

## Da luneta de Galileu ao telescópio espacial *Hubble*: contributos do desenvolvimento tecnológico na divulgação da História da Astronomia

From Galileo's telescope to the Hubble space telescope: contributions from the technological development in the dissemination of the History of Astronomy

Del telescopio de Galileo al telescopio espacial Hubble: aportes del desarrollo tecnológico en la divulgación de la Historia de la Astronomía

Recebido: 18/03/2022 | Revisado: 25/03/2022 | Aceito: 29/03/2022 | Publicado: 06/04/2022

### Isabel Maria Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9230-8971>  
Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental da Universidade do Porto, Portugal  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal  
E-mail: [up199202433@fc.up.pt](mailto:up199202433@fc.up.pt)

### Christinne Costa Eloy

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5247-6439>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil  
E-mail: [christinne.eloy@ifpb.edu.br](mailto:christinne.eloy@ifpb.edu.br)

### Marta Cristina de Sousa Paz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4807-9494>  
Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental da Universidade do Porto, Portugal  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal  
E-mail: [marta.paz@fc.up.pt](mailto:marta.paz@fc.up.pt)

### Jorge Paulo Maurício de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9763-9956>  
Centro de Astrofísica da Universidade do Porto, Portugal  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal  
E-mail: [jpcarval@fc.up.pt](mailto:jpcarval@fc.up.pt)

### Resumo

O interesse e entusiasmo do público por diversos temas científicos, nomeadamente os relacionados com a astronomia, tem sido crescente e cada vez mais generalizado. Nos últimos 400 anos, desde Galileu, os astrónomos procuram observar e interpretar o universo, construindo telescópios cada vez mais poderosos e precisos. Estes incríveis instrumentos estendem as potencialidades de um dos nossos sentidos mais importantes, a visão, em direção a novos limites, transformando e aprimorando a nossa compreensão do cosmos. O telescópio espacial *Hubble* exerce um fascínio particular sobre o público de todas as idades e, dessa forma, contribui fortemente para a divulgação da ciência e da astronomia, pelas imagens que encantam o público em geral. O presente documento apresenta um panorama dos contributos do desenvolvimento tecnológico na divulgação da história da astronomia a partir de uma revisão de literatura, oferecendo uma reflexão sobre esse legado e a perspetiva de continuidade dessa história que desafia a humanidade.

**Palavras-chave:** História da astronomia; Divulgação da astronomia; Galileu; Telescópio espacial *Hubble*.

### Abstract

The public's interest and enthusiasm for several scientific topics, namely those related to astronomy, is growing and increasingly widespread. For the past 400 years, since Galileo, astronomers have sought to observe and interpret the universe, building ever more powerful and accurate telescopes. These incredible instruments extend the potential of one of our most important senses, the vision, pushing it towards new limits and therefore transforming and enhancing our understanding of the cosmos. The Hubble space telescope exerts a particular fascination on the public of all ages. It strongly contributes to the dissemination of science and astronomy through the presentation of images that delighted the general public. This document results from a bibliographic and documental review. It aims to present an overview of the contributions from the technological development in the dissemination of the history of astronomy, offering not only a reflection on this legacy, but also the continuity perspective of this history that undeniably keeps challenging humankind.

**Keywords:** History of astronomy; Dissemination of astronomy; Galileo; Hubble space telescope.

## Resumen

El interés y entusiasmo del público por diversos temas científicos, en particular los relacionados con la astronomía, es creciente y cada vez más generalizado. Durante los últimos 400 años, desde Galileo, los astrónomos han buscado observar e interpretar el universo, construyendo telescopios cada vez más potentes y precisos. Estos increíbles instrumentos amplían el potencial de uno de nuestros sentidos más importantes, la visión, hacia nuevos límites, transformando y mejorando nuestra comprensión del cosmos. El telescopio espacial Hubble ejerce una particular fascinación en el público de todas las edades y, de esta forma, contribuye fuertemente a la divulgación de la ciencia y la astronomía, a través de imágenes que deleitan al gran público. Este documento presenta un panorama de los aportes del desarrollo tecnológico en la divulgación de la historia de la astronomía a partir de una revisión bibliográfica, ofreciendo una reflexión sobre este legado y la perspectiva de continuidad de esta historia que interpela a la humanidad.

**Palabras clave:** Historia de la astronomía; Divulgación de la astronomía; Galileo; Telescopio espacial Hubble.

## 1. Introdução

Desde os tempos mais remotos, o ser humano sempre demonstrou interesse em conhecer os segredos do universo e relacioná-los com o seu cotidiano. A astronomia, uma das ciências mais antigas, é das mais importantes no desenvolvimento da humanidade (Santos et al., 2019). O impacto desta área do conhecimento nas sociedades tem início na pré-história com as observações dos movimentos aparentes do sol, lua e estrelas, construindo-se assim as primeiras ideias sobre o universo. De acordo com Força et al., 2007, o Homem começou a “fazer ciência” a partir do momento em que, começou a observar, questionando-se sobre o que eram as estrelas e porque estavam ali, desenhando o aspeto do céu, tentando a partir desse desenho prever os fenómenos celestes. Os registos astronómicos mais antigos devem-se aos chineses, babilónicos, assírios e egípcios e datam de aproximadamente 3000 a.C. Naquela altura, os astros eram observados por motivos práticos, normalmente relacionados com a agricultura, com a medição da passagem do tempo, com a construção de calendários ou por motivos astrológicos.

Historicamente, e ainda de acordo com Força et al., 2007, a contemplação do céu pode ser dividida em quatro momentos: astronómico, astrológico, astrofísico e astronáutico e em cada um desses períodos o Homem construiu conhecimento. Até 1609 todas as observações astronómicas eram feitas à vista desarmada. Na verdade, foi Galileu Galilei (1564-1642) quem, valendo-se de um instrumento ótico (a luneta), utilizado naquela época pelos marinheiros, deu uma perceção aumentada à visão humana, colocando em causa a visão aristotélica do mundo, predominante na altura (Carvalho, 2020). Galileu criou para as observações celestes um instrumento extraordinário, o *perspicillum*, uma luneta astronómica. Com ela, Galileu pode ultrapassar os limites impostos pela natureza a um dos sentidos humanos, a visão! As suas lentes permitiram ver e mostrar a todos, coisas que ninguém antes dele havia visto ou imaginado: as montanhas da lua, as manchas do sol, os satélites de Júpiter, a constituição estelar da via láctea e de várias nebulosas.

As observações astronómicas de Galileu contribuíram para destruir a ideia de um cosmos finito e hierarquizado, confirmar a teoria heliocêntrica de Copérnico e desacreditar a medicina astrológica. A Terra, um lugar habitado pelos homens, criaturas feitas à imagem e semelhança de Deus, deixaria de ser o ponto fixo no centro do universo (Moraes & Frota, 2000).

