O ECLIPSE DE 1919

THE ECLIPSE OF 1919

A COMPROVAÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL, A FÍSICA MODERNA E O OBSERVATÓRIO NACIONAL

THE EVIDENCE OF THE THEORY OF GENERAL RELATIVITY, MODERN PHYSICS AND THE NATIONAL OBSERVATORY

Observatório Nacional

O ECLIPSE DE 1919

THE ECLIPSE OF 1919

A COMPROVAÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL, A FÍSICA MODERNA E O OBSERVATÓRIO NACIONAL

THE EVIDENCE OF THE THEORY OF GENERAL RELATIVITY, MODERN PHYSICS AND THE NATIONAL OBSERVATORY

Observatório Nacional

Rio de Janeiro, 2019

Ministro da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Minister of Science, Technology, Innovation and Communications
Marcos Cesar Pontes

Secretário Executivo
Executive Secretary
Julio Francisco Semeghini Neto

Subsecretário de Unidades Vinculadas
Under-secretary for Associated Units
Gerson Nogueira Machado de Oliveira

Coordenador-Geral de Unidades de Pesquisa
General Coordinator of Research Units
Cesar Augusto Rodrigues do Carmo

Coordenadora de Gestão das Unidades de Pesquisa
Management Coordinator of Research Units
Vivian Beatriz Lopes Pires

Diretor do Observatório Nacional
Director of the National Observatory
João Carlos Costa dos Anjos

Coordenação do projeto
Project Coordinator
Alba Lívia Tallon Bozi

Edição
Editor
Marília Pessoa

Tradução
Translation
Português-Inglês: Awena Jones e Jane Adlington
Inglês-Português: Fernando Baganha

Revisão
Revision
Guilherme de Souza Meirelles Padilha

Projeto Gráfico e Diagramação
Graphic Design and Layout
Claudia Fleury

Impressão
Priting
Walprint

Agradecimentos
Acknowledgments
Fernando Roig, Observatório Nacional – ON
Christina Barboza e Patrícia Spinelli, Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST

Ficha catalográfica – Biblioteca do Observatório Nacional

E19 O eclipse de 1919: a comprovação da Teoria da Relatividade Geral, a física moderna e o Observatório Nacional = The eclipse of 1919: the evidence of the Theory of General Relativity, modern physics and the National Observatory/organizadoras Alba Lívia Tallon Bozi, Marília Pessoa; tradutores Awena Jones, Fernando Baganha e Jane Adlington.- Rio de Janeiro: Observatório Nacional, 2019. 256p.:il

Texto em português e inglês
Inclui bibliografia e índice
ISBN: 978-85-99926-10-9

1.Astronomia. I. Bozi, Alba Lívia Tallon. II. Pessoa, Marília. III. Observatório Nacional.
CDU 52

ORGANIZADORAS ORGANIZERS
Alba Lívia Tallon Bozi
Marília Pessoa

TRADUTORES TRANSLATORS
Awena Jones, Fernando Baganha e Jane Adlington

O ECLIPSE DE THE ECLIPSE OF 1919

A COMPROVAÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL, A FÍSICA MODERNA E O OBSERVATÓRIO NACIONAL

THE EVIDENCE OF THE THEORY OF GENERAL RELATIVITY, MODERN PHYSICS AND THE NATIONAL OBSERVATORY

Observatório Nacional – ON
Rio de Janeiro, 2019

PRESENTATION

On May 29, 1919, a total eclipse of the Sun was recorded at Sobral, Ceará, and also at Príncipe Island, on the African coast. The experiments carried out in the observation of this ephemeris allowed the proof of the General Relativity Theory, which the physicist Albert Einstein had published in 1915.

Brazil was a protagonist of this important achievement: the photographs recorded in Sobral confirmed the value predicted by the General Relativity Theory on light deflection. Three expeditions went to the city, organized by astronomer Henrique Morize, then director of the National Observatory.

Starting the celebrations for the 100th anniversary of the total eclipse of the Sun, the National Observatory revisited the city that was the scene of this great science revolution, where it held the exhibition "Through the sky of Sobral", with images recorded by the award-winning photographer Luiz Baltar, depicting the city and the radiant sky of the "sertão", backlands.

To close this commemorative year, the National Observatory launches this book, which brings together diferent views on the expeditions to Sobral and Príncipe Island and on the results that confirmed Einstein's Theory of General Relativity.

These reports highlight the importance of the photographic plates taken at Sobral, which definitely provided the data that confirmed the predictions of Einstein's theory.

May these articles allow the reader to travel back in time and especially to uncover the scientific revolution that these results have generated!

João dos Anjos
Director of the National Observatory

APRESENTAÇÃO

Em 29 de maio de 1919, um eclipse total do Sol foi registrado em Sobral, no Ceará, e também na Ilha do Príncipe, na costa africana. Os experimentos realizados na observação desta efeméride permitiram a comprovação da Teoria da Relatividade Geral, que o físico Albert Einstein havia publicado em 1915.

O Brasil foi protagonista deste importante feito: as fotografias registradas em Sobral confirmaram o valor previsto na Teoria da Relatividade Geral sobre a deflexão da luz. Três expedições foram para a cidade, organizadas pelo então diretor do Observatório Nacional, o astrônomo Henrique Morize.

Iniciando as celebrações pelos 100 anos do eclipse total do Sol, o Observatório Nacional revisitou a cidade que foi palco desta grande revolução da ciência, onde realizou a exposição "Pelo céu de Sobral", com imagens registradas pelo premiado fotógrafo Luiz Baltar, retratando a cidade e o radiante céu do sertão.

Para encerrar este ano comemorativo, o Observatório Nacional lança o presente livro, que reúne diversos olhares sobre as expedições a Sobral e à Ilha do Príncipe e sobre os resultados que confirmaram a Teoria da Relatividade Geral, de Einstein.

Estes relatos evidenciam a importância das chapas fotográficas tiradas em Sobral, que definitivamente forneceram os dados que confirmaram as previsões da Teoria de Einstein.

Que estes artigos permitam a você, leitor, fazer uma viagem no tempo e, especialmente, conhecer a revolução científica que esses resultados geraram!

João dos Anjos
Diretor do Observatório Nacional

6 **O eclipse de Sobral e outras omissões históricas: de Einstein a Hawking**

The eclipse at Sobral and other omissions from history: from Einstein to Hawking

Ildeu de Castro Moreira

76 **O nascimento da física teórica**

The birth of theoretical physics

Davi Geiger

36 **O Observatório Nacional e o eclipse de Sobral**

The National Observatory and the eclipse at Sobral

Oscar T. Matsuura

96 **Testando a relatividade no eclipse de 1919 – uma questão de viés**

Testing relativity from the 1919 eclipse – a question of bias

Daniel Kennefick

122 **Einstein e a expansão do Universo**

Einstein and the expansion of the Universe

Jailson Alcaniz

140 **O Observatório Nacional e a observação de eclipses solares: ciência e cooperação internacional**

The National Observatory and the observation of solar eclipses: science and international cooperation

Christina Helena Barboza

164 **Muito ocupado trocando chapas: astronomia sob tendas**

Too busy changing plates: astronomy under canvas

Richard Dunn

184 **O magnetismo terrestre e a eletricidade atmosférica: a Comissão Carnegie em Sobral**

Terrestrial magnetism and atmospheric electricity: the Carnegie Commission in Sobral

Luís C. B. Crispino
Marcelo C. de Lima
Earle R. Williams

208 **O eclipse de 1919 e a Teoria da Relatividade: a resposta de Lisboa**

The 1919 eclipse and the Theory of Relativity. The response from Lisbon

Ana Simões

224 **O eclipse em São Tomé e Príncipe: ciência, história e cultura**

The eclipse at São Tomé and Príncipe: science, history and culture

Manuel Penhor

O OBSERVATÓRIO NACIONAL E O ECLIPSE DE 1919

THE NATIONAL OBSERVATORY AND THE 1919 ECLIPSE

O eclipse de Sobral e outras omissões históricas: de Einstein a Hawking

Ildeu de Castro Moreira
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Ildeu de Castro Moreira
Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

The eclipse at Sobral and other omissions from history: from Einstein to Hawking

Observations of light deflection around the Sun, made during the 1919 eclipse, had a huge impact on science, culture and the history of humanity. They catapulted Albert Einstein (1879-1955), from being a scientist who was known only by his colleagues to the most well-known scientist of all times. The theory he developed, underpinned by his and his colleagues' previous research, profoundly affected our vision of the Universe and supplanted Newton's theory of gravity, formulated two centuries earlier. The decisive observations, the ones that confirmed Einstein's predictions, were made by British astronomers in Sobral (Ceará) and on Ilha do Príncipe, that belonged to Portugal at that time.

This piece of work arose from a question I found myself posing in casual discussions with colleagues and at research presentations and debates, during activities to celebrate the centenary of the 1919 eclipse: "Why, despite the importance of the observations made in Sobral, that provided the most precise measurements of the deflection of light, during the eclipse of the Sun on 29 May 1919 and that presented robust evidence for the confirmation and acceptance of General Relativity Theory (GRT), are the references to these observations in books, articles and on the internet often incomplete and relatively limited?"

As observações da deflexão da luz nas vizinhanças do Sol, realizadas no eclipse de 1919, tiveram um enorme impacto na ciência, na cultura e na história da humanidade e se constituíram no acontecimento que catapultou Albert Einstein (1879-1955), de um cientista conhecido apenas por seus pares, para o cientista mais conhecido de todos os tempos. A Teoria elaborada por ele, escorado em trabalhos anteriores seus e de outros colegas, alterou profundamente a nossa visão sobre o Universo e suplantou o paradigma gravitacional que Newton havia formulado dois séculos antes. As observações decisivas, que confirmaram as previsões de Einstein, foram feitas por astrônomos britânicos em Sobral (Ceará) e na Ilha do Príncipe, então pertencente a Portugal.

Este trabalho surgiu de uma pergunta que sempre me fazia quando discutia informalmente com colegas ou nas apresentações de trabalhos e debates durante as atividades comemorativas do centenário do eclipse de 1919: "Por que, apesar da importância das observações feitas em Sobral – que permitiram as medidas mais precisas da deflexão da luz, durante o eclipse do Sol de 29 de maio de 1919, e que constituíram uma evidência poderosa para a confirmação e a aceitação da Teoria da Relatividade Geral (TRG), as referências em livros, artigos e na internet a tais observações são, muitas vezes, incompletas e relativamente reduzidas?

THE ECLIPSE IN SOBRAL: CONCEALED AND REVEALED_ Most quotations, particularly in books published abroad and on the internet, refer to the observations made on Ilha do Príncipe and more often than not focus solely on the participation of the British astronomer Arthur Eddington (1882-1944).

For instance, a quick Google search reveals that quotations linked to the terms "Principe"+"eclipse"+"1919" brings up around 250 thousand pages, while the same terms, substituting "Principe" with "Sobral", brings up only 60 thousand pages. Likewise, when the name Eddington is searched, in conjunction with "eclipse" and "1919" the number reaches 110 thousand. However, when Eddington is substituted with the name of the astronomer who led the expedition in Sobral, Andrew Crommelin (1865-1939), the number drops to 10% of the former, i.e. around 11 thousand references. When different combinations of words relating to the 1919 eclipse, with the two locations and the respective astronomers or Einstein's name, are searched, the same result occurs. On Google (in English or Portuguese) references to Ilha do Príncipe considerably outnumber references to Sobral. Moreover, Eddington is usually the only astronomer mentioned in connection with the observations.

A preliminary investigation in libraries and bookshops, of scientific books published on this subject produces the same results. This is incompatible with the scien-

O ECLIPSE DE SOBRAL ENTRE OCULTAMENTOS E REVELAÇÕES_A maioria das citações, em especial em livros de divulgação do exterior e na internet, se refere às observações feitas na Ilha do Príncipe e se destaca, quase sempre, apenas a atuação do astrônomo britânico Arthur Eddington (1882-1944).

Uma verificação rápida no Google mostra, por exemplo, que as citações referentes aos termos "Principe"+"eclipse"+"1919" atingem em torno de 250 mil páginas; já os termos análogos, mas substituindo "Principe" por "Sobral", chegam apenas a 60 mil. Do mesmo modo, quando se usa o nome de Eddington em conjunto com "eclipse" e "1919" o número atinge 110 mil; mas quando Eddington é substituído por Andrew Crommelin (1865-1939), o astrônomo que chefiou a expedição a Sobral, tal número se reduz a 10% do anterior, da ordem de 11 mil citações. Várias combinações diferentes de palavras relacionadas com o eclipse de 1919, com as duas localidades e com os astrônomos envolvidos ou acrescentando-se o nome de Einstein, podem ser tentadas, mas o resultado é sempre similar: nas páginas do Google (em inglês ou mesmo em português) as referências à Ilha do Príncipe superam, em muito, as referências a Sobral. De forma similar, Eddington é quase sempre o único astrônomo a ser citado em relação às observações feitas.

Uma verificação preliminar nos livros de divulgação científica que tratam do tema, e que pode ser feita em bibliotecas e livrarias, repete mais ou menos o mesmo quadro. Isso conflita com a importância científica das me-

didas feitas em Sobral que superaram significativamente, em precisão, as da Ilha do Príncipe, como reconhecido pelos próprios astrônomos que fizeram as observações e que calcularam os resultados finais expressos no artigo original. Do mesmo modo, a figura isolada de Eddington é quase sempre associada ao empreendimento coletivo e os outros participantes do processo são ocultados.

A questão que então se coloca é: por que a importância de Sobral e de outros astrônomos nas observações do eclipse de 1919 é minimizada em relação à da Ilha do Príncipe e à de Eddington? Por que Sobral e os outros astrônomos ficam quase sempre eclipsados? Como este "ocultamento" foi construído ao longo de um século?

O fato é que, e este texto pretende mostrar isto, em muitos livros e artigos sobre relatividade geral, cosmologia ou história da ciência, desde textos mais técnicos até os de divulgação científica, floresceu uma deturpação histórica que atribui com frequência o mérito único dessas medidas a Eddington, certamente o personagem de maior destaque no processo, mas não o único com importância. De forma similar, usualmente se menciona apenas a Ilha do Príncipe, e não Sobral, como o local de observação do eclipse e para onde Eddington se dirigira. Os dois

tific importance of the measurements taken at Sobral that were significantly more precise than those taken at Ilha do Príncipe. This is acknowledged by the very astronomers who made the observations and who calculated the final results published in the original article. Likewise, the singled out figure of Eddington almost always represents the collective effort and the other participants remain unnamed.

Therefore, the question to be posed is the following: why is the importance of Sobral and the other astronomers who participated in the observations of the 1919 eclipse, treated as less important than Ilha do Príncipe and Eddington? Why are Sobral and the other astronomers almost always eclipsed? How was this 'concealment' constructed over the century?

This text seeks to show that in fact many books and articles on General Relativity, cosmology and scientific history, whether technical texts or scientific publications, have distorted history and often attribute merit to these measurements to Eddington alone. He is certainly the most prominent character in this story, but he is not the only one of in terms of importance. Similarly, usually only Ilha do Príncipe, and not Sobral, is mentioned as the observation site for the eclipse. It was also the place that Eddington went to. The two British astronomers who carried out observations at Sobral, Andrew Crommelin and Charles Davidson (1875-1970), are rarely mentioned. In addition, the work carried out by the Brazilian team, led by Henrique Morize (1860-1930), that was significant to the success of the expeditions, is not sufficiently valued.

astrônomos britânicos que fizeram as observações em Sobral, Andrew Crommelin e Charles Davidson (1875-1970), são raramente mencionados. Do mesmo modo, não se valoriza adequadamente o importante trabalho para o sucesso das expedições, que foi realizado pela comissão brasileira, chefiada por Henrique Morize (1860-1930).

Outro fato aqui referido é que as primeiras tentativas de observação do eclipse do Sol, destinadas a testar as previsões de Einstein, tiveram início em 1912, em Minas Gerais, com o astrônomo Charles Dillon Perrine (1867-1951) e seus colegas do Observatório Nacional de Córdoba. Esse fato é ignorado em praticamente todos os livros e artigos relativos ao tema, inclusive em textos especializados na história da relatividade geral, e com a rara exceção de um ou outro livro que analisa os detalhes técnicos e históricos das lentes gravitacionais.

Não é novidade na história da ciência, difundida em livros e materiais didáticos e de divulgação, o ocultamento da trama real que envolve a produção do conhecimento científico em determinados processos e de personagens que foram ali determinantes.

Assim, personagens como Robert Hooke (1635-1703) ou Alfred Wallace (1823-1913) tiveram suas contribuições minimizadas ou até obliteradas em avaliações posteriores. Do mesmo modo que a fama de Newton eclipsou contribuições significativas de outros físicos e matemáticos do período, como Hooke, ou mesmo posteriores como Leonhard Euler (1707-1783), e que Wallace, apesar

Another fact referred to here is that the first attempts to observe the eclipse of the Sun, aimed at testing Einstein's predictions, took place in 1912, in Minas Gerais, led by the astronomer Charles Dillon Perrine (1867-1951) and his colleagues from the National Observatory of Córdoba. This fact is ignored in almost all the books and articles related to this theme, including texts specialising in the history of General Relativity, with the rare exception of a few books analysing technical and historical details about gravitational lenses.

Concealing the real story concerning the production of scientific knowledge with regard to certain processes and the key people involved is not unusual in scientific history, published in books and in teaching and information material.

Contributions by people like Robert Hooke (1635-1703) and Alfred Wallace (1823-1913) were understated or even obliterated in later discussions. In the same way that Newton's fame eclipsed, significant contributions by other physicists and mathematicians of the time, like Hooke or even by later ones as Leonhard Euler (1707-1783), and just as, until recently, any reference to Wallace paled in comparison with Charles Darwin (1809-1882), despite his independent formulation of the theory of natural selection, the figure of Einstein and his work often overshadow the important contributions made by earlier and contemporary scientists, like James Clerk Maxwell (1831-1879), Hendrik Lorentz (1853-1928), Hermann Minkowski (1864-1909),

de sua formulação independente da Teoria da seleção natural, se tornou, até recentemente, uma referência pálida diante de Charles Darwin (1809-1882), a imagem destacada de Einstein em seus trabalhos, muitas vezes, também ignora ou atenua as contribuições importantes de cientistas anteriores, ou contemporâneos, como James Clerk Maxwell (1831-1879), Hendrik Lorentz (1853-1928), Hermann Minkowski (1864-1909), Henri Poincaré (1854-1912) e David Hilbert (1862-1943).

No sentido de facilitar o entendimento deste texto, que busca explorar um pouco melhor as razões desses ocultamentos históricos no caso do eclipse de 1919, apresentamos de início uma síntese dos acontecimentos e dos principais personagens envolvidos. Certamente, outros capítulos deste livro abordarão com mais detalhes e profundidade as diversas dimensões históricas desse evento crucial para a história da ciência no século 20. Em seguida, analisaremos como os livros sobre a Teoria da Relatividade Geral (TRG) se referem ou divulgam os acontecimentos relativos ao eclipse de 1919. Na sequência, investigaremos como esse processo ocorreu no Brasil, em livros, revistas e jornais, na busca por compreender porque, também em nossa terra, o conhecimento sobre o eclipse de Sobral é tão parco.

Henri Poincaré (1854-1912) and David Hilbert (1862-1943), are either ignored or underrated.

Aiming at facilitating understanding of this text, that seeks to explore a little more the reasons for the concealment of the history of the case of the 1919 eclipse, firstly we present a summary of the events and main characters involved. Certainly, other chapters of this book will handle the different historic dimensions of this event, that is crucial to 20th century scientific history, in more detail and depth. Next, we will analyse how books on General Relativity Theory (GRT) refer to or publicise events surrounding the 1919 eclipse. Subsequently we will investigate how this process happened in books, magazines and newspapers in Brazil, in an attempt to grasp why understanding about the eclipse observed from Sobral is also so sparse here.

THE 1912 AND 1919 ECLIPSES OF THE SUN_ In 1911, in analysing the possible influence of gravity on the propagation of light, Einstein deduced the value of the angle of the deflection of light from stars as they passed near to the Sun: $2GM/rc^2$, where G is the gravitational constant, M is the mass of the Sun, r is the maximum approximation of the light ray in relation to the centre of the Sun and c is the speed of light. He

estimated that the angle would be approximately 0.87" (arc seconds), an extremely small value, for a trajectory close to the Sun. This was the same value reached by Johann Georg von Soldner (1776-1833), in 1803 and by Henry Cavendish (1731-1810), in 1784, both of whom used Newton's methods.

Einstein did this without knowing the previous results, using his Equivalence principle. He immediately suggested to astronomers that it could be possible to measure this angle during a total eclipse of the Sun, using photographs of stars, the light of which would go past the Sun's border, when compared to photographs of the same stars when the Sun was no longer in front of them.

An expedition by Argentinian astronomers from the Argentinian National Observatory (Córdoba), led by Charles Perrine, had already attempted to measure this deflection of the light of stars in 1912. Perrine had been encouraged to do this by Erwin Finlay-Freundlich (1885-1964), an astronomer from the Berlin Observatory and a friend of Einstein's. Observations during the total eclipse of the Sun were to be made in the town of Cristina (MG), but it rained throughout the time and no measurements were taken.

OS ECLIPSES DO SOL DE 1912 E DE 1919_ Em 1911, analisando a possível influência da gravitação na propagação de luz, Einstein deduziu o valor do ângulo de deflexão da luz das estrelas ao passar nas vizinhanças do Sol: $2GM/rc^2$, onde G é a constante gravitacional, M é a massa do Sol, r é a distância de aproximação máxima do raio luminoso em relação ao centro do Sol, e c é a velocidade da luz. Ele estimou que o ângulo seria de aproximadamente 0,87" (segundos de arco), um valor extremamente pequeno, para uma trajetória rasante ao Sol. Tratava-se da mesma expressão obtida por Johann Georg von Soldner (1776-1833), no ano de 1803, e por Henry Cavendish (1731-1810), em 1784, ambos utilizando método newtonianos.

Einstein fez isso sem conhecer os resultados anteriores e levando em conta seu Princípio da Equivalência. Logo em seguida, ele sugeriu a astrônomos que esse ângulo poderia ser medido em um eclipse total do Sol, por meio de fotografias de estrelas cuja luz passasse na borda do Sol comparadas com fotos das mesmas estrelas quando o Sol não estivesse mais na frente delas.

Uma expedição astronômica argentina do Observatório Nacional Argentino (Córdoba), dirigida por Charles Perrine, tentou medir essa deflexão da luz das estrelas já em 1912. Perrine havia sido estimulado a fazê-lo por Erwin Finlay-Freundlich (1885-1964), astrônomo do Observatório de Berlim e amigo de Einstein. As observações, durante um eclipse total do Sol, seriam feitas no Brasil, na cidade Cristina (MG); mas choveu todo o tempo e nada foi medido.

Outras tentativas para medir a deflexão da luz das estrelas pelo Sol, e igualmente frustradas, foram feitas em outros eclipses: em 1914 na Crimeia, em 1916 na Venezuela, sendo que Perrine participou de ambas e, em 1918, nos EUA. No eclipse de 1912 vieram também a Minas Gerais, Eddington e Davidson, que desempenhariam papel fundamental nas observações de 1919. Possivelmente foi na interação entre Perrine e Eddington (comprovada por carta deste para sua mãe), no Rio de Janeiro, antes do eclipse de 1912, que o astrônomo britânico teve conhecimento da previsão de Einstein sobre a possível deflexão do raio luminoso nas vizinhanças do Sol.

Não localizamos notícias nos jornais brasileiros que mencionassem a finalidade da expedição argentina que

Other failed attempts to measure the deflection of the light of stars by the Sun, were made during the following eclipses: 1914 in Crimea and 1916 in Venezuela, both of which Perrine participated in and in 1918, in the USA. Eddington and Davidson also came to Minas Gerais for the 1912 eclipse. They later played an important role in the 1919 observations. It may have been during exchanges between Perrine and Eddington (proved by a letter to his mother), in Rio de Janeiro, before the 1912 eclipse, that the British astronomer found out about Einstein's prediction regarding the possible deflection of light rays close to the Sun.

We did not find any mention of the objective of the Argentinian expedition to Cristina in Brazilian newspapers which was to measure the deflection of the light of stars as they passed near to the Sun. At this time this was not a matter of great importance because it did not represent a clash between two gravitational theories, as was to happen in 1919. Nor did we find photographs of the commissions located in the towns of Cristina and Alfenas in the national media.

Photographs of the Argentinian commission in Cristina are lodged at the Astron-

omy Observatory in Córdoba (figure 1). Relationships and cooperation among several astronomers who were in the region to observe the eclipse such as Eddington, Perrine, Morize and Davidson, were important and were to help in preparations for the successful observations of the eclipse in Sobral, seven years later. However, this first attempt to measure light deflection is not even mentioned in the vast majority of books on GRT or even in history books and articles, such as the historical comments in the *Collected Papers of Albert Einstein*.

Einstein arrived at his General Relativity Theory in 1915, based on the idea

ficou sediada em Cristina: medir a deflexão da luz das estrelas ao passar nas proximidades do Sol. Na época essa não era uma questão de maior importância porque não traduzia um confronto entre duas Teorias gravitacionais, como viria a ocorrer em 1919. Também não conseguimos encontrar, na mídia nacional, fotografias das comissões localizadas nas cidades de Cristina e Alfenas.

Fotos da comissão argentina em Cristina existem nos arquivos do Observatório Astronômico de Córdoba (figura 1). As relações e cooperações estabelecidas entre vários astrônomos que estiveram naquela região para observar o eclipse, como Eddington, Perrine, Morize e Davidson, foram importantes e ajudariam na preparação das observações bem-sucedidas do eclipse de Sobral sete anos depois. No entanto, na imensa maioria dos livros sobre a TRG e mesmo livros e artigos históricos, como nos comentários históricos dos *Collected Papers of Albert Einstein*, esta primeira tentativa de se medir a deflexão da luz sequer é mencionada.

Figura 1. Equipamentos da expedição argentina em Cristina (MG) em 1912. Crédito: Paolantonio et all. Tentativas argentinas para comprovar a Teoria da Relatividade Geral: os eclipses solares totais de 1912, 1914 e 1919

Figure 1. Equipment of the Argentinian expedition in Cristina (MG) in 1912. Source: Paolantonio et al. Argentinean attempts to prove the Theory of General Relativity: the total solar eclipses of 1912, 1914 and 1919

Em 1915, Einstein chegou à sua Teoria da Relatividade Geral baseado na ideia de que a gravitação resulta da alteração da geometria do espaço-tempo pela presença da matéria. A partir dela, previu que a luz das estrelas, ao seguir a trajetória mais curta neste espaço-tempo curvo, sofreria uma deflexão nas vizinhanças do Sol por um valor que seria o dobro do previsto na Teoria newtoniana, ou seja o ângulo de deflexão deveria ser aproximadamente 1,74".

Desde 1917, astrônomos britânicos, capitaneados por Eddington e Frank Dyson (1868-1939), começaram a se preparar para observar o eclipse do Sol que aconteceria em 29 de maio de 1919 e testar a previsão de Einstein. Organizaram duas expedições para regiões nas quais o eclipse seria total: uma, com Eddington e Edwin Cottingham, para a Ilha do Príncipe, e outra, com Davidson e Crommelin, para Sobral. A escolha de Sobral como ponto de observação no Brasil foi feita por Morize, diretor do Observatório Nacional do Rio de Janeiro, que ficou encarregado de providenciar a infraestrutura para as expedições estrangeiras que viriam ao Ceará.

Em Sobral, no dia 29 de maio de 1919, as condições ficaram boas na hora do eclipse, que ocorreu às 08:56h e durou cerca de 5 minutos. As 17 fotografias tiradas com o uso do telescópio com maior diâmetro não ficaram boas, por um problema de foco. Mas sete

that gravity is the result of a geometrical alteration in space-time with the presence of matter. On this basis he predicted that the light from stars would suffer a deflection close to the Sun, as it followed the shortest path in this space-time curve, by a value that would be twice the one predicted in Newton's theory, i. e., the angle of deflection would be approximately 1.74".

In 1917, British astronomers led by Eddington and Frank Dyson (1868-1939) started preparing for their observation of the eclipse of the Sun, that was to take place on 29 May 1919, and to test Einstein's prediction. They organised two expeditions to regions where there would be a total eclipse of the Sun: one by Eddington and Edwin Cottingham on the Ilha do Príncipe and the other by Davidson and Crommelin in Sobral. The choice of Sobral as an observation point was made by Morize, the Director of the Rio de Janeiro National Observatory who was in charge of providing the infrastructure for the foreign expeditions that were to come to Ceará.

On 29 May 1919 conditions were good in Sobral at the time of the eclipse at 8.56 and lasted for about 5 minutes. Seventeen photographs taken using a broader diameter telescope were not good quality due to a focus problem. But seven plates, from a 10.2 cm lens were deemed very good and seven stars could be seen in them. However, at Ilha do Príncipe it was rainy and few photographs were taken and only two of them could be used, leading to far less accurate results than provided by photographs from Sobral. The Brazilian commission, led by Morize, took observations of the solar corona during the eclipse. Measurements of terrestrial magnetism and atmospheric electricity

chapas, provenientes de um telescópio com lente de 10,2cm, foram consideradas muito boas; sete estrelas apareciam nelas. Já na Ilha do Príncipe o tempo esteve chuvoso e poucas fotografias foram tiradas; delas só duas puderam ser aproveitadas, e levaram a resultados bem mais incertos que os de Sobral. A comissão brasileira em Sobral, liderada por Morize, fez observações sobre a corona solar durante o eclipse. Medidas do magnetismo terrestre e de eletricidade atmosférica foram feitas pelos norte-americanos Daniel Wise e Andrew Thomson (1893-1974). Note-se que outro personagem importante na observação do eclipse, e também nunca mencionado, com exceção do justo destaque a ele dado no livro recente de Daniel Kennefick (1965), foi o construtor de instrumentos irlandês Howard Grubb (1844-1931), que produziu as três lentes usadas nas duas expedições britânicas de 1919 e o espelho do celóstato que produziu as melhores imagens em Sobral.

No dia 6 de novembro de 1919, após um estudo minucioso das chapas fotográficas, os astrônomos Frank Dyson, Eddington e Davidson expuseram publicamente os resultados das observações de Sobral e da Ilha do Príncipe. As medidas feitas em Sobral deram o valor aproximado de 1,98" para o ângulo de deflexão da luz; um valor um pouco menor, 1,61", e com incerteza maior, havia sido medido nas chapas da Ilha do Príncipe. Eles concluíram: "Resumindo os resultados das duas expedições, o maior peso deve ser atribuído aos obtidos com a lente de 10,2 cm em Sobral. Da superiorida-

were taken by the North Americans Daniel Wise and Andrew Thomson (1893-1974). It is worth noting that another important person at the observation of the eclipse, who is also rarely mentioned, with the exception of the rightful mention about him in Daniel Kennefick's recent book (1965), was the Irish instrument maker Howard Grubb (1844-1931), who produced three of the lenses used on the two British expeditions in 1919 and the celostate mirror that produced the best images in Sobral.

On 6 November 1919, following meticulous study of the photographic plates, the astronomers Frank Dyson, Eddington and Davidson publicly announced results of the observations in Sobral and Ilha do Príncipe. The measurements taken in Sobral gave the approximate value of 1.98" for the angle of the deflection of light. A slightly lower and less certain value of 1.6" was measured using the plates from Ilha do Príncipe. They concluded the following: "summarising the results from the two expeditions, greater weight must be attributed to those obtained with the 10.2 cm lense used in Sobral. Given the superior quality of the images and the larger scale of the photographs it was acknowledged that these results were more reliable." The final result was close to the prediction of GRT and was within the margin of error: "both [the results] point to the total deflection found in Einstein's General Relativity Theory. The results from Sobral were decisive but the results from Príncipe were perhaps less so."

de das imagens e da escala maior das fotografias, reconheceu-se que estas seriam as mais confiáveis". O resultado final levou a um ângulo próximo, dentro da margem de erro, daquele previsto pela TRG: "ambos [os resultados] apontam para a deflexão total da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, os resultados de Sobral definitivamente, e os resultados do Príncipe talvez com alguma incerteza".

Nos dias seguintes, jornais de todo o mundo trouxeram em manchetes que ocorrera uma revolução na ciência: a Teoria de Einstein superara a de Newton. Sobral se tornou, assim, o local onde foi realizada a principal observação astronômica que proporcionou uma evidência muito forte para a confirmação e a aceitação da TRG de Einstein.

Em 1920, esses resultados foram publicados na revista Philosophical Transactions, da Royal Society of London, no artigo "A Determination of the deflection of light by the sun's gravitational field, from observations made at the total eclipse of may 29, 1919", assinado pelos três autores.

O ECLIPSE DE SOBRAL E SUA DIFUSÃO_ Jean Eisenstaedt (1940) analisou em artigos, e no livro *Einstein et la relativité générale*, editado em 2002, a história da TRG desde os seus primórdios e a difusão da Teoria dentro da comunidade dos físicos e astrônomos. Ele apontou que, logo após os primeiros anos, entre 1915 e 1925 aproximadamente – e que constituiu a fase de recepção e difusão na qual a Teoria despertou bastante atenção – o interesse por ela caiu significativamente, em função de ser uma Teoria bastante abstrata, difícil e sem aplicações imediatas naquele momento, enquanto que a física quântica galvanizava muito mais a atenção dos físicos.

Over the following days, the headlines in the world's newspapers reported a scientific revolution. Einstein's theory had supplanted Newton's. Sobral became the location of the principal astronomic observation to provide very strong evidence to confirm and accept Einstein's GRT.

These results were published, in 1920, in the Royal Society of London journal, Philosophical Transactions in an article entitled "A determination of the deflection of light by the sun's gravitational field, from observations made at the total eclipse of May 29, 1919", undersigned by the three authors.

THE ECLIPSE AT SOBRAL AND ITS DISSEMINATION_ In articles and in the book, Einstein et la relativité générale, revised in 2002, Jean Eisenstaedt (1940) analysed the history of GRT from its beginnings as well as dissemination of the theory within the physics and astronomy communities. He states that immediately following the initial years, between approximately 1915 and 1925 – which was also the time when the theory was received and disseminated, drawing considerable attention – interest in the theory fell significantly, for it was rather abstract and difficult, as well as being difficult to apply at that time. Meanwhile, quantum physics was galvanizing the attention of physicists.

Between 1930 and 1960 there were not even any formal chairs for General Relativity on physics courses. There were few researchers dedicated to the subject and those who were worked alone. Therefore, the dissemination of technical books and scientific publications on these matters was also limited, reflecting the fact that research was in its incipient stages. It

was only in the 1960s that the first formal courses, conferences and resources to support research in this area emerged. In subsequent decades interest in and research on GRT and Cosmology grew rapidly.

Firstly, we will examine how the 1919 eclipse was handled in the first books on GRT. These were based on the work of the principal creator and on pioneers of the new theory. In particular, the publication of Einstein's original article, in 1916, on GRT was the springboard for other articles and books. The first of the books to disseminate the theory was written by Einstein himself, in 1916. It was published in Germany and mentioned the three classic tests for GRT, but did not, of course, discuss the results of the 1919 eclipse. Immediately after dissemination of these results and Einstein's rise to fame, it was published in 1920 in its first English language edition, now with an appendix containing information on the measurements collected.

Here follows Einstein's description of the event in his book disseminating the theory, Relativity – the special and general theory: "We are grateful to the Royal Society and the Royal Astronomical Society for their investigation of this important deduction. Relentlessly, and undeterred by war and the material and psychological difficulties caused by it, these societies equipped two expeditions – to Sobral (Brazil) and to Ilha do Príncipe (West Africa) – and sent several of Great Britain's

Entre 1930 e 1960 sequer havia cadeiras formais de relatividade geral nos cursos de física e poucos pesquisadores se dedicavam ao tema, e mesmo assim, quase sempre de forma isolada. Portanto, a difusão de livros técnicos e de divulgação científica sobre tais assuntos era também limitada, refletindo o estado incipiente das pesquisas. Apenas na década de 1960 surgiram os primeiros cursos formais, as conferências e recursos para apoio à pesquisa nessa área. Nas décadas seguintes o interesse por e as pesquisas sobre a TRG e a Cosmologia cresceram rapidamente.

