

Exoplanetas no ensino de física e astronomia

RESUMO

Ryan Nepomuceno Montemor
montemor.n@aluno.ifsp.edu.br
[0000-0003-0020-388X](https://doi.org/10.0000-0003-0020-388X)
Instituto Federal de São Paulo,
Caraguatatuba, São Paulo, Brasil.

Ricardo Roberto Plaza Teixeira
rteixeira@ifsp.edu.br
[0000-0001-7124-1774](https://doi.org/10.0000-0001-7124-1774)
Instituto Federal de São Paulo,
Caraguatatuba, São Paulo, Brasil.

Este artigo tem como objetivo investigar atividades de ensino de Física e de divulgação científica tendo como eixo temático principal o estudo de exoplanetas, planetas pertencentes a um sistema estelar distinto do nosso sistema solar. A fundamentação teórica do projeto envolveu a leitura e fichamento de artigos, livros, teses e dissertações voltados para os temas desta pesquisa. Durante a investigação, foram elaborados e avaliados, em diferentes situações, materiais didáticos a respeito de exoplanetas, em um trabalho interdisciplinar que articulou áreas como Física, Astronomia, Biologia, Química e Matemática. Em especial, foram analisadas as potencialidades do software “Exoplanet Transit Hunt” como recurso didático para o ensino de conceitos de Física associados ao estudo de exoplanetas. As apresentações de cunho audiovisual e as oficinas didáticas sobre exoplanetas envolveram o uso de vídeos, simulações, experimentos, explicações teóricas e a proposição de desafios associados a problemas reais. As propostas foram estruturadas com o intuito de serem motivadoras para o estudo das Ciências Naturais. Em algumas das atividades realizadas, um questionário, com perguntas acerca dos temas abordados, foi respondido por um número total de 113 alunos que participaram destas ações. Os dados obtidos foram apresentados em gráficos e tabelas que permitiram compreender as percepções e concepções que os estudantes têm sobre exoplanetas e a disciplina de Astronomia, de modo geral. As ações evidenciaram o grande interesse dos alunos pelo estudo de temas de Astronomia, bem como a importância de práticas educacionais que envolvam atividades investigativas desafiadoras e similares aquelas realizadas pelos cientistas.

PALAVRAS-CHAVE: Educação Científica. Simulação. Astrofísica.

INTRODUÇÃO

Este artigo procura investigar ações educacionais sobre o tema dos exoplanetas – tanto apresentações curtas de divulgação científica, quanto oficinas didáticas mais longas – que foram realizadas em 2018 e em 2019 junto a estudantes com diferentes graus de escolaridade. Essa pesquisa se justifica pela quantidade crescente de exoplanetas que foram descobertos desde os anos 1990, bem como pela forma intensa com a qual a mídia noticia a respeito dessas descobertas, muitas vezes, por veículos que atingem especialmente os alunos em idade escolar. A possibilidade que esse tema tem em contextualizar conceitos de Física sobre os quais os alunos estudam durante a sua formação pode colaborar para que o processo de aprendizagem ocorra de modo mais pleno. A potencialidade em despertar o interesse dos alunos por áreas das Ciências Naturais é uma outra justificativa para a abordagem dessa temática no ambiente educacional. A hipótese com a qual trabalhamos, desde o início, é que o uso do estudo de exoplanetas junto a alunos pode colaborar para estimular o interesse por áreas da Física, inclusive ajudando na aprendizagem de conceitos científicos associados a essas áreas.

Exoplanetas são planetas extrassolares, ou seja, planetas que não estão orbitando o nosso Sol, mas sim outras estrelas. Em 1995, ocorreu o primeiro relato de detecção de um exoplaneta orbitando uma estrela similar ao Sol, pelo método da velocidade radial (MAYOR; QUELOZ, 1995; AMORIM; SANTOS, 2017). Alguns anos antes, em 1991, sinais de rádio de um pulsar já tinham fornecido evidências sobre a existência de um planeta fora do nosso sistema solar, mas neste caso específico, orbitando uma estrela de nêutrons (WOLSZCZAN; FRAIL, 1992) que tem propriedades diferentes do Sol. Atualmente, no início da terceira década do século XXI, já foram detectados algo da ordem de milhares de exoplanetas até o presente momento. Os dois principais métodos usados para a detecção de exoplanetas são a técnica por velocidade radial (usando o efeito Doppler) e a técnica por trânsito planetário em frente à estrela hospedeira.

A técnica de detecção por velocidade radial (também conhecido como método da espectroscopia Doppler) baseia-se em analisar o sistema “estrela-planeta”: após identificar seu centro de massa, por meio do Efeito Doppler, é possível detectar o desvio das linhas espectrais para o azul, quando a estrela se aproxima do observador terrestre, ou para o vermelho, nos momentos em que a estrela se afasta da Terra. A detecção de exoplanetas, neste caso, guarda semelhanças com a caracterização de estrelas binárias (WRIGHT; GAUDI, 2012). A aplicação das leis de conservação da Física requer que, conforme um planeta orbite uma estrela, a estrela execute uma órbita oposta menor em torno de seu centro de massa comum: na verdade, estritamente falando, o planeta e a estrela estão orbitando em torno do centro de massa do sistema estrela-planeta, mas como a massa da estrela é geralmente muito maior que a massa do planeta, o centro de massa está bem próximo do centro da estrela. O tamanho (e velocidade) da órbita da estrela é menor do que a da órbita do planeta pelo fator da proporção de suas massas. A componente deste movimento ao longo da linha de visão da Terra pode, em princípio, ser detectada como uma velocidade radial variável. Portanto, este método de detecção procura minúsculos movimentos para trás e para frente da estrela central, devido à mudança de direção da atração gravitacional de um exoplaneta (invisível) em órbita. Devido ao efeito Doppler, se a estrela está se movendo em nossa direção, seu espectro é desviado para o azul, e para o

vermelho, correspondentemente, quando ela se afasta de nós. Ao procurar este tipo de mudanças regulares no espectro de uma estrela, os efeitos periódicos devido à influência de um planeta companheiro da estrela podem ser vistos e a existência deste exoplaneta é então determinada: as variações observadas estão relacionadas com as massas dos planetas que estão orbitando a estrela (TEIXEIRA, 2016).

Por sua vez, a técnica de detecção de trânsito planetário somente pode ser aplicada quando o plano orbital do planeta tem algum alinhamento com nossa linha de visão, ou seja, para uma pequena porcentagem de exoplanetas que obedecem a essa condição geométrica e espacial na sua posição em relação aos seres humanos que observam estes sistemas a partir da Terra: assim que o planeta passa na frente da estrela eclipsando-a parcialmente, é detectada uma diminuição de brilho correspondente da estrela. Pela técnica de fotometria diferencial, segundo a qual, o processamento da imagem é usado para comparar a mudança relativa no brilho entre um alvo e estrelas de referência da mesma imagem (COWLEY; HUGHES, 2014), é possível medir a flutuação na luminosidade da estrela durante o trânsito, que é pequena, normalmente da ordem de um por cento: o princípio é o mesmo de um eclipse solar, pois quando a Lua passa na frente do Sol, a intensidade da luminosidade solar é reduzida em uma quantidade apreciável. Este é um método indireto de detecção, pois a queda da intensidade da luz implica na presença do planeta. Como o plano de órbita deve estar paralelo à linha de visão a partir da Terra, isto limita as chances de observar um trânsito (GEORGE, 2011).

Em 1999 o primeiro planeta em trânsito foi observado - em torno de HD 209458 (CHARBONNEAU *et al.*, 2000). A observação de trânsitos planetários extrassolares tem se tornado cada vez mais popular. O “Kepler Space Telescope” lançado ao espaço em 2009 forneceu dados que permitiram a descoberta de muitos exoplanetas pelo método de trânsito (GOULD *et al.*, 2015). Mas hoje, mesmo com telescópios com configurações instrumentais modestas e instalados em regiões com poluição luminosa, é possível obter dados satisfatórios de trânsito planetário ocorrendo em estrelas brilhantes (SILVA; ROBERTO JUNIOR; ALVES, 2020). Por meio da técnica de trânsito é possível evidenciar a existência do exoplaneta e, inclusive, calcular o tamanho do planeta a partir da curva de luz proveniente da estrela. Quando este dado é combinado com o valor de sua massa, obtida por meio do Efeito Doppler, é possível estimar a densidade do planeta em questão (SANTANA, 2011). O método do trânsito é responsável por cerca de 23% das detecções dos exoplanetas conhecidos até o momento (SANTOS; AMORIM, 2017). Os métodos da velocidade radial e do trânsito planetário foram os responsáveis pela descoberta da maioria dos exoplanetas até hoje, mas ambos levam ao viés observacional que favorece a detecção de planetas que estejam próximos da estrela hospedeira.

