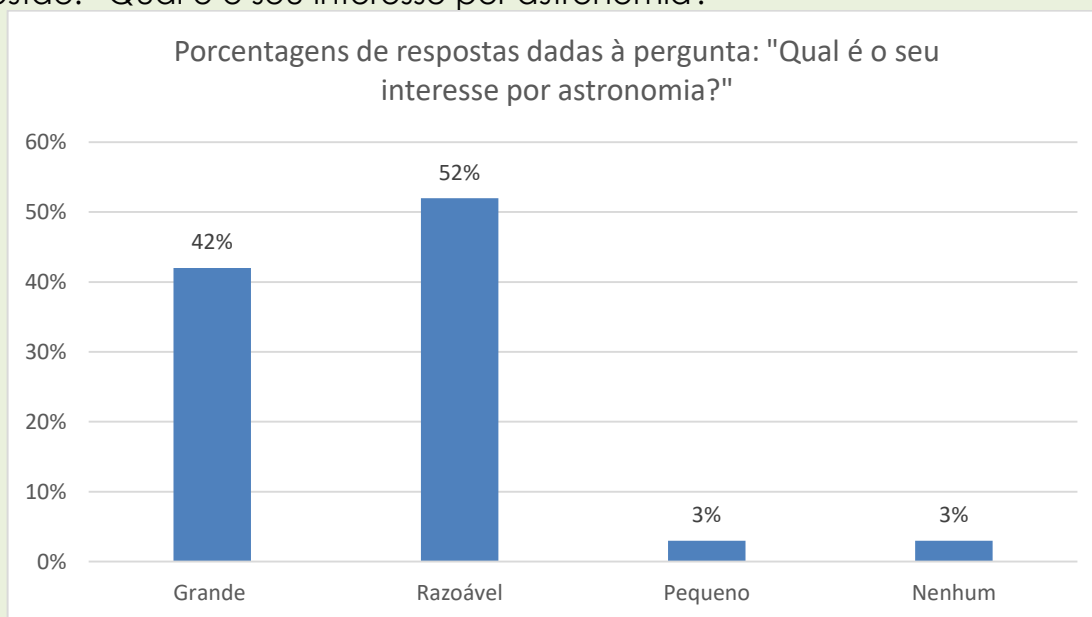
Idade em anos	Porcentagens
12 anos	3 %
13 anos	38 %
14 anos	52 %
15 anos	7 %
TOTAL	100 %

Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Uma primeira pergunta fechada indagou o respondente sobre qual o seu interesse por astronomia. Das quatro opções existentes (Grande/Razoável/Pequeno/Nenhum), 52% dos alunos afirmaram que tinham um razoável interesse por astronomia, enquanto 42% deles responderam que tinham um grande interesse por astronomia (Figura 1). Estes dados estão obviamente relacionados ao fato de que os alunos presentes na atividade foram selecionados pelos seus professores tendo como um dos critérios apresentarem maiores interesses pelas ciências exatas. Mas eles indicam que existe um interesse considerável pela astronomia em uma parcela dos alunos que concluem o ensino fundamental: esse é uma informação importante e que deve ser levado em consideração, por exemplo, por professores de física que lecionam para o primeiro ano do ensino médio.



FIGURA 1 - Gráfico com a distribuição das porcentagens das respostas para a questão: "Qual é o seu interesse por astronomia?"