Vamos examinar, de início, como o eclipse de 1919 foi tratado nos primeiros livros sobre a TRG. Eles surgiram a partir dos trabalhos do principal criador e dos pioneiros da nova Teoria. Em particular, a publicação do artigo original de Einstein, em 1916, sobre a sua TRG foi o ponto de partida para outros artigos e livros. Em relação aos livros de divulgação, o primeiro deles foi escrito pelo próprio Einstein, já em 1916. Ele foi publicado na Alemanha e mencionava os três testes clássicos da TRG, mas ainda não trazia, evidentemente, os resultados do eclipse de 1919. Logo depois da divulgação desses resultados e da fama de Einstein, ele foi publicado em 1920 em sua primeira edição inglesa, já trazendo, em um apêndice, a informação sobre as medidas realizadas.

Vejamos como Einstein descreveu o acontecimento em seu livro de divulgação, *Relativity – the special and general theory:* "Somos gratos à Royal Society e à Royal Astronomical Society pela investigação dessa importante

most famous astronomers, (Eddington, Cottingham, Crommelin, Davidson), to obtain photographs of the eclipse of the Sun on 29 May 1919." It is interesting to note that Einstein added a table with the results of the observations made in Sobral, of the seven stars close to the Sun, in the appendix of the book, although he makes no mention of the origin of this data. When discussing the experimental test of GRT, that he had predicted, in his more technical book, *The Meaning of relativity* (1921), Einstein, only mentions that: "the existence of this deflection (...) was confirmed, with remarkable accuracy by the English Solar Expedition in 1919," on page 93.

On page 90 of his technical book, *The mathematical Theory of Relativity* (Chelsea Pub House, 1975) Eddington, one of the biggest disseminators of the new theory, quotes the values obtained from the observations made in Sobral and on Ilha do Príncipe, but does not mention the astronomers. However, in his excellent book to disseminate GRT, *Space, Time, Gravitation*, that was edited a number of times, he dedicated the whole of chapter VII "Weighing Light", to a debate on the observations made in Sobral and on Ilha do Príncipe and he mentions the astronomers who participated. Interestingly, the photograph at the beginning of the book, opposite the title page, is of the equipment used in Sobral (figure 2), in recognition of the importance of the measurements they provided.

dedução. De forma destemida, apesar da guerra e das dificuldades de natureza material e psicológica provocadas por ela, essas sociedades equiparam duas expedições – a Sobral (Brasil) e à Ilha do Principe (África Ocidental) – e enviaram vários dos astrônomos mais famosos da Grã-Bretanha. (Eddington, Cottingham, Crommelin, Davidson), a fim de obter fotografias do eclipse do Sol de 29 de maio de 1919." É interessante registrar que Einstein acrescenta no apêndice do livro a tabela com os resultados das observações feitas em Sobral das sete estrelas nas vizinhanças do Sol, embora não faça qualquer menção à origem daqueles dados. Em seu livro *The Meaning of relativity* (1921), mais técnico, Einstein, ao discutir esse teste experimental da TRG que ele previra, apenas menciona, na página 93, que: "a existência dessa deflexão (...) foi confirmada, com notável precisão, pela Expedição Inglesa do Eclipse do Sol em 1919".

Eddington, um dos maiores divulgadores da nova Teoria, em seu livro técnico *The mathematical Theory of Relativity* (Chelsea Pub House, 1975) cita, na página 90, os valores obtidos pelas observações feitas em Sobral e na Ilha do Príncipe, mas não menciona os astrônomos. Mas em seu excelente livro de divulgação da TRG, *Space, Time, Gravitation*, que alcançou várias edições, ele dedica todo o capítulo VII, "Weighing Light", para debater as observações feitas em Sobral e na Ilha do Príncipe e cita os astrônomos participantes. De modo interessante, a foto que abre o seu livro, na página oposta à folha de rosto, é aquela dos aparelhos utilizados em Sobral (figura 2), como uma forma de reconhecimento da importância das medidas que eles proporcionaram.

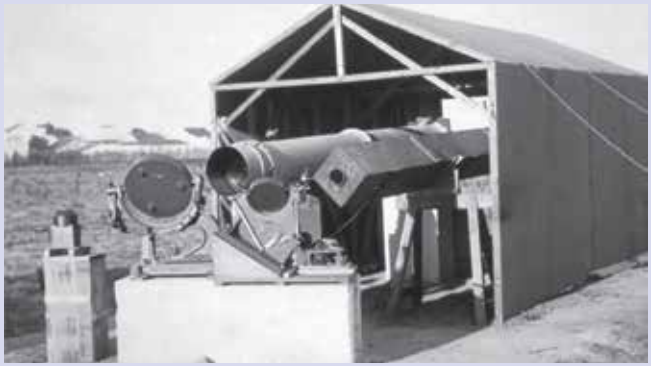


Figura 2. Instrumentos utilizados, em Sobral, pela expedição britânica para observação do eclipse do Sol de 1919. Crédito: Science Museum/ Science Society Picture Library

Figure 2. Instruments used in Sobral by the British expedition to observe the 1919 eclipse of the Sun. Source: Science Museum/Science Society Picture Library

Um dos primeiros divulgadores de TRG na Alemanha, e cujo livro seria traduzido para o inglês, foi o amigo de Einstein, Max von Laue (1870-1960). Ele escreveu um excelente livro sobre a TGR em 1921 (Die Relativitätstheorie. Zweiter Band: die allgemeine Relativitätstheorie und Einsteins Lehre Von Der Schwerkraft – Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1921/1923). Ali ele cita, nas páginas 10 e 11, as observações do eclipse com algum detalhe, colocando no livro uma das fotos feitas em Sobral, a tabela com as posições das estrelas nas fotos de Sobral além de mencionar o artigo original de Dyson, Eddington e Davidson. Outro excelente livro sobre a TRG foi escrito, na época, por Wolfgang Pauli (1900-1958), ainda muito jovem, em 1921. Na página 169 da edição da Pergamon (1958) há uma foto com os instrumentos utilizados em Sobral. Ele menciona os resultados obtidos no Brasil e na Ilha do Príncipe, mas não nomeia os astrônomos que os realizaram, embora cite o artigo original.

Max Born (1882-1970) escreveu, a partir de palestras sobre a TRG, um livro em 1920: *Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen* (Springer, 1920) [depois traduzido para o inglês, Dover,

Max von Laue (1870-1960), a friend of Einstein's was one of the first people to talk about GRT in Germany. His excellent book about GRT, written in 1921 and later translated into English, was called Die Relativitätstheorie. Zweiter Band: die allgemeine Relativitätstheorie und Einsteins Lehre Von Der Schwerkraft – Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1921/1923. On pages 10 and 11, he mentions the observations of the eclipse in some detail, including photographs taken in Sobral and a table with the positions of the stars in the photos of Sobral. He also mentions the original article by Dyson, Eddington and Davidson. Another excellent book about GRT was written, in the same period, by a young Wolfgang Pauli (1900-1958), in 1921. On page 169 of the Pergamon (1958) edition there is a photograph of the instruments used in Sobral. He mentions the results obtained in Brazil and Ilha do Príncipe, but does not give the names of the astronomers who produced them, although he does mention the original article.

Max Born (1882-1970) wrote a book in 1920, based on seminars about GRT: *Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen* (Springer, 1920) [later translated into English, Dover, 1962]. In it,

1962]. Nele, Born apresenta um desenho esquemático da deflexão da luz, menciona que as expedições inglesas foram para o Norte do Brasil e para a costa Ocidental da África e que a previsão de Einstein foi confirmada. Hermann Weyl (1885-1955) foi outro importante cientista da época e seu livro *Space, Time, Matter* (Dover 1922) teve impacto significativo merecendo algumas traduções e novas edições nos seus primeiros anos. No prefácio à quarta edição de 1920, na página 246, ele fala das observações do eclipse em Sobral e na Ilha do Príncipe, coloca os resultados obtidos e cita o artigo original.

Em síntese, podemos dizer que, nesses primeiros anos que se seguiram à divulgação dos resultados do eclipse, ou seja de 1919 até 1925, foram publicados diversos livros, alguns mais técnicos sobre a TRG, que tiveram a preocupação de mencionar o eclipse com destaque. Uma característica comum a quase todos eles, é a referência às observações feitas em Sobral e na Ilha do Príncipe, embora frequentemente apenas o nome de Eddington seja mencionado ou se use a expressão genérica de expedição britânica (ou inglesa). Mas quase todos eles citam o artigo original que traz o nome de três dos cinco astrônomos diretamente envolvidos com as observações. Ou seja, nessa fase não há uma predominância das citações à Ilha do Príncipe em relação às de Sobral.

Nas décadas seguintes a situação mudaria. Possivelmente em função da figura de Eddington, um astrofísico de grande destaque entre as

Born presents a diagram of the deflection of light, mentions that the English expeditions went to the north of Brazil and the West Coast of Africa and that Einstein's prediction was corroborated. Hermann Weyl (1885-1955) was another important contemporary scientist and his book, Space, Time, Matter (Dover 1922) had a significant impact and was translated several times and led to new editions in its early years. On Page 246 in the preface the fourth edition in 1920, he talks about the observations of the eclipse in Sobral and Ilha do Príncipe, presents the results and cites the original article.

In short, it can be said that in the early years following publication of the results of the eclipse, i. e., from 1919 to 1925, a number of books were published, in which trouble was taken to highlight the importance of the eclipse. Some of these were more technical books about GRT. A characteristic that was common to almost all of them was reference to observations done in Sobral and Ilha do Príncipe, although often either only Eddington's name is mentioned or the term British (or English) expedition is used. However, almost all of them cite the original article with the names of three of the five astronomers who were directly involved in the observations. In other words, at this time, references to Ilha do Príncipe did not predominate in comparison with Sobral.

This was to change in subsequent decades. Possibly because of Eddington, an astrophysicist who was renowned in the period between the two world wars, perhaps the best known disseminator of GRT around the world and who had been in Ilha do Príncipe to observe the eclipse, that reference to Sobral and to the other astronomers diminished. Another reason is that the physicists and astronomers who wrote these books were often unconcerned with historical fact-checking and mentioned events and people without much care regarding what actually led to theories and experiments.

duas guerras mundiais e que foi talvez o mais conhecido divulgador da TRG no mundo, e que havia se dirigido à Ilha do Príncipe para a observação do eclipse, a referência a Sobral e aos outros astrônomos tenha se esmaecido. Outra razão é que os físicos e astrônomos, autores desses livros, muitas vezes não têm preocupação com a correção histórica e mencionam acontecimentos ou personagens sem maiores cuidados em relação ao processo real que conduziu às Teorias ou experimentos.

Uma verificação feita em cerca de 60 livros sobre a TRG e Cosmologia, encontrados em nossas bibliotecas, com datas de publicação entre 1940 e 2015, mostra que um terço deles não cita o eclipse de 1919. Dos que se referem ao eclipse, cerca de metade cita apenas a Ilha do Príncipe e Eddington, enquanto um terço deles mencionam Sobral. Uma parcela menor menciona apenas as observações feitas sem identificar as localidades ou os astrônomos. A grande maioria deles cita Eddington apenas, alguns mencionam Frank Dyson, uns poucos citam Davidson, especialmente em função do artigo original, e Crommelin é muito raramente mencionado, com exceção das biografias mais alentadas de Einstein ou de textos específicos de história da ciência dedicados ao tema. Para que se tenha uma ideia de como alguns dos livros mais recentes tratam do eclipse, mencionamos a seguir alguns casos.

Consideremos um livro (*Stars and relativity*. Chicago: University of Chicago Press, 1971) escrito por dois importantes pesquisadores russos, Yakov Zeldovich (1914-1987) e Dmitriyevich Novikov (1935), proveniente, portanto,

Verification of around 60 books on GRT and cosmology found in Brazilian libraries, published between 1940 and 2015, indicates that one third of them do not cite the 1919 eclipse. Of those that refer to the eclipse, nearly half mention only Ilha do Príncipe and Eddington, while one third of them mention Sobral. A smaller group mentions only the observations without identifying locations or astronomers. The vast majority mention only Eddington, some mention Frank Dyson, a few mention Davidson, largely due to the original article. Crommelin is very rarely mentioned except in more edifying biographies of Einstein or specific scientific history texts focused on this subject. We will mention some of the more recent books below, in order to provide a sense of how they have treated the eclipse.

We will consider a book (*Stars and relativity*. Chicago: University of Chicago Press, 1971) written by two important Russian researchers, Yakov Zeldovich (1914-1987) and Dmitriyevich Novikov (1935), who, as such, came from a non-Anglo Saxon background. They only say that Einstein's prediction about the deflection of light was "brilliantly confirmed during the 1918 eclipse [sic], that was one of the first experimental proofs of the validity of GRT". In a 1976 article, *Principles of cosmology and gravitation* (CPU, 1976), on page 85, Michael Berry merely records that the first verification of the deflection of light happened during the 1919 eclipse and mentions that this caused public commotion.

de uma tradição não anglo-saxônica. Eles mencionam apenas, que a previsão de Einstein sobre a deflexão da luz foi "brilhantemente confirmada durante o eclipse de 1918 [sic], que foi uma das primeiras provas experimentais da validade de TRG". Michael Berry, em um texto de 1976, *Principles of cosmology and gravitation* (CPU, 1976) apenas registra, na página 85, que a primeira verificação da deflexão da luz ocorreu durante o eclipse de 1919 e menciona que o fato criou uma comoção popular.

Landau e Lifchitz, no livro *Teoria de campos*, de sua consagrada série de livros de física teórica [Mir, Moscou, 1966], calculam a deflexão da luz, mas não citam nada sobre o experimento ou sobre detalhes históricos, aliás como é usual em todos os livros de sua coleção. Já o excelente livro de comemoração do centenário do nascimento de Einstein, que trata com razoável detalhe a história do eclipse (*Einstein: A centenary volume,* A P French, 1979), comete uma falha grave ao indicar os telescópios usados em Sobral, e exibidos em uma foto na página 101, como se fossem os instrumentos de Eddington. Mencionemos uma exceção: um dos livros mais cuidadosos com as informações históricas relativas à deflexão da luz nos eclipses do Sol é *General relativity and cosmology* de George C. McVittie (1904-1988) publicado em 1965, pela University of Illinois Press, que exibe uma tabela com os resultados dos eclipses, inclusive o de 1919, mencionando os astrônomos que fizeram as observações.

Alguns livros relevantes, que discutem a TRG ou a divulgam, não fazem menção explícita ao eclipse de 1919. Exemplos: 1) E. A. Milne. *Relativity gravitation and world structures*, Clarendon Press, 1935; 2) *General Theory of Relativity*, P. A. M. Dirac, Wiley, 1975; 3)

Landau and Lifchitz, in the book *Teoria de campos*, from a well-respected series of books on theoretical physics [Mir, Moscou, 1966], calculate the deflection of light, but do not cite anything about the experiment or historical details. In fact this is common to all the books in the collection. Moreover, the excellent book celebrating one hundred years after Einstein's birth, provides a reasonable amount of detail concerning the history of the eclipse (*Einstein: A centenary volume*, A P French, 1979), but commits a serious mistake by showing the telescopes used in Sobral, in a photo on page 101, as though they were Eddington's instruments. We mention one exception: one of the most careful books with historical information on the deflection of light in the eclipses of the Sun is *General relativity and cosmology* by George C. McVittie (1904-1988) published in 1965, by University of Illinois Press. It contains a table with the results of the eclipses, including the one in 1919 and mentions the astronomers who made the observations.

Some relevant books that discuss GRT or disseminate it, do not overtly mention the 1919 eclipse. Examples: 1) E. A. Milne. *Relativity gravitation and world structures*, Clarendon Press, 1935; 2) *General Theory of Relativity*, P. A. M. Dirac, Wiley, 1975; 3) R. H. Dicke. *The theoretical significance of experimental relativity*, Gordon and Breach, 1964; 4) C. Sagan. *Cosmos*, Random House, 2002; 5) *Gravitation*, C. Misner, K. Thorne and J. A. Wheeler, W. H. Freeman & Co., 1971; 6) *The philosophy of space time*, H. Reichenbach, 1927; 7) A. N. Whitehead, *The principle of relativity with applications to physical science*, CUP, 1922

We will consider some scientific dissemination books that helped in constructing views on the 1919

R. H. Dicke. *The theoretical significance of experimental relativity*, Gordon and Breach, 1964; 4) C. Sagan. *Cosmos*, Random House, 2002; 5) *Gravitation*, C. Misner, K. Thorne and J. A. Wheeler, W. H. Freeman & Co., 1971; 6) *The philosophy of space time*, H. Reichenbach, 1927; 7) A. N. Whitehead, *The principle of relativity with applications to physical science*, CUP, 1922

Consideremos alguns livros de divulgação científica que – por terem autores muito conhecidos e que vendem centenas de milhares de exemplares em todo o mundo – podem ter ajudado a moldar uma visão sobre o eclipse de 1919 e seus principais atores. Um dos mais conhecidos divulgadores, e cientista notável, Stephen Hawking (1942-2018), escreveu o seguinte em seu best-seller *A brief history of time* (Bantham Books, 1988. Cap. II): "A previsão de Einstein da deflexão da luz não pôde ser testada imediatamente em 1915, porque a Primeira Guerra Mundial estava em andamento, e foi somente em 1919 que uma expedição britânica, observando um eclipse na África Ocidental, mostrou que a luz era realmente desviada pelo Sol, exatamente como previsto pela Teoria". Claramente, Sobral ficou de fora desta breve história no tempo.

Outro autor bem conhecido, Brian Green (1936), escreveu em seu livro T*he fabric of the cosmos: space, time, and the texture of reality* (2004), na página 273: "Em 1919, duas equipes de astrônomos – uma acampada na ilha de Príncipe, na costa oeste da África, e a outra no Brasil – testaram essa previsão durante um eclipse do Sol..."

Um terceiro e bem-sucedido divulgador, Simon Singh (1964), em seu livro *Big Bang: a origem do universo*, deixou a desejar na geografia de Sobral: "Em 8 de março de 1919, Eddington e sua equipe deixaram

eclipse and its principal players, given that they were written by well known authors and have sold hundreds of thousands of copies around the world. One of the most well known disseminators is the renowned scientist, Stephen Hawking (1942-2018), who wrote the following in his bestseller *A brief history of time* (Bantham Books, 1988. Chapter. II): "Einstein's prediction of light deflection could not be tested immediately in 1915, because the First World War was in progress, and it was not until 1919 that a British expedition, observing an eclipse from West Africa, showed that light was indeed deflected by the sun, just as predicted by the theory." Clearly, Sobral was left out of this brief history of time.

Another well known author, Brian Green (1936), wrote on page 273 of his book *The fabric of the cosmos: space, time, and the texture of reality* (2004): "In 1919, two teams of astronomers – one camped out on the Island of Príncipe, off the west coast of Africa, the other in Brazil – tested this prediction during a solar eclipse ..."

In his book *Big Bang: The Origin of the Universe*, a third successful disseminator, Simon Singh (1964), made a mistake regarding the location of Sobral: "On 8 March 1919, Eddington and his team left Liverpool on board HMS Anselm and headed for the island of Madeira, where the scientists split into two groups. One group remained on board the Anselm and voyaged to Brazil to observe the eclipse from Sobral, in the Brazilian jungle, (?!) while Eddington and a second group boarded the cargo vessel Portugal and headed to the island of Principe, just off the coast of Equatorial Guinea in West Africa." On the basis of this geographical error, he developed a strange and erroneous

Liverpool a bordo do HMS Anselm e se dirigiram para a Ilha da Madeira, onde os cientistas se separaram em dois grupos. Um grupo permaneceu a bordo do Anselm e viajou para o Brasil para observar o eclipse de Sobral, na selva [?!] brasileira, enquanto Eddington e um segundo grupo tomou o barco Portugal e foram para a Ilha do Príncipe, na costa da Guiné Equatorial na África Ocidental". A partir dessa falha geográfica, elabora uma estranha e incorreta descrição sobre a revelação das chapas fotográficas de Sobral: "As placas do Brasil não podiam ser examinadas até que retornassem à Europa, porque eram de um tipo que não tolerariam ser reveladas no clima amazônico, quente e úmido".

Nota-se um certo desleixo histórico em muitos desses livros de divulgação científica, que também não mencionam os astrônomos responsáveis pelas medidas. Não é surpreendente que a história do eclipse de 1919 seja desconhecida de grande parte das pessoas ou que ela o seja com incorreções sérias.

Vale mencionar que o historiador Paul Johnson (1928), no seu livro *Modern times: the world from the twenties to the nineties* (New York: Harper Perennial, 1991), que se propõe a contar a história do mundo da década de 1920 a 1980, inicia com a frase: "O mundo moderno começou em 29 de maio de 1919 quando fotografias de um eclipse do Sol na Ilha do Príncipe, na África Ocidental, e em Sobral, no Brasil, confirmaram a veracidade de uma nova Teoria do universo"

O ECLIPSE DE SOBRAL E SUA DIVULGAÇÃO NO BRASIL_O exame das matérias sobre o eclipse de Sobral publicadas nos periódicos brasileiros, entre 1920 e o ano 2000, mostra algumas fases que podem ser distinguidas. Na primeira delas, logo depois do eclipse

description about development of the photographic plates from Sobral: "The Brazil plates could not be examined until they were returned to Europe, because they were of a type that would not tolerate being developed in the hot, moist Amazonian climate".

A degree of sloppiness in terms of historical detail can be seen in many of the scientific dissemination books. In addition, they do not mention the astronomers responsible for the measurements. It is not surprising that the majority of people are either unaware of the history of the 1919 eclipse or are in possession of seriously imprecise information.

It should be mentioned that in his book *Modern times: the world from the twenties to the nineties* (New York: Harper Perennial, 1991), the historian Paul Johnson (1928), who sets out to tell the history of the world between the 1920s and the 1980s starts with the sentence: "The modern world began on 29 May 1919 when photographs of a solar eclipse taken on the island of Príncipe off West Africa and at Sobral in Brazil, confirmed the truth of a new theory of the universe."

THE ECLIPSE AT SOBRAL AND ITS DISSEMINATION IN BRAZIL_ An examination of material concerning the eclipse at Sobral, published in Brazilian journals, between 1920 and the year 2000, shows certain distinct phases. During the first of these, from immediately after the eclipse until 1925, when Einstein visited Rio de Janeiro, there was greater dissemination by the international media, after results of the observations were announced in London on 6 November 1919. However, the immediate reaction was tepid in Brazilian newspapers. In 1925, the few days Einstein spent in Rio de Janeiro generated great

e até 1925, quando ocorreu a visita de Einstein ao Rio de Janeiro, há uma divulgação maior da mídia internacional, após o anúncio dos resultados das observações, feita em Londres em 6 de novembro de 1919. No entanto, a repercussão imediata foi muito baixa nos jornais brasileiros. Em 1925, a presença de Einstein no Rio de Janeiro por alguns dias, gerou um grande interesse pela relatividade e diversas matérias em jornais mencionam o eclipse de Sobral. Einstein mesmo o cita em uma de suas palestras e responde a jornalistas sobre ele, escrevendo, inclusive, uma frase que se tornaria famosa: "A Teoria que minha mente formulou foi respondida pelo ensolarado céu do Brasil".

Uma menção curiosa de Einstein ao eclipse de Sobral, quando estava no Rio, ocorreu quando foi abordado por um jornalista cearense. A descrição deste encontro foi publicada no jornal O Sitiá, de Quixadá, no dia 19 de abril de 1925 (figura 3). Einstein se declara "desvanecido pelos saudares de um jornal do Ceará, em cujo céu, por ocasião do eclipse total do Sol em 1919, se encontrou a irrefragável confirmação de sua Teoria da Relatividade".

o Sitiá

O Nordeste espoliado

EINSTEIN

Figura 3. Jornal O Sitiá, de Quixadá, 19 de abril de 1925.
Figure 3. Newspaper O Sitiá, from Quixadá, 19 April 1925.

interest about relativity and a number of newspaper articles mentioned the eclipse at Sobral. Einstein himself mentioned this in one of his seminars and actually responded to journalists in a sentence that became famous: "The luminous sky of Brazil proved the theory formulated by my mind."

A curious reference to Sobral by Einstein when he was in Rio, happened when he was approached by a journalist from Ceará. The description of this encounter was published in the newspaper O Sitiá, from Quixadá, on 19 April 1925 (figure 3). Einstein said he was "delighted to be congratulated by the newspaper from Ceará, the skies of which had provided the irrefutable confirmation of his theory of relativity, at the time of the total eclipse of the Sun in 1919."

Na década de 1930 e 1940 há pouquíssimas e esparsas referências ao eclipse, com exceção do ano 1947 no qual algumas menções surgem devido ao grande interesse despertado pela observação de outro eclipse total, desta vez em Bocaiúva (Minas Gerais), e no qual o astrônomo belga George van Biesbroeck (1880-1974) tentou também medir a deflexão da luz das estrelas. Nas décadas de 1950 e 1960 há ainda algumas matérias, mas em número muito reduzido, com destaque para artigos de Wladimir Novaes que mencionam o eclipse de 1919.

Em 1979, com as comemorações do centenário do aniversário de Einstein, surgem alguns artigos que analisam a visita de Einstein ao Brasil, em 1925, e que se referem ao eclipse de 1919. Em particular, os textos de Ronaldo Mourão (1935-2014) e de Roberto Caffarelli, este no jornal Estado de S. Paulo e na revista Ciência e Cultura.

Na década de 1980, o número de matérias sobre o tema cresce, em especial pelas publicações de artigos em jornais do astrônomo Marcomede Rangel (1951-2010). Já na década seguinte quem se mais se destaca na publicação sobre o eclipse de 1919, é Ronaldo Mourão, astrônomo do Observatório Nacional e depois diretor do Museu de Astronomia e Ciências Afins, que escreve algumas matérias para jornais e

References to the eclipse are few and far between in the 1930s and 1940s, except for 1947 when observation of another total eclipse, this time in Bocaiúva (Minas Gerais) sparked great interest and the Belgium astronomer George van Biesbroeck (1880-1974) tried to measure deflection of light from the stars, again. In the 1950s and 1960s there were some articles, but not as many. The articles of Wladimir Novaes, who mentions the 1919 eclipse, stand out.

In 1979 at the time of celebrations for Einstein's one hundredth birthday some articles appeared analysing his visit to Brazil in 1925 and referring to the 1919 eclipse, particularly texts by Ronaldo Mourão (1935-2014) and Roberto Caffarelli, the latter in the Estado de S. Paulo newspaper and in the magazine Ciência e Cultura.

In the 1980s the number of articles on the subject grew, in particular articles by the astronomer Marcomede Rangel (1951-2010) published in newspapers. In the following decade, however, Ronaldo Mourão, who was an astronomer at the National Observatory and who later became Director of the Museu de Astronomia e Ciências Afins, who wrote articles for newspapers and a book on the subject, stands

um livro sobre o tema. Em 1995, nas comemorações dos 70 anos da visita de Einstein ao Brasil, inclusive com a realização de uma exposição e da publicação de um livro sobre esse acontecimento – *Einstein e o Brasil*, de Moreira, I. C. e Videira, A. A. P. Editora UFRJ, 1995 – há novamente um crescimento no número de citação.

No entanto, como mostra o gráfico (figura 4), o número de artigos na mídia brasileira é muito baixo ao longo de todo século 20, da ordem de cinco dezenas. Utilizamos como fonte principal desta investigação a vasta e excelente (embora não completa) base de periódicos brasileiros digitalizados na Hemeroteca Digital da Biblioteca Nacional (HDBN).

Não surpreende, portanto, que a imensa maioria dos brasileiros desconheça esse importante episódio da história da ciência que ocorreu no Brasil. Ele também não é citado em quase nenhum texto didático utilizado na educação básica, seja ele de história ou de ensino de física. Não localizamos também, a partir

out. In 1995, at the celebrations for the 70 year anniversary of Einstein's visit to Brazil, including an exhibition and the publication of a book on this event – *Einstein e o Brasil*, de Moreira, I. C. e Videira, A. A. P. Editora UFRJ, 1995 – there was again an increase in the number of mentions.

However, as the following graph shows (figure 4), there were few articles in the Brazilian media throughout the whole of the 20th century, around fifty. We used the vast and excellent (although incomplete) digital database of Brazilian periodicals at the Hemeroteca Digital da Biblioteca Nacional (HDBN) as the principal source for this investigation. Therefore, it is not surprising that the vast majority of Brazilians are unaware of this important moment in the history of science that took place in Brazil. It is cited in almost no teaching material used in basic education for either history or physics classes. Nor did we locate references to conferences or seminars

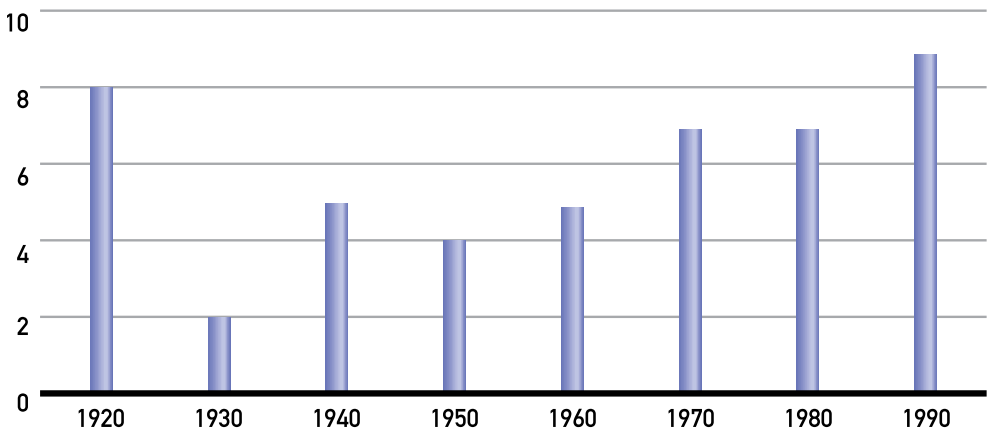


Figura 4. Citações a eclipse de Sobral ou eclipse de 1919 nos periódicos brasileiros
Figure 4. References to the eclipse at Sobral or the 1919 eclipse in Brazilian periodicals.

de notícias em jornais da base da HDBN, com exceção das conferências de Morize e Manoel Amoroso Costa (1885-1928), na década de 1920, menções a conferências ou palestras que tocassem no tema do eclipse de Sobral, até às décadas de 1970/90 quando comemorações específicas voltaram a dar algum destaque, mesmo que pequeno, ao tema. Mesmo as poucas revistas de cunho científico que poderiam divulgar artigos sobre este tema, como os Anais da Academia Brasileira de Ciências ou a revista Ciência e Cultura da SBPC nada trazem sobre esse assunto até a década de 1970.

No entanto uma pesquisa rápida na base da HDBN, mostra que as citações ao nome de Einstein crescem significativamente até os dias de hoje (figura 5).

O anúncio dos resultados das observações das comissões britânicas a Sobral e à Ilha do Príncipe, realizado em Londres no dia 6 de novembro de 1919, gerou pouca repercussão no Brasil, ao contrário do que ocorreu na Europa e nos EUA. No Brasil o anúncio recebeu um tímida e confusa notícia da agência estrangeira Havas (08/11/1919), publicada no dia 9 de novembro nos jornais O Paiz e Correio Paulistano: "Os resultados obtidos pelas missões, que foram ao Ceará e à Ilha do Príncipe observar o eclipse solar de maio último, estão causando o mais vivo interesse nos círculos científicos porque esses resultados vêm confirmar uma das leis de reflexão do professor suíço Einstein, cujas novas Teorias sobre o universo não admitem as leis de Newton."

Não conseguimos localizar, em jornais de Sobral, que haviam feito uma intensa cobertura da presença das expedições astronômicas na cidade, qualquer menção ao anúncio dos resultados que havia sido feito em Londres.

on the subject of the eclipse at Sobral that dated back to before the 1970/90s, in the newspapers on the HDBN database, except for conferences held by Morize and Manoel Amoroso Costa (1885-1928), in the 1920s when specific celebrations once again focused on this theme, although to a limited extent. Even the few magazines of a scientific nature that could have published articles on this subject, such as Anais of the Academia Brasileira de Ciências or the SBPC magazine Ciência e Cultura did not carry anything on this subject until the 1970s.

However, a quick search on the HDBN database reveals that references Einstein's name are still growing significantly even today (figure 5).

The announcement of the results of observations by the British commissions in Sobral and on Ilha do Príncipe, in London, on 6 November 1919, received little response in Brazil, unlike in Europe and the USA. In Brazil the announcement received timid and confused reporting from the foreign agency, Havas (08/11/1919) and the following appeared in the newspapers O Paiz and Correio Paulistano on 9 November: "The results obtained by the missions that went to Ceará and Ilha do Príncipe to observe the eclipse of the Sun last May are causing the liveliest interest in scientific circles because they confirm one of the Swiss Professor, Einstein's laws of reflection. His new theories about the Universe refute Newton's laws."

We were not able to locate any mention of the announcement of the results that had been made in London, in the newspapers of Sobral. They had already covered the presence of the astronomers' expeditions in the town intensely.

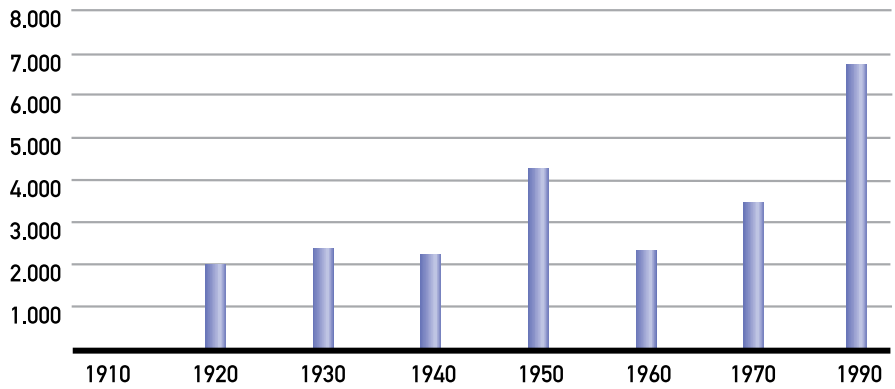


Figura 5. Citações a Einstein nos periódicos brasileiros.
Figure 5. References to Einstein in Brazilian periodicals.

A primeira matéria de qualidade sobre os resultados do eclipse e sobre a Teoria da Relatividade Geral foi escrita por Manoel Amoroso Costa, engenheiro e matemático, professor da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, e publicada em O Jornal no dia 12 de novembro de 1919. Com o título "Theoria de Einstein", é um texto curto e preciso de divulgação científica e que termina com a constatação: "é a primeira grande notícia da ciência pura que nos manda, depois da guerra, a Europa sempre fecunda". No Brasil, o primeiro livro escrito sobre a Teoria da Relatividade é da lavra do próprio Amoroso Costa que, em 1922, publicou um livreto, *Introdução à Teoria da Relatividade*, que resultou de quatro palestras feitas sobre o tema. Trata-se de um livro de excelente qualidade e bastante didático, embora sucinto. Ele foi reeditado pela Editora da UFRJ, em 1995.

The first good quality article on the results of the eclipse and on General Relativity Theory was written by Manoel Amoroso Costa, an engineer and mathematician and a lecturer at the Escola Politécnica do Rio de Janeiro. It was published in O Jornal on 12 November 1919 and was entitled "Theoria de Einstein". It is a short precise piece of writing for scientific dissemination and ends with the statement: "this is the first big piece of news on pure science that Europe, always so prolific, has sent us since the war." In Brazil the first book written on the Theory of Relativity was by Amoroso Costa himself. In 1922 he published a booklet, *Introdução à Teoria da Relatividade*, that was the result of four seminars on the theme. Although concise, this is an excellent

Talvez o primeiro artigo científico que utiliza a TRG em sua pesquisa tenha sido escrito por Theodoro Ramos (1895-1935). Em 1923, esse jovem matemático e engenheiro realizou a primeira pesquisa sobre a Relatividade Geral e a Teoria Quântica no Brasil. Naquele ano, ele apresentou na Academia Brasileira de Ciências seu trabalho "A theoria da Relatividade e as Raias Espectraes do Hydrogenio", publicado na Revista Polytechnica (n. 74, p. 181-188, set./dez. 1923). O artigo viria a ser reproduzido no primeiro número dos Anais da Academia em 1929 (v. 1, p. 20-27) quando o assunto já estava superado. Alguns raros pesquisadores brasileiros, em especial Mario Schenberg (1914-1990), publicaram artigos sobre relatividade geral ou que a elas se referia, entre 1920 e 1960. É a partir da década de 1970 que começam a surgir no Brasil os primeiros grupos de pesquisa dedicados TRG e à cosmologia.