A partir deste momento, como notam Força e colaboradores (2007), iniciou-se uma estreita relação entre a evolução dos instrumentos astronómicos, a tecnologia, a história e a ciência. Estes autores realçam a invenção do telescópio, por ter permitido o desenvolvimento da astronomia moderna e a sua popularização, possibilitando aos astrónomos amadores ter um papel mais ativo,

Estudos realizados para percebermos o universo, conduzem a novos conhecimentos fundamentais, que serão a base do desenvolvimento tecnológico do futuro. Com a construção de potentes telescópios, foi possível verificar a existência de milhares de outras galáxias e com a ajuda da radioastronomia, os conhecimentos astronómicos aumentaram de forma muito célere. Atualmente, inúmeras observações são realizadas, não só nos muitos observatórios espalhados pelo mundo, mas também através de sondas lançadas no espaço, multiplicando de forma extraordinária os conhecimentos astronómicos.

Com o contínuo desenvolvimento tecnológico e a imaginação e criatividade dos cientistas, esperam-se anos de novas

descobertas sobre o cosmos, que nos permitam responder à questão que suscita inquietação desde o início da humanidade: “Qual o nosso lugar no universo?”

O propósito do presente trabalho é apresentar um panorama dos contributos do desenvolvimento tecnológico na divulgação da história da astronomia, oferecendo uma reflexão sobre esse legado e a perspectiva de continuidade dessa história que continua a desafiar a humanidade.

## 2. Metodologia

Este documento, que é o resultado de revisão bibliográfica e documental, pretende apresentar alguns contributos do desenvolvimento tecnológico, nomeadamente da luneta de Galileu e do telescópio espacial *Hubble*, na divulgação da história da astronomia.

De acordo com o enquadramento referido, foi elaborada uma revisão narrativa. Esta categoria de artigos tem como propósito expor e discutir “o estado da arte” sobre a temática em questão, sendo essencial na educação continuada e em meio académico, pois permite que os leitores possam, de uma forma rápida, manter-se atualizados e aprimorar os conhecimentos relativamente a um determinado assunto (de Sousa et al., 2021; Rother, 2007). Pelos mesmos motivos, as revisões narrativas são igualmente importantes na divulgação da ciência. Metodologicamente, enquadram-se numa abordagem qualitativa (Rother, 2007), que apresenta como desígnio a compreensão dos fenómenos na sua totalidade e de acordo com o contexto em que ocorrem (Coutinho, 2021).

Foi realizado um levantamento bibliográfico, recorrendo-se às bases de dados *SCOPUS*, *Web of Science* e *Google Scholar*, utilizando as palavras-chave *telescópio de Galileu*, *telescópio espacial Hubble*, *história da astronomia*, *divulgação da astronomia*, em português, e *Galileo's telescope*, *Hubble space telescope*, *history of astronomy*, *dissemination of astronomy*, em inglês. Do mesmo modo, utilizaram-se nas pesquisas os operadores booleanos *e* e *ou*, *and* e *or*. Do cruzamento das respetivas palavras-chave resultaram diversos documentos, dos quais foram selecionados, de acordo com os critérios de inclusão previamente definidos, os artigos mais recentes, de autores com um maior número de trabalhos publicados na área, de revistas da especialidade de renome e com maior relevância para o objetivo traçado. Foram incluídos trabalhos realizados em inglês e português.

A estratégia de seleção dos artigos seguiu as etapas seguintes: levantamento inicial, de acordo com os critérios de elegibilidade anteriormente referidos, leitura do título e resumo de todos os trabalhos encontrados, exclusão dos artigos que não apresentavam relevância na temática em análise, leitura integral dos artigos restantes e, finalmente, a seleção final dos 24 trabalhos incluídos no *corpus* desta revisão narrativa de literatura.

Utilizou-se, ainda, como fontes privilegiadas de informação, o sítio da internet da *European Space Agency* (ESA) e o da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), tanto pela sua relevância na divulgação científica da astronomia, como por serem as agências responsáveis pelo telescópio espacial *Hubble*.

## 3. A Luneta de Galileu

Em junho de 1609, Galileu construiu a sua primeira luneta (Figura 1), tendo como referência um instrumento para olhar à distância, fabricado pelo holandês Hans Lippershey. Na sua primeira “obra” conseguiu uma ampliação de 3 vezes, mas em dezembro, depois de ter construído várias lunetas, obteve a mais potente, com uma ampliação de 30 vezes.

Mais tarde, em março de 1610, foi publicado o trabalho de Galileu Galilei, redigido em latim, o *Sidereus Nuncius* (Figura 2). Nesta obra, o astrónomo deu a conhecer alguns aspetos das suas observações desde o ano de construção da sua primeira luneta, nomeadamente, a superfície irregular da lua; alguns aglomerados estelares; as fases de Vénus, as enormes distâncias entre as estrelas; mas, o mais importante aspeto da obra, que ocupou mais de 40% das suas páginas, refere-se à

descoberta de quatro satélites naturais de Júpiter (Iachel, 2009). Este trabalho veio desafiar o modelo da filosofia aristotélica, que não admitia, por exemplo, a ocorrência de irregularidades na superfície de outro objeto que não a Terra, como era o caso da lua. Não aceitava igualmente a existência de corpos celestes a orbitar qualquer outro planeta, como acontecia com os satélites de Júpiter.

**Figura 1.** A luneta de Galileu.



Fonte: <https://www.esa.int/eseach?q=Galileo%27s+telescope>

No trabalho de Iachel (2009), encontramos alguns trechos da obra de Galileu, que explicam como ele descobriu as primeiras luas de Júpiter: No dia 7 de janeiro de 1610, Galileu observou três pontos brilhantes em redor de Júpiter, perfeitamente alinhados, a que chamou “estrelas”.

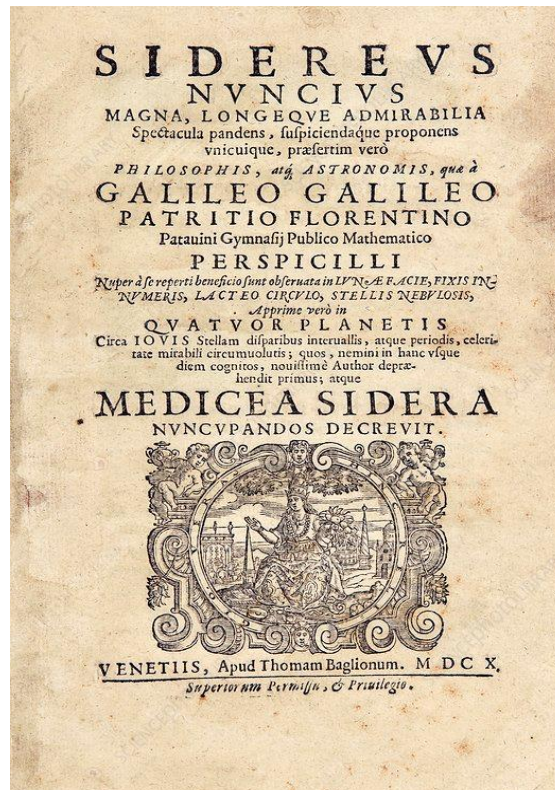
*(...) no sétimo dia de Janeiro do presente ano de 1610, na primeira hora da noite, quando observava corpos celestes através da luneta, Júpiter apresentou-se para mim. E como tinha fabricado um instrumento absolutamente excelente, reconheci (o que antes não tinha podido conseguir devido à fraqueza da outra luneta) que havia três estrelas próximas do planeta, pequenas, mas muito claras. (...)* (Drake, 1983, p. 58, citado em Iachel, 2009).