Nos casos em que dois ou mais planetas orbitam uma mesma estrela, as massas e os raios de cada planeta podem ser estimados, permitindo determinações da densidade para todos eles. Neste caso, a técnica do tempo de trânsito planetário pode ser um método para estimar a massa, o raio e a densidade dos planetas com massa da ordem da massa terrestre (HOLMAN; MURRAY, 2005). Uma ferramenta útil para pesquisadores que estudam exoplanetas é o “*Exoplanet Transit Follow-Up Tool*”¹ que permite planejar observações prevendo quando ocorrerá o tempo de trânsito de cada exoplaneta em torno de sua estrela

hospedeira, em um futuro próximo, como, por exemplo, nos 30 dias seguintes ao uso da ferramenta (ROBSON, 2020).

Além dos dois principais métodos de detecção apresentados anteriormente, há alguns outros métodos de detecção. A detecção por “Imagem Direta” (“*Direct Imaging*”), por exemplo, consiste na observação direta, o que possibilita uma melhor análise da composição da atmosfera do exoplaneta observado devido às linhas espectrais que podem ser avaliadas a partir do espectro de luz emitido pelo planeta, podendo-se chegar a importantes parâmetros físico-químicos (MARTINS, 2013). Este, pelas suas características, é considerado um dos métodos mais difíceis de detectar exoplanetas.

Uma outra técnica para descobrir exoplanetas tem como base a Teoria da Relatividade de Einstein, que afirma que o trajeto de uma luz é alterado quando esta interage com o espaço-tempo gerado pela massa de um objeto situado no caminho da luz até os nossos olhos. No caso de um sistema estrela-planeta, esta técnica pode ser usada quando a luz de uma estrela mais distante atravessa o campo gravitacional do sistema estelar com um exoplaneta: um efeito de “focalização” é produzido devido à concentração de massa entre a fonte luminosa e o observador e desta forma a convergência da luz será maior para um sistema-planeta em comparação com a situação quando não existe a presença de um planeta. A Relatividade Geral descreve este fenômeno ao relacionar a distância entre o observador e a lente, a distância entre a lente e a fonte e a distância entre o observador e a fonte (ALMEIDA, 2017). Como este efeito de lente gravitacional - decorrente da atração gravitacional de um grande objeto que dobra a luz de objetos distantes – atua sobre a radiação da fonte que está mais distante, esta técnica pode ser usada para estudar objetos intervenientes que emitem pouca ou nenhuma luz, como exoplanetas orbitando estrelas. Se a massa em primeiro plano a ser estudada está associada a uma estrela que hospeda um planeta, então a curva de luz amplificada da estrela situada ao fundo conterá um pico lateral adicional: o tamanho e a forma deste pico secundário dependerão da massa e da distância do planeta em relação à estrela hospedeira.

A presença de um planeta orbitando uma estrela afeta o tempo dos sinais regulares emitidos pela própria estrela: este fenômeno pode ser usado para detectar planetas em torno de um pulsar, uma estrela de nêutrons. Pulsares emitem ondas de rádio com uma extrema regularidade enquanto giram, criando um feixe pulsado periodicamente, como um farol. Se um planeta em órbita perturba o movimento da estrela, então o tempo do feixe é também afetado, o que possibilita que exoplanetas nesta situação sejam detectados. Como a rotação intrínseca de um pulsar é extremamente regular, pequenas anomalias no tempo de seus pulsos de rádio observados podem ser usadas para rastrear o movimento do pulsar. Como uma estrela comum, um pulsar se moverá em sua própria pequena órbita em torno do centro de massa do sistema se ele se tiver um planeta. Cálculos baseados em observações dos tempos de pulso podem então revelar os parâmetros dessa órbita, fornecendo informações sobre o exoplaneta. Antes da descoberta óptica dos exoplanetas, a técnica de cronometragem do tempo das ondas de rádio produzidas por pulsares forneceu a primeira evidência de um sistema planetário fora do sistema solar: em 1991, a descoberta do primeiro planeta orbitando um pulsar, por Wolszczan e Frail foi surpreendente, mas também demonstrou a extraordinária precisão que permite aos astrônomos

detectaram corpos orbitando um pulsar, permitindo até mesmo a detecção de corpos do tamanho de asteroides (KRAMER, 2018).

Um estudo sobre como cada uma das técnicas de detecção de exoplanetas funciona é importante para refletir acerca das limitações observacionais existentes e sobre as sinergias possíveis entre diferentes métodos e sobre quais serão possivelmente os resultados das novas descobertas que deverão ocorrer (FISCHER *et al.*, 2015). Como o estudo de exoplanetas está situado na fronteira da Ciência atual e se relaciona com conhecimentos que estão sendo produzidos nos dias de hoje, o trabalho educacional com esta temática pode ajudar a esclarecer os alunos acerca dos mecanismos sobre como a Ciência funciona e é construída a partir do esforço coletivo de cientistas de diferentes partes do mundo.

Os exoplanetas podem ajudar a resolver mistérios sobre nosso próprio sistema solar. Os dados disponíveis sobre diferentes tipos de galáxias e estrelas permitiram o desenvolvimento de teorias sobre a formação de galáxias e estrelas, inclusive sobre a nossa Via Láctea e sobre o nosso Sol. O sistema solar tem aproximadamente 4,6 bilhões de anos e até a década de 1990 este era o único sistema planetário que conhecíamos. O estudo de outros sistemas planetários mais jovens que o nosso pode fornecer indícios sobre a formação do sistema solar. As pesquisas indicam que os discos protoplanetários são regiões de poeira e gás orbitando estrelas muito jovens, na região onde os planetas são formados. Teorias atuais sobre a formação planetária sugerem que a poeira de partículas começa a entrar em colapso sob a gravidade e passa a “encaroçar” formando grãos maiores. Com o tempo, a matéria continua a se agrupar e eventualmente planetoides acabam se formando. Estes pequenos planetas em estágio de formação são objetos celestes maiores que meteoritos e cometas, mas menores que os planetas que conhecemos. Depois de alguns milhões de anos, a maioria da poeira que rodeia a estrela é varrida para se acumular nos planetoides que crescem e se transformam em planetas. Muitos dos planetas encontrados até agora são grandes, gasosos e se situam muito próximos de suas estrelas, ao contrário da situação que acontece em nosso próprio sistema solar. O conceito de migração orbital foi desenvolvido para tentar explicar a proximidade de alguns planetas gigantes de suas estrelas: esse tipo de planeta pode se formar relativamente longe da sua estrela hospedeira e então lentamente espiralado para uma localização mais próxima dela, com o passar do tempo (ESO, 2010).

Um tema de pesquisa que tem crescido associado à investigação acerca de Exoplanetas é o estudo acerca das possibilidades de existir vida fora da Terra, em especial, trabalhando com as condições físico-químicas extremas existentes em muitos exoplanetas. Este campo de conhecimento, denominado Astrobiologia ou Exobiologia, é um ramo promissor e em expansão, devido ao desenvolvimento tecnológico que hoje nos permite aplicar métodos científicos para investigar as condições para a existência de vida em outros lugares da galáxia, assunto que está inter-relacionado com a questão da origem da vida no planeta Terra (PAULINO-LIMA, 2010). Meteoritos como os de Orgueil (França, 1864), de Murchison (Austrália, 1969) e de Allende (México, 1969) apresentaram evidência da presença de aminoácidos; eles passaram por estudos relativos às suas propriedades óticas e os resultados possibilitaram considerar que uma porção dos aminoácidos provenientes da síntese da hidrosfera primitiva – momento em que começou a surgir vida na Terra – pode ser oriunda do espaço (CARRAPIÇO, 2001).