Um personagem muito importante para a realização das observações do eclipse de Sobral, em 1919, foi Morize, então diretor do Observatório Nacional (dirigiu o ON entre 1908 e 1929) e presidente da comissão astronômica brasileira. Ele é mencionado explicitamente no artigo

Figura 6. O Malho, 13 de outubro de 1923.
Figure 6. O Malho, 13 October 1923.

and very clear book. The UFRJ publishers produced a new edition in 1995.

Perhaps the first scientific article to use GRT in its research was written by Theodoro Ramos (1895-1935). In 1923, this young mathematician and engineer carried out a study on General Relativity and Quantum Theory in Brazil. In that year, he presented his work "A theoria da Relatividade e as Raias Espectraes do Hydrogenio" at the Academia Brasileira de Ciências, published in Revista Polytechnica (n. 74, p. 181-188, Sept/Dec 1923). The article was later reproduced in the first edition of the Anais da Academia in 1929 (v. 1, p. 20-27) when the subject had been superseded. A few Brazilian researchers, particularly Mario Schenberg (1914-1990), published articles either on General Relativity or that referred to it, between 1920 and 1960. In the 1970s the first research groups dedicated to GRT and cosmology started to appear.

A very important person in carrying out the observations of the eclipse at Sobral in 1919 was Morize, then Director of the National Observatory (Director from 1908 to 1929) and President of the Brazilian Astronomi-

original e em várias cartas e documentos relativos a esse acontecimento na época. Os astrônomos estrangeiros ficaram muito agradecidos pela recepção e apoio que receberam da comissão brasileira, em particular de Morize, das autoridades e da população de Sobral. Morize publicaria um artigo no Correio da Manhã de 27 de fevereiro de 1920, proveniente de uma conferência na Sociedade Brasileira de Ciências (que se transformaria na Academia Brasileira de Ciências dois anos depois), sobre as observações feitas durante o eclipse de Sobral pela comissão brasileira. Ali ele se refere também ao resultado dos astrônomos britânicos que "revela completo acordo com o que a Teoria de Einstein havia previsto".

No entanto, em livros e noticiários mais recente seu nome é raramente lembrado. Note-se que, em sua época, em especial nas décadas de 1910 e 1920, Morize era um dos cientistas mais conhecidos e respeitados do país. A revista Fon Fon fez um grande Concurso Nacional, em 1928, e Morize foi o segundo colocado entre os "Sábios", logo atrás de Vital Brazil (1865-1950). Ele foi o primeiro presidente da Academia Brasileira de Ciências, que ajudou a criar, e juntamente com Roquete-Pinto deu partida à primeira rádio brasileira, a Rádio Sociedade. Para aferir o reconhecimento de Morize em sua época, fizemos um levantamento do número de ci-

cal Committee. He is explicitly mentioned in the original article and in a number of letters and documents regarding the event at that time. The foreign astronomers were very grateful for the reception and support they received from the Brazilian commission, particularly Morize, the authorities and the people of Sobral. Morize published an article in Correio da Manhã on 27 February 1920, subsequent to a conference held by the Sociedade Brasileira de Ciências (which became the Academia Brasileira de Ciências two years later), on the observations made by the Brazilian commission, during the eclipse at Sobral. In this he also referred to the result of the British astronomers that "are in total agreement with the theory Einstein had predicted."

However, his name rarely appears in more recent books and news items. It is worth noting that, at the time, particularly in the decades of 1910 and 1920, Morize was one of the best known and most respected scientists in the country. The magazine Fon Fon held a big National Competition in 1928 and Morize came in second in the category 'People of Wisdom', behind Vital Brazil (1865-1950). He was the first President of the Academia Brasileira de Ciências, that he helped

tações a seu nome no acervo da HDBN, que é apresentado no gráfico (figura 7), o que demonstra o seu reconhecimento junto à população ilustrada do país, em particular no Rio de Janeiro.

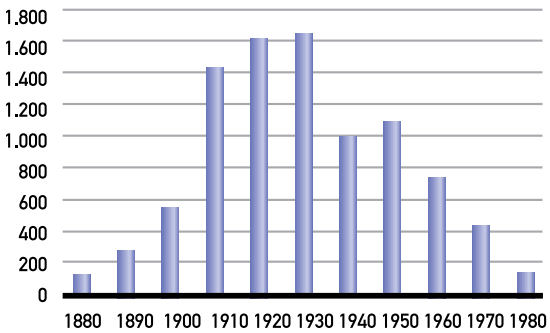


Figura 7. Citações a Morize nos periódicos brasileiros.
Figure 7. References to Morize in Brazilian periodicals.

CONCLUSÕES_Podemos sintetizar os argumentos anteriores e afirmar que não é surpresa que a grande maioria dos brasileiros ignore o eclipse que aconteceu em Sobral em 1919, pelas razões já citadas: i) a baixa intensidade das referências sobre ele nos meios de comunicação brasileiros, aí incluída a imprensa, o rádio e a TV; ii) o evento não é citado em quase nenhum texto didático utilizado na educação básica, seja ele de história ou de física; iii) raras conferências, palestras, ou cursos sobre relatividade ocorreram até a década de 1990; iv) há pouquíssimos livros de divulgação no Brasil, escritos por brasileiros ou traduzidos, que tratam adequadamente desse evento.

Por outro lado, quando comparamos a repercussão e o conhecimento sobre o eclipse de Sobral em livros, revistas, sites e redes sociais do exterior, percebe-se claramente uma predominância bem maior das referências às observações feitas na Ilha do Príncipe por Eddington, em que pese a qualidade das fotos ali feitas ser bem inferior às de Sobral e, portanto, contendo imprecisão bem maior. Trata-se de uma construção histórica, não rara na história da ciência, em que um

to create and together with Roquete-Pinto launched the first Brazilian radio station, Rádio Sociedade. In order to assess Morize's recognition at that time we carried out a survey of the number of references to his name in the HDBN collection, presented in the graph (figure 7), which shows the esteem in which he was held by eminent people, especially in Rio de Janeiro.

CONCLUSIONS_In summarising the previous arguments it can be stated that it is no surprise that most Brazilians are unaware of the eclipse that took place in Sobral in 1919, for the reasons already mentioned: i) the small number of references to it in the Brazilian media, including the press, radio and TV; ii) the event is hardly mentioned in any teaching material used in basic education, for history or physics; iii) there were very few conferences, seminars or courses on Relativity before the 1990s; iv) there are very few dissemination books in Brazil, written by Brazilians or translated, that discuss this event properly.

In addition, when we compare the impact and understanding about the eclipse at Sobral in books, magazines, sites and social media overseas, it is clear that there are considerably more references to the observations made on Ilha do Príncipe by Eddington, despite the fact that the quality of the photographs taken there was far inferior to those at Sobral, mean-

personagem, no caso Eddington, atrai mais as atenções gerais e eclipsa a contribuição de outros. Aqui se inclui o ocultamento maior de Sobral, possivelmente gerado pela ligação de Eddington com a Ilha do Príncipe.

As comemorações do centenário do eclipse de Sobral neste ano no Brasil que foram relativamente intensas, com exposições, publicação de revistas e livros, eventos públicos, seminários e cursos, certamente contribuíram para que ele se tornasse mais conhecido em nossas bandas. Mas há ainda muito o que fazer para que a importância das observações feitas em Sobral adquiram o destaque que merecem, assim como os astrônomos que as fizeram.

ing they were much less precise. This represents a historical construction, which is not unusual in scientific history, whereby one character, in this case Eddington, attracts more attention and eclipses the contribution of the others. Also seen here is the lack of attention to Sobral, possibly because of Eddington's link with Ilha do Príncipe.

The centenary celebrations of the eclipse at Sobral, in Brazil this year, were quite intense with exhibitions, magazine and book publications, public events, seminars and courses and certainly contributed to it becoming better known locally. But there is still much to be done so that the importance of the observations made at Sobral and the astronomers who made them achieve the status they deserve.

SUGESTÕES PARA LEITURA_
SUGGESTED READING

Eisenstaedt,J. Einstein et la relativité générale. Paris: CNRS Éditions, 2002

Kennefick, D. No Shadow of a Doubt. Princeton: PUP, 2019

Moreira, I. C. e Tolmasquim (eds), Ciência e Cultura, vol. 71, n.3, 2019 – Núcleo Temático sobre o Eclipse de Sobral, p. 14 a 57

Moreira, I. C. e Videira, A. A. P. Einstein e o Brasil. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1995

Paolantonio, S, Pelliza L, Mallamaci C, Camino N, Orellana M and Garcia B. The Argentinean attempts to prove the Theory of General Relativity: the total solar eclipses of 1912, 1914 and 1919. Under One Sky. The IAU Centenary Symposium Proceedings IAU Symposium (D. Valls-Gabaud, J. Hearnshaw & C. Sterken, eds.), No. 349, p. 1 – 5, 2018

Studart N, Costa, Costa R C T e Moreira, I C. Theodoro Ramos e os primórdios da Física Moderna no Brasil. Física na Escola, v. 5, n. 2, 2004

O Observatório Nacional e o eclipse de Sobral

Oscar T. Matsuura
Universidade de São Paulo
Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST

Oscar T. Matsuura
University of São Paulo, Brazil
Museum of Astronomy and Related Sciences – MAST, Brazil

The National Observatory and the eclipse at Sobral

OBSERVAÇÕES DE ECLIPSES NO BRASIL_A sombra do eclipse total do Sol de 29 de maio de 1919 começava a marchar cedo no horário local, no Peru. Passava depois pela Bolívia, cruzava o Brasil a partir de Mato Grosso rumo ao Ceará, para logo em seguida cruzar o Atlântico Sul e, antes de ingressar no território africano, passar pelas Ilhas de São Tomé e Príncipe, na costa da África. As condições para observar a totalidade do eclipse são favoráveis quando o Sol se encontra com boa elevação acima do horizonte. Assim era natural que fosse escolhida uma cidade como Sobral, pouco antes da sombra ingressar no Atlântico, onde a totalidade ocorreria por volta das 9h (hora local). Uma nova condição favorável se repetiria na Ilha do Príncipe por volta das 11h (hora local).

Tentar observar o mesmo eclipse de localidades diferentes é uma forma de aumentar a chance de garantir a coleta de algum dado observacional. Assim, a natureza tinha presenteado o Brasil com um local candidatável à observação do eclipse de 1919. A partir daí, o Observatório Nacional (ON) passou a ser consultado por vários interessados, não só sobre as condições meteorológicas, mas também logísticas. O diretor do ON era o francês naturalizado brasileiro, Henrique Charles Morize (1860-1930), engenheiro industrial e catedrático de física experimental da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, e que já trabalhava no ON desde 1891.

OBSERVATION OF ECLIPSES IN BRAZIL_ The shadow of the total eclipse of the Sun began its march in Peru, early at the local time, on May 29, 1919. It then passed through Bolivia, crossed Brazil from Mato Grosso to Ceará, and then crossed the South Atlantic, passing through the islands of São Tomé and Príncipe on the coast of Africa, before entering the African territory. The conditions for observing the totality of an eclipse are favourable when the Sun is high above the horizon. Therefore, it was natural that a city like Sobral should be chosen shortly before the shadow entered the Atlantic, where the total eclipse would occur at about 9am local time. A new favourable condition would also occur in Ilha do Príncipe around 11am local time.

Trying to observe the same eclipse from different locations is one way of increasing the chance of ensuring the collection of observational data. Thus, nature had gifted Brazil a place suitable for observing the eclipse of 1919. So, the National Observatory (ON) began to be consulted by various astronomers of the world, not only on meteorological but also logistic conditions. The director of the National

Observatory was then Henrique Charles Morize (1860-1930), a Frenchman with Brazilian citizenship. He was an industrial engineer and professor of experimental physics at the Polytechnic School of Rio de Janeiro, who worked at the National Observatory since 1891.

Morize's first task was to choose the most suitable place for the observations. This is a challenging task since the local climatological parameters are not well correlated with the actual weather conditions in a specific location during the minutes of the eclipse totality in a limited section of the sky around the Sun. Morize had already coordinated eight expeditions to the 1912 eclipse in Brazil, however, it rained torrentially and all the expeditions left empty-handed. For the 1919 eclipse, the most rational measure to take was to choose promising sites based on climatological data, if they existed, obviously.

It was already a worldwide astronomical practice to organize expeditions when observers had to travel with their instruments to places where the phenomenon could be observed. In 1858, the National Observatory, then called the Imperial Observatory of Rio de Janeiro, organized an expedition to observe the eclipse in Paranaguá (PR) on September 7, 1859 , and so began in the Observatory the tradition of organizing eclipse expeditions.

A primeira tarefa de Morize foi escolher o local mais adequado para as observações. Essa tarefa é ingrata porque envolve uma componente lotérica, uma vez que não há correlação forte entre os parâmetros climatológicos e uma situação meteorológica favorável num determinado local, nos poucos minutos da totalidade do eclipse sobre uma limitada porção do céu ao redor do Sol. Morize já tinha coordenado oito expedições para o eclipse de 1912 no Brasil, quando choveu torrencialmente e todas as expedições saíram de mãos vazias. Para o eclipse de 1919, o mais racional era escolher os locais promissores com base em dados climatológicos, quando existissem, obviamente.

Já era prática astronômica mundial organizar expedições quando os observadores tinham que se deslocar com seus instrumentos aos locais em que o fenômeno podia ser observado. Em 1858, o ON, ainda denominado Imperial Observatório do Rio de Janeiro, organizou uma expedição para ver o eclipse de 7 de setembro de 1859 em Paranaguá (PR) e, assim, iniciou a tradição de organizar expedições a eclipses.

The French astronomer Emmanuel Liais (1826-1900), who would become director of the Observatory, participated in this expedition as a volunteer from France. Thanks to him solar physics was already an important theme during this eclipse because Liais had brought European innovations to Brazil in the area of astrophysics (a branch of astronomy that studies the chemical and physical properties of the stars, instead of their position and movements in the sky). Liais also made pioneering use of the polarimeter and photography during an eclipse in Brazil.

Traditionally, on observing eclipses, accurate measurements were made of the four contact moments between the edges of the Sun and the Moon that occur in a total eclipse of the Sun. The first and fourth define the beginning and end of the eclipse, and the time interval between the second and third contacts define the totality of the eclipse. However, due to new technology, physical theories and equipments, interest had been shifting more and more towards the emergent and exciting solar physics, that looked to unveil the chemical and physical properties of the surface and the atmosphere of the Sun.

O astrônomo francês Emmanuel Liais (1826-1900), que viria a ser diretor do Observatório, participou dessa expedição vindo da França como voluntário. Graças a ele, nesse eclipse a física solar já foi tema importante, pois Liais trazia as novidades europeias da área de astrofísica (ramo da astronomia que estuda as propriedades químicas e físicas dos astros, em vez da posição e dos movimentos dos mesmos no céu). Liais também fez uso pioneiro de um polarímetro e da fotografia num eclipse no Brasil.

Na observação dos eclipses, tradicionalmente se mediam com precisão os quatro instantes de contato entre os bordos do Sol e da Lua que ocorrem num eclipse total do Sol: o primeiro e o quarto definem o início e o fim do eclipse e o intervalo de tempo entre o segundo e o terceiro contatos define a totalidade desse eclipse. Entretanto, a partir das novas tecnologias, Teorias físicas e equipamentos, cada vez mais o interesse foi se deslocando para a emergente e excitante física solar, que procurava desvendar as propriedades químicas e físicas da superfície e da atmosfera solar.

O seguinte eclipse total do Sol visível no Brasil foi em 25 de abril de 1865, quando uma expedição do ON seguiu para Camboriú (SC). Mas poucos resultados foram obtidos, por conta da chuva. Um novo eclipse aconteceu em 16 de abril de 1893. Nessa ocasião Morize chefiou, pela primeira vez, a expedição brasileira para observar um eclipse em Paracuru, no litoral cearense a Oeste de Fortaleza. A observação foi novamente prejudicada por densas nuvens. Uma expedição britânica veio para fotografar a coroa solar.

Em 10 de outubro de 1912, houve o eclipse total visível em Passa Quatro (MG), que reuniu oito expedições em uma região fronteiriça entre Minas Gerais e São Paulo. Duas expedições eram brasileiras – uma do Observatório Nacional e a outra do Observatório de São Paulo, hoje o Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (IAG/USP) – e as demais, estrangeiras. Morize foi o coordenador. Documentos do acervo do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST) revelam a intensa troca de correspondência dele com visitantes pretendentes, autoridades brasileiras e informantes locais. Mais uma vez, nenhum dado foi coletado, por causa da chuva, como já mencionado.

The next total eclipse of the Sun visible in Brazil was on April 25, 1865, when a National Observatory expedition went to Camboriú (SC). But few results were obtained due to rain. A new eclipse occurred on April 16, 1893. On this occasion, for the first time Morize headed the Brazilian expedition to observe an eclipse in Paracuru, on the coast of Ceará west of Fortaleza. The observation was again hampered by dense clouds. A British expedition came to photograph the solar corona .

On October 10, 1912, there was a total eclipse visible in Passa Quatro (MG), which gathered eight expeditions in a border region between Minas Gerais and São Paulo states. Two expeditions were Brazilian – one from the National Observatory and the other from the Observatory of São Paulo, now the Institute of Astronomy and Geophysics of the University of São Paulo (IAG/USP) – and the others from abroad. Morize was the coordinator. Documents from the collection of the Museum of Astronomy and Related Sciences (MAST) reveal the intense exchange of correspondence between visitors, Morize, Brazilian authorities and local officers. Again, as mentioned above, no data was collected due to rain.

A ESCOLHA DE SOBRAL_Para o eclipse de 1919, Morize já tinha acumulado vasta experiência, não só para chefiar a expedição brasileira, mas também para fornecer informações e acolher as demais expedições. Ele distribuiu uma circular em que declarou que Sobral era o local mais adequado do Nordeste do Brasil para a observação do fenômeno, fornecendo abundantes informações sobre as condições meteorológicas, modos de acesso, salubridade, locais de hospedagem e instalação de equipamentos e disponibilidade de mão de obra, entre outras. Dos registros encontrados no acervo do MAST, consta que quem primeiro pediu informações foi o americano Charles D. Perrine (1867-1951), diretor do Observatório de Córdoba, Argentina, em junho de 1917.

Em dezembro daquele ano, Morize solicitou informações ao chefe da seção meteorológica do próprio ON e obteve de um engenheiro de telégrafo, Dr. Benjamin de Oliveira, além de dados meteorológicos, informações sobre os recursos e condições em locais do Ceará e Piauí. As informações alertavam para regiões onde grassava a febre amarela e diziam que, nos hotéis, não era usual dormir em camas, mas em redes. Morize redigiu *Informations sur la zône bresilienne de l'Eclipse Totale du 28/29 Mai 1819* (sic) em quatro páginas datilografadas. Não foi incomum encontrar entre os papéis cartas de ingleses escritas em francês.

Entre fevereiro e março de 1918, o documento de Morize foi distribuído para Perrine; para o astrônomo amador francês conde Aymar Eugène de La Baume Pluvinel (1860-1938), que logo respondeu lamentando que provavelmente ninguém viria para o Brasil ver o eclipse; para Camille Flammarion (1842-1925), secretário-geral da Société Astronomique de France; para o secretário da Royal Astronomical Society; para Edward C. Pickering (1846-1919), diretor do Harvard College, e para o astrônomo espanhol Carlos Puente (1855-1925), de Madri. Em abril de 1919, Perrine avisou Morize lamentando que não poderia vir observar o eclipse.

THE CHOICE OF SOBRAL_At the time of the eclipse of 1919, Morize had already gained vast experience, not only in leading the Brazilian expedition, but also in providing information and in welcoming other expeditions. He circulated information in which he declared that Sobral was the most suitable place in the Northeast of Brazil to observe the phenomenon, providing detailed information about the weather, means of access, conditions of salubrity, accommodation, equipment facilities and available workmanship, among others. From the records found in the MAST collection, it is reported that the first to ask for information in June 1917 was the American Charles D. Perrine (1867-1951), director of the Observatory of Cordoba, Argentina.

PLANEJAMENTO E PREPARAÇÃO_Um mês antes do eclipse, Morize e o engenheiro Domingos Fernandes da Costa (1882-1956), também do ON, visitaram Sobral para providenciar as acomodações para os membros das expedições, que ficaram hospedados em residências particulares. Nessa visita, Morize deixou com o prefeito, José Jacome de Oliveira, um mapa do eclipse que ficaria para consulta geral na Prefeitura e dois telescópios com os quais a população poderia acompanhar o eclipse numa praça da cidade. De passagem por Camocim, Morize publicou no jornal local um artigo de divulgação sobre o Sol, eclipses e sobre os estudos que seriam feitos em Sobral. Também procurou induzir na população um comportamento adequado, que não prejudicasse os trabalhos das expedições.

In December of that year, Morize requested information from the head of the National Observatory's meteorological section and obtained from a telegraph engineer, Dr. Benjamin de Oliveira, besides the meteorological data, information on the resources and conditions for locations in Ceará and Piauí. The information alerted to regions affected with raging yellow fever, and in hotels it said that it was not usual to sleep in beds, but in hammocks. Morize wrote *Information sur la zône bresilienne de l'Eclipse Totale du 28/29 May 1819* (sic) typed on four pages. It was not uncommon to find letters from English people written in French.

Between February and March 1918, Morize's document was distributed to: Perrine; to the French amateur astronomer Count Aymar Eugène de La Baume Pluvinel (1860-1938), who soon replied expressing his regret that probably no one would come to Brazil to see the eclipse; to Camille Flammarion (1842-1925), Secretary-General of the Société Astronomique de France; to the secretary of the Royal Astronomical Society; to Edward C. Pickering (1846-1919), director of the Harvard College, and to the Spanish astronomer Carlos Puente (1855-1925) in Madrid. In April 1919, Perrine warned Morize that unfortunately he could not come to observe the eclipse.

PLANNING AND PREPARATION_A month before the eclipse, Morize and the engineer Domingos Fernandes da Costa (1882-1956), also from the National Observatory, visited Sobral to provide accommodation for members of the expeditions, who were housed in private homes. During this visit, Morize left the mayor, Jose Jacome de Oliveira, a map of the eclipse that would be available for general consultation in the Town Hall and two telescopes for the population to accompany the eclipse from the town square. While passing in Camocim, Morize published an article in the local newspaper about the Sun, eclipses and the studies that would be done in Sobral. It also sought to warn the population about appropriate behaviour so as not to hinder the work of the expeditions.

COMISSÃO BRASILEIRA EM SOBRAL: OBJETIVOS CIENTÍFICOS_O número de maio/junho de 1920 da *Revista de Sciencia*, órgão da Sociedade Brasileira de Sciencias (atual Academia Brasileira de Ciências), publicou a conferência proferida por Morize naquela Sociedade, dando conta dos resultados obtidos pela Commissão Brasileira do Eclipse de 29 de maio de 1919: "A forma e a disposição da corôa, assim como a indagação espectroscópica de sua composição constituiram ... os dois principaes assumptos do programma da Commissão Brasileira..." (sic).

A física solar, ainda sem uma Teoria, era uma disciplina mais observacional e descritiva do que explanatória. Recapitulando brevemente, as manchas solares eram conhecidas desde Galileu (1610), mas novos conhecimentos só vieram a partir de meados do século 19: que o número de manchas aumenta e diminui periodicamente em ciclos de pouco mais de 11 anos (1843), que o ciclo solar é correlacionado com o ciclo de atividade geomagnética, isto é, o Sol afeta o campo magnético da Terra (1852), que as manchas perto do equador do Sol giram mais depressa do que as manchas de latitudes mais elevadas (rotação diferencial do Sol) e que elas migram de altas latitudes para o equador a partir de um mínimo de atividade solar até o mínimo seguinte (1858). Em 1 de agosto de 1859 foi flagrada, na Inglaterra, na luz visível, a primeira explosão solar (súbita e intensa emissão de radiação) e, no eclipse de 18 de julho de 1860, a primeira ejeção de matéria pela coroa solar, atividade essa causadora das auroras polares (1889).

Com tantas descobertas, a segunda metade do século 19 foi considerada a Idade de Ouro da física solar. Também, nesse mesmo período, surgiram duas grandes inovações que revolucionaram a astronomia: a fotografia e a espectroscopia, a primeira como técnica de registro dos fenômenos.

BRAZILIAN COMMISSION IN SOBRAL: SCIENTIFIC OBJECTIVES_The May/June 1920 issue of *Revista de Sciencia*, an organ of the Brazilian Society of Sciences (current Brazilian Academy of Sciences), published the conference given by Morize at the Society, reporting on the results obtained by the Brazilian Commission of the Eclipse of May 29, 1919: "The shape and disposition of the solar corona, as well as the spectroscopic inquiry of its composition constituted ... the two main subjects of the program of the Brazilian Commission ..."

Solar physics, still without a theory, was a more observational and descriptive discipline than explanatory. To recapitulate briefly, sunspots had been known since

Em 1845 foi feita a primeira fotografia do Sol com uso da técnica do daguerreótipo (primeiro processo fotográfico de sucesso comercial, em que a imagem ficava registrada numa placa de cobre recoberta de prata). O primeiro daguerreótipo útil de um eclipse solar foi obtido em 1851, no Observatório de Königsberg, na Prússia, hoje Kaliningrado, na Rússia. Mas foi só na virada para o século 20 que a coroa solar passou a ser fotografada em eclipses, possivelmente pela dificuldade de transporte para lugares remotos da parafernália envolvida (telescópios, câmaras, placas fotográficas, material para revelação etc.). Assim, mesmo na segunda metade do século 19, era comum a coroa ser esboçada em tempo real por desenhistas que participavam das expedições.

Galileo (1610), but new knowledge only came in the mid-19th century that the number of spots increases and decreases periodically in cycles of just over 11 years (1843), that the solar cycle is correlated with the cycle of geomagnetic activity, that is, the Sun affects the Earth's magnetic field (1852), that the spots near the Sun's equator spin faster than the spots at higher latitudes (differential rotation of the Sun) and that they migrate from high latitudes to the equator starting from a minimum of solar activity until the next minimum (1858). On August 1, 1859, in visible light the first solar explosion (sudden and intense emission of radiation) was discovered in England, and on July 18, 1860 during the eclipse the first ejection of matter by the solar corona which causes the polar auroras (1889).

With so many discoveries, the second half of the 19th century was considered the Golden Age of solar physics. Also, during this same period, two great innovations occurred that revolutionized astronomy: photography and spectroscopy, the first being a technique for recording phenomena.

In 1845 the first photograph of the Sun was taken using the daguerreotype technique (the first photographic process of commercial success, in which the image was recorded on a copper plate coated with silver). The first useful daguerreotype of a solar eclipse was obtained in 1851 at the Königsberg Observatory in Prussia, now Kaliningrad, Russia. But it was only at the turn of the 20th century that the solar corona was photographed in eclipses, possibly due to the difficulty of the transportation of the paraphernalia involved (telescopes, cameras, photographic plates, material for revelation, etc.) to remote places. Thus, even in the second half of the 19th century, it was common for the corona to be sketched in real time by draughtsmen who participated in the expeditions.

A outra novidade, a espectroscopia, produz a dispersão da luz, por exemplo, com um prisma, para analisar a composição da luz dos astros determinando assim a composição química e as propriedades físicas dos astros, tais como, temperatura, pressão, movimentos ao longo da linha de visada, campo magnético etc. Sem a decomposição, por muito tempo a luz tinha servido apenas para conhecermos a forma dos astros, sua posição e movimentos na esfera celeste.

DESDE NEWTON sabia-se que a luz do Sol podia ser dispersada ou decomposta nas suas várias cores (ou comprimentos de onda) por meio de um prisma. Em 1802, linhas escuras (de absorção) foram descobertas no espectro do Sol por um químico. Posteriormente se descobriu que com essas linhas era possível inferir a composição química do Sol, já que linhas semelhantes eram vistas em laboratório quando a luz de um sólido incandescente atravessava amostras de gases.
Com o aprofundamento desses estudos, a espectroscopia revolucionou o estudo do Sol e dos astros em geral. Além da astronomia de posição e da mecânica celeste, surgiu o campo fecundo da astrofísica estelar (constituição, estrutura interna e evolução estelar) na qual o Sol era apenas uma estrela a mais.

The other novelty, spectroscopy, produces the dispersion of the light, with a prism for example, to analyse the light composition of the stars, thus determining the chemical composition and physical properties of the stars, such as temperature, pressure, movements along the line of sight, magnetic field, etc. Without decomposition, for a long time light had only served to allow us to know about the shape of the celestial objects, their position and movements in the celestial sphere.

Em 1868 foram descobertas linhas do espectro solar na região do amarelo que não correspondiam a nenhum elemento conhecido na Terra. Esse elemento desconhecido passou a ser chamado Hélio, que só em 1895 foi isolado em laboratório. Em 1869 foi descoberta uma linha de emissão verde no espectro da coroa solar, mas decifrar a que elemento ela correspondia se tornou um problema que demandou décadas para ser resolvido. Em 1879 a linha foi atribuída a um elemento hipotético que foi denominado coronium.

Nesse contexto podemos entender melhor os objetivos científicos da expedição brasileira a Sobral. Com o Sol eclipsado, o que se pode ver é a atmosfera do Sol formada por sucessivas camadas mais ou menos concêntricas: de dentro para fora, fotosfera (camada de apenas 400 quilômetros de espessura que emite praticamente toda luz do Sol); cromosfera (camada com 3 mil a 5 mil quilômetros de espessura onde a temperatura

SINCE NEWTON it has been known that the light of the Sun could be dispersed or decomposed in its various colours (or wavelengths) by means of a prism. In 1802, dark (absorption) lines were discovered in the Sun's spectrum by a chemist. It was later discovered that with these lines it was possible to infer the chemical composition of the Sun, since similar lines were seen in the laboratory when the light from an incandescent solid passed through samples of gases. With further studies, spectroscopy revolutionized the study of the Sun and the stars in general. In addition to positional astronomy and celestial mechanics, the fecund field of stellar astrophysics (constitution, internal structure and stellar evolution) arose in which the Sun was just one more star.

In 1868 lines of the solar spectrum were discovered in the yellow region which did not correspond to any element known on Earth. This unknown element came to be called helium and was only isolated in a laboratory in 1895. In 1869 a green emission line was discovered in the spectrum of the solar corona, but deciphering to which element it corresponded became a problem that took decades to be solved. In 1879 the line was attributed to a hypothetical element that was termed coronium.

In this context we can better understand the scientific objectives of the Brazilian expedition to Sobral. While the Sun is eclipsed, what can be seen is its atmosphere formed by more or less concentric successive layers: from inside to outside, a photosphere (a layer only 400 kilometres wide that emits virtually all sunlight); a chromosphere (a layer of 3,000 to 5,000 kilometres wide where the temperature is in the range of

é da ordem de 4 mil a 10 mil graus Celsius. contendo estruturas inomogêneas e avermelhadas, daí o nome; a luz avermelhada é devida ao Hidrogênio); coroa, onde a temperatura sobe abruptamente para cerca de 2 milhões C. Ela é extensa e hoje sabemos que não é estática, mas sua matéria está sendo continuamente lançada para o espaço interplanetário na forma de vento solar.

Interessava, na época, conhecer a morfologia da coroa solar e analisar espectroscopicamente a sua luz. Afinal ainda não se sabia a composição da coroa. Tanto a morfologia da coroa como a sua luz dispersada num espectro podiam ser registradas fotograficamente. O estudo da morfologia da coroa incluía o decaimento do brilho com a distância ao centro do disco solar e as variações da forma ao longo do ciclo solar. Seria feita a espectroscopia de diversas partes da coroa com o objetivo de determinar a distribuição da linha verde atribuída ao coronium.

A EQUIPE E A VIAGEM_A comissão brasileira para o eclipse de 1919 era formada por Morize, o líder; pelos assistentes do ON, engenheiros Domingos Costa (1882-1956) e Allyrio H. de Mattos (1889-1975); Dr. Lelio Gama (1892-1981), calculador (incumbência de uma época em que não havia computadores); Dr. Theophilo H. Lee, químico especialista em espectroscopia do Serviço Geológico do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio; Dr. Luiz Rodriguez, meteorologista encarregado da instalação de uma estação e das observações de temperatura, pressão e vento – elementos sujeitos a variações durante a totalidade do eclipse – e ainda Arthur de Castro Almeida, um hábil mecânico. Morize, Costa e Mattos estavam acompanhados de suas esposas e cada casal tinha levado um filho.

A comissão partiu do Rio de Janeiro a bordo da embarcação a vapor João Alfredo em 25 de abril, chegando a Fortaleza no dia 4 de maio. No dia 5, seguiu no Prudente de Moraes para Camo-

4,000 to 10,000 degrees Celsius, containing inhomogeneous and reddish structures, hence the name. The reddish light is due to hydrogen); corona, where the temperature rises steeply to about 2 million C. It is extensive and today we know that it is not static, but its matter is being continuously cast into interplanetary space in the form of solar wind.

There was interest at the time in the morphology of the solar corona and the spectroscopic analysis of its light. After all, the composition of the corona was yet unknown. Both the morphology of the corona and its light scattered on a spectrum could be recorded photographically. The study of the morphology of the corona included the decay of the brightness with the distance from the centre of the solar disk, and the variations of its shape along the solar cycle. The spectroscopy of several parts of the corona would be done in order to determine the distribution of the green line attributed to the coronium.

Figura 1. Membros da comissão brasileira. A partir da segunda pessoa da direita até a penúltima da esquerda: Lelio Gama; Allyrio de Mattos; Domingos Costa; Henrique Morize; Theophilo Lee e Luiz Rodriguez. Crédito: Acervo ON

Figure 1. Members of the brazilian commission from right (second person) to left (second person): Lelio Gama; Allyrio de Mattos; Domingos Costa; Henrique Morize; Theophilo Lee e Luiz Rodriguez. Source: ON Arquive

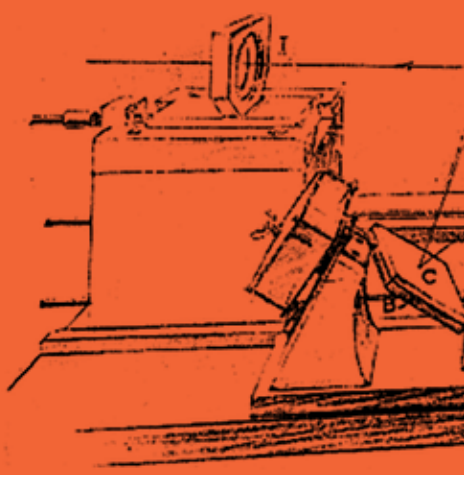
THE STAFF AND THE TRIP_The Brazilian Commission for the 1919 eclipse was formed by Morize, the leader; the assistants of the National Observatory, engineers Domingos Costa (1882-1956) and Allyrio H. de Mattos (1889-1975); Dr. Lelio Gama (1892-1981), calculator (a profession in an era when there were no computers); Dr. Theophilo H. Lee, an expert in spectroscopy from the Geological Service of the Ministry of Agriculture, Industry and Commerce; Dr. Luiz Rodriguez, the meteorologist in charge of setting up the station and observations of temperature, pressure and wind – elements subject to variations during the eclipse totality – and Arthur de Castro Almeida, a skilled mechanic. Morize, Costa and Mattos were accompanied by their wives and one child per couple.

The Commission departed from Rio de Janeiro on the steamboat João Alfredo on April 25, arriving in Fortaleza on May 4. On the 5th, they went on the steamboat Prudente de Moraes to Camocim,

cim onde desembarcou no dia 7. No dia 9 embarcou no trem da Estrada de Ferro Viação Cearense para Sobral, junto com a comissão americana, com a qual se encontrou em Fortaleza, levando os equipamentos em trem especial cedido pela Diretoria da Estrada de Ferro. Chegaram às 15h em Sobral. Os casais da comissão brasileira ficaram numa casa na Praça do Patrocínio e os solteiros, em outra que ficava em frente.

No dia 10 foram feitas as observações astronômicas para a determinação da hora e do meridiano local. Entre os dias 11 e 20, na Praça do Patrocínio, foi demarcada a área para os instrumentos e construídos as barracas e os pilares.