Durante os dias seguintes, Galileu acompanhou o planeta e as mudanças de posições relativas das misteriosas “estrelas”. Quatro dias depois, descobriu que elas não faziam parte do conjunto das estrelas fixas da esfera celeste, uma vez que “erravam” em volta de Júpiter.

*(...) existiam duas estrelas a Leste; a do meio estava três vezes mais distante de Júpiter que em relação a mais à Leste. A última era aproximadamente duas vezes maior que a outra, enquanto que, na noite anterior, apareceram mais ou menos iguais. Foi por isso que estabeleci sem qualquer dúvida que havia no céu três estrelas errando à volta de Júpiter,*

tal como *Vénus e Mercúrio em torno do Sol. Isso se tornou mais claro do que a luz do dia ao longo de outras observações posteriormente feitas (...)* (Drake, 1983, p. 61, citado em Iachel, 2009).

**Figura 2.** Frontispício do *Sidereus Nuncius*.



Fonte: [https://webpages.ciencias.ulisboa.pt/~ommartins/seminario/galileu/as\\_obras.htm#Sidereus%20Nuncius](https://webpages.ciencias.ulisboa.pt/~ommartins/seminario/galileu/as_obras.htm#Sidereus%20Nuncius).

Foi no dia 13 de janeiro de 1610, Galileu percebeu, pela primeira vez, que seriam quatro os planetas a orbitar Júpiter, e não três, como inicialmente pensou. Reparou, ainda, que variavam de brilho, tamanho e posição, tanto entre si como em relação a Júpiter (Monteiro & Nardi, 2012). A dificuldade da percepção da existência de mais um quarto corpo poderá estar relacionada com a distância a que se encontrava de Júpiter, na altura das observações.

Em 1964, o astrónomo belga, Jean Meeus, realizou cálculos para saber quais eram as posições dos satélites galileanos entre 7 e 15 de Janeiro de 1610, comparando-os com os desenhos presentes no *Sidereus Nuncius*. Na sequência do estudo, Jean Meeus, sugeriu uma hipótese para o intervalo de tempo utilizado por Galileu para reparar na quarta lua, constatando a perícia das observações galileanas (Drake, 1995, citado em Iachel, 2009).

Entre os dias 7 e 13 de janeiro, Calisto, a lua mais afastada de Júpiter, vinda de leste, diminui a distância aparente em relação ao planeta, apresentando-se, assim, no campo de visão da luneta do astrónomo. Por não terem ocorrido ocultações nem trânsitos, no dia 13 de janeiro, Galileu pode vê-la. Durante as observações ao longo dos dias seguintes, foi-lhe possível estimar a distância aparente entre as “estrelas” e Júpiter, registos apresentados na sua obra, referentes ao dia 21 de janeiro de 1610.

*(...) os intervalos eram, segundo a minha estimativa, de 50 segundos. Havia também uma estrela a Leste, distante de Júpiter quatro minutos. A estrela mais próxima de Júpiter, em Leste, era a menor de todas; as outras, pelo contrário, eram um pouco maiores e mais ou menos iguais entre elas (...)* (Drake, 1983, p. 71, citado em Iachel, 2009).

Galileu continuou as observações de Júpiter e das suas principais luas até dois de março do mesmo ano, e à medida que se consolidavam, o discurso foi-se tornando mais técnico, com preocupações na informação sobre as posições exatas daqueles corpos celestes. Cerca de dois meses de observações ocorreram, entretanto, para que descobrisse o que viria a modificar a visão



da astronomia da época, além da lua que orbitava a Terra, surgia agora a evidência da existência de satélites naturais em torno de outros planetas.

Por volta de 1800, as luas foram apelidadas como Io, Europa, Ganimedes e Calisto, nomes utilizados por Simon Marius (1573-1624), astrónomo alemão e contemporâneo de Galileu.

A Tabela 1 apresenta algumas características das quatro luas descobertas por Galileu (Iachel, 2009), atualmente conhecidas por satélites galileanos ou luas galileanas.

**Tabela 1.** Características das principais luas de Júpiter.

<b>Nome da Lua</b>	<b>Distância média a Júpiter (Km)</b>	<b>Período orbital (dias terrestres)</b>	<b>Excentricidade de da órbita</b>	<b>Magnitude (mag)</b>	<b>Raio equatorial (Km)</b>
Io	421.769	1,769	0,0041	5,02	1.820
Europa	671.079	3,551	0,0101	5,29	1.570
Ganimedes	1.070.428	7,155	0,0006	4,61	2.630
Calisto	1.882.759	16,689	0,0074	5,65	2.400

Fonte: Adaptado de Iachel (2009).

No estudo de Monteiro e Nardi (2012) encontramos registros de outras observações celestes realizadas por Galileu, registadas no *Mensageiro das Estrelas*: Por exemplo, entre os dias 30 de novembro e 18 de dezembro de 1610, Galileu também realizou observações à nossa lua em diversas fases (figura 3). Na sequência dessas observações elaborou cinco gravuras com a descrição visual da superfície lunar, sendo o referencial para as suas argumentações.

Galileu constatou que a superfície da lua seria constituída por planícies, montanhas, vales e depressões, responsáveis pelas manchas escuras na zona clara. Para além das zonas claras, representou ainda uma parte escura na face visível. Desde a antiguidade que as manchas lunares eram alvo de muitas interpretações, desde ser outra Terra (Heráclides e Platão), sombra da Terra (Clearco) ou mesmo a incidência da luz solar (Averróis).

Entre outubro e dezembro de 1610, partindo das observações telescópicas, Galileu notou, ainda, a existência de fases em Vénus, semelhantes às da lua, o que só poderia ser possível se o planeta orbitasse em torno do sol. Para Kuhn (1990), citado em Monteiro & Nardi (2012), esta verificação seria uma prova direta a favor do heliocentrismo.

Del Colombo (2010) refere, que no final de 1610, Galileu reconheceu a existência de manchas solares, ocorrência registada mais tarde, na sua obra *O Ensaizador*, publicada em 1623.

O sol, fonte de luz do mundo, estava no centro do sistema e a Terra girava em torno dele e do seu próprio eixo. Esta estrela, a mais perfeita dos astros, possuía manchas e a lua, montanhas (Moraes & Frota, 2000)!

**Figura 3.** Duas páginas do *Sidereus Nuncius* com ilustrações da lua.



Fonte: Malta (2017).