Uma das formas de estudar a respeito das condições de habitabilidade de um dado exoplaneta é pela investigação da sua composição, o que remete à pesquisa acerca da influência que as estrelas têm na composição química dos planetas orbitando em torno delas (SCHULZE, 2020). Um campo importante de estudo relacionado à área da Astrobiologia envolve a pesquisa sobre a composição atmosférica de exoplanetas, incluindo, por exemplo, a detecção de características espectrais moleculares atmosféricas, a observação dos gradientes de temperatura entre dia e noite e a detecção de bioassinaturas atmosféricas (SEAGER; DEMING, 2010). Uma possível bioassinatura está associada ao fato de que as plantas da vegetação terrestre têm um aumento acentuado da magnitude na refletância das suas folhas entre aproximadamente 700 e 750 nm de comprimento de onda, na chamada borda vermelha. Esta forte refletância da vegetação da Terra nesta faixa do espectro sugere que bioassinaturas com características espectrais nítidas podem ser detectáveis no espectro de luz espalhado pela atmosfera de um planeta terrestre extrassolar (SEAGER *et al.*, 2005).

O “James Webb Space Telescope” – JWST² (“Telescópio Espacial James Webb”), que possivelmente será lançado ao espaço até o final de 2021, fornecerá dados valiosos acerca das características atmosféricas de exoplanetas de modo a impulsionar as pesquisas em Astrobiologia (KALTENEGGER *et al.*, 2020; BEICHMAN *et al.*, 2014).

A Panspermia é uma teoria que sugere que a vida poderia disseminar-se de um planeta a outro ou até mesmo entre sistemas estelares (HAWKING, 2009), por meio de asteroides, por exemplo, uma tentativa de explicar a origem da vida na Terra. Há em nosso planeta micro-organismos que sobrevivem a condições físicas e geoquímicas extremas, sendo até milhares de vezes mais resistentes à radiação do que os seres humanos; eles são candidatos para existirem em lugares fora da Terra, como, por exemplo, em Marte, em Titã (satélite de Saturno), em Europa (satélite de Júpiter) e mesmo em corpos externos ao sistema solar, como os exoplanetas. Estes micro-organismos receberam o nome de extremófilos (pois vivem em condições extremas) e estudos apontam para uma grande variedade em sua tipologia, o que possibilitaria a sobrevivência nos mais distintos ambientes extremos, no que diz respeito à temperatura, pH, salinidade, pressão, radiação e umidade (BERNARDES, 2013).

AÇÕES EDUCACIONAIS REALIZADAS

No segundo semestre de 2018, no contexto desta pesquisa, foram realizadas, pelos autores deste artigo, apresentações curtas de divulgação científica sobre exoplanetas, para alunos de cinco escolas públicas do litoral norte paulista: na Escola Estadual Dulce César Tavares, localizada no município de São Sebastião (SP), para alunos do ensino médio; na Escola Estadual Maria José da Penha Frúgoli, em São Sebastião, para alunos de ensino médio; na Escola Estadual Plínio Gonçalves de Oliveira, em São Sebastião, para alunos de ensino médio; na Escola Municipal Maria Aparecida Ujio, em Caraguatatuba (SP), para alunos dos últimos anos do ensino fundamental; e, por fim, na Escola Estadual Avelino Ferreira, em Caraguatatuba, para alunos de ensino médio. Um questionário foi elaborado para conhecer melhor o público-alvo, seus conhecimentos sobre Astronomia, suas relações com as disciplinas científicas estudadas no âmbito escolar e os impactos da atividade realizada. Este questionário foi aplicado em duas das escolas

anteriormente citadas: a Escola Estadual Dulce César Tavares e a Escola Municipal Maria Aparecida Ujio. Neste caso, foram obtidas 67 respostas. No primeiro semestre de 2019, foi realizada uma nova apresentação de divulgação científica sobre exoplanetas (com o mesmo perfil das realizadas em 2018), em uma outra instituição de ensino, na Escola Municipal Ricardo Luques Sammarco Serra, em Caraguatatuba, para alunos dos últimos anos do ensino fundamental.

No primeiro semestre de 2019, com a experiência acumulada nestas apresentações curtas de divulgação científica foi elaborada uma oficina didática (com duração mais longa), envolvendo conceitos de História da Ciência e mediada pelo uso de computadores para acessar uma simulação de detecção de exoplanetas pelo método de trânsito, disponibilizada pelo programa “*Exoplanet transit hunt*”³. Nessas oficinas os alunos podiam interagir diretamente com o *software* de simulação com a tarefa de tentar determinar as características físicas de determinados exoplanetas, como por exemplo, as suas temperaturas médias, de modo a avaliar se eles seriam habitáveis ou não. Os conceitos científicos (como os de raio e período orbital, aceleração centrípeta, centro de massa e Unidade Astronômica) e os princípios físicos envolvidos eram apresentados no início de cada oficina, em uma introdução, de caráter expositivo, feita sobre o estudo de exoplanetas. A utilização do simulador para detectar exoplanetas, teve como intuito ajudar os alunos a compreenderem melhor os conceitos de dinâmica existente no estudo de um sistema planetário. Além disso, essas oficinas permitiram que fossem abordadas de modo contextualizado as leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal de Newton.

Estas oficinas foram realizadas em três momentos em 2019: para alunos do 5º semestre do curso de Licenciatura em Matemática do IFSP-Caraguatatuba, em um laboratório de computadores da instituição; para alunos dos últimos anos de ensino fundamental da Escola Municipal Antônio Freitas de Avelar, localizada em Caraguatatuba, em um laboratório de computadores do IFSP-Caraguatatuba, em uma visita que eles fizeram ao Instituto; e para alunos de ensino médio da Escola Estadual Benedito Miguel Carlota, situada também em Caraguatatuba, com computadores cedidos pela escola e disponibilizados por estudantes do IFSP que forneceram apoio para esta ação em específico. O questionário elaborado anteriormente, sofreu algumas modificações e a ele foi acrescida uma pergunta adicional, bem como foram retiradas duas perguntas. Este questionário modificado foi aplicado junto aos alunos das duas últimas oficinas que foram realizadas junto a alunos da Escola Municipal Antônio Freitas de Avelar e da Escola Estadual Benedito Miguel Carlota. Neste caso, foram obtidas 46 respostas. Assim, a primeira oficina realizada para alunos da Licenciatura em Matemática, quando o questionário não foi aplicado, foi útil como forma de aprendizagem (uma espécie de “oficina piloto”) sobre as melhores estratégias de abordagem do tema de exoplanetas em uma atividade educacional com maior duração e mais interativa.

Em todos os casos descritos acima, as ações de divulgação científica e de ensino de ciências tiveram como preocupação central a ideia de democratizar o acesso ao conhecimento, bem como apresentar o caráter histórico e dinâmico da ciência que é fruto da construção de muitos cientistas que, de modo coletivo, criam novos saberes. Isso é bastante evidente especialmente em uma área tão recente quanto a do estudo de exoplanetas, algo que colabora para promover o entendimento de como a ciência funciona (CARVALHO; GONZAGA; NORONHA, 2011). Deste modo, o objetivo foi o de facilitar a compreensão acerca de conceitos

científicos usados no estudo de exoplanetas, inclusive com uma preocupação acerca da linguagem que melhor pode atingir o público leigo, em uma área de fronteira da ciência como essa (ALMEIDA, 2010).

RESULTADOS

As atividades de divulgação científica realizadas nos meses iniciais desta pesquisa permitiram conhecer melhor tanto sobre a Ciência dos exoplanetas, quanto sobre os alunos envolvidos nestas ações e sobre o perfil das escolas públicas da região. Para avaliar os impactos educacionais das atividades de divulgação científica – e, posteriormente, das oficinas didáticas realizadas – bem como a compreensão existente entre os alunos sobre os temas científicos associados ao estudo de exoplanetas abordados por elas, foi elaborado um questionário que foi aplicado aos alunos presentes em quatro momentos diferentes (duas apresentações de divulgação científica e duas oficinas didáticas), sempre ao final da realização de cada atividade. Os estudantes que participaram das ações realizadas, foram selecionados pelos seus professores para participar delas: um dos critérios para isso era o aluno apresentar maiores interesses por áreas das Ciências Naturais.