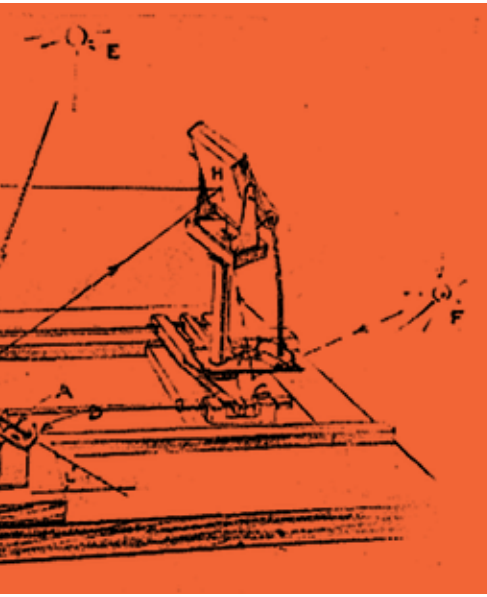
CELOSTATO é um dispositivo com dois espelhos planos, um que gira em torno do eixo polar (paralelo ao eixo da Terra) à velocidade angular de 1 volta a cada 48h e outro, preso a um eixo vertical, que pode ser ajustado numa posição fixa. O primeiro espelho acompanha o movimento diurno do Sol no céu e projeta os raios de luz do Sol no segundo espelho que precisa ser ajustado algumas vezes, de modo que os raios de luz reflitam horizontalmente na objetiva do telescópio que permanece fixo. A função do celostato é fazer os raios solares incidirem constantemente na objetiva do telescópio, a despeito do movimento diurno do Sol no céu. A imagem do disco solar mantém orientação fixa, isto é, não gira.



INSTRUMENTOS_Os equipamentos consistiam em uma luneta fotográfica Mailhat com objetiva de 15cm e foco de 8m conjugada a um celostato da mesma marca. As placas fotográficas mediam 18cm x 24cm. Os espelhos do celostato tinham recebido novo revestimento de prata antes da viagem (não se fez realuminização, como é usual atualmente). Morize se queixou da poeira levantada do solo seco por vento persistente que atacava a superfície dos espelhos e as engrenagens de relojoaria para o acompanhamento do movimento do Sol.

where they arrived on the 7th. On the 9th they boarded a train to Sobral, on the Cearense Railroad, together with the American Commission they had met in Fortaleza, carrying all the equipments on a special train provided by the board of directors of the Railroad. They arrived in Sobral at 3p.m. The couples in the Brazilian Commission stayed at a house in Praça do Patrocínio and the bachelors in a house in front.

On the 10th astronomical observations were made to determine the local time and the meridian. From the 11th to the 20th, in Praça do Patrocínio, the area for the instruments was decided and the tents and pillars were built.



A CELOSTAT is a device with two flat mirrors, one that rotates around the polar axis (parallel to the axis of the Earth) at an angular speed of 1 rotation every 48 hours, and another attached to a vertical axis, that can be adjusted to a fixed position. The first mirror accompanies the daytime motion of the Sun in the sky and projects the rays of light from the Sun into the second mirror that needs to be adjusted a few times, so that the rays of light reflect horizontally on the fixed lens of the telescope. The function of the celostate is to constantly shed the Sun's rays onto the lens of the telescope, despite the daytime movement of the Sun in the sky. The image of the solar disk maintains fixed orientation, i. e., it does not rotate.

INSTRUMENTS_The equipment consisted of a Mailhat photographic telescope with a 15cm lens and 8m focus combined with a celostat of the same brand. The photographic plates measured 18cm x 24cm. The celostat mirrors had been coated with a new layer of silver before the trip (not realuminization, as is currently done). Morize complained of the dust from the dry soil due to persistent wind, that attacked the surface of the mirrors and the clockwork mechanisms which tracked the movement of the Sun.

Morize relatou problemas técnicos terríveis nessa luneta, só constatados em Sobral, quando se descobriu que ela nem sequer focalizava! Impressiona o fato de que esse instrumento tinha sido adquirido para o eclipse de 1912, mas não foi utilizado por causa da chuva torrencial. Numa decisão drástica, na véspera do eclipse, o tubo da luneta foi amputado em 15 centímetros! Isso produziu imagens boas, mas o tamanho ficou inadequado para fotografar a coroa solar em toda a sua extensão. Foram feitas fotografias com tempo de exposição variando de 0,5 segundo a 25 segundos e obtidas 6 placas aproveitáveis da coroa interna. Essas placas eram dotadas de escala fotométrica.

PARA NÃO FICAR APENAS com a forma da coroa, mas quantificar a distribuição do seu brilho, antes do eclipse foi impressa nas placas fotográficas uma escala fotométrica que consistia numa sequência de oito pequenos quadrados. Esses quadrados eram expostos em laboratório, um de cada vez, ao brilho de uma lâmpada incandescente padrão colocada a 10m da placa fotográfica. O tempo de exposição para cada quadrado seguia um escalonamento calculado.

Então, quando a placa com a imagem da coroa era revelada, a escala fotométrica era revelada nas mesmas condições, de modo que a opacidade de cada ponto da imagem podia ser comparada à opacidade da escala, o que permitia quantificar a distribuição do brilho na coroa.

A opacidade era medida num aparelho chamado microfotômetro que media a quantidade de luz que atravessava a placa fotográfica (o negativo), depois de fazer incidir nela um feixe de luz com intensidade constante. Cada medição era feita numa diminuta quadrícula da placa fotográfica, de modo que a análise de uma placa requeria que essas medições fossem feitas ao longo de linhas e colunas até que a placa fosse inteiramente coberta.

Em vista do problema com a Mailhat, foi posta em uso uma outra luneta, uma pequena equatorial Steinheil com objetiva dupla (dubleto) de 10cm e foco de 1,5m, que tinha sido modificada pelo fabricante para o eclipse de 1912, mas que também não foi utilizada naquela ocasião. As placas mediam 9cm x 12cm. Essa luneta, que ainda deve fazer parte do acervo do MAST, foi capaz de produzir imagem do Sol em que toda a extensão da coroa podia ser bem fotografada.

Morize reported terrible technical problems with this telescope. Only in Sobral was it discovered that it did not even focus! It is an amazing fact that this instrument was acquired for the 1912 eclipse, but because of torrential rain was not used. In a drastic decision, on the eve of the eclipse, the telescope tube had an amputation of six inches! This produced good images, but the size was inadequate for photographing the solar corona in all its extension. Photographs with exposure times ranging from 0.5 second to 25 seconds were obtained, as well as 6 useful plates of the internal corona. These plates were accompanied by a photometric scale.

BEFORE THE ECLIPSE, in order to obtain more than just the shape of the corona and to quantify the distribution of its brightness, a photometric scale, which consisted of a series of eight small squares, had been imprinted on the photographic plates. In a laboratory, the squares were exposed, one at a time, to the light of a standard light bulb positioned 10m from the photographic plate. The exposure time for each square was calculated according to a scaling law. So, when the plate with the image of the corona was developed, the photometric scale was developed under the same conditions, so that the opacity of each point of the image could be compared to the opacity of the scale what allowed the distribution of the coronal brightness to be quantified. The opacity was measured on a device called a micro photometer, that measured the amount of light that crossed the photographic plate (the negative), after it was illuminated by a lightbeam of constant intensity. Each measurement was carried out in a small grid square on the photographic plate, so that the analysis of the whole plate would require these measurements to be made along the lines and columns until the plate was fully covered.

Because of the problem with the Mailhat, another telescope was used. This was a small equatorial Steinheil with a 10cm double lens (doublet) objective and a 1.5m focus, adapted by the manufacturer for the 1912 eclipse, but that was not used at that time. The plates measured 9cm x 12cm. The telescope, probably still in the MAST collection, was able to produce an image of the Sun that meant good for the full extent of the corona to be taken.

Mas o suporte da luneta era de treliça frágil e oscilava a qualquer vento. Além disso, o mecanismo de relojoaria (acionado por peso para que o telescópio acompanhasse o movimento diurno do Sol) montado numa base triangular e regulado por uma ventoinha sem nenhuma proteção, também oscilava com qualquer aragem e entrava areia.

Ainda no Rio de Janeiro a treliça foi substituída por uma coluna de madeira e a ventoinha protegida com uma redoma de vidro. Mas a redoma caiu e se quebrou na viagem juntamente com as peças da relojoaria. Com os escassos recursos técnicos disponíveis em Sobral, o mecânico da comissão conseguiu fazer os reparos necessários e a coluna toda foi protegida com uma barraca de lona, deixando-se uma pequena abertura para o Sol poder ser visto no eclipse. Mas por essa abertura entrava o vento que fazia a luneta oscilar constantemente.

Figura 2. Luneta Steinheil utilizada no eclipse de Sobral. Crédito: Acervo ON
Figura 2. Steinheil telescope used at the Sobral eclipse. Source: ON Archive

Como se não bastassem esses problemas, apareceu mais um. O construtor tinha feito um tipo de chassi das placas fotográficas com gaveta que frequentemente emperrava. Foi preciso substituir por outro feito de aço, mas a tampa era uma lâmina fina, muito flexível, que escapava no momento da exposição, quando estava escuro. Era difícil reencontrar a fenda mesmo com ajuda de iluminação de uma vela, o que fazia perder muito tempo.

Mas o pior defeito foi o que fez perder várias placas. Só cinco, de curta exposição, puderam ser aproveitadas. Ocorria uma irregularidade na marcha da relojoaria, só notada depois que as fotos já estavam tiradas. Com o aumento da pressão devido à penetração da poeira, o eixo que transmitia o movimento – ele tinha duas engrenagens cônicas que, em vez de serem fixadas por cavilhas, estavam aparafusadas ao eixo – foi se soltando até que a transmissão do movimento para o eixo polar fosse interrompida. Todos esses percalços comprometeram o programa fotográfico da coroa solar.

But the telescope stand was made of a flimsy trellis that wobbled in the slightest breeze. Moreover, the clockwork mechanism (activated by weight in order for the telescope to accompany the daylight movement of the Sun) set into a triangular base and controlled by an unprotected fan, also wobbled in the draughts and sand got into the equipment.

In Rio de Janeiro the trellis was replaced with a wooden stand and a glass case was added to the fan. But the case was dropped and broke on the journey along with parts of the mechanism. Using the scarce technical resources available in Sobral, the mechanic in the delegation managed to carry out the necessary repairs and the entire stand was protected with a canvas tent with a small opening, so the Sun could be seen in the eclipse. However, the wind got in through this opening causing the telescope to wobble constantly.

On top of these problems another one arose. The builder had made a type of framework for the photographic plates that had a drawer that often got stuck. It had to be replaced with a steel one, but the lid was a thin, very flexible sheet that slid off during exposure, in the dark. It was difficult to find the slot even with the help of candlelight. This meant a lot of lost time.

But the worst flaw led to a number of plates being lost. Only five, short exposure ones, were fit for use. The clockwork had not been running regularly and this was only noticed after the photographs had been taken. With the increase in pressure caused by dust getting in, the axis that transmitted movement – it had two conical cogs that rather than being attached by linchpins, were screwed onto the axis – became loose until the transmission of movement by the polar axis was interrupted. These mishaps hampered the programme of photographing the solar corona.

Havia um terceiro instrumento que era o espectrógrafo de Hilger, com excelente óptica de quartzo transparente ao ultravioleta, para analisar a composição da coroa solar perto dos limbos Leste e Oeste na zona equatorial. Podia produzir quatro ou cinco espectros ao mesmo tempo, em placas especiais no formato de 7,6cm x 25,4cm. Com esses espectros pretendia-se também determinar a velocidade de rotação do Sol, pelo efeito doppler de linhas espectrais.

Havia ainda mais dois espectroscópios de desvio constante, também da marca Hilger com prismas de flint pesado e com câmara fotográfica para espectro entre 4 e 8 mil Å. O angstrom (Å) é uma unidade de medida de comprimento: 1 Å equivale a 1 décimo-milionésimo do milímetro, ou seja, uma das 10 milhões de partes iguais em que 1 milímetro é dividido.

NUM ESPECTROSCÓPIO de desvio constante, o ângulo entre o eixo do colimador (concentrador da luz que se deseja analisar) e do telescópio é mantido constante (90º) para todos os comprimentos de onda, mas isso é possível mediante a rotação de um prisma. Flint é um vidro óptico com alta capacidade de dispersar espectralmente a luz.

No plano da fenda (espectroscópios normalmente incluem uma fenda no foco para delimitar a região cuja luz deseja-se analisar), durante a totalidade do eclipse, formava-se uma imagem do disco solar eclipsado circundado pela coroa. Desse modo, a fenda ocupava todo o diâmetro do Sol e ainda deixava, de cada lado, uma extensão livre para permitir a passagem da luz da região da coroa solar que ali se projetava. O espaço do diâmetro do Sol não produzia espectro, pois o Sol estava eclipsado, mas ficava reservado para, depois do eclipse, registrar o espectro de uma centelha de ferro que serviria de referência para se determinar o comprimento de onda das linhas do espectro da coroa.

Cada espectroscópio tinha seu heliostato e o que foi usado com o espectroscópio maior – fato notável – tinha sido construído no ON. O MAST conserva também, em seu acervo, vários espectroscópios e um sistema de relojoaria da marca Adam Hilger que podem ter sido usados no eclipse de Sobral.

Mais duas câmaras fotográficas foram instaladas, com objetivas anastigmáticas (objetivas corrigidas para o defeito do astigmatismo) de alta luminosidade, de modo que, mesmo estando fixas, com curto tempo de exposição durante a totalidade do eclipse, fosse possível obter imagens da coroa solar em toda sua extensão. Ao lado dessas câmaras havia um cronômetro elétrico que podia acionar um marcador de segundos. O calculador Lelio Gama ficou encarregado de anunciar aos observadores fotográficos o início da totalidade e acionar imediatamente o contador de

There was a third instrument, the Hilger spectrograph which had an excellent quartz lens transparent to ultraviolet light, for analysing the composition of the solar corona close to the east and west extremities in the equatorial region. It was able to produce four or five spectra at the same time, on special plates of 7.6cm x 25.4cm. The intention was also to use these spectra to determine the rotation speed of the Sun, through the doppler effect of spectral lines.

There were two more constant deviation spectrometers, also of the brand Hilger with heavy flint glass prisms and a photographic camera for spectra between 4 and 8 thousand Å. Angstrom (Å) is a unit of length. 1 Å equals 1 ten millionth of a millimetre, i. e., it is one of the 10 million equal parts into which 1 millimetre is divided.

Throughout the eclipse totality, an image of the solar eclipsed disk surrounded by the corona formed on the plane of the slit (spectroscopes normally have a slit to delineate the region of the light which is to be analysed). So, the slit occupied the whole diameter of the Sun and even left an extra area on each side that allowed light to pass from the region of the solar corona projected there. The space of the diameter of the Sun did not produce spectrum as the Sun was eclipsed, but it was kept so that after the eclipse, the spectrum of an iron spark that served as a reference to determine the wave length of the lines of the spectrum of the corona, could be recorded.

IN A CONSTANT deviation spectrometer, the angle between the axis of the collimator (used to concentrate the light to be analysed) and the telescope is kept constant (90º) for all the wavelengths, but this is possible using the rotation of a prism. Flint glass is an optical glass that has a high capacity to disperse light spectrally.

Each spectroscope had a heliostat and that one used with the larger spectroscope, it should be noted, was built at the National Observatory. MAST (Museum of Astronomy and Related Sciences) maintains a number of spectroscopes in its collection as well as a Hilger clockwork mechanism that may have been used at the eclipse in Sobral.

Two more high luminosity photographic cameras, with anastigmatic lenses (corrective lenses for the astigmatism defect) were installed, in a way that, even though they were static, with a short exposure during the totality of the eclipse, it was possible to obtain images of the full extent of the solar corona. Next to these cameras, there was an electric timer that could read seconds. The calculator, Lelio Gama was in charge of telling the photographic observers the start of the totality

segundos, e, daí em diante, contar em voz alta as dezenas de segundos desde o início da totalidade. Só o primeiro e o quarto contatos do eclipse (o início e o fim da totalidade) puderam ser observados, sendo que o primeiro foi anotado quando já havia ocorrido, com atraso de cerca de 4 segundos, e o quarto foi anotado com antecedência de 1 segundo em relação aos instantes calculados. Os demais contatos não foram observados porque a equipe estava ocupada com outros afazeres.

RESULTADOS

FOTOGRAFIAS DA COROA_Morize conta que justamente no dia do eclipse o céu amanheceu totalmente encoberto por nuvens de diversos tipos. Através de pequenas aberturas entre as nuvens foi possível ver que o primeiro contato da Lua com o Sol já tinha ocorrido. Logo depois, todo o céu se encobriu e até gotas d'água chegaram a cair. As nuvens mais pesadas estavam exatamente sobre o Sol. Mas, aos poucos, essas nuvens foram se atenuando permitindo que o Sol pudesse ser visto de vez em quando e, finalmente, que a totalidade se aproximava. Subitamente, uns 15 minutos antes da totalidade, uma leve brisa começou a empurrar as nuvens de Leste para Oeste. Então o disco solar quase totalmente eclipsado pôde ser visto por um buraco entre as nuvens.

O HELIOSTATO tem praticamente a mesma finalidade que o celostato. Ambos precisam movimentar um espelho plano de modo a compensar o movimento diurno do Sol. Mas a imagem do Sol produzida pelo heliostato gira, ao passo que a produzida pelo celostato mantém orientação fixa.

Figura 3. A imagem mostra o céu encoberto pouco antes da totalidade do eclipse e a população aglomerada junto ao acampamento da Comissão Brasileira.
Crédito: Acervo ON
Figure 3. The image shows the cloudy sky shortly before the totality of the eclipse and people gathered together at the Brazilian Commission campsite.
Source: ON Archive

and immediately activating the counter of the seconds and then, counting out tens of seconds loud. Only the first and the fourth contacts of the eclipse (the beginning and the end of totality) were observed. The first was noted after it happened, with a delay of about 4 seconds and the fourth was noted 1 second before it happened in relation to the calculated times. The other contacts were not seen because the team were was busy with other tasks.

RESULTS

PHOTOGRAPHS OF THE CORONA_Morize recounted that on the day of the eclipse the sky was completely overcast at dawn, with several different kinds of clouds. Through small gaps between the clouds it was possible to see that the first contact of the Moon with the Sun had already taken place. Then, the whole sky clouded over and a few drops of rain even fell. The heavier clouds were right over the Sun. But, little by little, these clouds moved off and the Sun could be seen from time to time, as totality was approaching. Suddenly, about 15 minutes before the totality, a gentle breeze started to blow the clouds from the east to the west and the almost totally eclipsed solar disk could be seen through a hole between the clouds.

THE HELIOSTAT has practically the same purpose as the coelostat. Both depend on the movement of a flat mirror to compensate for the daytime movement of the Sun. But the image of the Sun produced by the heliostat turns, while the image produced by the coelostat is static.

A seguir, o Sol pôde ser visto durante a totalidade do eclipse. Mesmo a olho nu, uma protuberância avermelhada excepcionalmente grande pôde ser vista junto ao bordo do disco solar, assim como a coroa com forma complexa e cores cambiantes com matizes de madrepérola. Com a luneta Mailhat, a protuberância – chamada Tamanduá por causa da forma – foi fotografada com tempo curtíssimo de exposição. No bordo do disco solar ela estendia-se desde a latitude de 42º S até a latitude 2º N. Essa fotografia fez sucesso entre os astrônomos.

A coroa externa era objeto da luneta Steinheil, que obteve seis placas. Operando com tempos de exposição curtos por causa dos problemas apontados, registrava a coroa interna cujo brilho é mais intenso, mas não era isso que interessava. Além disso, essas placas não tinham escala fotométrica.

Na época, para as expedições a eclipses, o suprimento de água fresca era um item importantíssimo na revelação das placas fotográficas. A revelação em água morna amolece a emulsão fotográfica, que pode ter pedaços arrancados. Embora a água fosse um problema urbano geral, a casa onde ficaram hospedadas as expedições estrangeiras, residência do então deputado estadual coronel Vicente Saboya, tinha poço, o que era algo excepcional. O coronel era também o dono da fábrica de tecidos. Assim a expedição não teve problema de

Figura 4. A protuberância "Tamanduá" fotografada durante o eclipse com a luneta Mailhat. Na parte inferior aparece a escala fotométrica. Crédito: Acervo ON

Figure 4. The "Anteater" photographed during the eclipse with the Mailhat telescope. The photometric scale is at the bottom. Source: ON Archive

Following this, the Sun could be observed throughout the whole totality of the eclipse. Even with the naked eye, an exceptionally large reddish protuberance could be seen next to the edge of the solar disk, as well as the complex shaped corona with changing colours and mother-of-pearl hue. The protuberance was photographed by the Mailhat telescope, with an extremely short exposure time and was known as the Anteater because of its shape. It stretched out from the edge of the solar disk from latitude 42º S to latitude 2º N. This photograph was successful among astronomers.

The external corona was the focus of the Steinheil telescope that obtained six plates. Working with short exposure times due to problems previously cited, it registered the inner corona that was brighter, but this was not that mattered. Furthermore, these plates did not have a photometric scale.

suprimento de água na casa, nem de água fresca para processamento fotográfico, graças ao uso de jarras de barro que mantinham a temperatura da água em 24º C, mesmo que não houvesse gelo disponível. Os serviços fotográficos eram feitos à noite ou de madrugada. Quando necessário se usava formol para enrijecer a emulsão e evitar deformação da imagem.

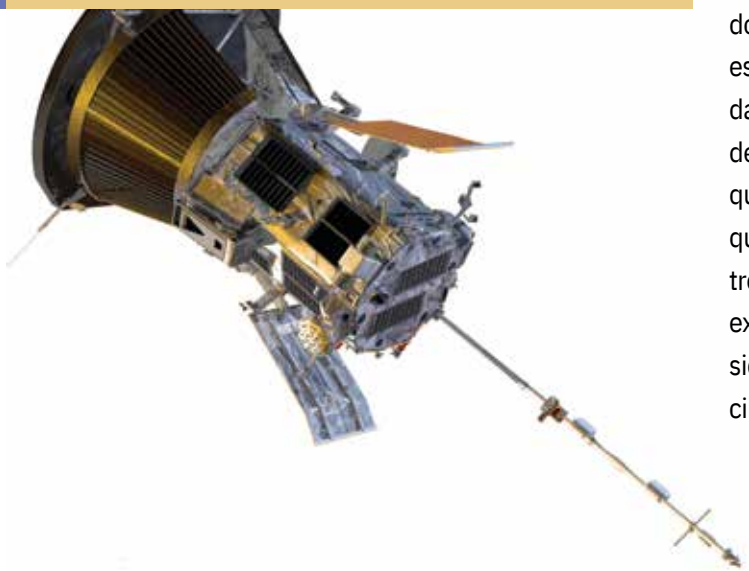
Há poucos anos descobriu-se que fotografias do eclipse de Sobral estavam em caixas depositadas entre obras raras da Biblioteca do ON. Tendo placas de vidro como substrato, elas passaram recentemente por um cuidadoso processo de limpeza e foram digitalizadas e disponibilizadas para pesquisa, no portal *Memória fotográfica em placas de vidro* (www.on.br/placas). Pelas dimensões, são placas obtidas com as lunetas Mailhat e Steinheil.

At this time, the supply of cool water for eclipse expeditions was of vital importance for developing photographic plates. Developing in warm water softens the photographic emulsion which may lead to pieces ripping off. Although water was a common urban problem, the house where the foreign expeditions were staying, the home of the state congressman at the time, Colonel Vicente Saboya, had a well which was very unusual. The Colonel also owned a textiles factory. So, the expedition had no problems with the water supply in the house, nor with cool water for photographic processing, thanks to the use of clay jugs that kept the water at a temperature of 24º C, even when there was no ice available. Photographic work was carried out at night or before dawn. When necessary, formaldehyde was used to stiffen the emulsion and prevent the images from becoming deformed.

A few years ago it was discovered that photographs of the eclipse at Sobral were in boxes stored among rare works in the National Observatory Library. As the substrate is glass plate, they recently underwent a careful cleaning process, were digitized and were made available for research on the portal *Memória fotográfica em placas de vidro* (www.on.br/placas). Judging by their size they are plates obtained using Mailhat and Steinheil telescopes.

Em sua comunicação na Sociedade Brasileira de Ciência, Morize fez várias considerações sobre a composição da coroa. Na época eram propostas várias Teorias, mas, pela insuficiência de dados observacionais, os autores não conseguiram confirmar a presença ou não de polarização da luz (sintoma de partículas refletoras da luz), presença ou não das linhas espectrais de absorção do Sol (cuja largura espectral podia indicar a temperatura da coroa) em diferentes partes da coroa e presença de linhas coronais de emissão. A informação crucial que faltava era a elevada temperatura da coroa, cerca de 2 milhões C, na qual o hidrogênio – o elemento mais abundante no Sol – encontrava-se completamente ionizado (sem o elétron) de modo que o grosso do brilho coronal era devido à reflexão da luz solar pelos elétrons livres.

A MISSÃO DA NASA "Parker Solar Probe" objetiva investigar in loco, ou seja, na própria coroa solar os detalhes da sua expansão que dá origem ao vento solar, assim como do seu aquecimento. O físico solar americano, Eugene Parker (1927-), pesquisador aposentado da Universidade de Chicago, elaborou a Teoria do vento solar e também propôs seu modelo de aquecimento da coroa que poderá ser testado na missão que leva o seu nome. A sonda foi lançada em agosto de 2018 e seu ingresso na coroa deve ocorrer em 2025.



Mas, incrivelmente, ainda hoje não se formulou uma Teoria satisfatória para explicar como a coroa se aquece a essas temperaturas tão altas, tão maiores que a temperatura de 5.500º C da fotosfera. Em todo caso, hoje a física solar em boa parte é explanatória da natureza e comportamento das manchas solares, das influências da atividade solar na magnetosfera e ionosfera da Terra, graças ao suporte teórico da magnetohidrodinâmica, ramo da física que aplica a Teoria eletromagnética de Maxwell a fluidos eletricamente condutores, como é a matéria coronal.

ESPECTROSCOPIA DA COROA_Nas observações espectroscópicas foi difícil ajustar e manter a imagem do Sol sobre a fenda do espectroscópio porque o Sol esteve encoberto até 2 ou 3 minutos antes da totalidade. Reveladas as placas, verificou-se com profundo desapontamento que a do espectrógrafo maior, de quartzo, não registrou o espectro da coroa, nem sequer o espectro de calibração da centelha entre eletrodos de ferro fotografada após o eclipse. A única explicação, segundo Morize, é que as placas teriam sido colocadas do avesso no chassi, embora fosse difícil admitir isso, já que os observadores tinham prática

In a communication to the Brazilian Society of Sciences, Morize made several considerations on the composition of the corona. At the time, a number of theories were put forward, but given the lack of observational data, the authors were unable to confirm the presence or not of light polarisation (symptom of reflective particles of light), the presence or not of spectral lines of absorption of the Sun (the spectral width of which could indicate the temperature of the corona) on different parts of the corona, or the presence of coronal emission lines. The crucial information that was missing was the elevated temperature of the corona, around 2 million degrees Celsius, at which hydrogen – the most abundant element on the Sun – becomes completely ionized (without an electron), so that the bulk of the coronal brightness was due to the reflection of solar light by free electrons.

But, incredibly, even today no satisfactory theory has been proposed to explain how the corona heats to such high temperatures, so much greater than the temperature of 5,500º C of the photosphere. In any case, today solar physics, to a great extent, explains the nature and behaviour of the sunspots and the influence of solar activity on the Earth's magnetosphere and ionosphere, thanks to the theoretical support of magnetohydrodynamics, branch of physics that applies Maxwell's electromagnetic theory to electrically conducting fluids, like coronal matter.

NASA'S "PARKER SOLAR PROBE" mission aims to investigate in loco details of the solar corona expansion, which is the origin of solar wind, as well as its heating. The American solar physicist, Eugene Parker (1927-), retired researcher at the University of Chicago, developed the theory of solar wind and also proposed his model of the heating of the corona that will be tested during a mission named after him. The probe was launched in August 2018 and its entry to the corona should happen in 2025.

SPECTROSCOPY OF THE CORONA_ It was difficult to adjust and maintain the image of the Sun on the slit of the spectroscopes because the Sun was covered by cloud until 2 or 3 minutes before totality. When the plates were developed it was a huge disappointment to discover that the larger quartz spectrograph had not registered the spectrum of the corona, or even the calibration spectrum of the spark between the iron electrodes photographed after the eclipse. The only explanation, according to Morize is that the plates had been placed the wrong way round in the chassis, although it was difficult to admit this, given that the observers were ex-

Figura 5. Estação meteorológica sendo entregue aos cuidados do Prefeito de Sobral, à direita. À esquerda, o meteorologista Dr. Luiz Rodriguez. Crédito: Acervo ON

Figure 5. Meteorological station being handed over to the mayor of Sobral, right. On the left, the Meteorologist, Dr. Luiz Rodriguez. Source: ON Archive

e a emulsão especial (anti-halo) permitia, mesmo no escuro, reconhecer facilmente a face que deveria ser exposta à luz. Assim, a velocidade de rotação do Sol também não pôde ser determinada.

As placas dos espectrógrafos menores foram analisadas no Observatório e duas foram aproveitáveis. Em meio aos documentos do MAST foram encontradas muitas folhas com anotações das medições das linhas espectrais. Foram assinaladas linhas atribuíveis ao chumbo, cádmio, estanho e ferro, além das do Hidrogênio e Hélio e do hipotético coronium.

Só em 1930 descobriu-se que a linha verde, atribuída ao hipotético coronium, era produzida pelo prosaico Ferro, mas aquecido a temperaturas surpreendentemente altas, entre 1 e 2 milhões de graus Celsius. Descobriu-se então que essas eram as temperaturas típicas da coroa solar.

perienced and the special emulsion (anti-halo) made it easy to find the side that should be exposed to the light, even in the dark. For this reason, it was not possible to determine the Sun's rotation speed either.

The plates of the smaller spectroscopes were analysed at the Observatory and two showed usable. Many sheets of notes on measurements of spectral lines were found amongst MAST documents. Lines were mentioned that could be attributed to lead, cadmium, tin and iron, as well as hydrogen and helium and the hypothetical coronium.

It was only in 1930 that it was discovered that the green line, supposedly attributable to coronium was produced by commonplace iron, but heated to surprisingly high temperatures, between 1 and 2 million degrees Celsius. It was discovered, then, that these were the typical temperatures of the solar corona.

Observações meteorológicas também foram feitas pela comissão brasileira. Notou-se, durante a totalidade, uma queda da temperatura ambiente de 0,4º C e um aumento da umidade relativa de 5%. Não houve variação barométrica perceptível. Depois do eclipse, os aparelhos meteorológicos foram deixados para constituírem uma "estação de 2ª classe" da rede nacional do ON e foram entregues ao prefeito da cidade, José Jacome de Oliveira.

Morize levou vários exemplares do Anuário do Observatório, folhetos de divulgação, cópias de conferência dada por ele na Sociedade Brasileira de Sciencias para distribuir às autoridades e pessoas interessadas.

Ele comunicou os resultados do eclipse, mais ou menos como fez na Sociedade Brasileira de Sciencias, à Société Astronomique de France, que os publicou em sua revista no número de dezembro de 1919 nas páginas 481-483. Nessa comunicação, Morize lamentou que a luneta Mailhat não foi capaz de fotografar a coroa externa, mas estranhamente omitiu o sério erro de foco encontrado nessa luneta, causador do problema lamentado. Por outro lado, o problema da areia nas engrenagens da relojoaria da luneta Steinheil foi sublinhada. Mailhat era uma marca francesa e Steinheil, alemã, e a comunicação era numa sociedade francesa.

Meteorological observations were also made by the Brazilian Commission. During totality a drop in atmospheric temperature of 0.4º C was noted and a 5% increase in relative humidity. There was no perceivable barometric change. After the eclipse, meteorological instruments were left as they constituted a 2nd class station of the national network of the National Observatory. They were handed over to the local mayor, José Jacome de Oliveira.

Morize took several copies of the Observatory yearbook, promotional leaflets and copies of a paper he had given at the Brazilian Society of Sciences, to hand out to authorities and interested parties.

For the Société Astronomique de France, he announced the results of the eclipse in much the same way he had at the Brazilian Society of Sciences. The French society published them in their journal in the December 1919 edition on pages 481-483. In this communication Morize regretted that the Mailhat telescope had not captured the external corona, but strangely omitted the serious focus error found in it, which had caused the regrettable problem. On the other hand, the problem of sand in the cogs of the Steinheil mechanism was underlined. Mailhat was a French brand and Steinheil, German. The communication was to a French society.

COMISSÕES ESTRANGEIRAS_Três expedições científicas estiveram em Sobral no eclipse de 1919. Além da brasileira, esteve a britânica, com membros do Royal Greenwich Observatory, e a americana, da Carnegie Institution, de Washington. Esta viria medir possíveis variações do magnetismo terrestre e da eletricidade atmosférica durante o eclipse. A equipe britânica tinha o intuito de comprovar o desvio da luz na presença do Sol, uma das consequências da Relatividade Geral de Einstein. Ambas as expedições estrangeiras ficaram hospedadas na residência do coronel Saboya.

Dentre os documentos do MAST, destacam-se: a correspondência da Câmara dos Deputados do Rio de Janeiro sobre liberação de crédito; uma carta ao presidente do Tribunal de Contas esclarecendo a não autoria de publicações, acusando demora no despacho de papeis da Comissão do Eclipse; carta ao deputado pelo Ceará Ildefonso Albano, solicitando seu apoio e informando que, no eclipse de 1912, o Presidente da República tinha pedido verba ao Congresso para a Comissão do Eclipse, e uma carta de Perrine agradecendo a Morize por ser informado, na saída do hotel no Rio de Janeiro, que suas despesas já estavam pagas por ele.

Esses papéis mostram que, para Morize, cabia à comissão brasileira cobrir as despesas de hospedagem dos visitantes estrangeiros. Segundo os papéis do eclipse de 1912, o Ministério da Agricultura arcou com as despesas de transporte de pessoas e equipamentos no território brasileiro.

Morize ainda designou pessoas locais que pudessem atuar como intérpretes dos estrangeiros: o Dr. Leocadio Araújo, da Secretaria Estadual da Agricultura, que tinha estudado nos Estados Unidos, e John Sandford, um norteamericano radicado na cidade. Outras pessoas ajudaram na instalação dos instrumentos e até mesmo nas observações. Até um automóvel foi providenciado no Rio de Janeiro e obtido pelo Governo. O motorista foi cedido pela Casa Studebaker a pedido do Ministro da Cultura. Esse carro serviu aos membros das comissões do eclipse e foi o primeiro a circular em Sobral.

A comissão americana instalou no porão da casa em que estavam hospedados os magnetógrafos e variômetros. As medições de condutividade e do gradiente do potencial para o estudo da eletricidade atmosférica (inclusive correntes telúricas) foram feitas na pista de corridas do Jockey Club, em frente à casa do coronel Saboya. Em seu relato, Morize disse não saber dos resultados. Mas, para atender um pedido do diretor de Magnetismo Terrestre da Carnegie Institution de Washington, Morize ordenou medições especiais no Observatório Magnético de Vassouras (RJ), do Observatório Nacional, que foram enviadas em 7 de maio de 1920, mas os registros nada tinham acusado.

A comissão britânica veio com dois integrantes: Charles R. Davidson (1875-1970), que já tinha vindo com Arthur S. Eddington para o eclipse de Passa Quatro, e Andrew C. Crommelin (1865-1938), que veio porque o astrônomo jesuíta padre Aloysius Cortie (1859-1925) não pôde vir. Curiosamente, o padre Cortie emprestou um dos telescópios e sugeriu que o trouxessem como sobressalente. Esse telescópio acabou salvando a missão observacional da comissão britânica a Sobral, já que as fotografias do telescópio astrográfico de Greenwich não foram aproveitadas.

FOREIGN COMMISSIONS_Three scientific expeditions were in Sobral for the 1919 eclipse. In addition to the Brazilian one, there was a British one with members of the Royal Greenwich Observatory and an American one from the Carnegie Institution in Washington, who came to measure possible variations in terrestrial magnetism and atmospheric electricity during the eclipse. The British team aimed to prove the light deflection in the presence of the Sun, one of the consequences of Einstein's General Relativity Theory. Both foreign expeditions stayed at the home of Colonel Saboya.

Among the documents at MAST, there was: a letter from the Rio de Janeiro Chamber of Deputies on the release of credit; a letter to the president of the Court of Auditors clarifying the non-authorship of publications, citing a delay in the dispatch of papers from the Eclipse Commission; a letter to the Ceará congressman, Ildefonso Albano, requesting support and informing that at the time of the 1912 eclipse, the President of the Republic had requested funding from the Congress for the Eclipse Commission and a letter from Perrine thanking Morize for the fact that on leaving his hotel in Rio de Janeiro, he was informed that his expenses had already been settled for him.