A ideia do cosmos, como princípio de ordem que orientaria o universo, viria a ser substituída pela concepção de um universo aberto e indeterminado, desaparecendo ainda a oposição entre céu e Terra, isto é, entre o mundo supra e sublunar. Desaparecem igualmente as descrições qualitativas da física aristotélica-medieval. Para a nova ciência, por exemplo, o que se deve explicar não é a queda (o 'porquê' da queda), mas antes a medição de aspectos fundamentais do movimento ('como' é a queda): tempo, espaço, massa e velocidade dos corpos (Moraes & Frota, 2000).

#### 4. O Advento da Astronomia Moderna

O surgimento do telescópio permitiu não só melhorar a nossa visão, mas também temperar o nosso orgulho, conforme mostraram as observações de Galileu e Kepler que, nos séculos XVI e XVII, vieram propor a rejeição do conceito milenar de que a Terra seria o centro do universo, liderando, desta forma, a revolução científica (NASA, 2020).

Nos séculos XVIII e XIX, o telescópio tornou-se um instrumento indispensável para investigar o cosmos. Na Europa e mais tarde, noutros locais do mundo, o desenvolvimento e construção de telescópios progressivamente maiores e mais eficientes, tornou-se uma realidade. Planetas, estrelas e nebulosas, que não podiam ser vistos a olho nu, começaram a ser observados e registados, de uma forma mais rotineira. Os avanços posteriores na área da fotografia, da espectroscopia e da fotometria, contribuíram para aumentar a versatilidade, a sensibilidade e o poder da descoberta do telescópio (Kalirai, 2018; NASA, 2020).

Contudo, apesar de todas as conquistas, havia desafios que a ciência ainda não conseguia ultrapassar, nomeadamente, o facto de a atmosfera impor inúmeros efeitos de distorção, que limitavam a clareza da imagem, e até de absorção, que impediam a chegada de uma parte da radiação à Terra, dificultando a obtenção de imagens de qualidade a partir de telescópios localizados na superfície terrestre (Shayler & Harland, 2015; Williams, 2020). Em todo o mundo, os telescópios começaram a ser colocados em locais de elevada altitude e longe dos centros urbanos para melhorar a nitidez da imagem, mas ainda assim, o resultado obtido continuava limitado às condições impostas pela atmosfera terrestre.

##### 4.1. O telescópio espacial *Hubble*

Na década de 20 do século passado, o astrónomo alemão, Hermann Oberth, um dos três pais dos foguetes modernos,

juntamente com Robert Goddard e Konstantin Tsiolkovsky, publicou *Die Rakete zu den Planetenraumen* (“O Foguete no Espaço Planetário”). Mais tarde, na década de 40 do mesmo século, o astrofísico Lyman Spitzer escreveu sobre os benefícios científicos de um telescópio no espaço, acima da turbulenta atmosfera terrestre (Fosbury & Christensen, 2006; Kalirai, 2018).

Em plena guerra fria e após o lançamento bem-sucedido do *sputnik I*, em 1957, pelos soviéticos, os americanos continuaram o investimento na apelidada corrida espacial, fundando a *National Aeronautics and Space Agency* (NASA) em julho de 1958, com o propósito de desenvolver investigação e tecnologia de ponta para programas de exploração espacial.

Por volta do final dos anos 60, início dos anos 70 do século XX, era já admitido pela comunidade científica americana a importância da colocação de um telescópio em órbita, procurando, desta forma, impedir os efeitos negativos da atmosfera nas imagens obtidas a partir de telescópios em Terra (Fosbury & Christensen, 2006; Harris & Russo, 2015). Nasce, assim, o projeto da construção de um grande telescópio espacial, que viria a ter a designação de *Telescópio Espacial Hubble* (HST - *Hubble Space Telescope*), em homenagem ao cosmólogo americano Edwin Hubble, que havia contribuído de forma decisiva para a descoberta do afastamento entre galáxias, sugerindo que o universo, ao contrário do que se pensava, se estaria a expandir e não seria estático.

Ainda na década de 70, a *European Space Agency* (ESA) junta-se à NASA no esforço conjunto de desenvolvimento e construção do HST (Fosbury & Christensen, 2006; Harris & Russo, 2015). A participação europeia, embora numa percentagem menor, de apenas cerca de 15%, terá sido fundamental para o sucesso do projeto (Williams, 2020). Dada a natureza internacional da astronomia, o intercâmbio de saberes entre cientistas de diferentes partes do mundo impulsiona a investigação e as descobertas. Adicionalmente, foi permitida a participação a alguns cientistas de países que integram a ESA em grupos responsáveis pela definição de políticas de investigação espacial. Desta forma, a construção do HST possibilitou o intercâmbio de conhecimento entre astrónomos de diferentes observatórios do mundo, contribuindo para a definição do rumo da investigação internacional no domínio da astronomia e da astrofísica (Williams, 2020).

No coração do HST está um espelho primário, com cerca de 2,4 m de diâmetro. Este fornece luz para cinco instrumentos científicos que trabalham na parte do espectro desde o infravermelho, passando pelo visível, até à luz ultravioleta (NASA, 2020). O HST possui três câmaras, dois espectrógrafos e um conjunto de sensores de orientação fina, o que lhe permite apontar aos alvos pretendidos com extrema precisão, condição necessária para fazer observações rigorosas. A energia do HST provém de painéis solares que fornecem energia para os sistemas de computação e restantes componentes científicos, e ao mesmo tempo carregam seis baterias de níquel-hidrogénio, que o alimentam durante cerca de 25 minutos, em cada órbita, enquanto passa pela sombra da Terra (NASA, 2020). Um sistema elaborado de controlo de altitude melhorou a estabilidade do *Hubble* durante as suas observações e os seus 6 giroscópios monitorizam e controlam a sua posição (NASA, 2020).

No dia 24 de abril de 1990, o HST descolou do centro espacial Kennedy, na Flórida, a bordo do vaivém *discovery*. No dia seguinte, o *Hubble* (Figura 4) foi colocado em órbita, a cerca de 340 milhas, 547 km, da superfície terrestre (NASA, 2020). O tempo necessário para o HST completar uma órbita à volta da Terra era de cerca de 95 minutos, a uma velocidade de 27 000 km/h.

Quase quatro séculos após a utilização da luneta por Galileu, abria-se um novo olhar, pronto para perscrutar o vasto e ainda muito desconhecido cosmos.

Sem a interferência da atmosfera da Terra, o telescópio espacial revelava o universo com uma nitidez cristalina sem precedentes, numa ampla gama de comprimentos de onda, desde a luz ultravioleta até à luz infravermelha (NASA, 2020).



**Figura 4.** O *Hubble Space Telescope*.



Fonte: NASA (2020).

Este pormenor afigurava-se como vantajoso para que o *Hubble* observasse objetos e fenômenos astronômicos de forma mais consistente e detalhada do que os telescópios montados em observatórios construídos em terra. As câmaras e espectrógrafos sensíveis do telescópio podiam ver objetos tão pequenos quanto asteroides, ou mesmo galáxias muito distantes, as quais se começaram a formar quando o universo tinha apenas 3% da sua idade atual (NASA, 2020).