Ao longo do período de pesquisa (2018 e 2019), foram coletadas as respostas de um número total 113 alunos entre 13 e 17 anos, que participaram de quatro atividades nas quais foi possível a aplicação dos questionários. Destes 113 alunos, 67 eram alunos de duas escolas em que só foi feita uma apresentação audiovisual (com cerca de 30 minutos de duração) sobre exoplanetas em 2018: para 30 alunos do ensino médio da Escola Estadual Dulce César Tavares, em São Sebastião (SP), e para 37 alunos dos últimos anos do ensino fundamental da Escola Municipal Maria Aparecida Ujio, em Caraguatatuba (SP). Os 46 questionário restantes (com algumas modificações em relação ao questionário aplicado anteriormente) foram aplicados junto a alunos que participaram de duas oficinas (cada uma com duração de cerca de 1 hora e 30 minutos de duração) realizadas em 2019 e que envolveram o uso do *software* “*Exoplanet transit hunt*”: para 16 alunos dos últimos anos do ensino fundamental da Escola Municipal Antônio Freitas de Avelar, em um laboratório de computadores do IFSP-Caraguatatuba, em uma visita feita por estes alunos ao IFSP (neste caso cada aluno usou um computador diferente) e para 30 alunos do ensino médio da Escola Estadual Benedito Miguel Carlota (neste caso, os alunos se reuniram em grupos com entre 4 e 6 alunos e cada grupo teve acesso a um dos computadores que estiveram disponíveis para esta oficina).

Portanto, a maioria das perguntas apareceram tanto no questionário aplicado junto aos alunos presentes nas apresentações audiovisuais, quanto no questionário aplicado junto aos alunos presentes nas oficinas (as respostas, nestes casos são analisadas nas Figuras 1 a 7). Mas existiram também duas perguntas que só foram apresentadas para os alunos presentes nas apresentações de divulgação científica (cujas respostas são analisadas nas Figuras 8 e 9) e uma pergunta que só foi apresentada para os alunos presentes nas oficinas (cujas respostas são analisadas na Figura 10).

A análise das respostas dos alunos, tornou possível uma reflexão mais bem fundamentada sobre a importância do papel de atividades de divulgação científica

realizadas tendo o estudo de exoplanetas como eixo temático para o ensino de conceitos de Física, Astronomia e outras áreas científicas.

A aplicação do questionário foi realizada no contexto destas quatro atividades (duas apresentações de divulgação científica mais curtas e duas oficinas educacionais mais longas) de modo a diversificar ao máximo o universo de abrangência. Do total de 113 respostas, 67 respostas (59 %) foram dadas por alunos que tinham participado de uma apresentação (do tipo palestra) de divulgação científica (mais curta) na qual foram usados recursos audiovisuais e imagens sobre exoplanetas, enquanto 46 respostas (41 %) foram dadas por alunos que tinham participado de uma oficina didática (mais longa) sobre exoplanetas na qual os alunos usaram simulações em computadores. Adicionalmente, dos 113 alunos que responderam este questionário, 60 (53 %) eram de ensino médio, enquanto 53 (47 %) eram alunos dos últimos anos do ensino fundamental.

Nos parágrafos a seguir, apresentaremos os resultados das respostas dos alunos às perguntas dos questionários, em valores de porcentagens aproximadas. No total, existiram 7 questões (juntamente com duas perguntas iniciais sobre gênero e idade dos participantes, de modo a determinar o seu perfil) que foram respondidas por todos os participantes das 4 atividades citadas anteriormente.

Tabela 1 – Distribuição das porcentagens por gênero dos alunos que participaram das ações (N=113)

GÊNERO	PORCENTAGENS
Feminino	55%
Masculino	45%
TOTAL	100%

Fonte: Autores (2021).

Dos 113 alunos que responderam ao questionário, uma maioria de 55 % eram do gênero feminino, enquanto 45 % eram do gênero masculino (Tabela 1). Em geral, nas ações de divulgação científica que têm sido realizadas junto a escolas do litoral norte paulista sempre há uma participação maior de alunas em relação a alunos: assim, as alunas são geralmente selecionadas em maior quantidade em relação aos alunos pelos seus professores para participar dessas atividades. Isto pode ser um indicador de que durante a educação básica há um maior interesse das meninas por áreas de conhecimento (como a Física) que, paradoxalmente, nos cursos de graduação são consideradas mais “masculinas” por contarem com uma presença maior de homens do que de mulheres no corpo discente. Os motivos pelos quais ocorre essa “inversão” deveriam ser objeto de pesquisas mais aprofundadas de modo a fornecer subsídios para combater a exclusão de alunas de cursos superiores devido ao gênero.

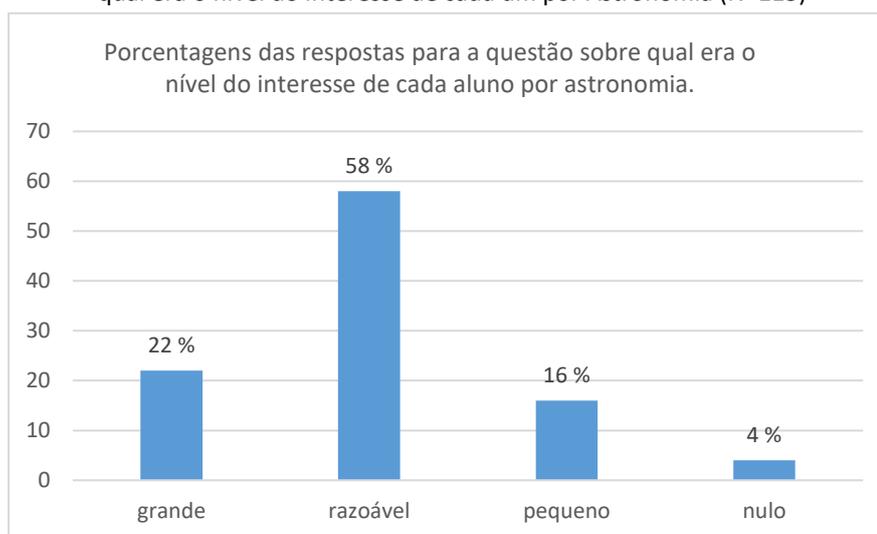
Tabela 2 – Distribuição das porcentagens por idade (em anos) dos alunos que participaram das ações (N=113)

IDADE (anos)	PORCENTAGENS
13	5 %
14	34 %
15	46 %
16	13 %
17	2 %
TOTAL	100 %

Fonte: Autores (2021).

No que diz respeito à distribuição de idades (Tabela 2), que variou de 13 a 17 anos, quase metade dos alunos (46 %) tinham 15 anos de idade, uma idade associada sobretudo a alunos do 1º ano do ensino médio.

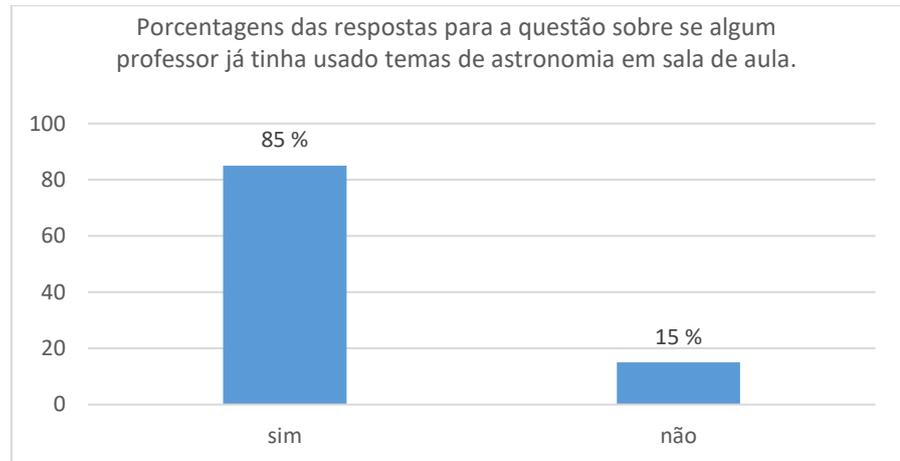
Figura 1 – Gráfico com as porcentagens das respostas dos alunos para a questão sobre qual era o nível do interesse de cada um por Astronomia (N=113)



Fonte: Autores (2021).

A primeira questão perguntava qual era o nível do interesse do aluno respondente por Astronomia. Cerca de 80 % dos alunos afirmaram ter um interesse grande ou razoável pela área de Astronomia (Figura 1). Como os alunos foram selecionados previamente pelos seus professores para participar da atividade, tendo como um dos critérios possuírem maior interesse pelas disciplinas das Ciências Naturais, este resultado não chega a ser surpreendente.