These papers show that Morize saw it as the responsibility of the Brazilian Commission to pay for overseas visitors' accommodation. According to the papers of the 1912 eclipse, the Ministry of Agriculture footed the bill for the transport of people and equipment within Brazil.

Morize also designated local people to work as interpreters for the foreigners: Dr. Leocadio Araújo, from the State Secretary for Agriculture, who had studied in the United States, and John Sandford, a North American who lived in the town. Other people helped setting up instruments and even during the observations. In Rio de Janeiro a car was arranged by the Government. The driver was conceded by the Casa Studebaker at the request of the Ministry for Culture. This car was for the use of the eclipse commission members and was the first to circulate in Sobral.

The American Commission installed the magnetographs and variometers in the basement of the house where they were staying. Measurements of the conductivity and of the gradient of potential for the research on the atmospheric electricity (including telluric currents) were carried out on the racetracks of the Jockey Club, in front of Colonel Saboya's house. In his report, Morize said he was unaware of the results of these researches, but in order to respond to the request of the director for Terrestrial Magnetism at the Carnegie Institution in Washington, Morize asked for specific measurements at the Magnetic Observatory in Vassouras (RJ), at the National Observatory and these were sent on May 7, 1920. However the records did not show anything noticeable.

The British Commission had two participants: Charles R. Davidson (1875-1970), who had previously been to Brazil with Arthur S. Eddington for the eclipse at Passa Quatro and Andrew C. Crommelin (1865-1938), who came because the Jesuit astronomer Father Aloysius Cortie (1859-1925) was not able to come. Father Cortie, curiously, lent one of the telescopes and suggested they bring it as a spare. This telescope ended up saving the British Commission's observation mission at Sobral, as the photographs from the astrographic telescope from Greenwich were not usable.

POR QUE MORIZE NÃO OBSERVOU O EFEITO EINSTEIN?_Morize foi o coordenador do eclipse de 1912 e Perrine tinha vindo para a cidade de Cristina (MG), equipado para registrar o efeito Einstein, o que não foi feito porque choveu torrencialmente. É importante sublinhar que essa foi, de fato, a primeira tentativa de confirmar esse efeito, mas o valor da deflexão calculado por Einstein ainda estava errado e seria corrigido em 1915. Em muitos textos, a tentativa de 1914, também fracassada, do jovem astrônomo assistente do Observatório de Berlim, Erwin Finlay-Freundlich (1885-1964) em expedição para a Crimeia, é considerada a primeira.

Um outro ponto interessante é que nesse eclipse esteve também, em nome do Observatório de Greenwich, o astrônomo britânico Arthur S. Eddington (1882-1944), o mesmo que observou o eclipse de 1919 na Ilha do Príncipe, na costa da Guiné. Em Passa Quatro (MG), o objetivo de Eddington tinha sido o estudo da física solar, algo digno de nota porque, analisando os dados das observações do eclipse de 1919, em novembro desse mesmo ano, Eddington e sua equipe anunciaram a confirmação do efeito Einstein e da Teoria da Relatividade Geral que acabava de suplantar a Teoria da Gravitação Universal de Newton.

WHY MORIZE DID NOT SEE THE EINSTEIN EFFECT?_Morize was the coordinator of the 1912 eclipse and Perrine had come to the town of Cristina (MG), equipped to record the Einstein effect. This was not done because of a torrential rain. It is important to stress that this was, in fact, the first attempt to confirm this effect, but the value of deflection calculated by Einstein was still wrong and would be corrected in 1915. In many texts the 1914 attempt that also failed, by the young assistant astronomer of the Berlin Observatory, Erwin Finlay-Freundlich (1885-1964) on an expedition in Crimea, is considered to be the first.

Another interesting point is that the British astronomer Arthur S. Eddington (1882-1944), who observed the 1919 eclipse on the island of Príncipe off the coast of Guinea was also at this eclipse of 1912 representing the Greenwich Observatory. In Passa Quatro (MG), Eddington's objective had been a research on solar physics. This is noteworthy because when analysing the data from the observations of the 1919 eclipse, in November of the same year, Eddington and his team announced the confirmation of the Einstein effect and the Theory of Relativity that superseded Newton's Theory of Universal Gravitation.

Podemos indagar por que Morize, entre 1912 e 1919, também não teria mudado o foco da física solar para o efeito Einstein. Pelo prestígio acadêmico que já tinha angariado e por ser secretário da Royal Astronomical Society, Eddington foi um dos primeiros cientistas fora da Alemanha a saber das novidades einsteinianas, num momento em que a comunicação entre cientistas britânicos e germânicos estava interrompida por causa da Primeira Guerra Mundial. Muito depressa Eddington aderiu às ideias de Einstein e decidiu comprovar a deflexão da luz, tendo de antemão (por razões não inteiramente racionais) a certeza de que resultado do teste seria positivo. Além disso, por sua condição de quacre – membro do grupo protestante conhecido como Sociedade de Amigos, fundado na Inglaterra – ele teria se movido por ideais pacifistas e de reconciliação entre as comunidades científicas dos países aliados e das potências centrais que, então, se odiavam. Einstein era simpático a Eddington por ser um cientista brilhante e pacifista como ele.

No Brasil, Morize achava-se fora dessas desavenças internacionais, mas nem por isso receberia logo uma tradução da Relatividade Geral. O professor da Escola Politécnica do Rio de Janeiro (portanto colega de Morize) Manuel Amoroso Costa (1885-

We can investigate why Morize, between 1912 and 1919, also did not change the focus of solar physics to the Einstein effect. At a time when communication between British and German scientists was suspended because of the First World War, Eddington was one of the first scientists outside Germany to find out about Einstein's new findings due to the academic prestige he had already acquired, and because he was the Secretary of the Royal Astronomical Society. Eddington quickly adopted Einstein's ideas and decided to prove the light deflection. He was quite sure in advance (for not entirely rational reasons) that the result of the experiment would be positive. In addition, as a Quaker, a member of a Protestant group known as the Society of Friends, founded in England, he was moved by pacifism and ideas of reconciliation between the scientific communities of allied countries and those of the central powers that, at the time, hated each other. Einstein was drawn to Eddington because he was a brilliant scientist and a pacifist, like himself.

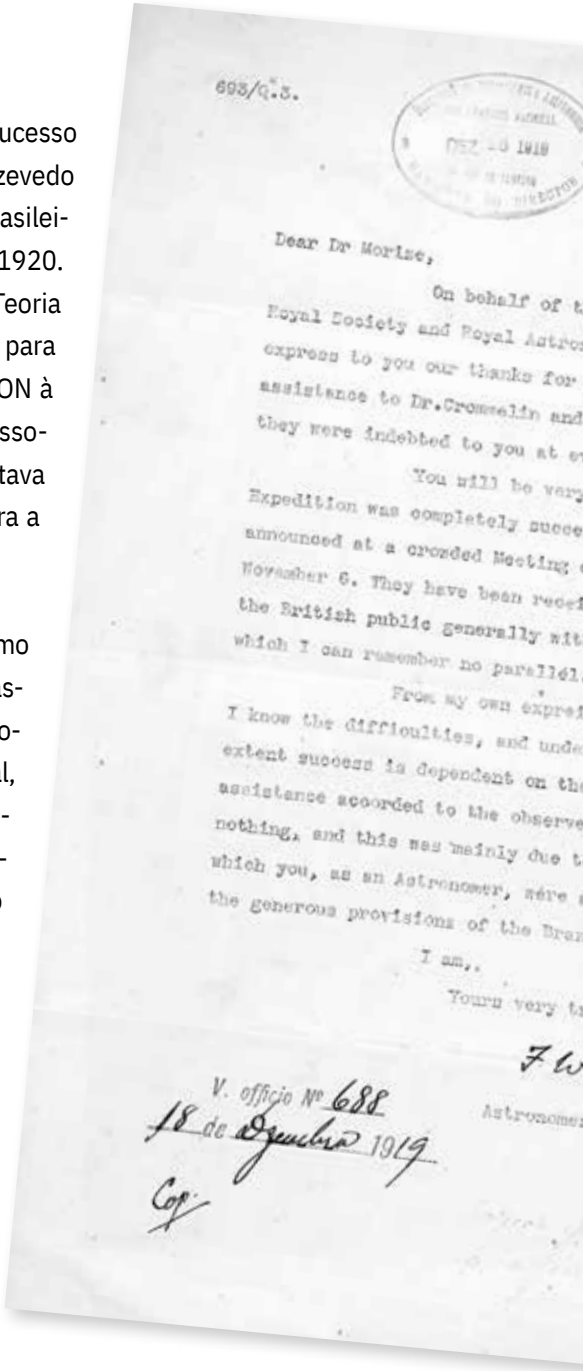
In Brazil, Morize was not involved in these international disagreements, even so he did not immediately receive a translation of General Relativity. The lecturer at the Escola Politécnica do Rio de Janeiro (and therefore a colleague of Morize) Manuel

1928) foi o primeiro a divulgar a Relatividade nos jornais do país, após o sucesso do eclipse de 1919. Outro professor da Politécnica, Roberto Marinho de Azevedo (1878-1962), considerado o introdutor da Relatividade no meio científico brasileiro, proferiu várias conferências e publicou vários artigos e livros a partir de 1920. Podemos então dizer que, no Brasil, foi o eclipse de Sobral que colocou a Teoria da Relatividade Geral em debate. E uma outra razão, talvez determinante para Morize não observar o efeito Einstein, seria que ele não quisesse expor o ON à crítica dos professores da ala positivista da Escola Politécnica. Esses professores, considerando que a astronomia era uma ciência acabada, que se esgotava na astronomia de posição e mecânica celeste, se mantinham de costas para a astrofísica e a relatividade que emergiam.

RECONHECIMENTO_Uma carta de 24 de novembro de 1919, do Astrônomo Real de Greenwich, Frank W. Dyson (1868-1939), agradece a Morize pela assistência dada a Crommelin e Davidson durante o eclipse. No fundo é um documento atestando que Morize e sua instituição, o Observatório Nacional, deram sua parcela de contribuição para o sucesso da comissão britânica. Também o presidente da Royal Society, J. J. Thomson (1856-1940), mandou entregar na Embaixada do Brasil em Londres uma carta datada de 24 de janeiro de 1920 referente ao eclipse de Sobral, que o Ministério de Relações Exteriores encaminhou para Morize.

Outro evento relevante, ainda na gestão de Morize à frente do ON, foi a vinda de Albert Einstein ao Rio de Janeiro, em maio de 1925, que fez uma visita histórica à instituição.

A gestão de Morize na direção do ON, de 1908 a 1929, foi extraordinariamente agitada, porém, rica em iniciativas diversificadas e relevantes. Retrata um período histórico em que os observatórios astronômicos, além das tarefas propriamente astronômicas, tais como o cálculo e a publicação das efemérides, a conservação e difusão da hora local, a determinação da longitude para a definição de fronteiras, arcavam também com o cálculo das marés e as observações magnéticas de interesse para a navegação, as observações meteorológicas de interesse para a agricultura e as observações sismológicas. Só mais tarde a área de atuação da astronomia seria mais bem delimitada. Assim, para Morize a expedição ao eclipse de Sobral foi apenas um item de uma lista extensa e diversificada.


693/G.S.

Dear Dr Morize,

On behalf of t
Royal Society and Royal Astro
express to you our thanks for
assistance to Dr.Crommelin and
they were indebted to you at e

You will be very
Expedition was completely succe
announced at a crowded Meeting
November 6. They have been rece
the British public generally wit
which I can remember no parallel

From my own expre
I know the difficulties, and unde
extent success is dependent on th
assistance accorded to the observe
nothing, and this was mainly due t
which you, as an Astronomer, were
the generous provisions of the Bra

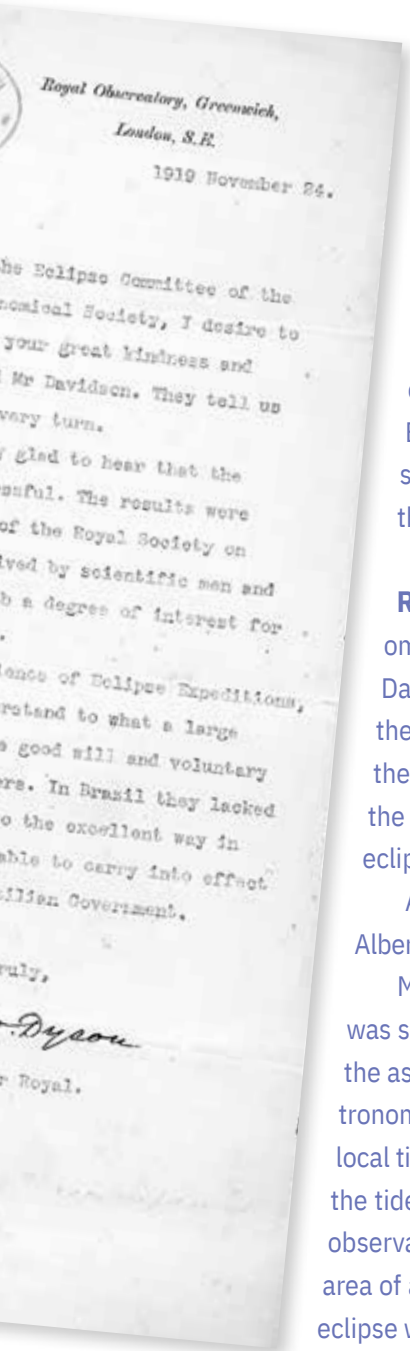
I am,

Yours very t

F W

Astronomer

V. officio Nº 688
18 de Dezembro 1919
Cop.



Royal Observatory, Greenwich,
London, S.E.

1919 November 24.

he Eclipse Committee of the
nomical Society, I desire to
your great kindness and
Mr Davidson. They tell us
very turn.
glad to hear that the
ssful. The results were
of the Royal Society on
ived by scientific men and
h a degree of interest for
.
ence of Eclipse Expeditions,
rstand to what a large
good will and voluntary
rs. In Brazil they lacked
o the excellent way in
able to carry into effect
ilian Government.

ruly,

Dyson

r Royal.

Amoroso Costa (1885-1928) was the first to publish on Relativity in Brazilian journals, following the success of the 1919 eclipse. Another lecturer at the Politécnica, Roberto Marinho de Azevedo (1878-1962), deemed to be the person who introduced the Relativity to the Brazilian scientific community, spoke at a number of conferences and published several articles and books after 1920. We could then say that, in Brazil, it was the Sobral eclipse that brought General Relativity Theory to the debate. Another reason, perhaps a deciding one for Morize not observing the Einstein effect could be that he did not want to expose the National Observatory to the criticism of the lecturers of the positivist wing at the Escola Politécnica. These lecturers, considering that Astronomy was a fully accomplished science, that had petered out with positional astronomy and celestial mechanics, had turned their backs to the emerging astrophysics and relativity.

RECOGNITION_ In a letter dated November 24th, 1919, from the Royal Greenwich astronomer Frank W. Dyson (1868-1939), Morize is thanked for the help he gave to Crommelin and Davidson during the eclipse. It is, in fact, a document testifying that Morize and his institution, the National Observatory, contributed to the success of the British Commission. In addition, the president of the Royal Society, J. J. Thomson (1856-1940), requested a letter be sent to the Brazilian Embassy in London. This was dated January 24th, 1920, and refers to the Sobral eclipse. The Foreign Office passed this on to Morize.

A further relevant event during the time Morize was in charge at the National Observatory was Albert Einstein's visit to Rio de Janeiro in May 1925 when he made a historic visit to the institution.

Morize's management ahead of the board of the National Observatory, from 1908 to 1929, was shaken, however, rich in diverse and important initiatives. This was a historical period when the astronomical observatories, were responsible not only for tasks pertaining specifically to Astronomy, such as calculating and publishing the ephemerides, conserving and disseminating the local time, determining the longitude in order to establish national borders, but also for predicting the tides and performing the magnetic observations of interest for navigation, the meteorological observations of interest for agriculture, as well as seismological observations. Only later did the area of activity of Astronomy become better delimited. So, for Morize, the expedition to the Sobral eclipse was just another item on a long, diverse list.

Figura 6. Carta do Astrônomo Real de Greenwich, Frank W. Dyson, agradecendo a Morize pela assistência prestada à expedição britânica. Crédito: Acervo MAST

Figura 6. Letter from the astronomer at the Royal Greenwich Observatory, Frank W. Dyson, thanking Morize for help given to the British expedition. Source: MAST archive

AGRADECIMENTOS_Agradeço a João Carlos Costa dos Anjos, diretor do ON, pelo honroso convite para contribuir com este texto, a Everaldo Pereira Frade, da Coordenação de Documentação e Arquivo do MAST, e às bibliotecárias Katia Teixeira dos Santos, do Observatório Nacional, e Rosa Maria Silva Santos, do IAG/USP, pela inestimável ajuda no acesso a documentos, imagens e obras utilizadas na preparação deste texto e a Carlos Henrique Veiga, pesquisador do ON, pelas informações sobre a recuperação das placas de vidro do eclipse encontradas na Biblioteca do ON.

SUGESTÕES PARA LEITURA_ SUGGESTED READING

Moreira, Ildeu de Castro e Videira, Antonio Augusto Passos (Orgs.). Einstein e o Brasil. Rio de Janeiro: EDUFRJ, 1995 (coletânea de artigos, inclusive sobre o Eclipse de Sobral, comemorativa dos 90 anos da Relatividade Restrita e 80 anos da Relatividade Geral)

Mourão, Ronaldo Rogério de Freitas. Einstein: de Sobral para o mundo. Sobral: UVA, 2003

Videira, Antonio Augusto Passos. Henrique Morize e o ideal de ciência pura na República Velha. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2003

ACKNOWLEDGMENTS_My thanks to João Carlos Costa dos Anjos, director of the National Observatory, for the honour of being invited to contribute with this text. Also to Everaldo Pereira Frade, of the department of Coordination of Documentation and Archives at MAST, and the librarians Katia Teixeira dos Santos, at the National Observatory as well as Rosa Maria Silva Santos, at IAG/USP for their valuable help in accessing the documents, images and works used in preparing this text. Thanks also to Carlos Henrique Veiga, ON researcher, for information on the restoration of the glass plates of the eclipse found in the Observatory Library.

A FÍSICA MODERNA

THE MODERN PHYSICS

O nascimento da física teórica

Davi Geiger
Universidade de Nova Iorque, EUA

Davi Geiger
New York University, USA

The birth of theoretical physics

Três grandes revoluções em física no início do século 20 modificaram nossa compreensão do universo: a Teoria da Relatividade Restrita (1905), a Teoria da Relatividade Geral (1915) e a mecânica quântica (1925). As primeiras duas Teorias foram desenvolvidas pelo físico de origem alemã Albert Einstein (1879-1955), enquanto a Teoria quântica foi um trabalho coletivo, muito influenciado por trabalhos de Einstein e por seus questionamentos e intuições. Contudo, aqui não iremos discutir diretamente esses trabalhos, mas como Einstein revolucionou o modo de pensar a natureza física do universo. Einstein procurou princípios de simetria na física que até então não se explorava, expandindo o próprio conceito do método científico, e originando o que contemporaneamente chamamos de física teórica.

At the beginning of the 20th century, three great revolutions in Physics changed our understanding of the universe: the special theory of relativity (1905); the general theory of relativity (1915) and quantum mechanics (~1925). The first two theories were developed by the German physicist, Albert Einstein (1879-1955), while quantum theory was a combined effort, greatly influenced by Einstein's work and by his questioning and intuition. However, we are not going to specifically discuss this work here, but rather how Einstein revolutionised our way of thinking about the natural physics of the universe. Einstein sought principles of symmetry in physics which had not been previously explored. This led to an expansion in the very concept of scientific method and was the origin of what is now known as theoretical physics.

SCIENTIFIC METHOD AT THE BEGINNING OF THE 20TH CENTURY_We are going to take two steps back to recall how the Italian physicist and mathematician, Galileo Galilei (1564-1642) introduced the scientific method. Galileo did not believe that knowledge could be reached

O MÉTODO CIENTÍFICO NA ENTRADA DO SÉCULO 20_Vamos dar dois passos atrás, e lembrar como o físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) introduz o método científico. Galileu não acreditava que se poderia chegar ao conhecimento apenas através de experimentos, já que o número de variáveis para descrever os fenômenos naturais seria enorme.

Ele considerava o caso do movimento dos corpos que, além das variáveis da gravidade, teria a fricção, a resistência do ar, e outras variáveis para se poder descrever o movimento de forma completa. Portanto, argumentava, é necessária uma Teoria (hipótese) para reduzir o número de variáveis a serem estudadas e a escolha de experimentos para isolar as variáveis de uma Teoria. Por exemplo, ele achava que a massa dos corpos não teria nenhuma influência na aceleração ou velocidade causada pela gravidade, em contraste com a Teoria aceita na época, do filósofo e cientista grego Aristóteles (384-322 aC), que dizia que a massa influenciava a velocidade de queda.

merely through experiments, given that the number of variables to describe natural phenomena would be enormous. He cited the case of the movement of objects, a full description of which would require variables of gravity as well as friction, drag and others. Therefore, he argued that a theory (hypothesis) was needed, in order to reduce the number of variables to be studied, as well as a set of experiments, in order to isolate the variables of a theory. For example, he believed that the mass of an object would not have any effect on the acceleration or speed caused by gravity, in contrast with the accepted theory of the time, of the Greek philosopher and scientist, Aristotle (384-322 BCE), that stated that mass affected the speed of falling objects.

In his book *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632), Galileo did a thought experiment in which he imagined two stones of different weights tied to a weightless string falling under the effect of gravity. Galileo argued that, while a heavier stone would fall more quickly than a lighter stone, the fact that it was attached to the lighter would mean its fall was slowed down and therefore the speed of the heavier stone would be reduced. So that, the combination of the two stones, being heavier than just one of the stones, would fall more slowly than the heavier stone on its own. In order to solve this paradox, he concluded that objects with different masses must fall at the same speed. On the basis of this idea he ran the Tower of Pisa experiment, in which two spherical objects with different masses fell in the same time (this experiment is said to take place between 1589 and 1592, but historians say there is no proof this experiment actually happened). The scientific method proposed by Galileo, in which there is a hypothesis that isolates variables that can be tested, was established.

Subsequent to the work of Galileo, the British physicist and mathematician Isaac Newton (1643-1727) showed the importance of induction and deduction in science. Induction is when an accumulation of evidence increases the probability of a theory being correct. Galileo used induction to create the scientific method.

Galileu, no seu livro *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632), faz um experimento mental em que imagina duas pedras de pesos distintos ligadas por uma corda sem peso caindo sob o efeito da gravidade. Galileu argumenta que, se a pedra mais pesada cai mais rápido do que a mais leve, então a mais leve, por ser ligada à mais pesada, vai freá-la, e assim, a mais pesada vai ter sua velocidade reduzida. Desse modo, o conjunto das duas pedras, que tem o peso ainda maior, iria cair mais lentamente do que a pedra mais pesada isoladamente.

Para resolver esse paradoxo, ele conclui que corpos de massas distintas devem cair com as mesmas velocidades. E com essa ideia ele conduziu o experimento na torre de Pisa, onde dois objetos esféricos de massas muito distintas caíram ao mesmo tempo (esse experimento teria acontecido entre 1589 e 1592, mas historiadores dizem que não é certo se o experimento aconteceu). O método científico proposto por Galileu ocorreu, donde se propõe uma hipótese que isola variáveis e que pode ser testada.

Em seguida ao trabalho de Galileu, o físico e matemático britânico Isaac Newton (1643-1727) mostrou a importância da indução e da dedução na ciência. Na indução, o acúmulo de evidências aumenta a probabilidade de uma Teoria estar correta, e Galileu havia utilizado a indução para a criação do método científico. A dedução é o uso da lógica (matemática) para se obter novas conclusões. Se um conjunto de conhecimentos é aceito, através da dedução chega-se a novos conhecimentos compatíveis com os mesmos experimentos. Assim, Newton desenvolve equações (fórmulas matemáticas) que permitem a dedução. Ele especificamente propõe equações que descrevem como forças aplicadas nos corpos determinam o movimento desses corpos (figura 1a). Newton também desenvolve a lei da Gravidade, que é descrita por outra equação e ilustrada na Figura 1b.

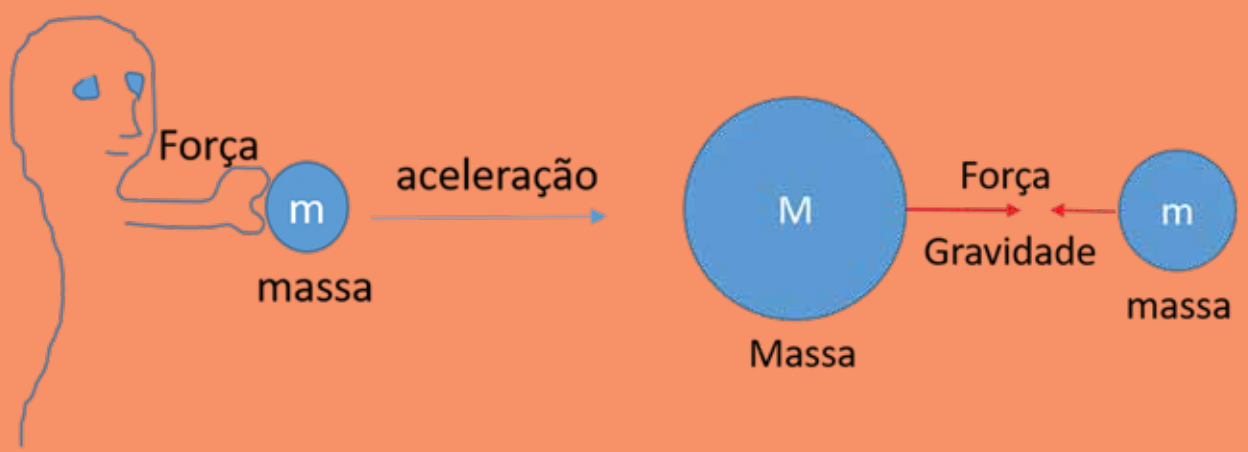


Figura 1. Ilustrações de duas leis de Newton: a. A segunda lei de Newton sobre o movimento diz que a força é igual ao valor da massa multiplicada pela aceleração do corpo, isto é, a força causa uma aceleração inversamente proporcional ao valor da sua massa. Quanto maior a massa de um corpo menor é a aceleração. Essa lei inclui a lei de inércia, onde, na ausência de forças, os corpos continuam com suas velocidades constantes.
b. A lei da Gravidade de Newton diz que a força de atração entre dois corpos é proporcional às massas desses corpos e inversamente proporcional à distância entre os corpos. Quanto maior a massa de um corpo maior é sua capacidade de atrair um outro corpo, e quanto mais distante dois corpos, mais fraca é a força gravitacional entre eles. Crédito: Ilustração do autor

Figure 1. Illustrations of two of Newton's laws: a. Newton's second law of motion states that the force is equal to the value of the mass multiplied by the acceleration of the object, i.e., the force causes acceleration inversely proportional to the value of its mass. The greater the mass of an object the lower its acceleration. This law includes the law of inertia which states that in the absence of force, objects continue to move with constant speed. b. Newton's law of gravity states that the force of attraction between two objects is proportional to their mass and inversely proportional to the distance between them. The greater the mass of an object the greater its capacity to attract another object and the greater the distance between two objects, the weaker the gravitational force between them. Source: Author's illustration

O MÉTODO CIENTÍFICO NA ENTRADA DO SÉCULO 20_Com o método científico, desenvolvido inicialmente por Galileu e aprimorado por Newton, as leis da ciência são expressas por equações matemáticas que permitem as deduções que podem ser testadas por experimentos. Tais equações são formuladas a partir de intuições baseadas nas observações da natureza, isolando as variáveis de interesse para se formular as hipóteses. O uso da matemática como a linguagem para descrever as leis permite a formalização das hipóteses e as deduções, em contraste com a linguagem natural que usamos para comunicar uns com os outros.

HIPÓTESE (EQUAÇÕES, LEIS) ⟶ EXPERIMENTOS

THE SCIENTIFIC METHOD AT THE BEGINNING OF THE 20TH CENTURY_With the scientific method, first developed by Galileo and refined by Newton, the laws of science are expressed by mathematical equations that allow deductions that can be tested by experiments. Such equations are formulated from intuitions based on the observation of the nature, isolating the variables of interest to formulate the hypotheses. The use of mathematics as the language to describe those laws allows the formalization of hypotheses and deductions, in contrast to the natural language we use to communicate with each other.

HYPOTHESIS (EQUATIONS, LAWS) ⟶ EXPERIMENTS

Deduction is the use of logic (mathematics) to reach new conclusions. If a set of ideas is accepted, through deduction, new understanding is reached using the same experiments. In this way, Newton developed equations (mathematical formulas) that permit deduction. He specifically proposed equations that describe how forces applied to objects determine the movement of these objects (figure 1a.). Newton also developed the law of gravity that is described by another equation and illustrated in figure 1b.

It is worth mentioning that also in the 19th century, the British physicist and mathematician James C. Maxwell (1831-1879) concluded the development of the understanding of light as electromagnetic waves and the relationship with the movement of particles with electrical charge (electricity). Maxwell's law is described in four equations, the result of a number of contributions to physics by physicists before him.

Vale salientar que, ainda no século 19, o físico e matemático britânico James C. Maxwell (1831-1879) completa o desenvolvimento e o entendimento da luz como ondas eletromagnéticas e a relação com o movimento de partículas com carga elétrica (a eletricidade). As Leis de Maxwell são descritas por quatro equações, resultado de várias contribuições de físicos anteriores a ele.

A FÍSICA TEÓRICA COMO UMA EXPANSÃO DO PROCESSO CIENTÍFICO_ As novas Teorias de Einstein são introduzidas no início do século 20. O que muda, além das Teorias serem revolucionárias por proporem uma nova compreensão do espaço e tempo, é que um novo modo de pensar é adicionado ao método científico. Einstein não pensa apenas em deduções, experimentos e em isolar variáveis, Einstein também se preocupa com as simetrias e invariantes matemáticas das várias Teorias científicas. Mas o que são as simetrias e invariantes de uma Teoria? Vamos começar por rever o assunto em geometria.

SIMETRIA E INVARIÂNCIA EM GEOMETRIA_ Quando imaginamos um quadrado num plano (figura 2a), observamos a seguinte simetria e invariância: se um observador girar de 90 graus no plano, mantendo o centro fixo, o quadrado parecerá o mesmo (invariante). No caso de uma outra estrutura, um círculo (figura 2b), qualquer que seja a rotação de um observador, mantendo o centro fixo, o círculo continuará parecendo o mesmo (invariante). Em geometria, simetrias das transformações e estruturas invariantes são aspectos da mesma ideia: se uma estrutura não mudar (for invariante) após uma transformação, é porque essa transformação descreve uma simetria dessa estrutura.

THEORETICAL PHYSICS AS AN EXPANSION OF SCIENTIFIC PROCESS_ Einstein's new theories were introduced at the beginning of the 20th century. As well as being revolutionary in that they were theories that proposed a new understanding of space and time, this was also a new way of thinking about the scientific method. Einstein did not think just in terms of hypotheses, deductions or in variables, he was also concerned with the mathematical symmetries and invariants of scientific theories. But what are the symmetries and invariants of a theory? We will start by reviewing this subject in terms of geometry.

SYMMETRY AND INVARIANCE IN GEOMETRY_ When we imagine a square on a plane (see figure 2a), we see the following symmetry and invariance: if an observer turns 90 degrees around the plane, maintaining a fixed centre, the square will look the same (invariant). In the case of a circle (figure 3b) whatever the observer's rotation,

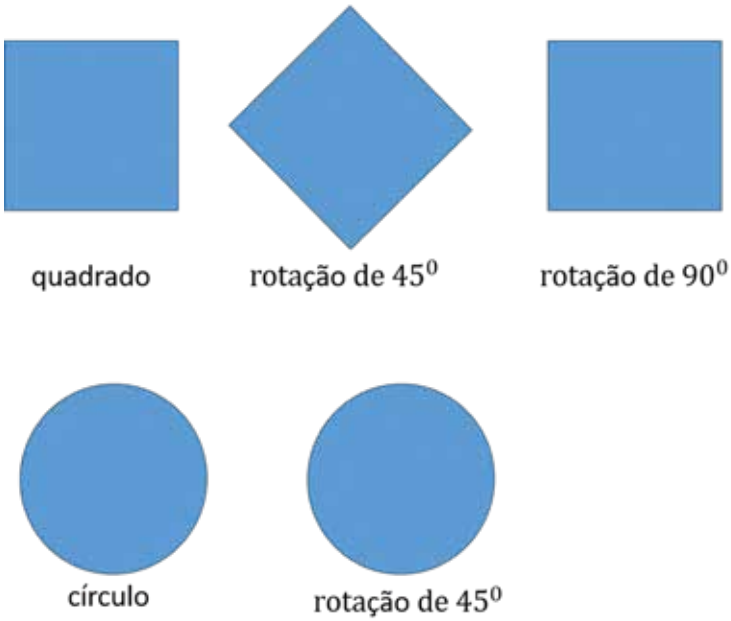


Figura 2. Ilustrações de simetria e invariância: a. Um quadrado sendo rotacionado de 45 graus e depois de 90 graus, mantendo o centro fixo. Para um quadrado existe uma simetria de rotação por ângulos de 90 graus, ou diz-se que o quadrado é invariante por rotações de 90 graus, ou que observadores que giram de 90 graus percebem o quadrado como um invariante. b. Um círculo sendo rotacionado de 45 graus, mantendo o centro fixo. Em qualquer ângulo de rotação ele continua parecendo o mesmo. Para um círculo existe uma simetria de rotação por qualquer ângulo, ou diz-se que o círculo é invariante por qualquer rotação, ou que um observador que gira de qualquer ângulo continuará vendo o mesmo círculo. Crédito: Ilustração do autor

Figure 2. Illustrations of symmetry and invariance: a. a square rotated by 45 degrees and then by 90 degrees, maintaining a fixed centre. A symmetry of rotation exists for a square for angles of 90 degrees or that the square is invariant for rotations of 90 degrees or that an observer who turns 90 degrees perceives the square as an invariant. b. A circle being rotated by 45 degrees maintaining a fixed centre. Whatever the angle of rotation it still looks the same. There is a symmetry of rotation for a circle for any angle or a circle is invariant for any rotation or an observer who turns any angle will continue to see the same circle. Source: Author's illustration

maintaining a fixed centre it will still look like the same circle (invariant). In geometry, symmetries of transformations and invariant objects or structures are aspects of the same idea. For a structure not to change (to be invariant) after a transformation, it is because this transformation describes a symmetry of the structure. The structure used in these examples, a square or a circle, can be described in terms of mathematical formulas. For example, the circle is formed of all the points on the plane that are at a fixed distance from a centre. Einstein thought of the laws of physics as mathematical structures, in the same way that a circle is a mathematical structure. He carried this geometrical thinking into the equations and laws of physics, seeking the transformations that made these equations and laws invariant. These are the symmetry transformations of these laws.

THE TRANSFORMATIONS OF SPACE AND TIME AS SYMMETRIES OF THE LAWS OF PHYSICS_ When Einstein analysed Maxwell's equations on light and the movement of electrical charges (electricity), he also observed the symmetry of these equations. Transformations of spacetime that make Maxwell's equations the same for observers who move at a constant speed were discovered by the Dutch physicist and mathematician, Hendrick Lorenz (1853-1928). In the Lorentz transformations the speed of light is a constant, 299,792.458 meters per second. The speed at which the observer moves does not matter, light will be observed with the same speed. Experiments to test the invariance of the speed of light were carried out in 1887 in Cleveland, USA, by the physicists, Albert Michelson and Edward Morley, confirming Maxwell's theory. The approach of considering the point of view of an observer leads us to clarify that an observer represents a system capable of measuring spacetime and is therefore equipped with a ruler and a clock (see figure 3). So that when an observer moves, the ruler and clock undergo transformations due to their speed. In the Lorenz transformations, a moving observer's clock will be slower and their ruler will be shorter.

A estrutura usada nesses exemplos, o quadrado e o círculo, pode ser descrita por fórmulas matemáticas. Por exemplo, o círculo é formado por todos os pontos no plano que estão a uma distância fixa de um centro. Einstein pensa as leis da física como estruturas matemáticas assim como o círculo é uma estrutura matemática. Ele leva esse pensamento geométrico para as equações e leis da física, procurando transformações que deixem essas equações ou leis invariantes. Essas serão as transformações que descrevem a simetria dessas leis.