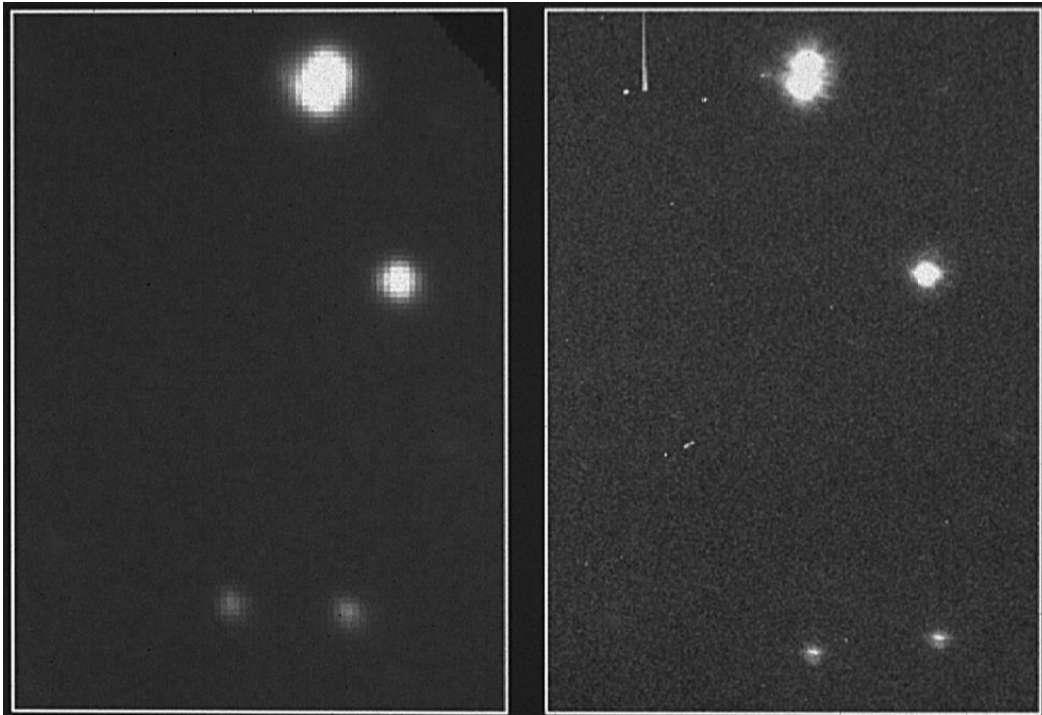
A primeira imagem recebida do HST, em maio de 1990, revelou uma diferença marcante relativamente às imagens obtidas a partir de telescópios em terra. A resolução aprimorada do *Hubble*, traduziu-se numa superior nitidez da imagem recebida (Figura 5).

Na Figura 5, é possível observar, à esquerda, uma imagem da região do céu do observatório Las Campanas, no Chile. À direita está parte da primeira imagem obtida com o HST, da mesma região do céu. A fotografia de Las Campanas foi tirada com um grande telescópio, com mais de 2,5 metros e é típica de fotografias de alta qualidade obtidas do solo.

Aqui, as imagens das estrelas são difusas e, em alguns casos, sobrepõem-se, devido ao efeito de espalhamento da atmosfera da Terra. As mesmas estrelas na imagem obtida do *Hubble* são mais nítidas, o que pode ser constatado pela observação da estrela dupla no topo da imagem. Pela comparação destas duas imagens, os cientistas admitiram que as obtidas a partir do HST eram cerca de 50% mais nítidas do que as obtidas a partir de telescópios localizados à superfície da terra (NASA, 2020), o que foi uma vantagem significativa.

Contudo, no espaço as condições são adversas. A ocorrência de colisões entre corpos celestes é inevitável. Por outro lado, a existência de reações entre os equipamentos eletrônicos e a atmosfera ionizada pode, eventualmente, levar ao seu fracasso. Há que ter também em conta que a radiação ultravioleta do sol provoca uma deterioração de todos os materiais sólidos e que as flutuações de temperatura a que estão sujeitos os objetos numa órbita terrestre mais baixa também sobrecarregam os seus componentes (NASA, 2020).

**Figura 5.** Imagem de telescópio em Terra, à esquerda, e primeira imagem enviada pelo Hubble, à direita.



Nota: À esquerda, imagem do céu obtida a partir do observatório Las Campanas, no Chile; à direita, parte da primeira imagem obtida a partir do *Hubble*, da mesma região do céu. Fonte: NASA (2020).

Com um tempo de vida inicial previsto para 15 anos, foi necessário assegurar manutenções regulares do HST, para atualizações e/ou substituição de componentes. No próprio ano do seu lançamento, em 1990, foi detetado um defeito no seu espelho principal, que impedia a obtenção de imagens ainda mais nítidas.

A chegada desta informação aos meios de comunicação social, deixou uma imagem negativa na opinião pública (Harris & Russo, 2015) e foi necessária uma missão espacial para resolver o problema. Essa missão decorreu em 1993 e a reparação foi efetuada (Figura 6), tendo sido bem-sucedida, o que permitiu ao HST recuperar a sua popularidade (Harris & Russo, 2015). O resultado da correção do espelho pode ser constatado através da comparação de imagens da galáxia M100 antes e após a missão (Figura 7).

No total, o HST foi alvo de cinco missões de reparação, a primeira, acabada de referir, em 1993 e a última em 2009, continuando a funcionar com sucesso há mais de trinta anos.

Durante o seu tempo em órbita, realizou já mais de 1,4 milhões de observações, tendo sido publicados, a partir dos dados obtidos, mais de 17 000 artigos científicos em revistas sujeitas a revisão, abordando temas tão diversos como a formação da Terra, o desenvolvimento e evolução de galáxias e de estrelas, a existência de enormes buracos negros, de exoplanetas, ou a composição atmosférica de planetas fora do nosso sistema solar (Apai et al., 2010; ESA, nd; NASA, 2020).

O *design* exclusivo do *Hubble*, que permitiu a sua reparação e atualização com tecnologia avançada por astronautas no espaço, transformou-o num dos telescópios espaciais mais valiosos e com maior tempo de vida, possibilitando o registo de imagens de qualidade que permitiram aos astrónomos novas interpretações de diferentes objetos astronómicos, além de fornecer uma visão geral dos processos astrofísicos subjacentes que ocorrem nesses objetos, desde planetas no nosso sistema solar até galáxias muito distantes, no universo jovem (Christensen, 2007).

**Figura 6.** Trabalho da astronauta Kathryn Thornton, no Hubble, durante a missão de serviço número 1, em 1993.



Fonte: NASA (2020).

**Figura 7.** Comparação de imagens da Galáxia Espiral M100, registradas antes e após a missão serviço número 1.



Nota. À esquerda, imagem obtida antes da reparação do espelho e à direita, após a missão de reparação. Fonte: NASA (2020).