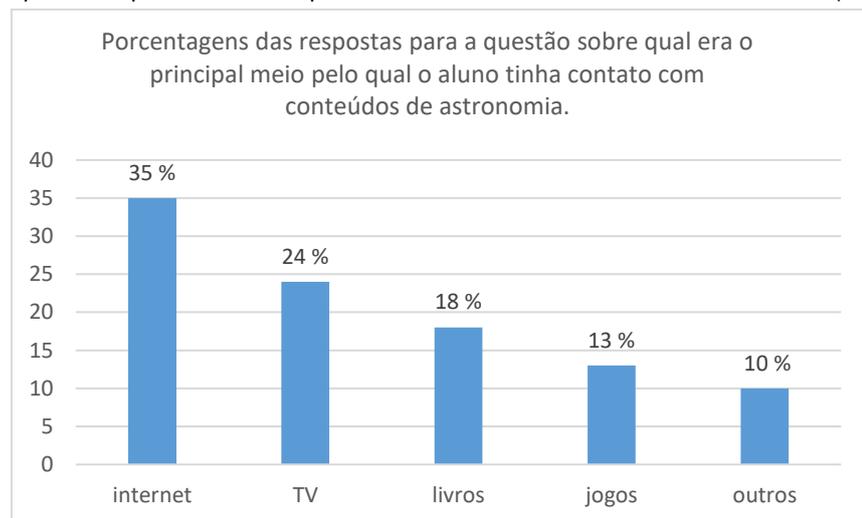
Figura 2 – Gráfico com as porcentagens das respostas dos alunos para a pergunta sobre se algum professor já tinha usado temas de Astronomia em sala de aula (N=113)



Fonte: Autores (2021).

A segunda questão perguntava aos alunos se algum professor já tinha utilizado algum tema de Astronomia em sala de aula: a grande maioria (85 %) dos alunos respondeu que sim (Figura 2). Dentre estes alunos que responderam de forma afirmativa, 89 % deles especificaram que isto ocorreu na disciplina de Ciências (no ensino fundamental), enquanto 5 % disseram que foi na disciplina de geografia, 2 % que foi na disciplina de Física, 2 % que foi na disciplina de Matemática e 2 % que foi na disciplina de Química. Estas respostas mostram que a Física ainda continua trabalhando pouco com temas de Astronomia para discutir conceitos e princípios físicos.

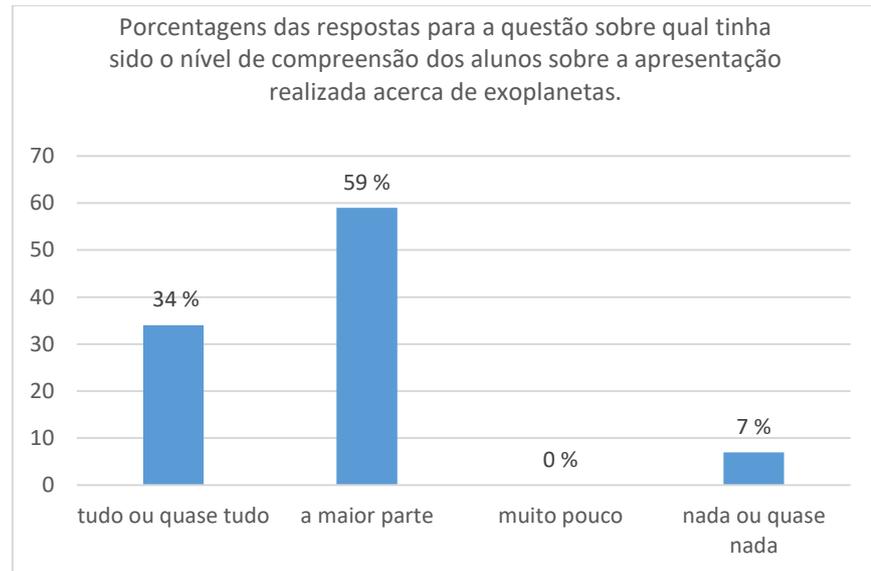
Figura 3 – Gráfico com as porcentagens das respostas dos alunos sobre qual era o principal meio que eles usavam para ter contato com conteúdos de Astronomia (N=113)



Fonte: Autores (2021).

No que diz respeito aos meios pelos quais os alunos têm contato com conteúdos de Astronomia, a internet é o principal meio (“mídia”) de acesso a este tipo de informação, seguida pela TV; estas duas mídias (internet e TV) de forma conjunta respondem por 59 % das fontes de acesso a conhecimentos científicos da área de Astronomia (Figura 3).

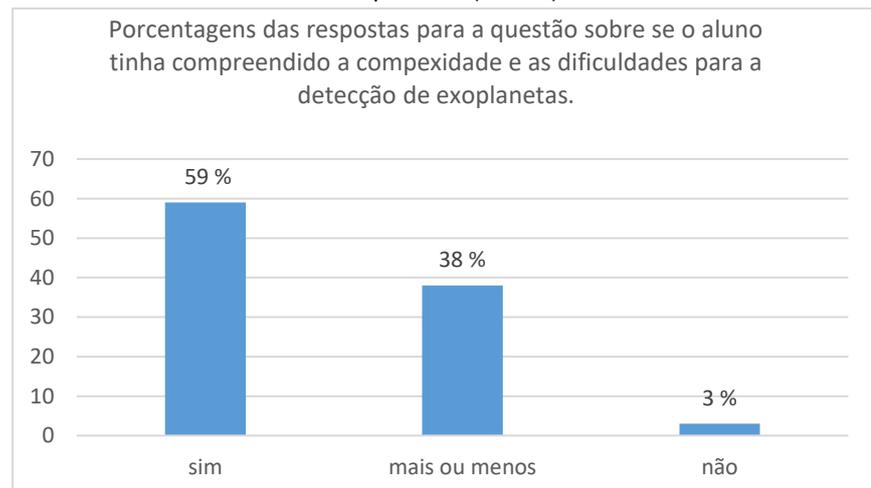
Figura 4 – Gráfico com as porcentagens das respostas dos alunos sobre quanto da apresentação sobre exoplanetas eles achavam que tinham compreendido (N=113)



Fonte: Autores (2021).

A quarta questão indagou sobre o nível de compreensão que os alunos acreditavam ter tido sobre a apresentação acerca de exoplanetas que eles tinham assistido: a esmagadora maioria (93 %) afirmou ter compreendido tudo, quase tudo ou a maior parte (Figura 4). Este resultado indica que, pelo menos do ponto de vista dos discentes presentes, as ações educacionais realizadas conseguiram tornar-se compreensíveis para a maioria dos presentes.

Figura 5 – Gráfico com as porcentagens das respostas dos alunos sobre se eles tinham conseguido compreender a complexidade e as dificuldades existentes na detecção de exoplanetas (N=113)

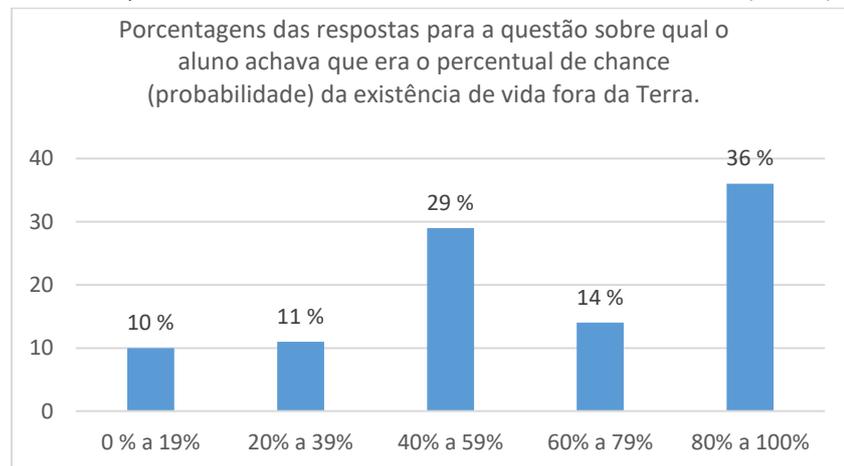


Fonte: Autores (2021).