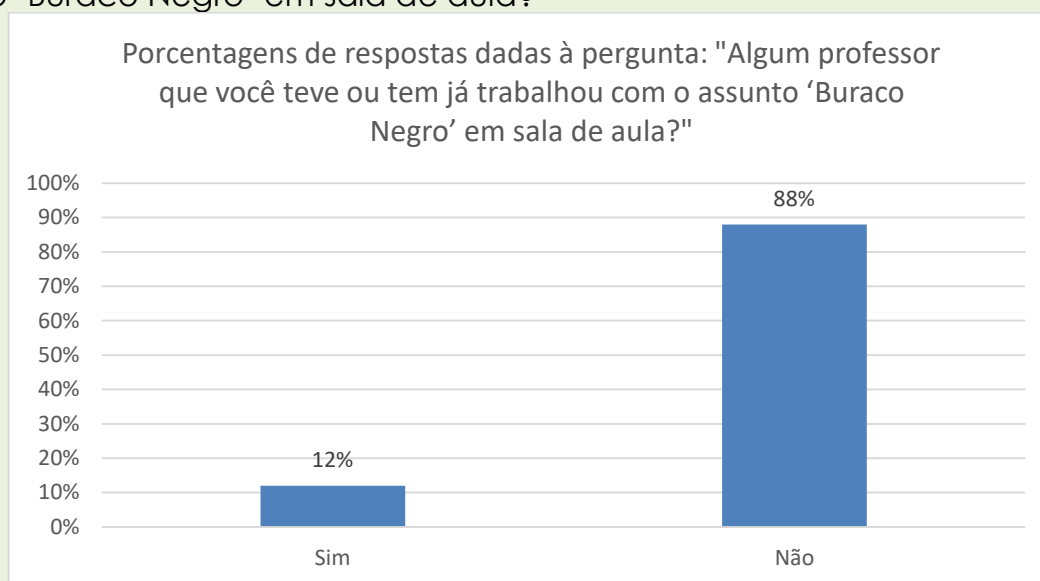
Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Uma segunda pergunta fechada indagou: "Algum professor que você teve ou tem já trabalhou com o assunto 'Buraco Negro' em sala de aula?". Consideráveis 88% dos alunos responderam que "Não" (Figura 2), o que indica que, possivelmente, esse ainda é um tema pouco explorado junto aos alunos no ensino fundamental. Em certo sentido, a existência de Buracos Negros – que são fatos do mundo da ciência – é uma das situações em que a realidade acaba sendo mais estranha que a ficção (HAWKING, 2016). Dada a presença deste assunto na mídia e até mesmo, por exemplo, em obras de ficção científica muito apreciadas pelos jovens, a curiosidade existente acerca dos Buracos Negros poderia "alavancar" positivamente um trabalho didático mais profundo acerca de temas de astronomia, astrofísica e cosmologia junto a alunos do ensino fundamental. Um dos motivos para que isso não esteja acontecendo, pode ser o fato de que, geralmente, devido à sua formação profissional em nível universitário, o professor da disciplina de ciências para o ensino fundamental não se sinta suficientemente capacitado acerca desta temática para decidir abordar este tópico em suas aulas. A área das ciências naturais é composta por conhecimentos de Física, Química e Biologia (SERRA, 2012). Para ilustrar, em



uma pesquisa publicada em 2020, no universo de uma rede pública municipal de ensino situada no sul do estado da Bahia, apenas cerca de um quinto (20 %) dos professores da disciplina de ciências naturais tinham formação adequada para ministrar conteúdos desta disciplina, sendo que a metade destes era formada em um curso de licenciatura em Ciências Biológicas. Portanto, os dados indicam que é raro um professor da disciplina de ciências naturais para o ensino fundamental ter aprendido, durante a sua formação profissional, conteúdos relacionados a áreas da astrofísica, em particular conteúdos relacionados ao estudo dos Buracos Negros (RIBEIRO; SEDANO, 2020).

FIGURA 2 - Gráfico com a distribuição das porcentagens das respostas para a questão: "Algum professor que você teve ou tem já trabalhou com o assunto 'Buraco Negro' em sala de aula?"