As explorações/observações do HST mudaram fundamentalmente a nossa percepção do universo. As descobertas construídas a partir das suas imagens (re)modelaram a nossa visão e compreensão do universo, introduzindo, ao mesmo tempo novos temas de investigação nas diversas áreas da astronomia, que vão por exemplo desde as ciências planetárias e estelares, até à astronomia galáctica e extragaláctica, continuando na atualidade a motivar as atuais gerações de cientistas a construir observatórios espaciais cada vez mais ousados (Kalirai, 2018).

Suceder ao *Hubble* poderá ser uma missão difícil, mas ao telescópio espacial *James Webb*, projeto internacional liderado pela NASA e com contribuições da ESA e da Agência do Espaço do Canadá, poderá estar destinado um papel principal. Este é um grande telescópio espacial, otimizado para luz infravermelha e projetado para permitir avanços fundamentais na nossa



compreensão de temas como a formação e a evolução de galáxias, de estrelas e dos sistemas planetários (Carter et al., 2021; Gardner et al., 2006; NASA, 2020). Inicialmente previsto para outubro de 2021 (NASA, 2020), o seu lançamento no espaço acabou por acontecer quase no final do ano, no dia 25 de dezembro, esperando-se com ele novos e inestimáveis desenvolvimentos na área da astronomia moderna.

## 5. Divulgação da História da Astronomia

Como referido anteriormente, Galileu procurou ampliar a sua visão sobre o universo com o aperfeiçoamento de um instrumento ótico potente para a sua época, o que permitiu obter informação visual nunca antes vista daquela maneira. Esta nova forma de visão trouxe informação e respostas para algumas questões que foram cruciais para o desenvolvimento das suas pesquisas e para revolucionar a ciência. Do século XVII ao século XX, a tecnologia avançou incrivelmente, permitindo-nos ver além dos olhos de Galileu. No entanto, essa visão poderia estar restrita unicamente à comunidade científica, como acontecia na época do “pai da ciência moderna”, apesar do seu contributo em sentido contrário.

O lançamento de um telescópio espacial como o *Hubble* certamente trouxe grandes contributos à ciência astronómica. Contudo, viajar a bordo desse extraordinário e complexo instrumento, como impulsionador da divulgação da ciência, elevou para outro patamar a visão da sociedade sobre a astronomia.

Se para os astrónomos, o *Hubble* foi capaz de transformar a compreensão do universo, revelando fenómenos e ajudando a responder a algumas das questões mais intrigantes da astronomia (NASA, 2020), para o cidadão comum, esse instrumento foi, e continua a ser, capaz de inspirar, revelando imagens de um mundo completamente distante, mas que nos aproxima da compreensão dos mistérios mais remotos. Além disso, os capítulos da história da astronomia contemporânea têm sido fortemente marcados pelos avanços da tecnologia, tanto pelas imagens capturadas pelo HST, quanto pelas potencialidades da divulgação eletrónica e, mais recentemente, digital.

Pedro Russo, editor chefe da revista científica especializada em divulgação da astronomia *Communicating Astronomy with the Public*, ao falar sobre a importância do HST, enfatizou que o apelo estético e o poder ilustrativo desse telescópio capturou a imaginação de cientistas e cidadãos comuns, ao transmitir a beleza do universo, mesmo para os que não entendiam o seu contexto ou implicações (Russo, 2009).

Scherzler (2009) já afirmava que, independente da visão que o astrónomo tem sobre os jornalistas, a maior parte do conhecimento que a sociedade tem sobre astronomia surgiu dos diversos meios de comunicação social (televisão, jornal ou *media online*). A popularidade do HST resultou, em grande medida, do esforço de uma equipa de divulgação científica que se esforçou, desde o seu lançamento até à sua desativação, para oferecer à sociedade imagens fantásticas e os resultados das mais atuais descobertas produzidas pela NASA.

Na verdade, a agência não perdeu tempo e um gabinete de divulgação pública foi criado pelo *Space Telescope Science Institute* (STScI) para partilhar as descobertas do *Hubble* com o público em geral. Griffin (2003) enfatiza o quanto o STScI e a NASA foram proativos em desenvolver inúmeros produtos e programas que atraíram um imenso interesse no *Hubble*, para informar, educar e inspirar milhões de pessoas em todo o mundo. Além disso, era necessário um esforço para justificar os altos custos associados com o programa do telescópio espacial. Griffin (2003) lembrou que o entusiasmo da pesquisa astronómica deveria ser partilhado com uma mais vasta audiência, para que os financiadores do programa obtivessem retorno dos seus investimentos.

Em 1994, Dan Golgin, então administrador da NASA, junto com Carl Sagan, astrónomo e um dos maiores divulgadores da astronomia na época, realizaram um *workshop* que destacou a necessidade da agência desenvolver uma comunicação mais efetiva com o público e, principalmente, desempenhar um papel mais preponderante na educação. Desta forma, o gabinete de divulgação pública surgiu com um esforço centrado em programas de educação relacionados com a ciência produzida pelo HST,

com foco na educação e numa ampla compreensão pública da ciência (Griffin, 2003).

Além de toda a contribuição científica para a astronomia, o HST representa uma tecnologia não apenas associada à sua *performance* científica-observacional como telescópio espacial, mas igualmente associada ao seu potencial de divulgação da ciência.

Provavelmente os resultados mais marcantes relacionados à divulgação da astronomia para o público em geral estão associados às imagens capturadas pelo HST. Contudo, para alcançar essa audiência e fascinar o público, as fotografias registradas pelo HST necessitam de receber um tratamento detalhado. McDermott (2019) observa que para a divulgação ao público é fundamental um toque de arte aliado aos dados científicos, afirmando ainda que essa estratégia é igualmente utilizada em outras áreas científicas, com objetos de estudo distintos, tais como imagens de células ou vírus, obtidas por microscopia.

Por esta razão, as fotografias são o maior destaque nos vários sítios *web* de divulgação do programa, pois encantam e traduzem uma informação que não poderia ser compreendida facilmente pelo público leigo.

*Access Hubble Special Edition SM4* foi o primeiro *reality show* produzido para a NASA para mostrar, de forma inovadora, o drama da quarta missão de reparação do HST realizada no início de 2009. Apesar do reduzido orçamento, a iniciativa teve um excelente resultado de audiência, devido ao acesso universal aos meios digitais (Villard, 2009), aproximando ainda mais o público em geral da dinâmica de toda a equipa responsável pela missão.

No seu 25.º aniversário em órbita, os astrónomos usaram o telescópio para revisitar os “Pilares da Criação” na nebulosa da águia (M16), fotografada pela primeira vez em 1995. Em 2014, com uma substituição mais avançada do equipamento ótico, a nova câmara proporcionou uma visão mais ampla, sendo obtidas imagens em luz visível e infravermelho, cujos comprimentos de onda, por serem mais longos, permitiram ver mais detalhes e estrelas normalmente impercetíveis no espectro de luz visível (Figura 8) (NASA, 2020).