A quinta questão indagou os alunos sobre se eles tinham conseguido compreender a complexidade e as dificuldades existentes para a detecção de exoplanetas: a maioria (59 %) dos estudantes respondeu que sim, mas uma parcela considerável (38 %) deles respondeu que “mais ou menos” (Figura 5). As técnicas de detecção de exoplanetas (sobretudo as duas mais utilizadas: a técnica de

trânsito e a técnica da velocidade radial) são bem sutis e necessitam de instrumentos e técnicas de grande precisão para a obtenção de dados. Explicar acerca da complexidade envolvida nestas técnicas de detecção era um dos objetivos das atividades educacionais realizadas, que pelas respostas dos alunos foi atingida parcialmente.

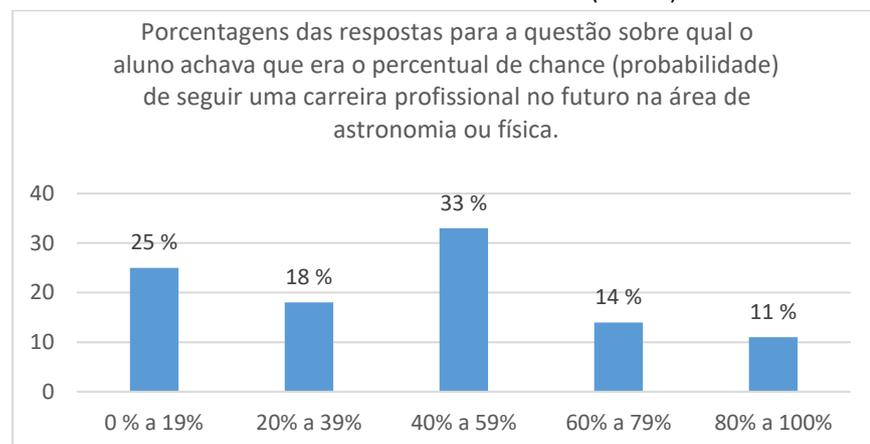
Figura 6 – Gráfico com as porcentagens das respostas sobre qual era, na opinião de cada aluno, o percentual de chance da existência de vida fora da Terra (N=113)



Fonte: Autores (2021).

A sexta questão indagou qual era, na opinião do aluno, o percentual de chance (probabilidade) de existir vida fora da Terra, numa escala de 0% a 100%: pelos dados obtidos, metade dos alunos (50%) respondeu que esta chance deveria ser maior ou igual a 60% (Figura 6). Uma parcela considerável dos alunos com maiores interesses por Astronomia acha que a chance de existir vida da Terra é grande: isto em parte vem de considerações de caráter científico e estatístico, mas também pode ser derivada também de uma espécie de esperança para que a expectativa de existir vida fora da Terra se concretize e que sejam obtidas evidências experimentais robustas deste fato em um futuro próximo.

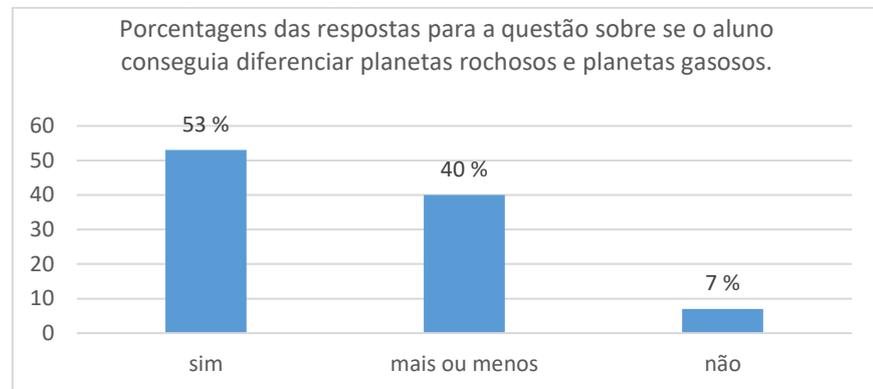
Figura 7 – Gráfico com as porcentagens das respostas sobre qual era, na opinião de cada aluno, o percentual de chance de ele seguir uma carreira profissional da área da Astronomia ou da Física no futuro (N=113)



Fonte: Autores (2021).

A sétima questão indagava sobre qual era a chance ou probabilidade de no futuro o aluno seguir uma carreira profissional na área de Astronomia ou Física, numa escala de 0 % a 100 %: 25 % dos alunos afirmaram que essa chance era maior ou igual a 60 %, enquanto 33 % dos alunos afirmaram que essa chance estava na faixa intermediária entre 40 % e 59 % (Figura 7). Em particular, 6 dos 113 alunos pesquisados afirmaram que com certeza (100% de chance) eles no futuro iriam seguir uma carreira profissional na área de Astronomia ou de Física. Estes dados mostram que, mesmo sendo minoritários, há sim uma quantidade não desprezível de jovens com grande motivação para seguir carreiras científicas nas áreas de Astronomia ou Física, mas que, como diversos dados indicam, desistem deste propósito mais a frente, por diferentes motivos.

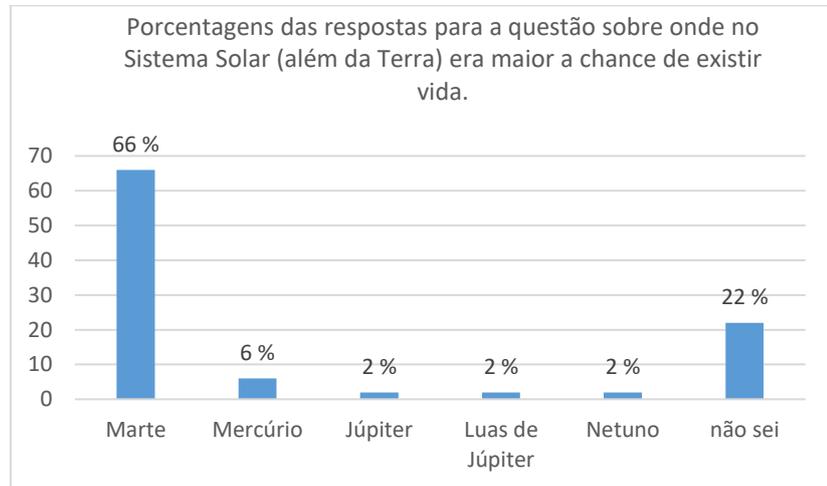
Figura 8 – Gráfico com as porcentagens das respostas sobre se o aluno conseguia diferenciar planetas rochosos e planetas gasosos (N=67, referentes aos dados coletados em duas apresentações de divulgação científica sobre exoplanetas realizadas em 2018)



Fonte: Autores (2021).

Uma questão feita apenas aos 67 alunos que participaram das duas atividades de divulgação científica realizadas em 2018, indagou estes estudantes sobre se eles conseguiam diferenciar os planetas rochosos dos planetas gasosos (após eles terem assistido a atividade educacional sobre exoplanetas): a maioria (53 %) dos alunos respondeu que sim, enquanto 40 % responderam “mais ou menos” (Figura 8). Dos 8 planetas orbitando o Sol, metade são rochosos e metade são gasosos, e há uma investigação robusta sendo realizada por astrônomos tentando determinar a natureza dos exoplanetas detectados. Portanto saber diferenciar entre a natureza destes dois tipos de planetas é uma habilidade importante no processo de aprendizagem de conceitos científicos relacionados à Ciência dos exoplanetas.

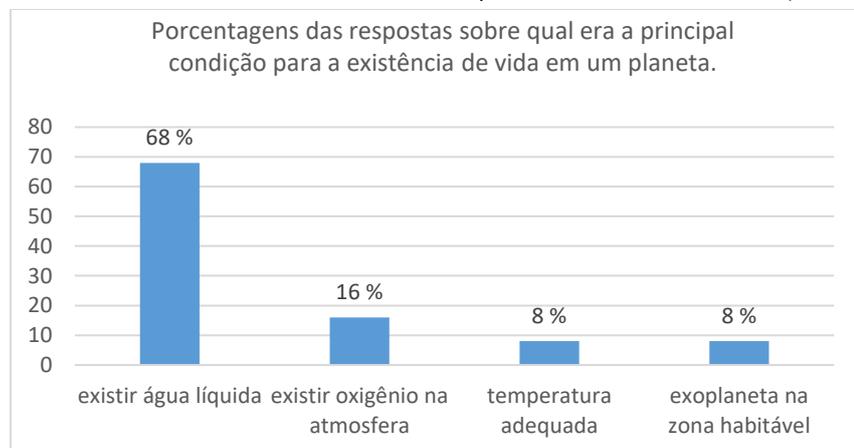
Figura 9 – Gráfico com as porcentagens das respostas sobre onde no Sistema Solar (além da Terra), o aluno achava que era maior a chance de existir vida (N=67, referentes aos dados coletados em duas apresentações de divulgação científica sobre exoplanetas realizadas em 2018)



Fonte: Autores (2021).