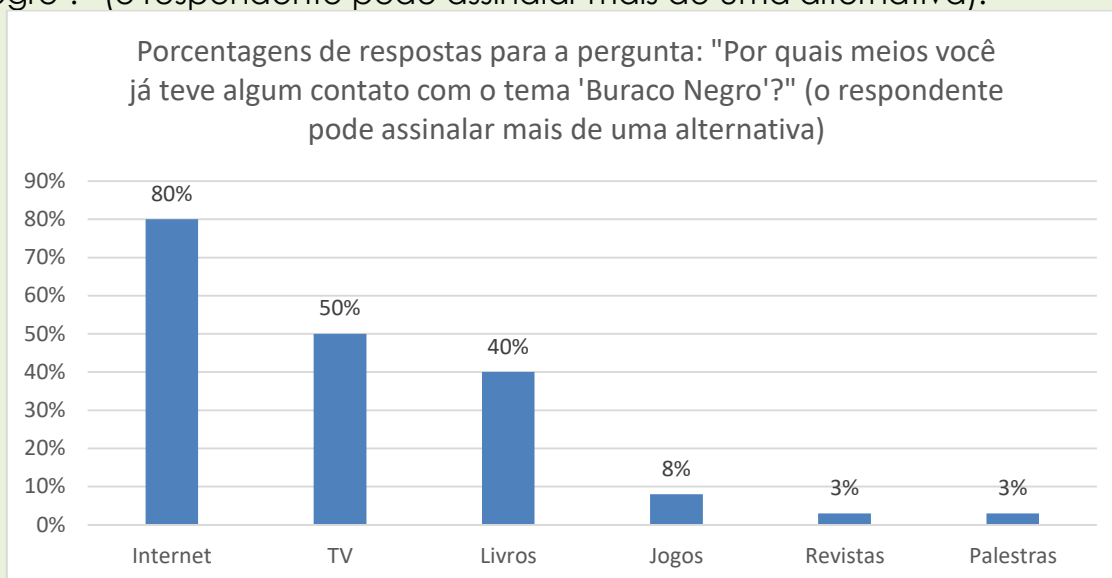
Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Uma terceira pergunta fechada indagou: "Por quais meios você já teve algum contato com o tema 'Buraco Negro'?" Nesta questão o respondente poderia assinalar mais de uma alternativa. É possível notar que o grande meio pelo qual os alunos têm acesso a informações sobre Buracos Negros – e outros assuntos científicos em geral – é a internet, com 80%, seguida pela TV, com 50%, e pelos livros, com 40 % (Figura 3). De fato, dados de pesquisas apontam que a esmagadora maioria dos alunos relata ficar on-



line diariamente, sobretudo por meio de smartphones, mas indicam também que eles têm uma dificuldade em julgar a credibilidade da informação que recebem online e que dispendem pouco tempo para avaliar a relevância, a precisão e autoria dos conteúdos que acessam, o que, na prática, tem propiciado oportunidades para a disseminação crescente de notícias falsas e de movimentos de negação da ciência (SOUZA, 2020). As habilidades para julgar a credibilidade e a solidez dos conteúdos acessados na internet precisam ser aprendidas e, portanto, há a necessidade de professores capacitados nesse quesito e que consigam colaborar na mediação entre a internet e os alunos de modo que eles consigam navegar com autonomia e de modo responsável pela sociedade da informação.

FIGURA 3 - Gráfico com a distribuição das porcentagens das respostas para a questão: "Por quais meios você já teve algum contato com o tema 'Buraco Negro'?" (o respondente pode assinalar mais de uma alternativa).



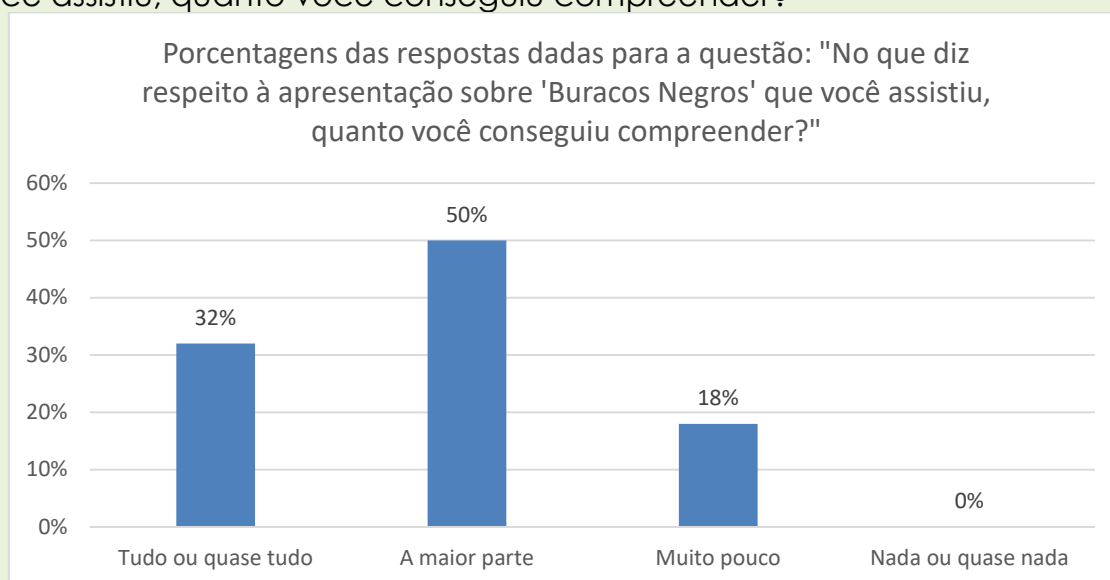
Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