AS TRANSFORMAÇÕES DO ESPAÇO E TEMPO COMO SIMETRIAS DAS LEIS DA FÍSICA_ Quando Einstein analisa as equações de Maxwell sobre a luz e o movimento de cargas elétricas (eletricidade), ele também observa as simetrias dessas equações. As transformações de simetria do espaço e tempo, que deixam as equações de Maxwell as mesmas para observadores que se movem com velocidades constantes, foram descobertas pelo físico e matemático holandês Hendrick Lorenz (1853-1928). Para as transformações de Lorentz a velocidade da luz é 299.792,458 metros por segundo, uma constante. Não importa com que velocidade o observador se move, a luz será observada com a mesma velocidade. Experimentos para testar a invariância da velocidade da luz já haviam sido conduzidos em 1887 em Cleveland, EUA, pelos físicos Albert Michelson e Edward Morley, confirmando a Teoria de Maxwell. Einstein observa estas simetrias, e desenvolve um modo novo de pensar, de criar uma nova ciência investigando estas simetrias.

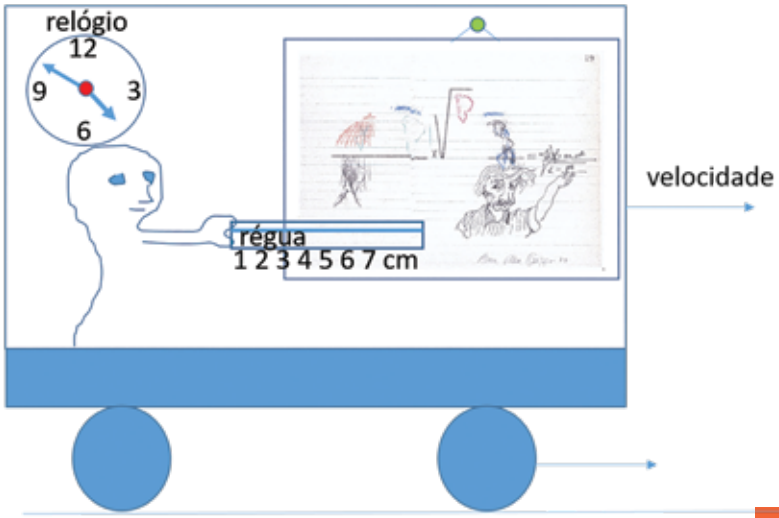


Figura 3. Ilustrações de dois observadores, um se movendo em relação ao outro. Cada observador é equipado com uma régua e relógio. A Teoria da Relatividade propõe que as leis da física devem ser as mesmas relativas a cada observador se movendo com velocidades constantes. Crédito: Ilustração do autor

Figure 3. Illustrations of two observers moving in relation to each other. Both observers are equipped with a ruler and a watch. Relativity Theory proposes that the laws of physics must be the same relative to each observer moving at constant speeds. Source: Author's illustration

So, in 1905, Einstein proposed special relativity in which he postulated that a physical theory is the same for all observers, when the observers move at constant speeds, and that the speed of light is an invariant. He concludes, then, that the transformations in spacetime of theories of physics that make them invariant, transformations of symmetry, must be the same for the laws of all physical objects, be they light, electrical charges or mechanical objects.

It is noted that Newton's laws already contained their own spacetime transformations that made them invariant, known as Galilean transformations. These are simpler and are intuitive to our reality as observers, as we do not move nearly as fast as the speed of light and, with our own sensors,

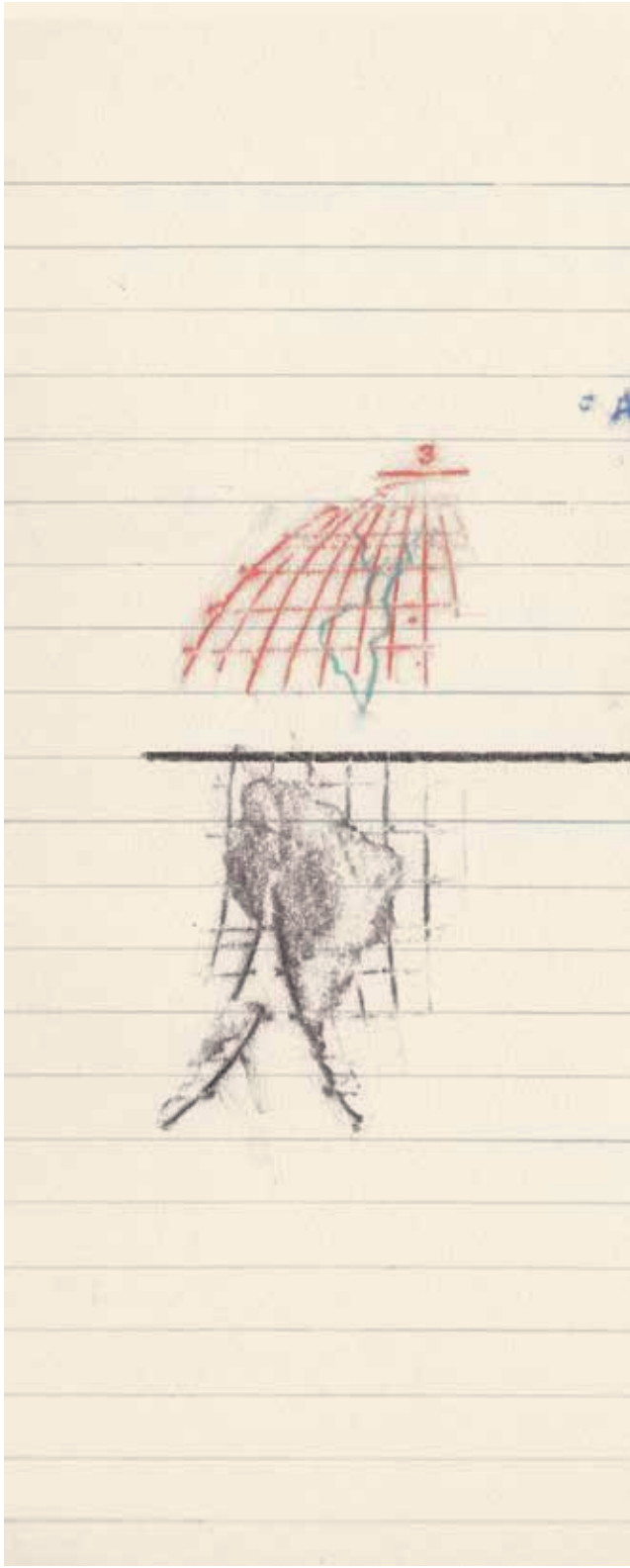
Esse novo modo de pensar considera o ponto de vista de um observador, como ilustrado na figura 3. Um observador representa um sistema capaz de fazer medidas do espaço e do tempo e, portanto, equipado com régua e relógio. Assim quando um observador se move, essa régua e relógio podem sofrer transformações por estarem com uma velocidade. Para as transformações de Lorenz, um observador se movendo tem seu relógio com intervalo de tempo mais lento e as réguas ficam menores.

Einstein então propõe, em 1905, a Teoria da Relatividade Restrita, em que ele postula que uma Teoria física relativa a todos os observadores deve ser a mesma,

quando os observadores se movem com velocidades constantes, e que a velocidade da luz é um invariante. Ele então conclui que as transformações do espaço e do tempo das Teorias da física que as deixam invariantes, as transformações de simetria, são as transformações de Lorentz e, portanto, deveriam ser as mesmas para as leis de todos objetos físicos, sendo eles a luz, cargas elétricas, ou corpos mecânicos.

Notem que as leis de Newton contem transformações de espaço e tempo que as deixam invariante, chamadas transformações de Galileu. Elas são mais simples e intuitivas à nossa realidade como observadores, pois não nos movemos tão rapidamente, nem somos capazes de observar velocidades tão altas. Para essas transformações, os relógios funcionam igualmente para todos os observadores e as velocidades dos objetos se subtraem às velocidades do observador e, portanto, nenhum objeto, incluindo a luz, tem sua velocidade constante para qualquer observador.

we are not able to observe such high speeds. For the Galilean transformations, clocks work in the same way for all observers and the speed of objects subtracts the speed of the observer, therefore no object, including light, has constant speed for any observer. When Einstein considered transformations of symmetry of spacetime valid for Maxwell's laws, and applied them to the laws of mechanics, he created special relativity theory. Thus, Einstein started two scientific revolutions. One is the proposal that objects described by mechanics follow Lorenz transformations for spacetime and so clocks and rulers behave differently depending on the speed of the observer, and the speed of light is an invariant. The second revolution, the focus of this text, is that he arrived at this conclusion simply by thinking about the symmetries of theories of physics, in this case the transformations of spacetime that make the theories the same. According to Einstein, symmetries must be valid for all laws of physics and therefore,



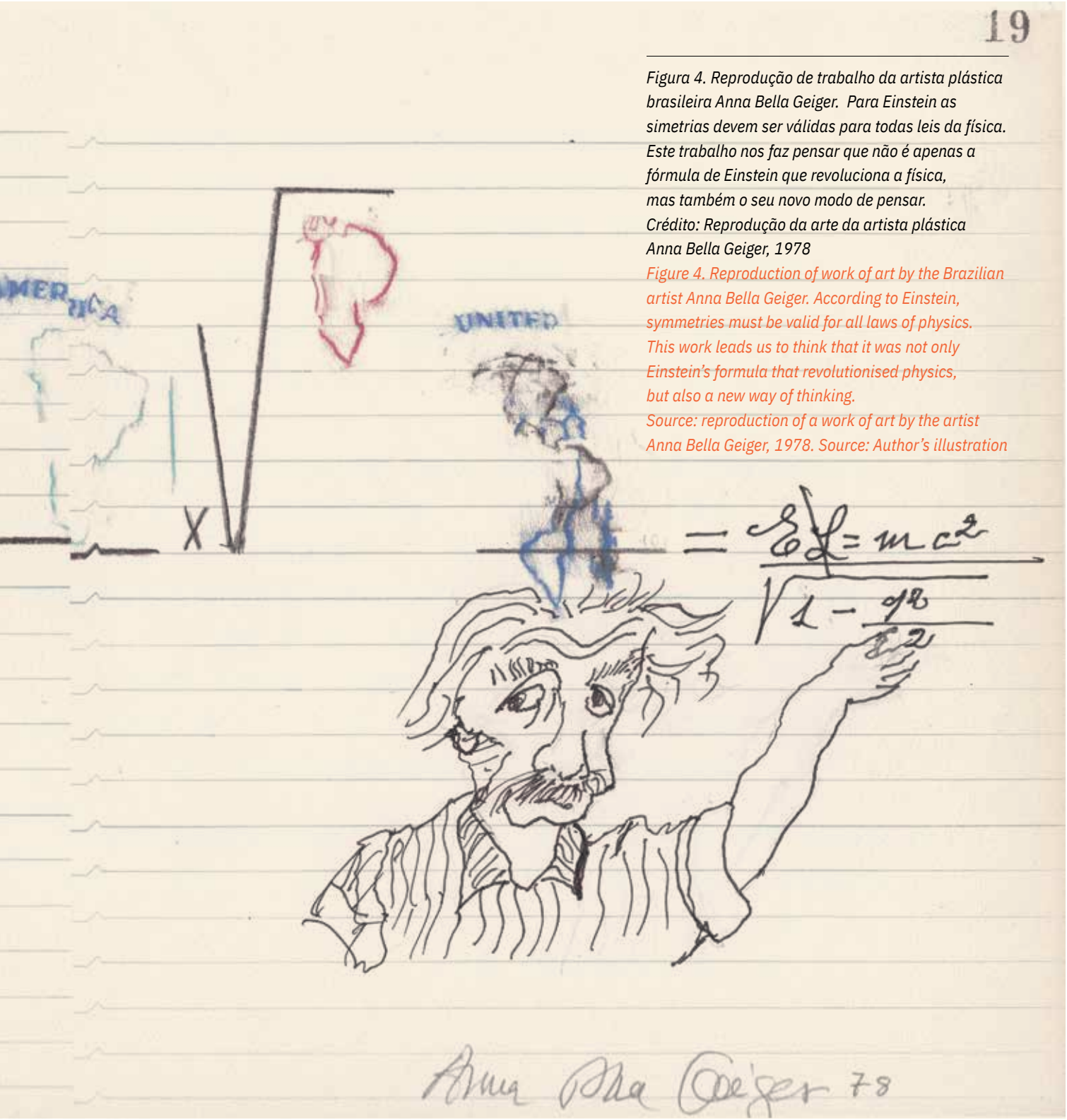


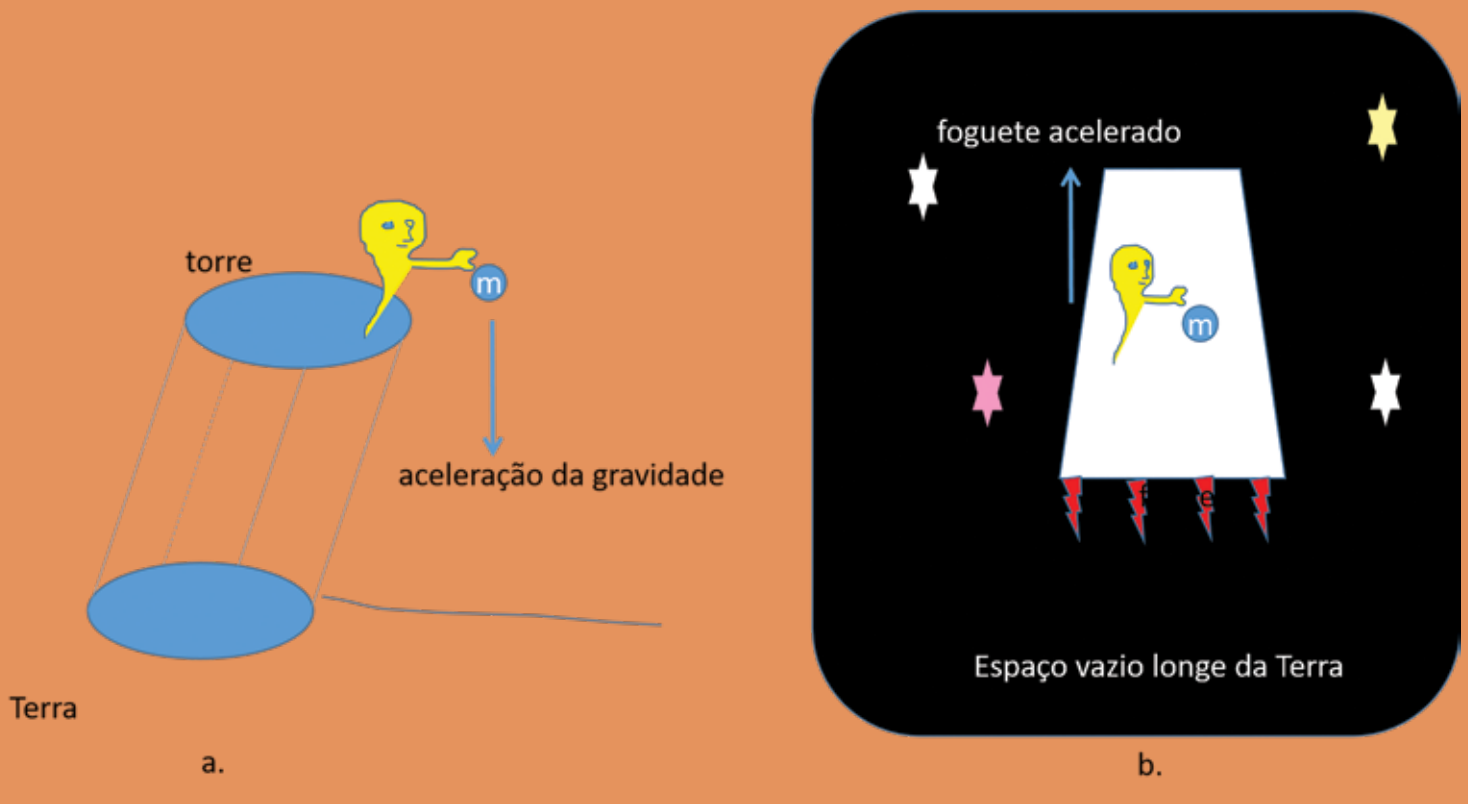
Figura 4. Reprodução de trabalho da artista plástica brasileira Anna Bella Geiger. Para Einstein as simetrias devem ser válidas para todas leis da física. Este trabalho nos faz pensar que não é apenas a fórmula de Einstein que revoluciona a física, mas também o seu novo modo de pensar. Crédito: Reprodução da arte da artista plástica Anna Bella Geiger, 1978

Figure 4. Reproduction of work of art by the Brazilian artist Anna Bella Geiger. According to Einstein, symmetries must be valid for all laws of physics. This work leads us to think that it was not only Einstein's formula that revolutionised physics, but also a new way of thinking. Source: reproduction of a work of art by the artist Anna Bella Geiger, 1978. Source: Author's illustration

Quando Einstein cria a Teoria da Relatividade Restrita, ele inicia duas revoluções científicas. Uma é a proposta de que objetos descritos pela mecânica seguem as transformações de Lorenz para o espaço e tempo, e assim o relógio e a régua se comportam de modo diferente dependendo da velocidade dos observadores, e a luz tem uma velocidade invariante. A segunda revolução, que é o foco deste texto, é que ele chega a essa conclusão simplesmente pensando nas simetrias das Teorias físicas, no caso, as transformações do espaço e tempo que deixam todas Teorias as mesmas.

Para Einstein, as simetrias devem ser válidas para todas leis da física, e, portanto, se são válidas para as leis da luz e das cargas elétricas, também são válidas para os corpos mecânicos. Não existem novas variáveis (transformações do espaço e tempo para as leis de Newton já existiam), mas sim, a busca por Teorias que tenham as mesmas simetrias.

ILUSTRAÇÃO DO PRINCÍPIO DA EQUIVALÊNCIA



O PRINCÍPIO DA EQUIVALÊNCIA E SIMETRIAS PARA OBSERVADORES ACELERADOS_ Dois anos depois, em 1907, Einstein publica um novo artigo onde propõe o "princípio da equivalência". Seguindo o modo de pensar em simetrias para observadores se movendo com velocidades fixas, ele extrapola para observadores que se movem com aceleração igual à da gravidade. Imagine um observador numa torre soltando uma pedra em queda livre (como no experimento de Galileu na Torre de Pisa) e compare com um observador num foguete acelerado com o valor da gravidade na terra, mas na direção contrária (figura 5). Para os dois, a pedra vai cair no chão com a mesma aceleração e velocidade. Ele conclui uma equivalência entre o efeito da gravidade e o movimento de um sistema acelerado.

Figura 5. Ilustração do princípio da equivalência. O observador, ao realizar o experimento de soltar uma esfera, é incapaz de discernir, baseando-se apenas nos resultados do experimento, entre as duas situações apresentadas: a. na Terra ou b. num foguete no espaço vazio com a mesma aceleração da gravidade, mas na direção oposta. Ele conclui uma equivalência entre o efeito da gravidade e o movimento de um sistema acelerado. Crédito: Ilustração do autor

Figure 5. Illustration of equivalence principle. An observer who carries out the experiment of releasing a sphere is unable to discriminate, based merely on the results of the experiment, between the two situations presented: a. on Earth or b. on a rocket in empty space with the same acceleration as gravity, but travelling in the opposite direction. He concluded an equivalence between the effect of gravity and the movement of an accelerated system. Source: Author's illustration

if they are valid for the laws of light and electrical charges, they are also valid for mechanical objects. There were no new hypotheses to explain experiments, there were no new variables (spacetime transformations already existed for Newton's laws) but there was a search for theories that have the same symmetries.

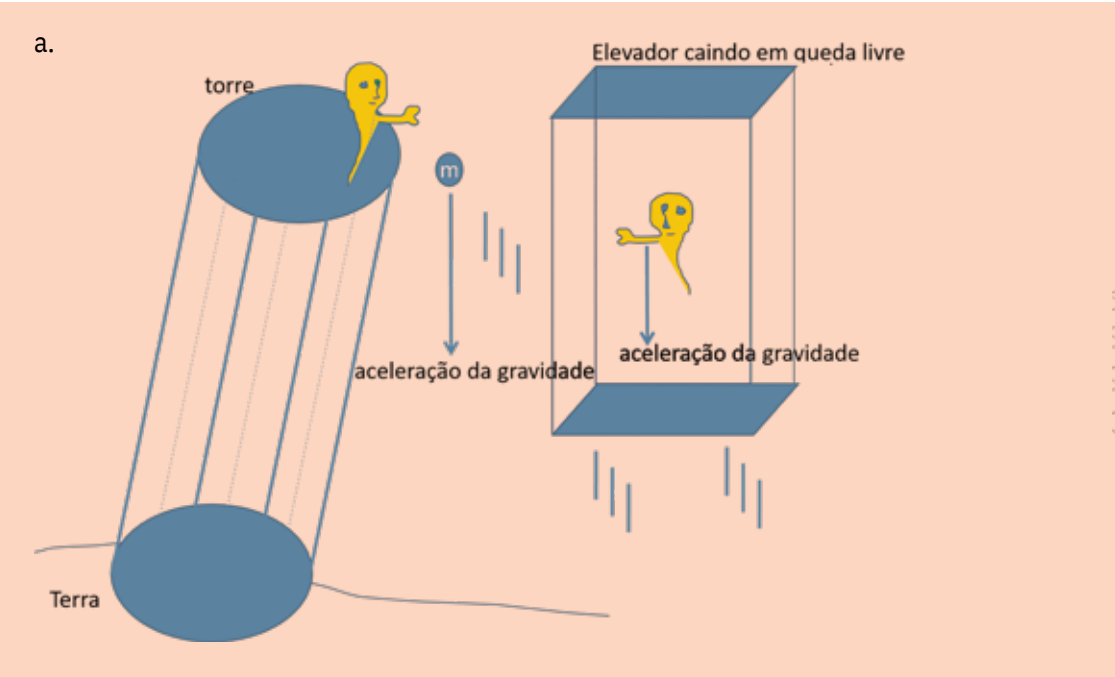
According to Einstein, symmetries must be valid for all laws of physics. This work leads us to think that it was not only Einstein's formula that revolutionised physics, but also a new way of thinking.

THE EQUIVALENCE PRINCIPLE AND SYMMETRIES FOR ACCELERATED OBSERVERS_ Two years later, in 1907, Einstein published a new article in which he proposed the 'principle of equivalence'. Following the line of thought of symmetries for observers moving at fixed speeds, he extrapolated this to observers who move with acceleration equal to gravity. Imagine an observer in a tower dropping a stone to fall freely (as in the Galileo's Tower of Pisa experiment) and compare this to an observer in a rocket accelerated to the value of the Earth's gravity, but travelling in the opposite direction (figure 5). In both cases, the stone will fall to the ground with the same acceleration and speed. He concluded an equivalence between the effect of gravity and the movement of an accelerated system. This equivalence is due to a curious relationship between the two laws of Newton mentioned at the beginning of the article, in which Newton's law of gravity states that the force of gravity increases according to the value of the mass of the

Essa equivalência é devida a uma relação curiosa entre as duas leis de Newton mencionadas no início do artigo, em que a lei da gravidade de Newton afirma que a força da gravidade aumenta de acordo com o valor da massa do corpo, e a segunda lei de Newton afirma que o valor da massa de um corpo multiplicada pela aceleração é igual a força aplicada. Como a massa da gravitação e da segunda lei são as mesmas (também vêm do princípio da equivalência), então, quando a aceleração é a mesma que a gravidade, não podemos distinguir os dois cenários.

A RELATIVIDADE GERAL_ Imagine agora um observador, dentro de um elevador, caindo em queda livre. Tanto a pedra como o observador estão caindo juntos (ver figura 6a). Para esse observador, a pedra não está acelerada e, portanto, pela segunda lei de Newton, essa pedra não está sobre influência de nenhuma força. Nota-se a equivalência entre a gravidade e observadores acelerados. Einstein considera que o efeito da gravidade é devido a uma transformação de simetria das leis da física. Para Einstein, os objetos caindo estão seguindo sua inércia (pois para o observador caindo não existe força).

Até então a lei da inércia de Newton afirmava que, na ausência de forças, os corpos continuam a se mover com suas velocidades constantes e que a gravidade é uma força. Para Einstein, na ausência de forças, os corpos continuam a seguir a gravidade, que não é mais uma força. Para Einstein, a gravidade deixa de ser uma força para ser uma deformação do espaço e tempo (ver figura 6b). Desse modo, as transformações de espaço-tempo para observadores acelerados pela gravidade mantêm as leis da natureza invariantes. Einstein leva oito anos para produzir as novas



object and the second law of Newton states that the value of the mass of an object multiplied by the acceleration is equal to the force applied. As mass of gravitation and of the second law are the same (also from the principle of equivalence), when acceleration is the same as gravity, we cannot distinguish between the two scenarios.

GENERAL RELATIVITY_Now imagine an observer free falling in a lift. Both the stone and the observer are falling together (see figure 6a). To this observer, the stone is not accelerated, and therefore according to Newton's second law this stone is not under the influence of any force. Equivalence between gravity and accelerated observers is noted. Einstein saw the effect of gravity to be due to a transformation of symmetry of the laws of physics. According to Einstein, the falling objects are following their inertia (because for the falling observer there is no force). Until this time, Newton's law of inertia had stated that, in the absence of any force, objects continued to move at constant speeds. According to Einstein, in the absence of any force objects continue to follow gravity. How is this different? According to Einstein, gravity stops being a force and becomes a deformation of spacetime (see figure 6b). In this way, spacetime transformations for observers accelerated by gravity, maintain invariant laws of nature. Einstein took eight years to produce his new

b.

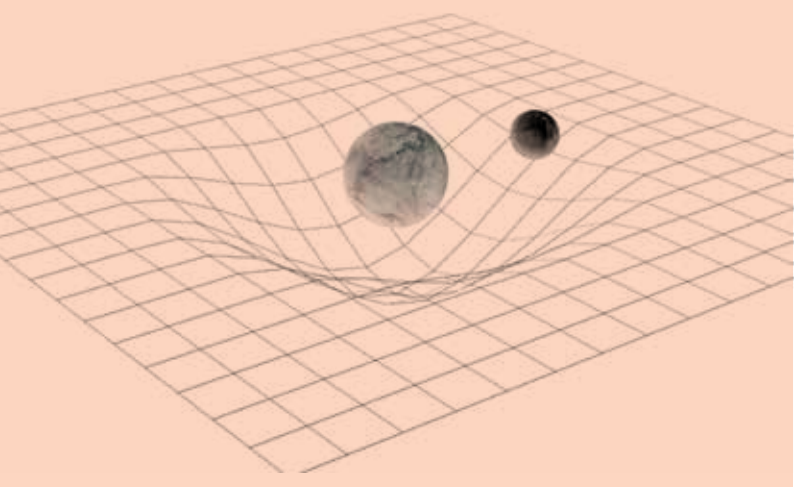


Figura 6. Ilustração da gravidade como deformação do espaço e tempo. a. Uma pessoa, do alto de uma torre, larga uma pedra em queda livre. Um observador dentro de um elevador caindo em queda livre observa a pedra que para ele não se move. b. Para Einstein, a gravidade deixa de ser uma força para ser uma deformação do espaço e tempo. A deformação varia ponto a ponto, onde a curvatura depende da massa dos corpos. A nova lei da inércia diz que os corpos seguem as trajetórias geodésicas do espaço-tempo curvo. Crédito: Ilustração do autor

Figure 6. Illustration of gravity with space time deformation. a. A person throws a stone from a high tower and it free falls. An observer in a free falling lift observes a stone and does not see it moving. b. According to Einstein, gravity stops being a force and becomes a deformation of space time. The deformation varies from point to point, where the curvature depends on the mass of the objects. The new law of inertia states that objects follow geodesical paths of the spacetime curve. Source: Author's illustration

leis da gravidade, nas quais ele desenvolve a matemática Riemaniana de espaços curvos para descrever como a massa e energia dos corpos deforma o espaço-tempo ao redor dos corpos. Ele apresenta essa Teoria, a Relatividade Geral, na cidade de Berlim, em 1915. A Teoria tem uma simetria de transformação em que observadores se movendo com a aceleração da gravidade descrevem as leis da física de modo invariante.

SOBRAL, 100 ANOS_A Teoria da Relatividade Geral conclui que a luz enviada por estrelas muito distantes, quando passa próxima ao Sol (que tem uma massa enorme), é curvada (já que o espaço-tempo próximo do Sol é muito curvo). Quando ocorre o eclipse solar, é possível observar precisamente a luz passando perto do Sol emitida por estrelas longínquas. É assim que o experimento em Sobral, em 1919, durante o eclipse solar, entra para história da ciência. Ele permite verificar precisamente a curva feita pela luz e comparar com a relatividade geral levando em conta o valor da massa do Sol, e implicitamente, também valida o modo de Einstein pensar, procurando leis da natureza que tenham as transformações de simetria desejada.

O NASCIMENTO DA FÍSICA TEÓRICA MODERNA_ As novas gerações de cientistas são profundamente influenciadas por Einstein. Não apenas para o estudo da relatividade geral, que continua muito ativo. Mas a influência de Einstein se dá também no novo modo de se construir uma Teoria da natureza. Em 1925, o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) propõe uma equação quântica para a descrição do movimento do elétron (partícula com carga negativa). O próprio Schröedinger observa que a equação não é invariante às transformações de simetria da relatividade restrita. Também, no mesmo ano, é proposto que o elétron gire em volta de si mesmo, e esta propriedade física chamada de spin não é descrita pela equação de Schröedinger. Assim o físico e matemático britânico Paul Dirac (1902-1984) propõe em 1928 a equação invariante às transformações do espaço e tempo da relatividade restrita. Com essas equações, as antipartículas são descobertas e o spin das partículas é explicado teoricamente.

Depois, nos anos 1946-1949, os físicos americanos Richard Feynman (1918-1988) e Julian Schwinger (1918-1994), junto com o físico japonês Shinichiro Tomonaga (1906-1979), propõem a eletrodinâmica quântica para descrever de modo quântico as equações de Maxwell. A construção da eletrodinâmica quântica segue

laws of gravity, in which he developed Riemannian mathematics on curved spaces to describe how an object' s mass and energy deform the space time surrounding the object. He presented his General Theory of Relativity, in Berlin in 1915. This theory has a symmetry of transformation in which observers moving with the acceleration of gravity, describe the laws of physics invariantly.

SOBRAL, 100 YEARS_ The General Theory of Relativity concludes that when light from remote stars passes close to the Sun (that has an enormous mass) their path curves (as spacetime close to the Sun becomes very curved). When there is a solar eclipse, it is easier to observe light from distant stars passing close to the Sun, with precision. This was how the experiment in Sobral in 1919, during the solar eclipse, entered scientific history. This meant it was possible to precisely verify the curve made by the light and compare this with general relativity taking into account the value of the mass of the Sun. Implicitly, the experiment did also validate Einstein's thinking, seeking laws of nature that have the desired transformations of symmetry.

THE BIRTH OF MODERN THEORETICAL PHYSICS_ New generations of scientists are profoundly influenced by Einstein, not just in studies of General Relativity, that are very much alive, but also in new ways of constructing theories on nature. In 1925, the Austrian physicist, Erwin Schröedinger (1987-1961) proposed a quantum equation to describe the movement of electrons (a particle with a negative charge). Schröedinger himself observed that the equation is not invariant to transformations of symmetry and special relativity. Also, in the same year, it was proposed that electrons rotate around themselves and this physical property, called spin, is not described by Schröedinger's equation. So, in 1928, the British physicist and mathematician, Paul Dirac (1902-1984) proposed the invariant equation for spacetime transformations of special relativity. Antiparticles were discovered through these equations and the spin of particles was explained theoretically.

Later, between 1946-1949, the American physicists Richard Feynman (1918-1988) and Julian Schwinger (1918-1994), together with the Japanese physicist Shinichiro Tomonaga (1906-1979), proposed quantum electrodynamics to describe Maxwell's equations in quantum terms. The construction of quantum electrodynamics follows Einstein's mode of thinking of a theory, explaining all phenomena to satisfy symmetry

o modo de Einstein pensar uma Teoria, que é explicar todos os fenômenos satisfazendo as transformações de simetrias. Julian Schwinger diz ”o meu laboratório é minha caneta”. Todas essas Teorias são verificadas em experimentos de níveis atômicos ou observando partículas vindas do espaço cósmico.

As novas Teorias são descritas por equações matemáticas mais complexas. Portanto procura-se mais simetrias, não só simetrias de transformação do espaço e tempo, mas também simetrias de transformações de outras variáveis. Por exemplo, em mecânica quântica, uma partícula é descrita por uma onda no espaço e tempo. “Rodar” a fase de uma onda é uma transformação de simetria para a Teoria quântica, e isso explica que a carga de uma partícula não mude. O spin do elétron ou próton tem dois valores possíveis, e então pode se procurar Teorias quânticas em que, ao se transformar um no outro, deixem as Teorias as mesmas. Claro que os experimentos são

O MÉTODO CIENTÍFICO HOJE_ THE SCIENTIFIC METHOD TODAY

SIMETRIAS → HIPÓTESE (EQUAÇÕES, LEIS) → EXPERIMENTOS

SYMMETRIES → HYPOTHESIS (EQUATIONS, LAWS) → EXPERIMENTS

determinantes para testar Teorias e o impacto dessas leis para nossa sociedade é enorme, pois todo o desenvolvimento da eletrônica e computadores se baseia na Teoria quântica. As Teorias continuam a ser desenvolvidas com novos experimentos e novas leis, e hoje são quatro leis distintas (uma para a gravitação, uma para eletrodinâmica, uma para as forças fracas e uma para as forças fortes), cada uma com suas simetrias.

A Teoria da física depois de Einstein busca leis da natureza que sejam invariantes de acordo com a escolha de simetrias escolhidas, e justifica chamarmos de física teórica moderna estendendo o método científico. Por isso, com esse novo método, acredita-se que exista uma Teoria unificada da física que teria todas as simetrias da natureza desejadas.

transformations. Julian Schwinger said ”my laboratory is my ball point pen”. All these theories are verified in experiments at atomic levels or by observing particles coming from cosmic space.

New theories are described using more complex mathematical equations, therefore more symmetry is sought, not just symmetry of transformation of spacetime but also symmetry of transformation of other variables. For example, in quantum mechanics a particle is described by a wave in spacetime. “Rotating” the phase of a wave is a symmetry transformation for quantum physics and this explains that the charge of a particle does not change. The spin of an electron or proton has two possible values, so quantum theories can be sought in which by transforming one into the other the theories are the same. Clearly, experiments are the determining factor in testing theories and the impact of these laws on society is enormous, given

SUGESTÕES PARA LEITURA_SUGGESTED READING

Dialogue Concerning the Two Chief World Systems, Galileo Galilei, 1632

Einstein’s impact on theoretical physics, Chen-Ning Yang, Physics Today, Volume 33, issue 6, June 1980

QED: The Strange Theory of Light and Matter. Richard Feynman, 1985. Princeton University Press

https://einsteinpapers.press.princeton.edu/

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_scientific_publications_by_Albert_Einstein

that electronic and computer development is based on quantum theory. Theories are still being developed with new experiments and new laws and there are currently four different laws (one for gravitation, one for electrodynamics, one for the weak interaction and one for the strong interaction). Each of these has its own symmetries.

Physics theories subsequent to Einstein seek laws of nature that are invariant according to chosen symmetries and that justify the term modern theoretical physics, an extension to the scientific method. For this reason, with this new method, it is believed that a unified theory of physics exists that would have all the desired natural symmetries.

Testando a relatividade no eclipse de 1919 – uma questão de viés

**Reproduzido da revista Physics Today 62, 3, 37 (2009), doi: 10.1063 / 1.3099578, com a autorização do Instituto Americano de Física*

Daniel Kennefick
Universidade de Arkansas, Fayetteville, EUA

Daniel Kennefick
University of Arkansas at Fayetteville, USA

**Reproduced from Physics Today 62, 3, 37 (2009), doi: 10.1063 / 1.3099578, with the permission of the American Institute of Physics.*

Testing relativity from the 1919 eclipse – a question of bias

Uma das medições mais famosas da história da astronomia do século 20 foi feita ao longo de vários meses em 1919. Equipes de pesquisadores dos observatórios de Greenwich e Cambridge, no Reino Unido, viajaram para o Brasil e para a África Ocidental a fim de observar o eclipse total do Sol de 29 de maio daquele ano. O objetivo era verificar se as trajetórias dos raios de luz seriam desviadas ao passar pelo forte campo gravitacional do Sol.