Outra questão feita também somente aos 67 alunos que participaram das duas atividades de divulgação científica realizadas em 2018, perguntou a estes estudantes sobre qual o planeta ou satélite do sistema solar (além da Terra, obviamente) que ele achava que tinha mais chance de ter vida. Dos respondentes, uma grande maioria (66 %) citou Marte como o local com mais chance de ter vida no sistema solar; além disso, 23 % dos alunos afirmaram não saber como responder esta questão (Figura 9). Marte realmente é um planeta que está muito presente em artigos divulgados pela mídia e, também, em obras de ficção científica, que costumam despertar bastante o interesse de alunos com uma maior afinidade por disciplinas escolares relacionadas às Ciências Naturais. Curiosamente, nenhum aluno citou Vênus, que junto com Marte, são os dois planetas mais próximos da Terra.

Figura 10 – Gráfico com as porcentagens das respostas sobre qual era a principal condição para a existência de vida em um planeta (N=46, referentes aos dados coletados em duas oficinas didáticas sobre exoplanetas realizadas em 2019)



Fonte: Autores (2021).

Finalmente, uma questão que foi feita somente aos 46 alunos que participaram das duas oficinas didáticas realizadas em 2019, indagou sobre qual era a condição considerada como sendo a mais importante para que existisse vida em um determinado planeta: 68 % dos alunos responderam que era a existência de água líquida (Figura 10). Adicionalmente, 8 % responderam que a condição mais importante era a temperatura e outros 8 % dos alunos responderam que a condição mais importante era o planeta se encontrar na zona habitável em torno de uma dada estrela. Estas duas últimas condições, estão associadas também à existência de água líquida, pois para isto ocorrer, a temperatura do planeta tem que estar na faixa apropriada e o planeta tem que estar em uma região em torno da sua estrela hospedeira também adequada. Portanto, somando as três porcentagens mencionadas anteriormente, verifica-se que consideráveis 84% dos alunos responderam direta ou indiretamente que a principal condição para a existência de vida é haver água líquida no planeta em questão. Por outro lado, 16 % dos alunos responderam que para existir vida a principal condição é a existência de oxigênio na atmosfera: esta condição se apresenta como necessária (devido à respiração) à existência de vida animal (inclusive à existência nossa, seres humanos), mas para a vida vegetal existente na Terra, o processo predominante é o contrário, ou seja, o de produzir oxigênio por meio da fotossíntese, apesar de as plantas também respirarem obviamente. Em particular, na Terra temos as bactérias anaeróbicas que não precisam de oxigênio para sobreviver.

DISCUSSÕES

Nas oficinas didáticas mediadas pelo uso de simulações em computadores que foram realizadas, o *software* “*Exoplanet transit hunt*” se mostrou uma ferramenta de suma importância, pois ao utilizarem um simulador para detectar exoplanetas, os alunos conseguiram compreender melhor os conceitos de dinâmica aplicados aos corpos de um sistema planetário. As dificuldades científicas das pesquisas sobre exoplanetas realizadas por astrofísicos ficaram nítidas e perceptíveis para os alunos quando eles se tornaram os responsáveis pelas decisões tomadas no âmbito da simulação, ou seja, quando eles se colocaram em uma posição ativa na atividade de detecção, podendo refletir sobre os impactos de suas escolhas, pois o *software* só permitia avançar, quando se obtinham dados condizentes com a realidade. Foram necessárias diversas intervenções, por parte dos autores deste trabalho, durante as oficinas, para tornar mais claros os conceitos envolvidos e para orientar sobre como preencher alguns dados no programa: isso aponta para a importância do papel do professor como mediador no acompanhamento e na coordenação de atividades viabilizadas pelo uso de computadores.

As oficinas se mostraram de grande relevância para o ensino de Física graças às possibilidades que o *software* oferece. O método de trânsito – que detecta a existência de um exoplaneta a partir da observação da diminuição da intensidade luminosa da estrela – que é utilizado pelo programa “*Exoplanet transit hunt*”, é um dos métodos mais utilizados de detecção de exoplanetas e fornece informações que levam a resultados interessantes, obtidos a partir de manipulação algébrica. Uma abordagem investigativa, durante as oficinas, foi estimulada junto aos alunos, pela utilização deste programa, pois os dados eram coletados e manipulados por eles mesmos. No caso da oficina aplicada com a turma do curso de Licenciatura em Matemática do IFSP-Caragatatuba, que contava com a presença de estudantes

universitários com, obviamente, um maior conhecimento acerca de Física, foi possível aprofundar mais na parte conceitual e abordar as leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal de Newton.

Outro acontecimento relevante, que destacou a importância da infraestrutura da escola, ocorreu durante a aplicação da oficina na Escola Estadual Benedito Miguel Carlota, que não possuía computadores suficientes para que a oficina fosse realizada. Dessa forma, de modo a tornar isso possível, alguns estudantes universitários do IFSP-Caraguatatuba se disponibilizaram a colaborar com os autores deste trabalho e a levar seus computadores (notebooks) à escola no dia da oficina, deixando-os disponíveis para que os alunos de ensino médio da escola pudessem participar da atividade. Como, neste caso, o número de computadores era limitado, os alunos foram divididos em grupos (com 4 a 6 integrantes) e este fator condicionante provocou uma expressiva interação entre os alunos de um mesmo grupo durante a realização da atividade, o que se mostrou positivo para a aprendizagem dos conceitos científicos abordados.

Na forma como os conceitos referentes a este estudo foram abordados nas oficinas, se tornou imprescindível a utilização de muitos conceitos da Astrofísica e, conseqüentemente, de Física, tais como: o efeito Doppler para a detecção de exoplanetas pelo método da velocidade radial; as leis de Kepler; a importância da distância entre um planeta e sua estrela hospedeira na aplicação da Lei da Gravitação Universal de Newton para estudar o comportamento dos exoplanetas e a interação entre as estrelas e seus planetas; o estudo de conceitos de Física como centro de massa, aceleração centrípeta, período orbital, o conceito de “Unidade Astronômica” (UA) e a definição de ano-luz.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência acumulada com a realização das seis apresentações de divulgação científica e das três oficinas didáticas que ocorreram no âmbito dessa pesquisa, junto a alunos com diferentes graus de escolaridade, permitiu notar que o uso dos exoplanetas como eixo temático pode colaborar significativamente para estimular o interesse dos estudantes pela física e pela astronomia, bem como ajudar na contextualização do processo de aprendizagem de conceitos fundamentais dessas disciplinas.

A análise dos dados coletados na pesquisa ao longo de 2018 e de 2019, permitiu investigar o modo como os métodos de ensino utilizados dialogaram com os anseios e as perspectivas do público-alvo (estudantes de ensino fundamental e médio de escolas públicas situadas no litoral norte paulista), visando uma efetiva divulgação do conhecimento científico, bem como uma dinamização do ensino de Física. Percebeu-se que o uso de *softwares* educacionais de simulação da detecção de exoplanetas apresentam uma grande potencialidade para facilitar a compreensão acerca dos conceitos científicos em questão, como ocorreu especificamente com as oficinas didáticas acerca da detecção de exoplanetas que utilizaram o programa de simulação “*Exoplanet Transit Hunt*”.

Um fato que ficou evidente é que a Astronomia encanta e motiva muitos alunos: utilizar essa vantagem para ensinar acerca de tópicos de Física pode ser uma estratégia poderosa em certas situações para facilitar a aprendizagem de diversos conceitos científicos e romper barreiras. Com a ajuda do *software*

“*Exoplanet Transit Hunt*” e de outras ferramentas, o estudo de exoplanetas pode ser um grande facilitador na aprendizagem de conteúdos de disciplinas científicas das escolas de ensino médio e fundamental. Este tipo de trabalho que foi realizado contribuiu também para motivar jovens talentos para áreas científicas, bem como provocou melhorias no desempenho educacional dos alunos envolvidos, aproximando-os da forma real como a Ciência é feita na prática. Em particular, vários alunos envolvidos nas atividades revelaram que eles passaram a compreender melhor a importância e os limites do trabalho realizado por cientistas em universidades e institutos de pesquisa, algo que, baseados nas suas manifestações, inclusive conferiu a alguns deles uma consciência mais ampla para analisar decisões tomadas a respeito da Ciência e da Educação no âmbito nacional e mundial.