Uma quarta pergunta fechada indagou: "No que diz respeito à apresentação sobre 'Buracos Negros' que você assistiu, quanto você conseguiu compreender?" As alternativas possíveis de serem assinaladas eram: "Tudo ou quase tudo"; "A maior parte"; "Muito pouco"; "Nada ou quase nada". Mais de quatro quintos dos alunos responderam de modo positivo a esta resposta, com 32% deles assinalando "Tudo ou quase tudo" e



50 % assinalando “A maior parte” (Figura 4). O resultado das respostas dadas a estas questões foi positivo, sobretudo tendo em vista a complexidade do conceito de Buraco Negro, em particular considerando-se que o público era constituído de alunos dos anos finais do ensino fundamental, entretanto é importante ressaltar a complexidade do processo de autoavaliação acerca da aprendizagem de um tópico específico, pois está relacionado à capacidade do aluno em analisar os seus próprios processos de pensamento e aprendizagem (CARVALHO; MARTINEZ, 2005): de maneira geral, é instrutivo que os alunos sejam encorajados a desenvolverem capacidades de autoavaliação, pois isso pode colaborar efetivamente para o processo de autoformação deles próprios.

FIGURA 4 - Gráfico com a distribuição das porcentagens das respostas para a questão: “No que diz respeito à apresentação sobre ‘Buracos Negros’ que você assistiu, quanto você conseguiu compreender?”



Fonte: Elaborada pelos autores (2021).

A quinta pergunta fechada foi: “Você sabe qual tipo de estrela que pode se transformar em um Buraco Negro?” Apenas 25 % dos alunos responderam assinalando a alternativa “Sim”. Para estes alunos que responderam afirmativamente, era feita a pergunta aberta: “Qual tipo?” O Quadro 1 apresenta algumas das respostas escritas pelos alunos que responderam que sabiam qual tipo de estrela poderia se transformar em um



Buraco Negro. Certos alunos compreenderam que a possibilidade de uma estrela poder vir a se transformar em um buraco negro depende da sua massa ser grande o suficiente, mas ocorreram respostas equivocadas cientificamente daqueles alunos que entenderam que todas ou quase todas as estrelas no final da sua “vida” acabam por se transformar em Buracos Negros.

QUADRO 1 - Algumas das repostas dadas à pergunta “Qual tipo?” para os alunos que responderam afirmativamente que sabiam qual tipo de estrela poderia se transformar em um Buraco Negro.

Sim, uma estrela supermassiva.
Sim, as que tem mais massa.
Sim, estrelas com dimensões 4x maior do que o Sol.
Sim, as que perdem o brilho.
Sim, quase todas
Sim, todas no tempo certo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A sexta pergunta fechada foi: “Você sabe onde está o Buraco Negro Supermassivo mais próximo da Terra?” Apenas cerca de 22 % dos alunos responderam assinalando a alternativa “Sim”. Para estes alunos que responderam afirmativamente, era feita a pergunta aberta: “Onde?” O Quadro 2 apresenta algumas das respostas escritas pelos alunos que responderam que sabiam onde estaria o Buraco Negro Supermassivo mais próximo da Terra. A maioria dos alunos que respondeu por escrito esta questão afirmou corretamente que o Buraco Negro Supermassivo mais próximo de nós estaria no centro da nossa galáxia (a Via Láctea), entretanto uma resposta afirmou que ele estaria a uma distância de bilhões de anos-luz de nós, o que não condiz com os dados científicos consolidados de que a distância de que estamos do centro da Via Láctea é aproximadamente 8 kpc (oito kiloparsecs) ou algo da ordem de 26 mil anos-luz (MAJAESS, 2010).



QUADRO 2 - Algumas das repostas dadas à pergunta “Onde?” para os alunos que responderam afirmativamente que sabiam onde estaria o Buraco Negro Supermassivo mais próximo da Terra.