O forte apelo das imagens recolhidas pelos seus espelhos e a tecnologia, em constante renovação, foram responsáveis pelo fortalecimento da divulgação da astronomia e colocaram o telescópio espacial *Hubble* como um marco no registo da história da astronomia moderna.

Embora não existam previsões de novas missões de reparação para o HST, as suas imagens continuam a servir a ciência astronómica e as agências de divulgação, que se especializaram na divulgação da astronomia pelos espelhos do *Hubble*, continuam a transmitir o seu legado à sociedade. O STScI, que tem como missão apresentar e divulgar uma astronomia atraente, envolvente, compreensível e relevante para um público diversificado, surgiu com o lançamento do HST e oferece uma história com mais de 30 anos de divulgação em astronomia. O sítio *web* <https://www.stsci.edu/> oferece, além das imagens fantásticas, vídeos e palestras sobre astronomia, eventos e material interativo, entre outros.

Para comemorar as três décadas de lançamento do HST, a NASA organizou diversas ações e disponibilizou inúmeros conteúdos na sua página *web*, que já foram vistos por mais de um milhão de pessoas.



**Figura 8.** Os “Pilares da Criação”, nebulosa da águia, fotografados em luz visível e infravermelha.



Nota: À esquerda, imagem obtida a partir de luz do espectro do visível e à direita, a partir de luz do espectro infravermelho. Fonte: NASA (2020).

Entre esses conteúdos há um *podcast* dedicado ao *Hubble* que referencia o legado desse audacioso projeto e a sua contribuição para a divulgação da astronomia (<https://www.nasa.gov/content/hubbles-30th-anniversary-podcast>). Assim, foi possível aproximar o público em geral de nova informação, antes confinada ao meio científico, através, por exemplo, de uma secção de vídeos comemorativos que mostram as conquistas alcançadas pelo projeto (<https://www.nasa.gov/content/hubbles-30th-anniversary-videos>), além de uma seleção de imagens que marcaram a trajetória do satélite (<https://www.flickr.com/photos/nasahubble/albums/72157713228021437>). São trinta imagens, uma para cada ano do satélite em órbita, incluindo uma imagem que marcou o trigésimo aniversário (figura 9).

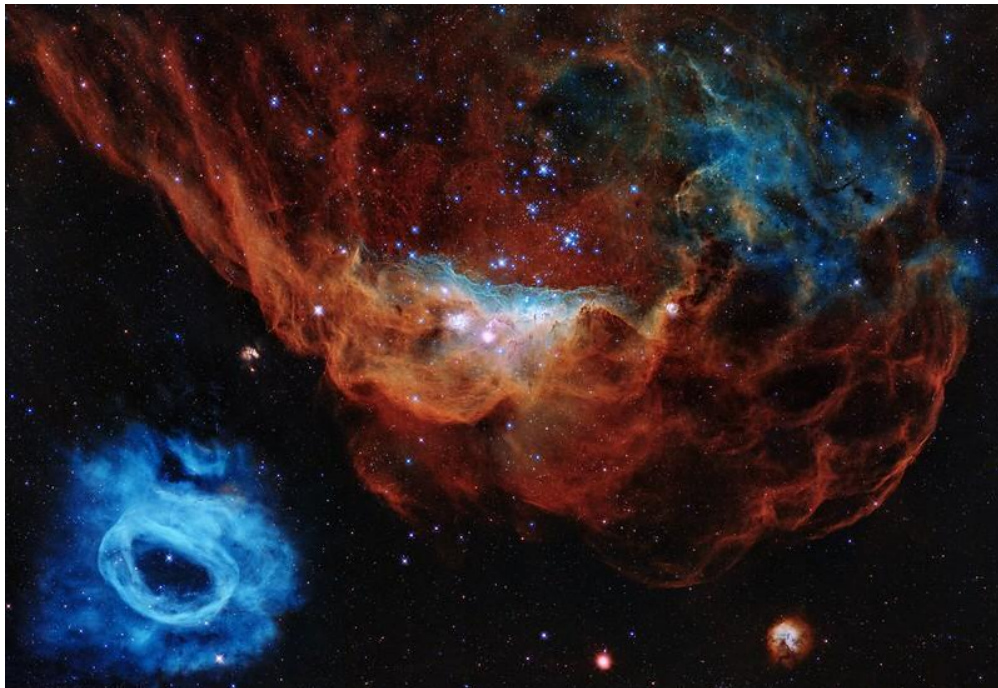
A imagem, chamada de “recife cósmico” por se assemelhar a um mundo submarino, apresenta a nebulosa vermelha gigante (NGC 2014) e seu vizinho azul menor (NGC 2020), que fazem parte de uma vasta região formadora de estrelas na Grande Nuvem de Magalhães, uma galáxia satélite da via láctea, localizada 163000 anos-luz de distância (NASA, 2020).

Adicionalmente, a NASA disponibilizou uma novidade acessível a todos os visitantes da sua página *web*, permitindo-lhes aceder à imagem recolhida pelo *Hubble* no dia do seu aniversário. (<https://www.nasa.gov/content/goddard/what-did-hubble-see-on-your-birthday>).

Após 30 anos de exploração do espaço, o HST desafiou os limites da astronomia. Astrónomos e astrofísicos procuram, há décadas, evidências de buracos negros de massa intermediária. Recentemente, Dacheng Lin e colaboradores (2020) publicaram uma investigação resultante de imagens capturadas pelo *Hubble* aliadas a uma modelagem cuidadosa, que sugeriram um buraco negro iluminado após absorver uma estrela, fornecendo algumas das evidências mais convincentes para a sua existência.

Com estas descobertas, a história da astronomia ganhou mais um capítulo e segue o seu curso diante dos olhos atentos do público, que se torna cada vez mais envolvido no universo astronómico e científico.

**Figura 9.** Imagem do “Recife Cósmico”, em comemoração dos 30 anos do *Hubble*.



Fonte: <https://www.flickr.com/photos/nasahubble/albums/72157713228021437>

## 6. Considerações Finais

Desde o início das primeiras civilizações, a nossa compreensão do universo é limitada, por um lado, pela nossa reduzida capacidade visual, e por outro pela nossa imaginação.

O espaço é um ambiente hostil para todos os objetos, sejam eles naturais ou construídos pelo Homem. Apesar de todos os potenciais obstáculos, e contra todas as primeiras previsões, o telescópio espacial *Hubble* continua a funcionar de uma forma notável, promovendo o desenvolvimento da ciência, em geral, e da astronomia, em particular, criando oportunidades e proporcionando um cenário único para a sua divulgação a públicos de todas as idades.

Muitos projetos continuarão a utilizar o legado deixado pelo *Hubble*, como é o caso do programa ULLYSES (*UV Legacy Library of Young Stars as Essential Standards*), que trabalhou com o HST para produzir uma biblioteca da espectrografia das estrelas do universo local (NASA, 2020). Adicionalmente, é expectável que o telescópio espacial recentemente lançado em órbita, o *James Webb Space Telescope*, e outros que seguramente se seguirão, possam ampliar, cada vez mais, a gama de novos conhecimentos desta “era” da astronomia moderna.