EXOPLANETS IN PHYSICS AND ASTRONOMY TEACHING

ABSTRACT

This article aims to investigate Physics teaching and scientific dissemination activities with the main theme being the study of exoplanets, planets belonging to a star system distinct from our solar system. The theoretical basis of the project involves reading and writing about articles, books, theses and dissertations focused on the themes of this research. During the investigation, didactic materials about exoplanets were developed and evaluated, in different situations, in an interdisciplinary work that articulated areas such as Physics, Astronomy, Biology, Chemistry and Mathematics. In particular, the potential of the “Exoplanet Transit Hunt” software was analyzed as a didactic resource for teaching Physics concepts associated with the study of exoplanets. Audiovisual presentations and didactic workshops on exoplanets involved the use of videos, simulations, experiments, theoretical explanations and the proposal of challenges associated with real problems. The proposals were structured to be motivating for the study of Natural Sciences. In some of the activities carried out, a questionnaire, with questions about the topics covered, was answered by a total number of 113 students who participated in these actions. The obtained data were presented in graphs and tables that allowed to understand the perceptions and conceptions that the students have about exoplanets and the discipline of Astronomy, in general. The actions showed the students' great interest in the study of Astronomy themes, as well as the importance of educational practices that involve challenging investigative activities and related to those carried out by scientists.

KEYWORDS: Science Education. Simulation. Astrophysics.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo fomento fornecido para essa pesquisa.

NOTAS

- 1 Disponível em: <https://observatory.herts.ac.uk/exotransitpredict/main/>.
- 2 Disponível em: <https://www.jwst.nasa.gov/>.
- 3 Disponível em: <https://www.planetarium-activities.org/home>.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. **Estudo da topologia de microlentes gravitacionais e a descoberta de exoplanetas do tipo Terra na zona habitável**. Natal (RN): Dissertação de Mestrado – UFRN, 2017.

ALMEIDA, M. P. M. O texto de Divulgação científica como recurso didático na mediação do discurso escolar relativo a ciência. In: PINTO, Gisinaldo Amorin (Org.). **Divulgação Científica e Práticas Educativas**. Curitiba, PR: CRV, 2010.

AMORIM, R. G. G.; SANTOS, W. C. Calculation of mass and orbital data of exoplanets by Doppler method. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0170>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BEICHMAN, C. *et al.* Observations of Transiting Exoplanets with the James Webb Space Telescope (JWST). **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 126, n. 946, p. 1134-1173, 2014. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1086/679566/pdf>. Acesso em: 27 jan. 2021.

BERNARDES, L. **Exoplanetas, Extremófilos e Habitabilidade**. São Paulo: Dissertação de Mestrado – USP, 2013.

CARRAPIÇO, F. J. A origem da vida e a sua evolução. Uma questão central no âmbito da Exobiologia. **Anomalia**, v. 5, p. 25-32, 2001.

CARVALHO, M.; GONZAGA, A.; NORONHA, E. Divulgação científica: dimensões e tendências, tendências no ensino de ciências e matemática. **Revista Areté**, v. 4, n. 7, p. 99-114, 2017. Disponível em: <http://periodicos.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/27>. Acesso em: 11 out. 2021.

CHARBONNEAU, D. *et al.* Detection of Planetary Transits Across a Sun-like Star. **ArXiv**, 2000. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9911436.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

COWLEY, M.; HUGHES, S. Characterization of transiting exoplanets by way of differential photometry. **Physics Education**, v. 49, n. 3, p. 293-298, 2014. Disponível em: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1509/1509.01238.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

ESO. **Exoplanets - press kit**. 2010. Disponível em: https://www.eso.org/public/archives/presskits/pdf/presskit_0005.pdf. Acesso em: 4 jan. 2021.

FISCHER, D. *et al.* **Exoplanet Detection Techniques**. ArXiv, 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1505.06869.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2021.

GEORGE, S. J. Extrasolar Planets in the Classroom. **ArXiv**, 2011. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1103.5690.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

GOULD, A. *et al.* Kepler's Third Law and NASA's Kepler Mission. **The Physics Teacher**, v. 53, p. 201-204, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276911308_Kepler's_third_law_and_NASA's_Kepler_Mission. Acesso em: 4 jan. 2021.

HAWKING, S. A fronteira final. **Novos Estudos-CEBRAP**, n. 83, p. 211-216, 2009.

HOLMAN, M. J.; MURRAY, N. W. The Use of Transit Timing to Detect Terrestrial-Mass Extrasolar Planets. **Science**, 25, v. 307, n. 5713, p. 1288-1291, 25 Feb 2005. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/307/5713/1288>. Acesso em: 5 jan. 2021.

KALTENEGGER, L. *et al.* The White Dwarf Opportunity: Robust Detections of Molecules in Earth-like Exoplanet Atmospheres with the James Webb Space Telescope. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 901, n. 1, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/aba9d3/pdf>. Acesso em: 28 jan. 2021.

KRAMER, M. Pulsar Timing as an Exoplanet Discovery Method. In: DEGG, Hans J., BELMONTE, Juan Antonio. **Handbook of Exoplanets**. Springer, p. 767-786, 2018. Disponível em: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-319-55333-7_5. Acesso em: 4 jan. 2021.

MARTINS, J. H. C. **Direct Detection of extrasolar Planets with ESPRESSO**. Porto (Portugal): Dissertação de Mestrado – Universidade do Porto, 2013.

MAYOR, M.; QUELOZ, D. A Jupiter-mass companion to a solar-type star. **Nature**, v. 378, n. 6555, p. 355, 1995.

PAULINO-LIMA, I. G.; LAGE, C. A. S. Astrobiologia: definição, aplicações, perspectivas e panorama brasileiro. **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 14-21, 2010.

ROBSON, L. **Exoplanet Transit Follow-Up Tool**. Hatfield, Hertfordshire (UK): Thesis of Master of Science – University of Hertfordshire, 2020. Disponível em: <https://uhra.herts.ac.uk/handle/2299/23101>. Acesso em: 6 jan. 2021.

SANTANA, J. C. **Um estudo sobre o momentum angular total de estrelas com planetas**. Natal (RN): Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

SANTOS, W. C.; AMORIM, R. G. G. Descobertas de exoplanetas pelo método do trânsito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, e2308, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0217>. Acesso em: 12 nov. 2021.

SCHULZE, J. G. **Can we predict the composition of an exoplanet?** Columbus, Ohio (USA): Thesis of Master of Science – Ohio State University, 2020. Disponível em: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1587650780387339. Acesso em: 4 jan. 2021.

SEAGER, S. *et al.* Vegetation's red edge: a possible spectroscopic biosignature of extraterrestrial plants. **Astrobiology**, v. 5, n. 3, p. 372-390, Jun 2005.

SEAGER, S.; DEMING, D. Exoplanet Atmospheres. **ArXiv**, 2010. Disponível em: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1005/1005.4037.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

SILVA, J. C.; ROBERTO JUNIOR, A. J.; ALVES, J. C. P. Detecção do trânsito planetário de um exoplaneta com um telescópio de pequena abertura. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20200131, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v42/1806-9126-RBEF-42-e20200131.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2021.

TEIXEIRA, M. A. **Ferramentas da astroestatística para o estudo da velocidade radial estelar**. Natal (RN): Dissertação de Mestrado - UFRN. 2016.

WOLSZCZAN, A.; FRAIL, D. A. A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12. **Nature**, v. 355, p. 145-147, 1992.

WRIGHT; J. T.; GAUDI, B. S. Exoplanet Detection Methods. **ArXiv**, 2012. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1210.2471.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

Recebido: 05 fev. 2021.

Aprovado: 09 nov. 2021.

DOI: 10.3895/rbect.v14n3.13807

Como citar: MONTEMOR, R. N.; TEIXEIRA, R. R. P. Exoplanetas no ensino de física e astronomia. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v.14, n. 3, p. 60-82, set./dez. 2021.

Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/13807>>. Acesso em: XXX.

Correspondência: Ricardo Roberto Plaza Teixeira - rteixeira@ifsp.edu.br

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