Sim, no centro da galáxia.
Sim, na Via Láctea (Sargitarius A*)
Sim, no meio da galáxia.
Sim, no centro da galáxia.
Sim, a bilhões de anos-luz.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na sequência foram feitas duas perguntas abertas. A primeira pergunta aberta foi: “Você consegue explicar com suas palavras em no máximo duas linhas o que é um Buraco Negro?” Cerca de 82 % dos alunos responderam esta questão, enquanto os outros 18% deixaram o espaço para a resposta em branco. O Quadro 3 apresenta algumas das repostas dadas pelos participantes. Dentre as formas utilizadas para explicar e caracterizar o conceito de buraco negro, podem ser destacadas ideias ou expressões: explosão; morte; diminuição do tamanho; perda de brilho; contração; colapso; supermassivo; campo gravitacional forte; algo que suga; algo que rasga o espaço; gravidade que puxa qualquer massa. Todas essas repostas estão no sentido correto em termos da explicação científica consolidada para a noção de buraco negro, mas ocorreram também algumas repostas dissonantes como por exemplo a afirmação de que é a força do magnetismo a responsável pela formação de uma estrela; há indicações de que muitos alunos mais jovens confundem as forças gravitacionais e magnéticas, até porque ambas são forças que agem à distância⁵. Vários estudantes mais jovens parecem não ver a necessidade de discriminar entre as forças magnética, elétrica e gravitacional, considerando-as todas diferentes manifestações do mesmo tipo de força invisível que não são de contato e que usualmente são consideradas apenas atrativas⁶.

⁵ Disponível em: <https://spark.iop.org/differentiating-between-gravity-and-magnetism#gref>.

⁶ Disponível em:

<https://www.education.vic.gov.au/school/teachers/teachingresources/discipline/science/continuum/Pages/magnetism.aspx>.



QUADRO 3 - Algumas das repostas dadas à pergunta “Você consegue explicar com suas palavras em no máximo duas linhas o que é um Buraco Negro?”

É uma estrela que perdeu o seu “combustível” e diminuiu de tamanho, mas não perdeu a sua massa.
É uma estrela que diminuiu de tamanho, mas não perdeu sua massa.
O Buraco Negro é uma ex estrela que perdeu o seu tamanho, mas ainda tem a sua massa.
Buraco Negro é uma estrela que morreu.
Algo que suga tudo, uma estrela que explodiu e se transformou em um buraco negro.
Uma estrela que perdeu o brilho.
O buraco negro é um ser celeste.
Uma supermassiva morta.
Buraco Negro é o corpo com maior densidade existente, capaz de sugar tudo que encontra.
Buraco Negro é uma ex estrela que se contraiu e virou uma estrela pequena, mas com massa de uma estrela normal.
Uma massa tão pesada que “rasga” o espaço e com um campo gravitacional muito forte.
É uma estrela que perdeu a sua “força” e se colapsou.
É uma estrela que explode e só muda de tamanho.
É uma estrela que morreu e diminuiu, mas não perdeu a sua massa.
Uma estrela que “morreu” e que sua massa ainda tem uma gravidade que puxa qualquer tipo de massa no espaço.
Uma estrela que com a força de seu magnetismo, perdeu sua massa, mas não perdeu seu peso.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A segunda pergunta aberta foi: “Qual você acha que é o aspecto mais fascinante no estudo do Buracos Negros?” Neste caso 75% dos alunos responderam a essa questão. O Quadro 4 apresenta algumas das repostas dadas pelos participantes. Certos aspectos da apresentação chamaram a atenção de alguns alunos, em especial: o processo de formação de buracos



negros; o fato de que eles “sugam” massas ao seu redor; o fato de que aquilo que entra em um buraco negro não conseguir sair mais dele; as cores nas representações; a ciência envolvida; o fato de ser uma estrela morta; o intenso campo gravitacional existente; o processo de espaguetificação.

QUADRO 4 - Algumas das repostas dadas à pergunta “Qual você acha que é o aspecto mais fascinante no estudo do Buracos Negros?”