Suas observações foram posteriormente apresentadas confirmando a solidez da relatividade geral. Ou seja, as observações foram mais consistentes com as previsões da nova Teoria gravitacional desenvolvida por Albert Einstein do que com a Teoria newtoniana tradicional.

Ao se interpretar resultados experimentais, o contexto é fundamental e, nessa empreitada, os pesquisadores que coletaram e analisaram os dados mais importantes sobre o eclipse tiveram boas razões para julgar a experiência como uma vitória para Albert Einstein.

ESCOLHAS E VERSÕES_ Nas últimas décadas, muitos físicos e historiadores da ciência lançaram dúvidas sobre a confiabilidade do famoso experimento. Eles afirmam que as medições feitas em 1919 não foram suficientemente precisas para decidir entre as Teorias da gravidade de Einstein e Newton. Também se tem argumentado, especialmente por alguns filósofos da ciência, que a conclusão a favor de Einstein foi motivada por uma escolha por parte do membro mais famoso das expedições, Arthur Stanley Eddington (1882-1944).

Eddington era conhecido por ser um entusiasta proponente da relatividade geral e dizia que estava ansioso por fazer um

One of the most famous measurements in the history of 20th-century astronomy was made over the course of several months in 1919. Teams of observers from the Greenwich and Cambridge observatories in the UK traveled to Brazil and western Africa to observe a total solar eclipse that took place on 29 May 1919. Their aim was to establish whether the paths of light rays were deflected in passing through the strong gravitational field of the Sun.

Their observations were subsequently presented as establishing the soundness of general relativity; that is, the observations were more consistent with the predictions of the new gravitational theory developed by Albert Einstein than with the traditional Newtonian theory.

When experimental results are interpreted, context is fundemental and, as far as this venture was concerned, researchers that collected and analysed the most relevant data of the eclipse had ample reason to deem the experience a victory won by Albert Einstein.

CHOICES AND VERSIONS_ In recent decades many physicists and historians of science have cast doubt on the soundness of the famous experiment. They claim that the measurements made in 1919 were not sufficiently accurate

to decide between the Einsteinian and Newtonian theories of gravity. It has been further alleged, especially by some philosophers of science, that the conclusion in favor of Einstein was motivated by bias on the part of the expeditions' most famous member, Arthur Stanley Eddington (1882-1944).

Eddington was known to be an enthusiastic proponent of general relativity and is said to have been anxious to make a gesture toward reconciliation between the UK and Germany in the aftermath of World War I by verifying the theory of one of Germany's leading men of science, who, like Eddington himself, was a pacifist. Thus the 1919 eclipse is nowadays sometimes given as a prime example of experimenters fitting their data to the expected result—the so-called predictor effect.

The story that the 1919 eclipse was not the decisive experiment it was cracked up to be has two versions. One, common among physicists since at least the 1970s, goes to accuracy: The experimenters were simply lucky to get reasonably close to one of the two predictions, so the experiment does not constitute a really viable test of the theories. The other story, common among philosophers and historians of science but beginning to find a popular audience, originates in a 1980 paper by philosophers John Earman (1942) and Clark Glymour (1942).

gesto em direção à reconciliação entre o Reino Unido e a Alemanha após a Primeira Guerra Mundial, confirmando a Teoria de um dos principais cientistas da Alemanha que, como o próprio Eddington, era um pacifista.

Assim, o eclipse de 1919 é, às vezes, apresentado como um ótimo exemplo de pesquisadores que ajustam os dados ao resultado esperado – o assim conhecido efeito preditivo.

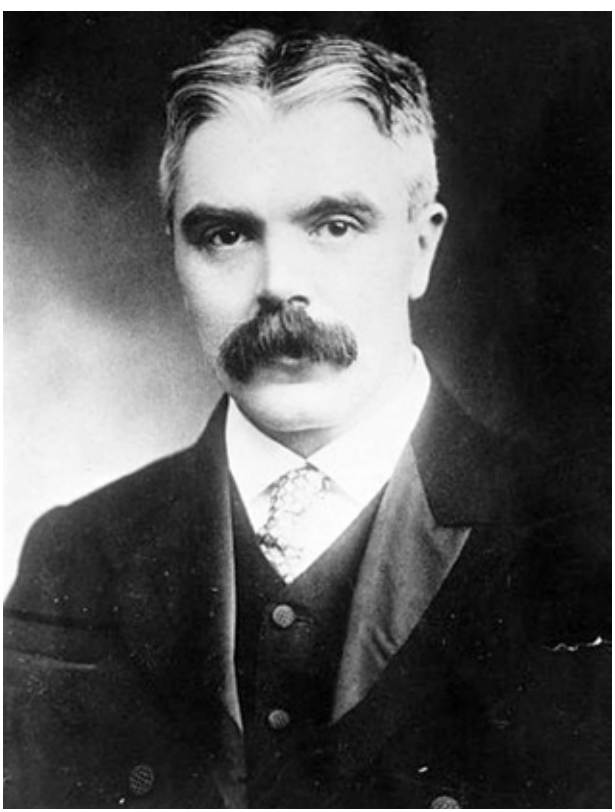
A história de que o eclipse de 1919 não foi o experimento decisivo como aclamado na época tem duas versões. Uma delas, comum entre os físicos, desde pelo menos a década de 1970, aponta para a precisão: os pesquisadores tiveram apenas sorte de chegar razoavelmente perto de uma das duas previsões, então o experimento não constitui um teste realmente viável das Teorias. A outra história, comum entre filósofos e historiadores da ciência, mas que começa a encontrar um público maior, tem origem em um artigo de 1980 dos filósofos John Earman e Clark Glymour, ambos nascidos em 1942.

Eles responsabilizam categoricamente Eddington e seus colaboradores por descartarem dados que pareciam apoiar Isaac Newton em vez de Einstein. Alguns críticos modernos afirmam que tal ação não era justificável em termos científicos e, mais provavelmente, foi motivada pelo viés teórico e político de Eddington.

É claro que não é possível ter certeza sobre qualquer reconstrução de decisões experimentais quase centenárias, porém meu argumento é que o balanço de evidências aponta fortemente a favor de que os líderes da expedição de 1919, Frank Watson Dyson (1868-1939) e Eddington, tinham motivos razoáveis para avaliar que seus resultados eram inconsistentes com a previsão da Teoria newtoniana. De fato, o tratamento dispensado aos dados parece ter sido confirmado por uma posterior reanálise das placas, em 1979, quando foram usados métodos modernos de redução de dados de medições astrométricas. Ainda assim, os dois pesquisadores não acreditaram que aquela seria a verão definitiva. Tanto que, no eclipse total de 1922, Dyson e seus colaboradores fizeram um grande esforço para tentar replicar o experimento.

A EXPEDIÇÃO_Em um artigo de 1911, Einstein previu pela primeira vez que a luz seria influenciada por um campo gravitacional, ou seja, que a luz das estrelas passando perto do limbo do Sol seria desviada de seu caminho. Ele calculou que a posição observada de uma estrela cuja luz passasse perto do Sol seria alterada em 0,87 segundos de arco (0,87”). Sua análise foi baseada na compreensão das características básicas que uma Teoria relativista da gravidade deve considerar, em particular o princípio da equivalência. O princípio da equivalência exige que todas as massas caiam com a mesma aceleração na presença de um campo gravitacional.

Eddington e Dyson deram o nome de “valor newtoniano” ao valor que Einstein calculou em 1911, numa referência à descoberta subsequente de que um valor similar, baseado apenas na física de Newton, havia sido publicado em 1804 pelo astrônomo alemão Johann Georg von Soldner (1776-1833).



They specifically charge Eddington and his collaborators with throwing out data that appeared to support Isaac Newton rather than Einstein. Some modern critics have charged that such action was not justifiable on scientific grounds and was more likely motivated by Eddington's theoretical and political bias.

Of course, it's not possible to be certain about any reconstruction of nearly century-old experimental decisions, but I argue that the balance of evidence lies heavily in favor of the view that the leaders of the 1919 expedition, Frank Watson Dyson (1868-1939) and Eddington, had reasonable grounds for judging that their results were inconsistent with the prediction of Newtonian theory. Indeed, their treatment of the data appears to be vindicated by a subsequent 1979 reanalysis of their plates using modern astrometric data-reduction methods. Still, the two researchers did not believe they had said the last word. Indeed, Dyson and his collaborators went to great lengths to try to replicate the experiment at the total eclipse of 1922.

THE EXPEDITION_ In a 1911 paper, Einstein first predicted that light would fall in a gravitational field, so starlight passing close to the limb of the Sun would be deflected from its path. He calculated that the observed position of a star whose light passed near the Sun would change by 0.87 arcsecond (0.87"). His analysis was based on his understanding of basic features a relativistic theory of gravity must include, in particular the equivalence principle. The equivalence principle demands that all masses must fall at the same rate in a gravitational field.

Eddington and Dyson labeled the value Einstein calculated in 1911 as the "Newtonian" value, a label justified by the subsequent discovery that a similar value based only on Newtonian physics had been published in 1804 by the German astronomer Johann Georg von Soldner (1776-1833).

Figura 1. Frank Watson Dyson (1868–1939). Astrônomo real da Inglaterra e diretor do Observatório Real de Greenwich, Dyson foi o principal responsável pela organização da expedição de 1919. Experiente tanto em técnicas de medições astronômicas quanto em expedições de observação de eclipses, ele assumiu a análise dos dados da expedição de Greenwich a Sobral (CE). Crédito: Creative Commons

Figura 1. Frank Watson Dyson (1868–1939). The astronomer royal for England and director of the Royal Greenwich Observatory, Dyson was principally responsible for organizing the expedition of 1919. Experienced both in techniques of astrometry and in eclipse expeditions, he took charge of the data analysis of the Greenwich expedition to Sobral, Brazil. Source: Creative Commons

Em 1916, depois de ter desenvolvido a versão final de sua Teoria da Relatividade Geral, Einstein percebeu que havia um componente adicional no efeito de deflexão da luz, causado pela maneira como a massa do Sol curva o espaço-tempo em torno de si. Assim, um caminho reto, ou geodésico, próximo ao Sol é curvo, comparado com um caminho através do espaço plano. A deflexão extra causada por essa curvatura é comparável à deflexão devida apenas à atração gravitacional, de modo que a previsão da relatividade geral exige uma alteração duas vezes maior nas posições estelares – cerca de 1,75″ no limbo do Sol – do que a Teoria newtoniana.

Já em 1913, Einstein escreveu aos principais astrônomos, tentando interessá-los em medir o efeito que ele previra. Mas estrelas não são normalmente visíveis perto do Sol e para resolver esse problema era preciso que os astrônomos tirassem fotos de um campo de estrelas ao redor do Sol durante um eclipse total. Isso significava viagens difíceis e trabalhosas para regiões onde se previa um eclipse. Antes de 1919, várias tentativas de medir o efeito foram frustradas pela combinação de mau tempo e da Primeira Guerra Mundial. Como Einstein mudou sua previsão em 1916, talvez tenha sido sorte que as expedições anteriores a essa data não tivessem sido bem-sucedidas.

O eclipse de 1919 foi reconhecido como uma oportunidade particularmente favorável devido à presença de estrelas excepcionalmente brilhantes, que pertencem ao aglomerado de Hyades, próximas do Sol durante o eclipse. Além disso, naquela época, a Teoria de Einstein já tinha destaque considerável por causa de seu sucesso em explicar a precessão anômala do periélio de Mercúrio como uma perturbação em sua órbita causada pela deformação no espaço-tempo pelo Sol.

In 1916, after he had developed the final version of his theory of general relativity, Einstein realized that there was an additional component to the light-deflection effect caused by the way that the Sun's mass curves spacetime around itself. Thus a straight path, or geodesic, near the Sun is curved, compared with a path through flat space. The extra deflection caused by that curvature is comparable to the deflection due solely to falling, so that the general relativistic prediction calls for twice as great a shift in stellar positions – about 1.75″ at the limb of the Sun – as does the Newtonian theory.

As early as 1913, Einstein wrote to leading astronomers, trying to interest them in making a measurement of the effect he had predicted. Stars are not normally visible close to the Sun, though, a problem that required astronomers to take pictures of a field of stars around the Sun during a total solar eclipse. That meant laborious travel to regions where an eclipse was predicted to take place. Before 1919, several attempts to measure the effect were foiled by a combination of bad weather and World War I. Given that Einstein changed

his prediction in 1916, it was perhaps fortunate that expeditions before that date had not been successful.

The 1919 eclipse was recognized as a particularly favorable opportunity because of the presence of unusually bright stars belonging to the Hyades cluster close to the Sun during the eclipse. Moreover, by that time Einstein's theory had gained considerable prominence because of its success in explaining Mercury's anomalous perihelion advance as a perturbation in its orbit caused by the bending of spacetime by the Sun.

The man who recognized the significance of the 1919 eclipse was Dyson (not related to the physicist Freeman Dyson), England's astronomer royal and director of the Royal Greenwich Observatory. The man who had pointed out to Dyson the importance of Einstein's new theory was Eddington, director of the Cambridge University Observatory. Dyson, as chairman of the Joint Permanent Eclipse Committee of the Royal Society and the Royal Astronomical Society, appointed Eddington to a subcommittee formed to prepare for an expedition to observe the 1919 eclipse.

Although it seemed that war might frustrate their efforts, the abrupt end of hostilities in November 1918 occurred just in time to make the expedition possible. Eddington, taking with him a Northamptonshire clockmaker named Edwin Turner Cottingham (1869-1940), traveled to a station on the island of Príncipe just off the coast of western Africa, close to the equator. Dyson sent two of his Greenwich assistants, Charles Davidson (1875-1970) and Andrew Crommelin (1865-1939), to a station at Sobral in northern Brazil.

O homem que reconheceu o significado do eclipse de 1919 foi o astrônomo real da Inglaterra e diretor do Royal Greenwich Observatory, Frank Dyson. E quem mostrou para Dyson a importância da nova Teoria de Einstein foi Eddington, diretor do Observatório da Universidade de Cambridge. Dyson, como presidente do Comitê Permanente Conjunto de Eclipses da Royal Society e da Royal Astronomical Society, nomeou Eddington para um subcomitê formado para preparar uma expedição a fim de observar o eclipse de 1919.

Embora parecesse que a guerra poderia frustrar seus esforços, o fim abrupto das hostilidades em novembro de 1918 ocorreu a tempo de tornar a expedição possível. Eddington, levando consigo um relojoeiro de Northamptonshire chamado Edwin Turner Cottingham (1869-1940) viajou para uma estação na Ilha do Príncipe, na costa oeste da África, perto do equador. Dyson enviou também dois de seus assistentes de Greenwich, Charles Davidson (1875-1970) e Andrew Crommelin (1865-1939), para uma estação em Sobral, no nordeste do Brasil.

Probably the most famous illustration of Eddington's alleged bias in favor of Einstein's theory is a story subsequently repeated by Eddington himself in which Dyson, in explaining the experiment to Cottingham before departure, told the clockmaker that there were three theoretically plausible results: no deflection; half deflection, which would show that light had mass, and vindicate Newton; and full deflection, which would vindicate Einstein. Gathering that the greater the deflection the more theoretically exciting and novel the result, Cottingham asked what would happen if they obtained twice the Einstein deflection. "Then," replied Dyson, "Eddington will go mad, and you will have to come home alone."

The two expeditions left the UK in March and arrived at their stations in good time for the eclipse. On the day of the eclipse, 29 May, Eddington was disappointed by heavy clouds, but they thinned sufficiently over the course of the eclipse for him to obtain images of the brightest stars on the last few exposures he took.

Meanwhile, the Greenwich team in Sobral was favored by fine weather during the eclipse but troubled by the failure of its main instrument, an astrographic lens. Created for use in photographic all-sky surveys, astrographic lenses were designed to have an unusually wide field of view. The backup instrument, a 4-inch lens, performed well. But with its narrower field of view, the 4-inch lens showed fewer stars on its plates than the astrographic one would have.

Provavelmente, o exemplo mais famoso do suposto viés de Eddington em favor da Teoria de Einstein é uma história muitas vezes repetida pelo próprio Eddington, na qual Dyson, explicando o experimento a Cottingham antes da partida, disse ao relojoeiro que havia três resultados teoricamente plausíveis: nenhuma deflexão; meia deflexão, que mostraria que a luz tinha massa e justificaria Newton; e a deflexão total, que justificaria Einstein. E acrescentou que quanto maior a deflexão, mais novo e excitante teoricamente seria o resultado. Cottingham então perguntou o que aconteceria se obtivessem duas vezes a deflexão de Einstein. "Então", respondeu Dyson, "Eddington enlouquecerá e você terá que voltar sozinho para casa".

As duas expedições deixaram o Reino Unido em março de 1919 e chegaram a suas estações em tempo hábil para o eclipse. No dia do eclipse, 29 de maio, Eddington ficou desapontado com as nuvens pesadas, mas, ao longo do eclipse, elas foram diminuindo, o suficiente para obter imagens das estrelas mais brilhantes nas últimas exposições feitas.

Enquanto isso, a equipe de Greenwich em Sobral foi favorecida pelo bom tempo durante o eclipse, mas perturbada pelo fracasso de seu principal instrumento, uma lente astrográfica. Criadas para uso em levantamentos fotográficos de todo céu (all-sky), as lentes astrográficas foram projetadas para ter um campo de visão excepcionalmente amplo. O instrumento de backup, uma lente de 10,16cm, teve um bom desempenho. Mas com seu campo de visão mais estreito, a lente de 10,16cm mostrava menos estrelas em suas placas do que a lente astrográfica.

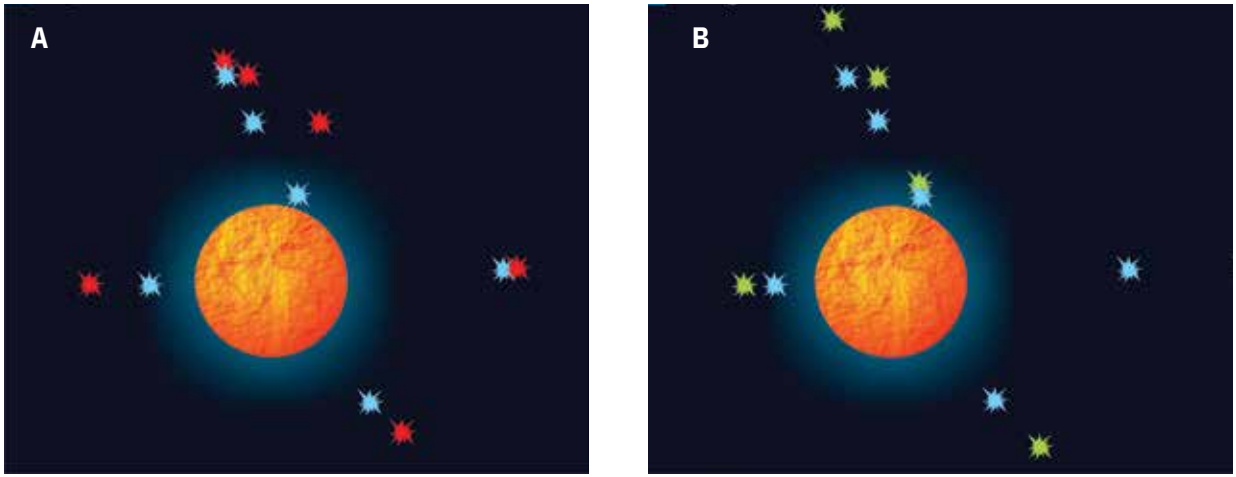


Figura 2: Um número excepcional de estrelas brilhantes do aglomerado Hyades encheu o céu em todos os lados do Sol durante o eclipse de 1919. (a) Nesta imagem, a deflexão da luz das estrelas pela gravidade do Sol desloca as posições estelares originais (azul) radialmente para longe do centro do Sol; as mais próximas do centro sofrem a maior mudança.
(b) Uma mudança de escala entre uma exposição e outra desloca as posições estelares radialmente para longe do centro da imagem; os que estão longe do centro mostram as maiores mudanças. Crédito: Physics Today 62, 3, 37 (2009)
Figure 2: An unusual number of bright stars from the Hyades cluster conveniently filled the sky on all sides of the Sun during the 1919 eclipse. (a) In this image, deflection of starlight from the Sun's gravity shifts the original stellar positions (blue) radially away from the center of the Sun; those closest to the center suffer the greatest shift. (b) A change in scale between one exposure and another shifts stellar positions radially away from the center of the image; those far from the center show the greatest shifts. Source: Physics Today 62, 3, 37 (2009)

DATA ANALYSIS_ The fortunate circumstance that the Sun would be in a field containing relatively bright stars gave the astronomers an excellent chance of acquiring good quality images of stars close to the Sun, where fainter stars would be drowned out by the light of the solar corona. The predicted amount of the apparent shift in star positions was, they believed, within the level of accuracy achievable by contemporary astrometric techniques, even allowing for the technical difficulty imposed by transporting delicate equipment to remote locations before installation.

The parsec is defined as the distance at which a star, seen from Earth, will undergo apparent motion,

ANÁLISE DE DADOS_A condição providencial do Sol em um campo contendo estrelas especialmente brilhantes deu aos astrônomos uma excelente chance de adquirir imagens de boa qualidade de estrelas próximas ao Sol. Se não fosse assim, as estrelas mais fracas ficariam submersas sob a luz da coroa solar. Os cientistas acreditavam que o valor do deslocamento aparente previsto nas posições das estrelas estava dentro do nível de precisão alcançável pelas técnicas astrométricas da época, considerando ainda as dificuldades técnicas impostas ao transporte de equipamentos delicados para locações distantes antes da instalação.

O parsec é definido como a distância em que uma estrela, vista da Terra, apresentará por um movimento aparente, devido à paralaxe (diferença na posição aparente de uma estrela vista de dois pontos, diametralmente opostos, na órbita da Terra), de um segundo de arco ao longo de um ano. Nenhuma estrela está dentro de um parsec do nosso sistema solar; portanto, todo o trabalho sobre paralaxe estelar está, naturalmente, na escala do subsegundo de arco, e grande parte bem abaixo do segundo de arco. Dyson tinha uma experiência considerável em trabalhar com paralaxes estelares. Na verdade, tanto Dyson quanto Eddington iniciaram suas carreiras trabalhando em problemas de astrometria, incluindo paralaxe e movimento próprio de estrelas e outros corpos.

O método usado para determinar os deslocamentos aparentes era expor as imagens do campo de estrelas durante o eclipse e depois fazer exposições de comparação do mesmo campo de estrelas à noite, sem o Sol presente. Obviamente, as placas de comparação tinham que ser tomadas em uma época diferente do ano, porque levaria algum tempo para o Sol sair do campo de estrelas das Hyades. Também era desejável que elas fossem tomadas numa época em que o campo de estrelas estivesse na mesma posição no céu, o que significava esperar no local do

due to parallax, of one arcsecond over the course of a year. No stars are within a parsec of our solar system; therefore, all stellar parallax work is subarcsecond in nature, much of it well below the arcsecond. Dyson had considerable experience in working on stellar parallaxes. In fact, both Dyson and Eddington began their careers working on problems of astrometry, including parallax and proper motion of stars and other bodies.

The method used to determine the apparent shifts was to expose pictures of the star field during the eclipse and then take comparison exposures of the same star field at night, without the Sun present. Obviously, the comparison plates had to be taken at a different time of the year, because it would take some time for the Sun to move out of the Hyades star field. It was also desirable that they be taken at a time when the star field was at the same position in the sky, which meant waiting at the eclipse site until the Sun had moved far enough along the ecliptic for the star field to rise to that same height in the sky before sunrise.

For the Sobral team, for whom the eclipse took place in the morning, that meant waiting only a couple of months, which is what it did. But the Príncipe team, for whom totality occurred in the middle of the day, would have had to wait almost half a year to take comparison plates on site, which Eddington did not do. Instead, comparison exposures were taken in the UK before departure.

eclipse até que o Sol tivesse se movido o suficiente ao longo da eclíptica para o campo estelar subir até a mesma altura no céu antes do nascer do sol.

Para a equipe de Sobral, onde o eclipse ocorreria de manhã, isso significava esperar apenas alguns meses, e foi o que aconteceu. Mas para a equipe em Príncipe, onde a totalidade ocorreria ao meio do dia, a espera seria de quase meio ano para tomar as placas de comparação no local, o que Eddington não fez. Em vez disso, exposições de comparação foram tomadas no Reino Unido antes da partida.

Uma vez que problemas com as mudanças de escala e outras complicações poderiam surgir da comparação de exposições em diferentes momentos, locais e diferentes instalações do mesmo equipamento, a equipe de Cambridge também tomou as chamadas placas de verificação de um campo estelar diferente tanto no Reino Unido quanto em Príncipe. Essas placas alertariam a equipe sobre qualquer grande mudança de escala inesperada entre o eclipse e as placas de comparação. E como o Sol nunca apareceu em nenhum dos conjuntos de placas de verificação, elas constituíam um controle sobre o experimento de Eddington. Na verdade, esse papel passivo parece ter sido o plano original de Eddington para elas.

Ao comparar duas imagens diferentes do mesmo campo de estrelas, tomadas em momentos diferentes, deve-se considerar certas mudanças na posição estelar causadas por efeitos astronômicos e atmosféricos previsíveis. Ainda que tiradas com o mesmo instrumento, duas imagens do mesmo campo podem ter sido levemente rotacionadas umas em relação às outras ou, o pior de tudo, podem sofrer variação na ampliação, o que introduz uma mudança relativa de escala entre as duas imagens.

Essa mudança de escala é o efeito mais pernicioso do ponto de vista de alguém interessado em medir a deflexão da luz, porque ela simula o efeito de deflexão da luz. A deflexão da luz move as estrelas radialmente para longe do Sol na imagem. Uma mudança de esca-

Since problematic changes of scale and other complications might arise from comparing exposures at different times and locations and with different installations of the same equipment, the Cambridge team also took so-called check plates of a different star field both in the UK and on Príncipe. Those plates would alert the team about any unexpectedly large change of scale between the eclipse and comparison plates. And because the Sun never appeared in either set of check plates, they constituted a control on Eddington's experiment. Indeed, that passive role seems to have been Eddington's original plan for them.

When comparing two different images of the same star field taken at different times, one must account for certain shifts in stellar position caused by predictable astronomical and atmospheric effects. Even when taken with the same instrument, two images of the same field may be rotated slightly with respect to each other or, worst of all, may vary in magnification, which introduces a relative change of scale between the two images.

That change of scale is the most pernicious effect from the point of view of someone interested in measuring light deflection, because it most closely

mimics the light-deflection effect. Light deflection moves stars radially away from the Sun on the image. A change of scale moves stars radially away from the center of the image, where the Sun is best placed in order to get a symmetrical field of stars close to it.

Fortunately, there is one characteristic difference between the two effects. Light deflection is greatest for those stars closest to the limb of the Sun and minimal for those stars far from it. The reverse is true under a change of scale: stars far from the center of the plate suffer the greatest change in position, while stars near the plate's center are affected least. Thus straightforward comparison of the positions of a number of stars on the two plates can, in principle, disentangle the effects.

Eddington's difficulty with his eclipse plates taken on Príncipe was that only the brightest stars were visible on a couple of plates taken through thinning clouds at the end of totality. With only a few stars to work with, his chances of disentangling shifts caused by scale changes from those caused by light deflection were much reduced. Effectively half of his precious information would be devoted to measuring a number, the scale change, which was of no intrinsic interest.

la move as estrelas radialmente para longe do centro da imagem, onde o Sol é melhor colocado para obter um campo simétrico de estrelas próximo a ele.

Felizmente, existe uma diferença que é característica entre os dois efeitos. A deflexão de luz é maior para as estrelas mais próximas do limbo do Sol e mínima para as estrelas distantes dele. No caso de uma mudança de escala, ocorre o inverso: as estrelas distantes do centro da placa sofrem a maior mudança de posição, enquanto as estrelas próximas ao centro da placa são menos afetadas. Assim, a comparação direta das posições de um número de estrelas nas duas placas pode, em princípio, distinguir os efeitos.

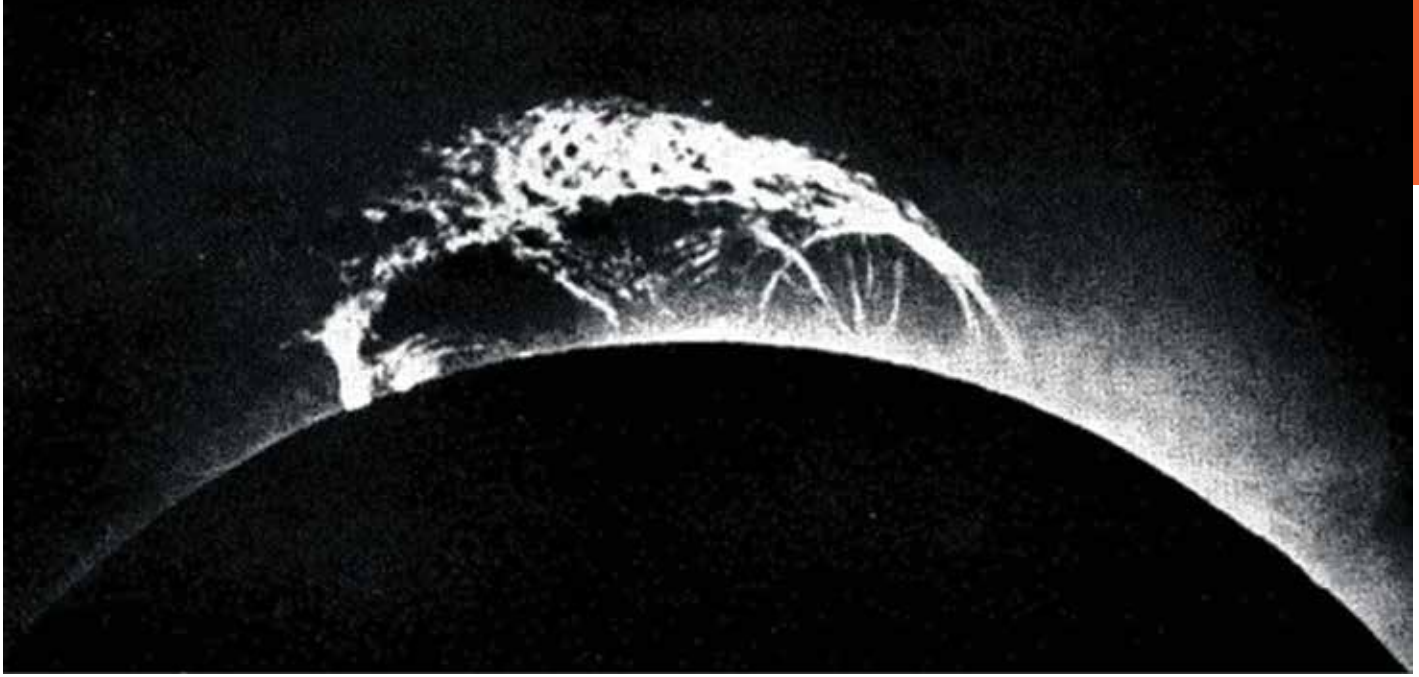
A dificuldade de Eddington com suas placas do eclipse tomadas em Príncipe era que apenas as estrelas mais brilhantes eram visíveis em algumas placas tomadas através de nuvens finas no final da totalidade. Com apenas algumas estrelas para trabalhar, suas chances de desvendar deslocamentos causados por mudanças de escala daqueles causados pela deflexão da luz foram muito reduzidas. Efetivamente, metade de sua preciosa informação seria dedicada a medir um valor, a mudança de escala, que não tinha interesse intrínseco.

Eddington, portanto, voltou-se para um método alternativo de redução de dados, no qual mediu a mudança de escala entre as placas de verificação tomadas em Oxford e as feitas em Príncipe. Ele assumiu que a mudança de escala era a mesma entre as placas de comparação tomadas em Oxford e as placas de eclipse tomadas em Príncipe, e poderia então considerar esse valor em suas equações para essas placas. Assim, toda a informação de medição que ele tinha disponível seria usada para determinar os valores com os quais ele realmente se interessava – a deflexão da luz de cada estrela.

Eddington therefore turned to an alternative method of data reduction, in which he measured the change in scale between the check plates taken in Oxford and those taken on Principe. He assumed that the change of scale was the same as the one between the comparison plates taken in Oxford and the eclipse plates taken on Principe. He could then plug that number into his equations for those plates. Thus all of the measurement information he had available would be going toward establishing the numbers he really cared about—the light deflection for each star.

Figura 3. Uma notável proeminência solar que ocorreu durante o eclipse de 1919, fotografada na Ilha do Príncipe, na costa da África ocidental. Crédito: Acervo ON

Figura 3. A remarkable solar prominence that occurred during the 1919 eclipse, photographed from Principe, an island off the coast of western Africa. Source: ON Archive



Como o próprio Eddington reconheceu, esse método não era seu plano original. Ambas as equipes pretendiam evitar quaisquer argumentos contra a redução de dados medindo diretamente a mudança de escala entre o eclipse e as placas de comparação. Afinal, as placas de verificação de Eddington em Príncipe foram tomadas à noite, e as placas do eclipse foram tiradas durante o dia e para um campo de estrelas em uma parte diferente do céu. Era impossível saber realmente se as mudanças na temperatura e outras condições ambientais poderiam ter mudado a escala nos dois conjuntos de placas.

Em resposta à incerteza, Eddington enfatizou a estabilidade na temperatura do ar tropical úmido em ambas as estações. Uma característica bem conhecida dos eclipses é a repentina queda de temperatura de vários graus durante a totalidade, à medida que a sombra da Lua, na ordem de cem milhas de largura, varre a terra. Mas na Ilha do Príncipe, com suas condições tropicais úmidas e tempo nublado, a temperatura quase não mudou durante a totalidade, de acordo com Eddington; a variação foi menor do que um grau entre a temperatura diurna no momento do eclipse e a temperatura noturna enquanto as placas de verificação foram tiradas. Assim, Eddington sentiu-se confiante de que a mudança de escala medida nas placas de verificação poderia ser aplicada com sucesso às placas de comparação do eclipse.

Enquanto Eddington estava em Cambridge trabalhando em seu esquema revisado de análise de dados, Crommelin e Davidson estavam em Sobral, pegando suas placas de comparação e voltando para o Reino Unido, onde chegaram em 25 de agosto. Em setembro, em Greenwich, Davidson e outro assistente de Greenwich, Herbert Henry Furner (1873- 1952), começaram a medir as posições das estrelas nas placas, sob a supervisão do próprio Dyson.

Pouco restou dos dados de Cambridge, mas quase todas as placas e dezenas de folhas de redução de dados ainda existem nos arquivos de Greenwich. O material oferece uma boa imagem do que aconteceu lá. O mais significante é que não há evidências de que Eddington estivesse presente ou que tenha participado de qualquer redução dos dados de Sobral. Anotações feitas à mão por Dyson aparecem nas notas de redução de dados de Sobral em vários pontos importantes, porém as de Eddington não aparecem em lugar algum. Além disso, as cartas de Eddington na troca de correspondências entre os dois homens

As Eddington himself acknowledged, that method had not been his original plan. Both teams intended to forestall any arguments against their data reduction by directly measuring the scale change between their eclipse and comparison plates. After all, Eddington's check plates on Principe were taken at night, and the eclipse plates were taken during the day of a star field in a different part of the sky. It was impossible to really know whether changes in temperature and other environmental conditions might have changed the scale in the two sets of plates.

In response to the uncertainty, Eddington emphasized the stability in temperature of the humid tropical air at both stations. A well-known feature of eclipses is the sudden drop in temperature of several degrees during totality, as the shadow of the Moon, on the order of a hundred miles wide, sweeps across the land. But on Principe, with its humid tropical conditions and cloudy weather, the temperature barely changed during totality, according to Eddington; the variation was less than a degree between the daytime temperature at the time of the eclipse and the nighttime temperature while the check plates were taken. Thus Eddington felt confident that the change of scale measured from the check plates could be applied successfully to the eclipse-comparison plates.

While Eddington was sitting in Cambridge working on his revised data analysis scheme, Crommelin and Davidson in Sobral were taking their comparison plates and then sailing back to the UK, which they reached by 25 August. In September in Greenwich, Davidson and another Greenwich assistant, Herbert Henry Furner (1873- 1952), began measuring star positions on the plates under the supervision of Dyson himself.