Além de educar e promover o conhecimento da astronomia, a história da observação astronómica, desde Galileu até ao telescópio *Hubble*, “alimentou e despertou” a curiosidade, ajudando-nos, por um lado, a desvendar alguns mistérios e a transformar a perspetiva que o Homem tinha do universo e, por outro lado, a levantar novas questões e enigmas, que ainda permanecem sem resposta.

A tecnologia assume um papel fulcral neste processo, contribuindo de forma inigualável para a jornada de construção e divulgação da história da astronomia.

Esperamos num trabalho futuro demonstrar, não apenas o impacto da utilização dos recursos oferecidos pelo HST na promoção de interesse e motivação pela astronomia, mas, igualmente, no aumento de conhecimentos na área da cosmologia do público em geral, desde os mais jovens aos mais crescidos. Adicionalmente, novas investigações podem passar por caracterizar com maior detalhe o percurso evolutivo da tecnologia que, em cerca de 400 anos, permitiu passar de uma simples luneta telescópica (a de Galileu) a um telescópio como o *James Webb Space*. Esse percurso terá que ter em conta não apenas o

desenvolvimento de telescópios cada vez mais evoluídos, mas também toda a instrumentação que a tecnologia conseguiu colocar à disposição das diversas gerações de astrónomos, para que se pudesse atingir o nível de conhecimento atual nesta área.

## Agradecimentos

Esta investigação foi parcialmente apoiada por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito das referências UIDB/04423/2020 e UIDP/04423/2020.

## Referências

- Apai, D., Lagerstrom, J., Reid, I. N., Levay, K. L., Fraser, E., Nota, A., & Henneken, E. (2010). Lessons from a high-impact observatory: The Hubble Space Telescope's science productivity between 1998 and 2008. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 122(893), 808.
- Carter, A. L., Hinkley, S., Bonavita, M., Phillips, M. W., Girard, J. H., Perrin, M., ... & Skemer, A. J. (2021). Direct imaging of sub-Jupiter mass exoplanets with James Webb Space Telescope coronagraphy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 501(2), 1999-2016.
- Carvalho, A. (2020). The heavenly wonder. *Paralaxe*, 7(1), 3-18. doi:10.23925/2318-9215.2020v7n1D1
- Christensen, L. L. (2007). *The hands-on guide for science communicators. A step-by-step approach to public outreach*. Springer.
- Coutinho, C. (2021). Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: Teoria e Prática (2.ª ed.). Almedina.
- de Sousa, A. S., de Oliveira, G. S. & Alves, L. H. (2021). A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. *Cadernos da FUCAMP*, 20(43).
- Del Colombo, E. (2010). Galileu Galilei. Sidereus Nuncius. O Mensageiro das Estrelas. *Actes d'història de la Ciència i de la tècnica*, 3(1), 95-97.
- European Space Agency (ESA). Galileo's telescope. <https://www.esa.int/esearch?q=Galileo%27s+telescope>
- European Space Agency (ESA). Hubble overview. [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Hubble\\_overview](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Hubble_overview)
- Força, A., Perez, E., Quintilio, M. & Alves, V. (2007). A evolução dos instrumentos de observação astronómica e o contexto histórico-científico. *Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 1-9.
- Fosbury, R., & Christensen, L. L. (2006). Hubble's bequest to astronomy. *STECF*, 41, 2.
- Gardner, J. P., Mather, J. C., Clampin, M., Doyon, R., Greenhouse, M. A., Hammel, H. B., ... & Wright, G. S. (2006). The James Webb Space Telescope. *Space Science Reviews*, 123(4), 485-606.
- Griffin I. (2003) The Hubble Space Telescope Education and Outreach Program. In: Heck A., Madsen C. (eds) *Astronomy Communication. Astrophysics and Space Science Library*, vol 290. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0801-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0801-2_8).
- Harris, H. E., & Russo, P. (2015). The influence of social movements on space astronomy policy: The cases of "Hubble Huggers", JWST's "Science Warriors" and the ISEE-3 "Reboot Team". *Space Policy*, 31, 1-4.
- Iachel, G. (2009). Evidenciando as órbitas das luas galileanas através da astrofotografia. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia, RELEA*, 8, 37-49. doi:10.37156/RELFA/2009.08.037
- Kalirai, J. (2018). Scientific discovery with the James Webb space telescope. *Contemporary Physics*, 59(3), 251-290.
- Lin, D., Strader, J., Romanowsky, A., Irwin, J., Godet, O., Barret, D., Aaron, J., Webb, N., Homan, J. & Remillard, R. A. (2020). Multiwavelength Follow-up of the Hyperluminous Intermediate-mass Black Hole Candidate 3XMM J215022. 4– 055108. *The Astrophysical Journal Letters*, 892(2).
- Malta, J. (2017). "Sidereus Nuncius": Uma epopeia científica pelo telescópio de Galileu. Comunidade Cultura e Arte. <https://www.comunidadeculturaearte.com/sidereus-nuncius-uma-epopeia-cientifica-pelo-telescopio-de-galileu/>.
- McDermott, A. (2019). Science and culture: why "seeing" some scientific phenomena entails a touch of artistry and a dash of interpretation. *PNAS* 116 (44) 21953-21956. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916741116>
- Monteiro, M.A. & Nardi, R. (2012). As observações astronómicas de Galileu abordagens dos livros didáticos de física: aspetos da natureza da Ciência. *II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia – II SNEA*, São Paulo, SP, 97-106.
- Moraes, M.C. & Frota, P. (2000). Calculando com Galileu: os desafios da ciência nova. *Cadernos*, 16.7
- NASA. (2020). Hubble space telescope. Disponível em [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/hubble/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main/index.html)
- Rother, E. T. (2007). Revisão sistemática X revisão narrativa. *Acta paulista de enfermagem*, 20(2), v-vi.
- Russo, P. (2009). Editorial. *Capjournal* 7.

- Santos, H., Lucas, L., Sanzovo, D. & Pimentel, R. (2019). O uso das tecnologias digitais para o ensino de Astronomia: uma revisão sistemática de literatura. *Research, Society and Development*, 8(4), 1-24. doi:10.33448/rsd-v8i4.812
- Scherzler, D. (2009). How can we make a friend out of an enemy? How astronomers and journalists can get along better. *Capjournal* 7, 30-33.
- Shayler, D. J., & Harland, D. M. (2015). *The Hubble Space Telescope: From Concept to Success*. Springer.
- Villard, R. (2009). Video blogging the Hubble servicing mission 4. *Capjournal* 7.7-9. [https://www.capjournal.org/issues/07/07\\_07.pdf](https://www.capjournal.org/issues/07/07_07.pdf)
- Williams, R. (2020). Hubble telescope 30 years in orbit: personal reflections. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20(4), 044.