A parte em que a estrela diminui seu tamanho.
As analogias com lençóis.
A estrela morta que conseguimos ver.
A distorção do espaço tempo.
A imensidão do universo.
A estrutura de um Buraco Negro.
De ser uma estrela morta que conseguimos ver.
A ciência.
As cores.
O campo gravitacional.
Saber para onde vão as coisas que conseguem passar por ele.
O fato de sua massa estar comprimida e mesmo assim ele ter uma gravidade absurda.
Tudo.
A aparência.
A luz vermelha.
A parte que suga.
Quando algo entra no Buraco negro e não sai mais.
Que suga todas as coisas, por isso ninguém consegue chegar.
Como as estrelas se tornaram um Buraco Negro.
Como se pode conseguir achar outros buracos negros.
O fato de sermos puxados por ele, e virarmos um espaguete.
O fato de sermos puxados por ele.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Com base nos resultados obtidos por este trabalho, a análise exploratória dos dados evidenciou que a internet parece ser a mídia mais



importante que é usada pelos alunos para acessar informações sobre tópicos científicos. Um detalhe que merece destaque foi a presença maior de meninas não somente nesta atividade de divulgação da ciência em específico, mas também em outras atividades de divulgação científica similares realizadas pelos autores deste artigo para alunos de outras escolas de educação básica do litoral norte paulista. A apresentação dialogou com esta realidade ao enfatizar a importância das mulheres para o desenvolvimento da astrofísica, por exemplo, destacando o papel de destaque da pesquisadora Katie Bouman como criadora do algoritmo usado para a obtenção da primeira imagem de um Buraco Negro em 2019 (ANDRADE *et al.*, 2020).

Buracos Negros, em geral, são conhecidos por muitos jovens devido a forma recorrente com que estes corpos celestes aparecem em muitos filmes de ficção científica, por exemplo. Essa apresentação apontou que há um possível interesse de muitos jovens por um maior conhecimento de caráter científico acerca do conceito de Buraco Negro e de outros tópicos da astronomia e da astrofísica associados. Sendo assim, é importante ressaltar o importante papel da divulgação científica, como uma possível ferramenta que pode colaborar para a apresentação inicial de conceitos científicos para alunos do Ensino Fundamental, visto que, na amostra dessa presente pesquisa, uma quantidade pequena dos estudantes de ensino fundamental investigados teve algum contato prévio com o tema dos Buracos Negros em sala de aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Divulgação Científica é importante sob vários aspectos, dentre eles a possibilidade de conseguir atrair a atenção e o interesse do público leigo, em especial de alunos da educação básica, para temas científicos que não são muito trabalhados nas etapas de escolarização básicas pelas quais os cidadãos passam durante a infância e a adolescência. Isso pode ajudar a valorizar a ciência e o trabalho realizado por cientistas, bem como colaborar para que se estabeleça uma compreensão mais próxima da realidade, pelo



público leigo, sobre a forma pela qual a pesquisa científica acontece na prática.

A realização da apresentação audiovisual sobre Buracos Negros que é investigada neste presente artigo apontou para a importância de incorporar elementos da História da Ciência e aspectos sociais envolvidos no desenvolvimento de novos conhecimentos científicos e tecnológicos pela humanidade (SANTOS; HALMENSCHLAGER, 2021): o trabalho didático envolvendo os aspectos históricos sobre como um conceito científico foi desenvolvido podem ajudar consideravelmente na compreensão das características e propriedades do conceito científico em questão. A história envolvida na construção do conceito de Buraco Negro pode ajudar a tornar evidente a importância que o questionamento tem para a produção de novos conhecimentos no âmbito da ciência e para destacar como a atitude de propor boas perguntas por parte dos cientistas é algo fundamental na engrenagem do método científico (SILVA; FERREIRA; VIERA, 2017).

A investigação sobre a atividade de divulgação científica realizada indicou que o estudo de Buracos Negros permite interrelacionar diferentes áreas da Física, algo que pode colaborar para que o desenvolvimento de uma visão mais ampla sobre quais são os princípios físicos de caráter mais geral que regem o universo. Por exemplo, a partir do estudo da dinâmica de Buracos Negros é possível concluir que a área do horizonte de eventos não pode diminuir, algo que é análogo ao que acontece com a entropia na Segunda Lei da Termodinâmica (HOOFT, 2009).

Os Buracos Negros são objetos intrigantes caracterizados por possuírem uma superfície de não retorno (LIMA JUNIOR *et al.*, 2021), que delimita uma região do espaço de onde nada pode escapar, nem mesmo a luz, daí a presença da palavra “negro” no nome “buraco negro”. A atração de muitas pessoas por este conceito ocorre em parte por essa característica proibitiva, que pode ser entendida facilmente, mas que ao mesmo tempo apresenta alguns aspectos contraintuitivos. A investigação desenvolvida nesse artigo apontou, pelos resultados e impactos da atividade de divulgação científica realizada, que o conceito de Buraco Negro pode de fato ser usado como



um eixo temático que ao mesmo tempo atrai a atenção de uma quantidade significativa dos alunos, bem como permite uma articulação entre diferentes áreas da Física (Mecânica Clássica, Termodinâmica, Relatividade etc.) e uma abordagem que esteja permeada pela História da Ciência.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSP pelo fomento concedido para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, B. P. *et al.* Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. **Physical Review Letters**, 116, 061102, 2016. Disponível em: <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.116.061102>. Acesso em: 22 jul. 2021.

ANDRADE, E. de L. P. *et al.* Katie: saindo do buraco negro e impulsionando as meninas para a computação. **Anais do XIV Women in Information Technology (WIT)**, 2020. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wit/article/view/11302>. Acesso em: 28 jul. 2021.

ARCIDIACONO, G; GOMES, D.; OLIVEIRA, E. Capelas de. **Mecânica, Gravitação e Cosmologia: Uma breve introdução**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

CAIRES, L. Dia histórico para a ciência: revelada a primeira imagem de Buraco Negro. **Jornal da USP**, 10/04/2019. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/dia-historico-para-a-ciencia-revelada-a-primeira-imagem-de-buraco-negro/>. Acesso em: 23 jul. 2021.

CARVALHO, L. M. O. de; MARTINEZ, C. L. P. Avaliação formativa: a autoavaliação do aluno e a autoformação de professores. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 133-144, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/KM5pNgvBFLwHGCHsxdqwn6w/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

COUPER, H.; HENBEST, N. **A história da astronomia**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.



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 jul. 2021.

GHIZONI, H. S.; NEVES, M. C. D. Interstellar: A relatividade na ficção científica e o ensino de física. **Olhar de Professor**, Ponta Grossa, v. 21, n. 2, p. 289-310, 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ff79/6bb79356515b03bd162da0f8169df2207859.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2021.

GUIMARÃES, H. R. E a fotografia do Buraco Negro, hein? Aliás, foto? **Prometeica - Revista de Filosofia y Ciencias**, n. 19, p. 93-100, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/prometeica/article/view/9629/7022>. Acesso em: 25 jul. 2021.

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

HOOFT, G. **Introduction to the theory of black holes**. Utrecht, Netherlands: Utrecht University, 2009. Disponível em: https://webpace.science.uu.nl/~hooft101/lectures/blackholes/BH_lecturenotes.pdf. Acesso em: 26 jul. 2021.

LIMA JUNIOR, H. C. D. *et al.* Sombras de buracos negros: desvendando a física por trás da imagem de M87. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20200232, 2021. Disponível em: . Acesso em: 29 jul. 2021.

LOBO, M. P. No interior do horizonte de um buraco negro de Schwarzschild. **Revista Physicae**, v. 6, n. 1, 2006. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/physicae/article/view/13438>. Acesso em: 28 jul. 2021.

LUMINET, J.-P. Image of a spherical black hole with thin accretion disk. **Astronomy and Astrophysics**, v. 75, p. 228-235, 1979. Disponível em: http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-article_query?1979A&A....75..228L&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf. Acesso em: 23 jul. 2021.

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://www.scielo.br/j/rbef/a/sf3PwZCcX8Myn8WMjtLqSxC/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.



MAJAESS, D. J. **Concerning the Distance to the Center of the Milky Way and its Structure**. ArXiv, 2010. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1002.2743.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2021.

MARCHI, F.; LEITE, C. Uma possibilidade de leitura no ensino de física: O tema Buracos Negros através de um livro de divulgação científica. **Atas do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**, São Paulo, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336899625_UMA_POSSIBILIDADE_DE_LEITURA_NO_ENSINO_DE_FISICA_O_TEMA_BURACOS_NEGROS_ATRAVES_DE_UM_LIVRO_DE_DIVULGACAO_CIENTIFICA. Acesso em: 25 jul. 2021.

MATSUURA, O. T. A primeira imagem de um Buraco Negro. **Cadernos de Astronomia**, v. 1, n. 1, p. 52-82, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/astromia/article/view/31781/21244>. Acesso em: 27 jul. 2021.

NEVES, J. C. S. O buraco negro e sua sombra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20200216, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/MNc6M6njv79NbCcbLjBW9HB/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

NUNES, I. R. de S. **A imagem de um buraco negro: um estudo das geodésicas tipo-luz no espaço-tempo de Schwarzschild**. 2021. 72f. Monografia (Bacharelado em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/22383/1/Isabella%20Ramos%20de%20Souza%20Nunes.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.

OVERBYE, D. John A. Wheeler, Physicist Who Coined the Term 'Black Hole,' Is Dead at 96. **The New York Times**, April 14, 2008. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2008/04/14/science/14wheeler.html>. Acesso em: 22 jul. 2021.

PENROSE, R. Gravitational collapse and space-time singularities. **Physical Review Letters**, v. 14, n. 3, p. 57-59, 1965. Disponível em: <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.14.57>. Acesso em: 24 jul. 2021.

PENROSE, R. Gravitational Collapse: The Role of General Relativity. **General Relativity and Gravitation**, v. 34, n. 7, p. 1141-1165, 2002. Disponível em: http://old.phys.huji.ac.il/~barak_kol/Courses/Black-holes/reading-papers/PenroseSing2.pdf. Acesso em: 28 jul. 2021.

RIBEIRO, A.; SEDANO, L. Formação docente: o perfil dos professores de ciências dos anos finais do ensino fundamental. **Revista Prática Docente**, v. 5, n. 2, p. 1234-1255, 2020. Disponível em:



<http://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/796>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SANTANA, E. B.; VALENTE, J. A. da S.; FREITAS, N. M. da S. Metodologia da problematização: o uso de situações-problema no ensino de astronomia. **Revista Exitus**, v. 9, n. 1, p. 175-201, 2019. Disponível em: <http://www.ufopa.edu.br/portaldeperiodicos/index.php/revistaexitus/article/view/720>. Acesso em: 25 jul. 2021.

SANTOS, W. G. dos; HALMENSCHLAGER, K. R. Divulgação científica e visões deformadas sobre o trabalho científico: contribuições para o ensino de física a partir de análise de textos jornalísticos. **Revista Insignare Scientia - RIS**, v. 4, n. 4, p. 181-202, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/11800>. Acesso em: 28 jul. 2021.

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: 23 jul. 2021.

SERRA, H. Formação de professores e formação para o ensino de ciências. **Educação e Fronteiras On-Line**, v. 2, n. 6, p.24-36, 2012. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/educacao/article/viewFile/2165/1242>. Acesso em: 27 jul. 2021.

SILVA, A. F.; FERREIRA, J. H.; VIERA, C. A. O ensino de Ciências no ensino fundamental e médio: reflexões e perspectivas sobre a educação transformadora. **Revista Exitus**, v. 7, n. 2, p. 283-304, 2017. Disponível em: <http://www.ufopa.edu.br/portaldeperiodicos/index.php/revistaexitus/article/view/314>. Acesso em: 23 jul. 2021.

SOARES, D. De Schwarzschild a Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20190262, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/JpqMGth8HhLv5fb5QqyYJKg/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2021.

SOUZA, Ni. F. M. L. de. **eHealth Literacy entre jovens**: estudo exploratório sobre o papel das condições socioeconômicas no uso da informação sobre saúde na Internet. 2020. 195 f. Mestrado (Dissertação em Ciências) – Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde – ICICT, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/44437/2/nicole_souza_icict_mest_2020.pdf. Acesso em: 29 jul. 2021.

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: 27 jul. 2021.

THORNE, K. S. **Black Holes and Time Warps**: Einstein's Outrageous Legacy. New York: W.W. Norton & Company, 1994.

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

TYSON, N. de G. **Morte no Buraco Negro e outros dilemas cósmicos**. São Paulo: Planeta, 2016.

Recebido em: 30 de julho de 2021.
Aprovado em: 03 de março de 2022.
Publicado em: 17 de junho de 2022.