Little survives of the Cambridge data, but nearly all of the plates and dozens of sheets of the data reduction are extant in the Greenwich archives. The material offers a good picture of what transpired there. Most significantly, no evidence exists that Eddington was ever present for, or participated in, any of the Sobral data reduction. Dyson's handwriting appears in the Sobral data-reduction notes at many key points, but Eddington's does not appear anywhere. Furthermore, Eddington's side of an exchange of letters between the

estão preservadas nos arquivos, como mostra a resposta de 3 de outubro de 1919 para uma carta de Dyson que se perdeu:

Caro Dyson

Fiquei muito feliz ao receber sua carta e as medições. Me alegra que as placas de Cortie tenham indicado a deflexão total, não somente pela Teoria, mas porque eu estava preocupado com as placas de Príncipe, e não conseguia ver nenhum modo possível de reconciliá-las com a meia deflexão. Pensei que talvez eu tivesse sido precipitado em adotar minha escala a partir de poucas medidas. Completei agora a minha determinação definitiva de A (5 diferentes de Príncipe versus 5 placas diferentes de Oxford), e ela não é muito diferente da provisória, embora reduza um pouco os meus valores da deflexão. (Arthur S. Eddington para Frank W. Dyson, 3 de outubro de 1919, MS.RGO.8 / 150, Biblioteca da Universidade de Cambridge)

A citação certamente mostra a abordagem de Eddington para a análise de dados com um foco na Teoria. Porém também deixa claro que a primeira informação da redução de dados das placas do telescópio de 10,16cm (referidas aqui como as placas de Cortie, devido a Aloysius Cortie, padre jesuíta que emprestou a lente de 10,16cm para a expedição) veio na carta de Dyson. Aparentemente, Eddington havia sido previamente informado sobre os resultados da redução de dados astrográficos de Sobral, mas sua resposta não foi para intervir na análise das placas de Greenwich. Em vez disso, ele revisou suas próprias placas em um esforço para reconciliá-las com o resultado relatado de Sobral que favoreceu o resultado newtoniano de meia-deflexão.

Assim, devemos acreditar que foi Dyson quem tomou a decisão de ignorar os resultados das placas astrográficas e contar em vez disso, com aqueles das exposições com as lentes de 10,16cm. Portanto, parece mais relevante investigar o viés de Dyson a favor ou contra qualquer Teoria do que se preocupar com Eddington.

De fato, como a grande maioria dos astrônomos da época, Dyson era moderadamente cético em relação à relatividade geral. Em uma carta de 18 de março de 1920 a Frank Schlesinger (1871-1943), diretor do Observatório de Yale, ele declarou:

O resultado foi contrário às minhas expectativas, mas desde que o obtive, tentei entender esse assunto da Relatividade, e certamente é muito abrangente, embora elusivo e difícil. (MS.RGO.8 / 123, Biblioteca da Universidade de Cambridge)

Eddington escreveu de forma semelhante ao matemático Hermann Weyl (1885 -1955), em 18 de agosto de 1920:

two men is preserved in the archives. Consider this 3 October 1919 reply to a lost letter from Dyson:

Dear Dyson,

I was very glad to have your letter & measures. I am glad the Cortie plates gave the full deflection not only because of theory, but because I had been worrying over the Príncipe plates and could not see any possible way of reconciling them with the half deflection. I thought perhaps I had been rash in adopting my scale from few measures. I have now completed my definite determination of A (5 different Príncipe vs 5 different Oxford plates), it is not greatly different from the provisional though it reduces my values of the deflection a little. (Arthur S. Eddington to Frank W. Dyson, 3 October 1919, MS.RGO.8/150, Cambridge University Library)

The quote certainly showcases Eddington's theory-centric approach to the data analysis. But it also makes clear that his first knowledge of the reduction of data from the 4-inch plates (referred to here as the Cortie plates, after Aloysius Cortie, the Jesuit priest who loaned the 4-inch lens to the expedition) was in a letter from Dyson. Apparently, Eddington had been previously informed of the results of the Sobral astrographic data reduction, but his response was not to intervene in the analysis of the Greenwich plates. Rather, he reviewed his own plates in an effort to reconcile them with the reported result from Sobral that favored the half-deflection Newtonian result.

Accordingly, we must believe that it was Dyson who made the decision to ignore the results from the astrographic plates and rely instead on those from the 4-inch-lens exposures. Therefore, it seems more relevant to inquire into Dyson's bias for or against either theory than to worry about Eddington's.

In fact, like the vast majority of astronomers at the time, Dyson was moderately skeptical of general relativity. In an 18 March 1920 letter to Frank Schlesinger (1871-1943), director of the Yale Observatory, he stated:

The result was contrary to my expectations, but since we obtained it I have tried to understand the Relativity business, & it is certainly very comprehensive, though elusive and difficult. (MS.RGO.8/123, Cambridge University Library)

Eddington wrote similarly to the mathematician Hermann Weyl (1885-1955) on 18 August 1920:

Foi o entusiasmo de Dyson que deixou as expedições do eclipse prontas para começar, apesar das grandes dificuldades. Ele era naquele tempo muito cético sobre a Teoria, embora profundamente interessado nela; e ele percebeu sua grande importância. (Hermann Weyl Nachlass, Hs 91: 523, ETH-Bibliothek Zürich)

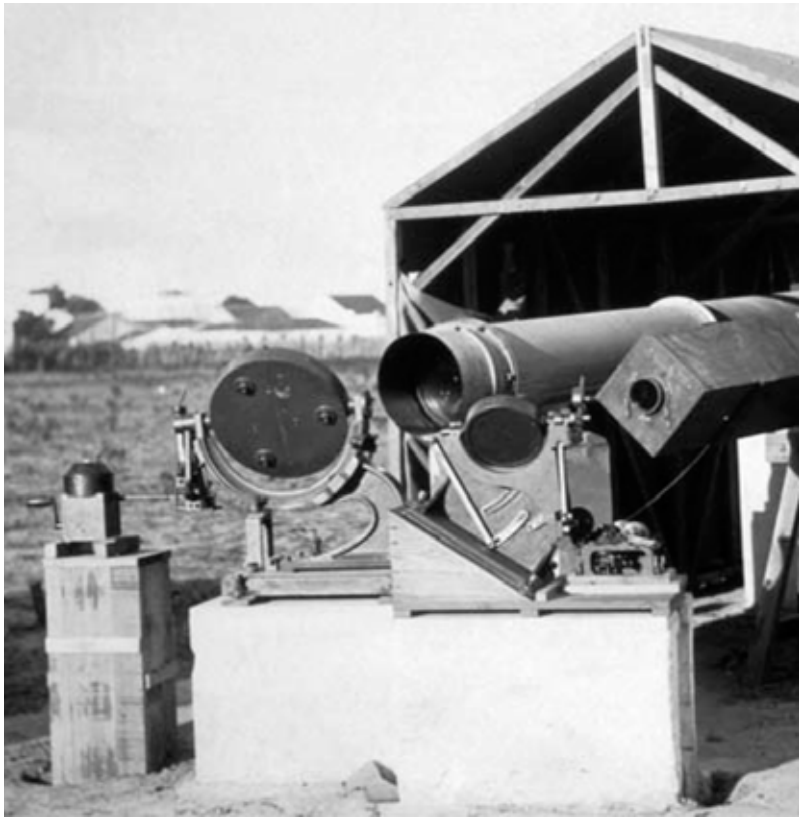
Com relação à questão da reconciliação com a Alemanha, frequentemente citada como uma motivação adicional para o viés de Eddington favorável à Teoria de Einstein, é provável que, nesse caso, Dyson também tivesse opiniões mais convencionais. O obituário de Dyson (publicado em 1939) afirma que ele ajudou a promover a reconciliação pós-guerra, mas isso deve ser posto em contexto.

Nos primeiros anos de sua existência, a União Astronômica Internacional, uma organização em cuja formação ele desempenhou um papel fundamental após a Primeira Guerra Mundial, não permitiu a adesão da Alemanha ou de seus aliados. Um bom exemplo da visão típica do astrônomo inglês, tanto da Teoria da Relatividade quanto da ciência alemã, é dado por uma carta entre dois astrônomos preservada nos arquivos do Royal Greenwich Observatory com o material do eclipse:

A segunda Teoria de Einstein [relatividade geral] ... é muito mais especulativa e temo que apenas a confirmação por observações me fará aceitá-la. Além disso, a análise é bestial demais para colocar em palavras. Entendo bem os compatriotas de Riemann e Christoffel queimando Louvain e afundando o Lusitania. (Rudolph Moritz a Philip H. Cowell, 1 de março de 1918, MS.RGO.8 / 123, Biblioteca da Universidade de Cambridge)

Mas mesmo se Dyson não fosse tendencioso para a relatividade no início, não poderia ter sido influenciado pela certeza visionária de seu colega mais jovem e mais atualizado teoricamente?

Há pouca razão para pensar assim. Dyson era uma alta autoridade da astronomia britânica e, embora a fama de Eddington hoje seja muito maior, os dois estavam em pé de igualdade em termos de reputação pública e reputação científica na época do eclipse. Além disso, há boas razões para acreditar que Dyson tomou uma decisão cientificamente correta ao escolher ignorar os dados astrográficos.



It was Dyson's enthusiasm that got the eclipse expeditions ready to start in spite of very great difficulties. He was at that time very skeptical about the theory though deeply interested in it; and he realized its very great importance. (Hermann Weyl Nachlass, Hs 91:523, ETH-Bibliothek Zürich)

Regarding the question of reconciliation with Germany, often cited as a further motivation for Eddington's bias toward Einstein's theory, it is probable that in that case, too, Dyson held more mainstream views. Dyson's obituary (published in 1939) states that he helped further postwar reconciliation, but that should be set in context.

For the first few years of its existence, the International Astronomical Union, an organization in whose formation he played a key role after World War I, did not permit Germany or its allies membership. A good example of the typical English astronomer's view of both relativity theory and German science is given by a letter between two astronomers preserved in the Royal Greenwich Observatory archives with the eclipse material:

The second theory of Einstein [general relativity] ... is far more speculative and I fear only accord with observations will make me accept it. Besides the analysis is too beastly for words. I can well understand the compatriots of Riemann and Christoffel burning Louvain and sinking the Lusitania. (Rudolph Moritz to Philip H. Cowell, 1 March 1918, MS.RGO.8/123, Cambridge University Library)

But even if Dyson was not biased toward relativity at the outset, might he not have been swayed by the visionary certainty of his younger and more theoretically up-to-the-minute colleague Eddington?

There is little reason to think so. Dyson was the senior man in British astronomy, and although Eddington's fame is nowadays much greater, the two were on a roughly equal footing in terms of their public fame and scientific reputation at the time of the eclipse. Furthermore, there are good grounds for believing that Dyson made the scientifically correct decision in choosing to ignore the astrographic data.

Figura 4: Instrumentos em Sobral, Brasil (CE). A lente de 10,16cm está no tubo quadrado à direita, e a lente astrográfica, escolhida por seu amplo campo de visão, está no tubo circular à esquerda. Na frente dos tubos estão espelhos que são acionados por um mecanismo que mantém as imagens estelares na mesma posição nas placas durante uma exposição. O espelho à esquerda foi o principal suspeito pela baixa qualidade nas imagens produzidas com as lentes astronômicas durante o eclipse de 1919. Crédito: Science Museum Group Collection

Figure 4: Instruments at Sobral, Brazil. The 4-inch lens is in the square tube on the right, and the astrographic lens, chosen for its wide field of view, is in the circular tube on the left. In front of the tubes are mirrors that are driven by a mechanism that keeps the stellar images at the same position on the plates during an exposure. The mirror on the left was the chief suspect in the poor-quality astrographic-lens images produced during the 1919 eclipse. Source: Science Museum Group Collection

REANÁLISE DE 1979_ Desde o início a equipe de Greenwich planejou fazer da lente astrográfica seu principal instrumento. Mas essa lente nunca tinha sido usada em um eclipse, e temendo problemas com o espelho e seu mecanismo de acionamento a equipe de Sobral decidiu levar um instrumento de backup baseado na lente de Cortie com 10,16cm. Imediatamente após o eclipse, a revelação de algumas placas no local alertou Crommelin e Davidson de que a configuração astrográfica havia perdido o foco durante o eclipse. As estrelas estavam visivelmente entremeadas, um problema relatado por Dyson em uma reunião da Royal Astronomical Society, em 13 de junho.

O mais curioso é que quando foram tomadas as placas de comparação dois meses depois, o instrumento estava novamente em foco.

Apesar de toda preocupação com a qualidade das placas, Dyson e sua equipe foram em frente e reduziram os dados astrográficos primeiro. No entanto, eles encontraram dificuldades significativas na medição das placas. Diante da imprecisão das imagens marcadas com linhas e fora de foco, eles mediram as posições das estrelas na placa astrográfica do eclipse somente em uma coordenada. Tendo, dessa forma, descartado a metade de seus dados no início, eles forçaram e obtiveram o controverso resultado de 0,93", que foi relatado a Eddington em algum momento antes de 3 de outubro. Depois que reduziram os dados das lentes de 10,16cm, auxiliados pelo foco nítido obtido nestas placas do eclipse, eles se depararam com o problema de que os dois instrumentos produziram medições muito discordantes entre si.

O interessante é que a equipe de Greenwich tentou um método alternativo de análise com os dados

1979 REANALYSIS_ The Greenwich team had planned from the beginning to make its astrographic lens its main instrument. But that lens had never been used at an eclipse, and fears of problems with the mirror and its driving mechanism encouraged the Sobral team to bring a backup instrument based on the Cortie 4-inch lens. In the immediate aftermath of the eclipse, onsite development of some plates alerted Crommelin and Davidson that the astrographic setup had lost focus during the eclipse. The stars were noticeably streaky, a problem reported by Dyson at a meeting of the Royal Astronomical Society as early as 13 June.

Disturbingly, when the comparison plates were taken two months later, the instrument was once again in focus.

Despite any worries about the quality of the plates, Dyson and his team went ahead and reduced the astrographic data first. Nevertheless, they encountered significant difficulties in measuring the plates. Due to the imprecision of the streaky and out-of-focus images, they measured the star positions on the astrographic eclipse plate in only one coordinate. Having thus thrown away half their data at the outset, they pressed on and recovered the controversial result of 0.93", which they reported to Eddington sometime before 3 October. Once they had reduced the 4-inch-lens data, aided by the sharp focus obtained on the eclipseplates, they were confronted with the problem that their two instruments had produced measurements in profound disagreement with each other.

Interestingly, the Greenwich team tried an alternative method of analysis with the astrographic data. In Dyson's section of the joint report, he states that an alternative method of analysis recovered a result

astrográficos. Na parte elaborada por Dyson do relatório conjunto, ele afirma que um método alternativo de análise obteve um resultado de 1,52" a partir dos dados astrográficos de Sobral. Um artigo posterior de 1921 basicamente repete o comentário (citando valores ligeiramente diferentes por razões não declaradas):

Admitindo que a escala mudou, então a deflexão de Einstein da série de placas é 0,90"; admitindo que nenhuma mudança real de foco ocorreu, mas apenas um borrão nas imagens, o resultado é 1,56". Contudo, pouco peso é dado a essa série de fotografias.

O que isso significa é que Dyson e seus colegas tentaram algo próximo ao método de análise de Eddington. Eles não tinham as placas de verificação, como Eddington havia feito, mas fizeram as placas de comparação no mesmo local e com o mesmo equipamento que as placas do eclipse.

Se Eddington pudesse presumir que nenhuma mudança de escala ocorrera entre as placas do eclipse feitas durante o dia e as placas de verificação feitas durante a noite em Príncipe, poderia o mesmo truque funcionar para Sobral, onde as condições tropicais também significavam pouca mudança de temperatura?

Eles calcularam a mudança de escala devido a efeitos astronômicos conhecidos e aplicaram a mudança nas diferenças das posições das estrelas entre o eclipse e as placas de comparação. O resultado foi um valor maior que 1,5" para a deflexão da luz, não muito longe do resultado de Eddington na Ilha do Príncipe. O que significa que a análise de dados das placas astrográficas revelou uma inesperada e grande mudança de escala por algum defeito na instrumentação.

of 1.52" from the Sobral astrographic data. A later 1921 paper essentially repeats the remark (quoting slightly different figures for unstated reasons):

If it is assumed that the scale has changed, then the Einstein deflection from the series of plates is 0.90″; if it is assumed that no real change of focus occurred, but merely a blurring of the images, the result is 1.56″; little weight is, however, attached to this series of photographs.

What that means is that Dyson and his colleagues made an attempt at something close to Eddington's method of analysis. They did not have check plates, as he did, but they did take the comparison plates at the same site and with the same equipment as the eclipse plates.

If Eddington could assume that no change of scale occurred between daytime eclipse plates and nighttime check plates on Principe, might the same trick work for Sobral, where the tropical conditions also meant little change in temperature?

They calculated the change in scale due to known astronomical effects and applied the change to differences in star positions between eclipse and comparison plates. The result was a value greater than 1.5" for the light deflection, not far off Eddington's Príncipe result. The implication, then, was that the data analysis of the astrographic plates had uncovered an unexpectedly large change of scale that was due to some defect in the instrumentation.

Dyson e seus colaboradores provavelmente discutiram nas seguintes linhas de raciocínio. Se o cálculo de uma grande mudança de escala nas chapas astrográficas estiver correto, o instrumento sofreu uma mudança significativa nas medidas devido à mudança de temperatura durante o eclipse. Isso significaria que o valor da deflexão medido era consistente com a Teoria newtoniana.

Alternativamente, se alguém argumentasse que o instrumento pode ter apenas perdido o foco, sem que houvesse uma mudança de escala problemática, então o resultado implícito era mais consistente com a Teoria de Einstein e com os resultados obtidos pelas lentes astronômicas de 10,16cm de Príncipe e de Sobral. O apoio à Teoria newtoniana era, assim, em certo sentido, logicamente incompatível com o fato de os instrumentos terem se comportado da maneira esperada. Eu suspeito que essa linha de raciocínio tenha influenciado fortemente a decisão da equipe de Greenwich de excluir os dados astrográficos de seu relatório final.

Curiosamente, uma moderna reanálise de 1979 dos dados realizados no Royal Greenwich Observatory confirma essa visão. A pedido do então diretor Francis Graham Smith (1923) e de Andrew Murray (1926-2012), o especialista em astrometria do observatório, Geoffrey Harvey e E. D. Clements pegaram as placas de 1919 dos dois instrumentos de Sobral e mediram as posições das estrelas usando uma máquina moderna de medição de placas. Os dados foram então analisados por um software de redução de dados astrométricos desenvolvido por Murray. A tabela mostrada aqui compara os resultados de Harvey com os da equipe original de 1919 (todas as quantidades em segundos de arco).

Dyson and his collaborators probably argued along the following lines. If their calculation of a large change of scale in the astrographic plates was correct, then the instrument must have undergone a significant change in magnification due to the temperature change during the eclipse. That would mean that the deflection value measured was consistent with Newtonian theory.

Alternatively, if one argued that the instrument might have simply lost focus, with no problematic change of scale having taken place, then the implied result was more consistent with the Einsteinian theory and with the results obtained by the Sobral 4-inch and Principe astrographic lenses. Support for the Newtonian theory was thus, in some sense, logically incompatible with the instruments having behaved in the intended manner. I suspect that line of argument strongly influenced the Greenwich team's decision to exclude the astrographic data from their final report.

Interestingly, a modern 1979 reanalysis of the data undertaken at the Royal Greenwich Observatory supports that view. At the behest of then director Francis Graham Smith (1923) and Andrew Murray (192-2012), the observatory's astrometry expert, Geoffrey Harvey and E. D. Clements took out the 1919 plates from the two Sobral instruments and measured star positions using a modern plate-measuring machine. Data were then analysed by astrometric data-reduction software written by Murray. The table shown here compares Harvey's results with those of the original 1919 team (all quantities in arcseconds).

INSTRUMENTO INSTRUMENT	RESULTADO DE 1919 1919 RESULT	RESULTADO DE 1979 1979 RESULT
Lentes de 4 polegadas 4-inch lens	1.98″ ± 0.18″	1.90″ ± 0.11″
Lentes astrográficas Astrographic lens	0.93″	1.55″ ± 0.34″

Tabela 1. UMA COMPARAÇÃO DE DADOS_Lembremos que o resultado alternativo de Dyson para os dados astrográficos foi de 1,52" (sem a margem de erro).
Table 1. A COMPARISON OF DATA_Recall that Dyson's alternative result for the astrographic data was 1,52" (with no margin of error).

Os resultados do instrumento com a lente de 10,16cm concordam bastante com as medidas originais. O que mais chama a atenção é o estreito acordo entre o resultado para a lente astrográfica e o valor alternativo dado por Dyson e Crommelin em 1919. Embora possa ser coincidência, a reanálise fornece, após o fato, justificativa para a visão de que o problema real com os dados astrográficos de Sobral foram a dificuldade de separar a mudança de escala da deflexão da luz, por conta dos meios limitados disponíveis em 1919.

Ironicamente, no entanto, o artigo de 1979 não teve nenhum impacto sobre a história emergente de que algo estava errado sobre o experimento de 1919. De fato, até onde posso dizer, o artigo nunca foi citado por ninguém, exceto por uma breve e vaga referência em *Uma breve história do tempo*, de Stephen Hawking. Hawking, no entanto, lembrou a reanálise como para mostrar que a medida original não poderia ter a precisão que se reivindicou, o que levou um membro da equipe de 1979 a emitir uma carta de esclarecimento.

The results of the 4-inch-lens instrument agree rather well with the original measures. What is most striking is the close agreement between the result for the astrographic lens and the alternative value given by Dyson and Crommelin in 1919. Although it could be coincidence, the reanalysis provides after-the-fact justification for the view that the real problem with the Sobral astrographic data was the difficulty, with the limited means available in 1919, of separating the scale change from the light deflection.

Ironically, however, the 1979 paper had no impact on the emerging story that something was fishy about the 1919 experiment. Indeed, so far as I can tell, the paper has never been cited by anyone except for a brief, vague reference in Stephen Hawking's *A Brief History of Time*. 13 Hawking, however, recalled the reanalysis as showing that the original measurement could not have achieved the accuracy it claimed for itself, which prompted a member of the 1979 team to issue a clarification letter.

GANHANDO PERSPECTIVA_ A última expedição profissional de observação de um eclipse para realizar o experimento de deflexão da luz foi em 1973, liderada por uma equipe da Universidade do Texas e motivada em parte pelo desejo de testar a Teoria de Einstein contra a Teoria de tensores escalares Jordan-Fierz-Brans-Dicke. Discriminar entre as previsões dessas Teorias exigiu uma precisão muito maior do que poderia ter sido alcançado em 1919 e pode ter promovido uma avaliação mais crítica do experimento anterior. Desde 1973, os radioastrônomos são capazes de realizar a medição com mais precisão, observando quasares sendo ocultados pelo sol.

Da mesma forma, filósofos como Earman e Glymour estão lidando com a questão epistemológica de se é realmente possível que as Teorias sejam derrubadas por experimentos individuais. As medições de 1919 não foram suficientes, por si só, para derrubar Newton. Infelizmente, esse ponto bastante sutil tornou-se grosseiro pela repetição da acusação de que Eddington e Dyson eram

GAINING PERSPECTIVE_ When interpreting experimental results, context is everything. The last professional eclipse expedition to perform the light-bending experiment was in 1973, led by a University of Texas team that was motivated in part by a desire to test Einstein's theory against the Jordan-Fierz-Brans-Dicke scalar–tensor theory. Discriminating between the predictions of those theories demanded far greater precision than could have been achieved in 1919 and may have fostered a more critical evaluation of the earlier experiment. Since 1973, radio astronomers have been able to perform the measurement more accurately by observing quasars being occulted by the Sun.

Similarly, philosophers like Earman and Glymour are grappling with the epistemological issue of whether it is really possible for theories to be overthrown by individual experiments. The 1919 measurements were not sufficient, by themselves, to overthrow Newton. Unfortunately, that rather subtle point has become coarsened by repetition into a charge that Eddington and Dyson were prejudiced

by virtue of simply being incapable of making measurements of the required accuracy. I argue that they had reasonable grounds for making their central claim that their results were not compatible with Newton's theory but were broadly compatible with Einstein's. In that sense their efforts were as important in the replacement of Newtonian gravity with general relativity as any single experiment ever can be.

Dyson and his collaborators were anxious to repeat their measurements and employed methods based on the use of check plates to provide an independent measure of scale change at the 1922 eclipse. They were foiled by bad weather, although a group from the Lick Observatory did provide new measures that agreed with the 1919 results. Although they did not have the last word on the light-bending experiment, and however blessed by fortune they may have been to obtain the data they did, the men of 1919 should be given credit for conducting a difficult experiment with skill, insight, and honesty under extraordinarily difficult circumstances. Their work was a major contribution to the emergence of general relativity as one of the leading theories of modern physics.

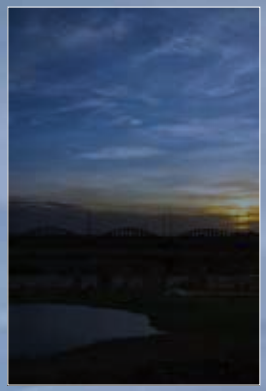
preconceituosos, simplesmente por serem incapazes de fazer medições com a precisão necessária. Eu argumento que eles tinham motivos razoáveis para fazer a alegação central de que seus resultados não eram compatíveis com a Teoria de Newton, mas eram amplamente compatíveis com os de Einstein. Nesse sentido, seus esforços foram tão importantes na substituição da gravidade newtoniana com a relatividade geral quanto qualquer experimento individual pode ser.

Dyson e seus colaboradores estavam ansiosos para repetir suas medições e empregaram métodos baseados no uso de placas de verificação para fornecer uma medida independente de mudança de escala no eclipse de 1922. Eles foram frustrados pelo mau tempo, embora um grupo do Observatório Lick tenha fornecido novas medidas que concordaram com os resultados de 1919. Embora eles não tivessem a última palavra no experimento de deflexão da luz, e por mais abençoados que tenham sido para obter os dados como o fizeram, os homens de 1919 deveriam receber crédito por conduzir uma experiência difícil com habilidade, discernimento e honestidade, sob circunstâncias extraordinariamente difíceis. Seu trabalho foi uma contribuição importante para o surgimento da relatividade geral como uma das principais Teorias da física moderna.

Einstein e a expansão do Universo

Jailson Alcaniz
Observatório Nacional

Jailson Alcaniz
National Observatory, Brazil



Einstein and the expansion of the Universe

Logo após a descoberta da expansão do universo, Einstein considerou a constante cosmológica (Λ) – atualmente entendida como uma forma de energia inerente ao espaço vazio – o maior erro da sua vida. No entanto, ratificando a afirmação de Joyce – "um homem de gênio não comete erros; seus erros decorrem da vontade e são os portais das descobertas" –, as observações atuais mostram um universo em expansão acelerada e apontam para Λ como o principal mecanismo da aceleração cósmica.

O MODELO COSMOLÓGICO DE EINSTEIN_Das quatro interações fundamentais existentes na natureza, a gravidade é aquela que determina a evolução e estrutura de grande escala do universo. Sendo assim, a construção de um modelo capaz de explicar satisfatoriamente a evolução do cosmos requer uma Teoria consistente do campo gravitacional. Em sua Teoria do espaço, tempo e gravidade, conhecida como Teoria da Relatividade Geral (TRG) e concluída em 1915, Einstein (1879-1955) demonstrou que a curvatura do espaço-tempo de uma dada região, identificada agora como a própria manifestação da gravidade – e responsável não somente pela deformação do espaço, mas também por mudanças no fluxo do tempo – não é uma entidade independente, sendo esta determinada pelo seu conteúdo material e energético. Uma descrição sucinta da TRG é encontrada nas palavras do Físico americano John Archibald Wheeler (1911-2008):

"Spacetime tells matter how to move, and matter tells spacetime how to curve." (O espaço-tempo diz à matéria como se mover, e a matéria diz ao espaço-tempo como se curvar).

Subsequent to the discovery of the expanding Universe, Einstein abandoned the cosmological constant (Λ), considering it to be the greatest blunder of his life. Nowadays, Λ is seen as an intrinsic form of energy in empty space and current observations that indicate a universe in accelerated expansion also pinpoint Λ as the principal mechanism of cosmic acceleration.

EINSTEIN'S COSMOLOGICAL PRINCIPLE_Of the four fundamental interactions that exist in nature, gravity is the one that determines large scale evolution and the structure of the Universe. Therefore, the construction of a model to satisfactorily explain the evolution of the cosmos requires a consistent theory of the gravitational field. In his theory of space, time and gravity, known as General Theory of Relativity (GR), concluded in 1915, Einstein (1879-1955) showed that the curvature of space-time of a given region, now identified as gravity itself – and not only responsible for deforming space, but also for changes in the flow of light – it is not an independent entity being determined by its material and energetic content. A succinct description of GR is found in the words of the American physicist, John Archibald Wheeler (1911-2008):

"Spacetime tells matter how to move, and matter tells spacetime how to curve."

Immediately after publication of GRT, in a letter sent to the Dutch astronomer, Willem de Sitter (1872-1934), Einstein showed himself anxious to apply his theory and the cosmological problem was definitely pertinent. In 1917, he inaugurated relativist cosmology with the article: "Cosmological considerations in the General Theory of Relativity", first presented at the Prussian Academy of Sciences in Berlin and published one week later in the Academy's proceedings. As a matter of interest, at the beginning of 1916, just a few months after the publication of General Relativity Theory, Karl Schwarzschild (1873-1916) discovered the mathematical solution to Einstein's equations, describing a type of object with peculiar characteristics, that some decades later Wheeler would call black holes.

The cosmological model proposed by Einstein was homogenous, isotropic and spherical (finite) and assumed a static distribution of matter. This was physically possible if a term of repulsive gravity was added to the field equations of GR, in order to counterbalance the gravitational attraction generated by the matter contained in the Universe. This term, now known as the cosmological constant, is represented by the Greek letter Λ. Although it compromised the simplicity of the theory, Einstein had already perceived this as a possible extension to his field equations and it was, therefore, perfectly compatible with GR.

Numa carta enviada ao astrônomo holandês Willem de Sitter (1872-1934), logo após a publicação da TRG, Einstein se mostrava ansioso para aplicar sua teoria e o problema cosmológico era certamente relevante. Em 1917, ele inaugurou a Cosmologia Relativística com o artigo intitulado "Cosmological considerations in the General Theory of Relativity", primeiramente apresentado à Academia Prussiana de Ciências em Berlim e publicado, uma semana depois, nos *proceedings* dessa mesma Academia. A título de curiosidade, no início de 1916, apenas alguns meses após a publicação da TRG, Karl Schwarzschild (1873-1916) descobriu a solução matemática das equações de Einstein que descreve um tipo de objeto com características peculiares e que viria a ser chamado por Wheeler de Buraco Negro algumas décadas depois.

O modelo cosmológico proposto por Einstein era homogêneo, isotrópico, esférico (finito) e assumia uma distribuição estática de matéria, algo fisicamente possível se um termo de gravidade repulsiva fosse adicionado às equações de campo da TRG, contrabalanceando, assim, a atração gravitacional gerada pelo conteúdo material existente no universo. Esse termo – conhecido atualmente como constante cosmológica e representado pela letra grega Λ – embora comprometesse a simplicidade da Teoria, já havia sido percebido por Einstein como uma possibilidade de extensão de suas equações de campo, sendo, portanto, perfeitamente compatível com a TRG.

Fisicamente, Λ age como uma força repulsiva que aumenta com a distância enquanto a atração gravitacional usual decresce com a distância. Assim, uma pequena mudança na configuração de equilíbrio poderia, por exemplo, aumentar a repulsão gravitacional produzida por Λ e acelerar o universo.

O modelo proposto era, portanto, instável em relação a quaisquer perturbações da densidade de matéria, um aspecto relevante para a realidade física do modelo, aparentemente ignorado por Einstein. Uma outra solução das equações de Einstein com Λ e sem matéria foi proposta logo em seguida por de Sitter. Nesta, formalmente estática, partículas de teste eram aceleradas e sinais luminosos enviados entre observadores mostravam um aumento no comprimento de onda, desviando-se para o vermelho do espectro eletromagnético.

Physically, Λ acts as a repulsive force that increases with distance whilst usual gravitational attraction decreases with distance. Thus, a small change in the configuration of balance could, for example, increase the gravitational repulsion produced by Λ and accelerate the universe.

Therefore, the proposed model was unstable in relation to any disturbance of density of matter. This was significant to the physical reality of the model, that was seemingly unknown to Einstein. Another solution of the Einstein's equations with Λ and without matter was subsequently proposed by de Sitter. In this formally static proposal, test particles were accelerated and light signals, sent between observers, showed an increase in wavelength, deviating to red in the electromagnetic spectrum.

Figura 1. Da esquerda para a direita: Slipher, Lemaître e Hubble, três dos principais nomes envolvidos. Crédito: Wikimedia Commons
Figure 1. From left to right: Slipher, Lemaître and Hubble, three of the principal figures. Source: Wikimedia Commons

Uma mudança radical na descrição do universo aconteceu alguns anos mais tarde quando o físico e meteorologista russo Alexander Friedmann (1888-1925) obteve soluções expansionistas da TRG sem constante cosmológica tanto para um universo esférico ou fechado (1922) – que expande até um raio máximo e contrai posteriormente – quanto para um universo hiperbólico ou aberto – em que a atração gravitacional dos seus constituintes é insuficiente para "frear" completamente a expansão (1924).

A reação de Einstein ao modelo expansionista de Friedmann não foi positiva. Mas, após escrever uma primeira nota apontando um erro matemático inexistente, ele se retratou numa nota posterior que foi motivada por uma carta do próprio Friedmann e entregue a Einstein pelo físico russo Yuri Krutkov (1890-1952) em maio de 1923. Einstein, no entanto, continuou convencido que a solução de Friedmann era fisicamente irrealista. Essa mesma opinião, ele teve do modelo também expansionista proposto, em 1927, pelo físico e clérigo belga Georges Lemaître (1984-1966) – a esse modelo, segundo o próprio Lemaître, Einstein se referiu como abominável.

Em seu artigo, intitulado "Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques", Lemaître obteve soluções dinâmicas da TRG, a partir das quais ele derivou o que hoje conhecemos como a Lei de Hubble-Lamaître, ou seja, que a velocidade de recessão ou afastamento das galáxias em qualquer direção é proporcio-

A radical change in the description of the Universe occurred some years later when the Russian physicist and meteorologist, Alexander Friedmann (1888-1925), obtained expansionist solutions of GR without the cosmological constant, for both a spherical or closed universe (1922) – that expands to a maximum radius and then contracts – and a hyperbolic or open universe in which gravitational attraction of its constituents is not sufficient to put a complete 'stop' to expansion (1924).

Einstein's reaction to Friedmann's expansionist principle was not positive. But, after writing an initial letter pointing out a mathematical error, he apologised in a subsequent one, spurred by a note from Friedmann himself that was delivered to Einstein by the Russian physicist Yuri Krutkov (1890-1952) in May 1923. However, Einstein remained convinced that Friedmann's solution was physically unrealistic. He held the same opinion about another expansionist model, in 1927, by the Belgian physicist and priest, Georges Lemaître (1984-1966). According to Lemaître himself, Einstein referred to this model as abominable.

In his article "Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques," Lemaître obtained dynamic solutions of GR, from which he derived what is known today as Hubble-Lamaître's Law, i.e., that the receding velocity of galaxies in any direction is proportional to its distance – as expected for uniform expansion. Lemaî-

nal à sua distância – como esperada para uma expansão uniforme. Lemaître ainda utilizou as medidas de velocidade de galáxias publicadas, em 1925, por Gustaf Strömberg (1882-1962), e no ano seguinte, por Edwin Hubble (1889-1953) para derivar o valor da taxa de expansão do universo, isto é, 625 km/s/Mpc, valor esse que é aproximadamente uma ordem de magnitude maior do que o atualmente medido, cerca de 70 km/s/Mpc.

É importante destacar que a grande maioria das medidas de velocidade radial publicadas por Strömberg e utilizadas por Lemaître foram realizadas pelo astrônomo americano Vesto Melvin Slipher (1875-1969). Em sua amostra de 1923, Slipher encontrou uma preponderância de velocidades de afastamento – das 41 galáxias observadas, 36 estavam se afastando com velocidade de até 1800 km/s. Tal resultado já poderia ser entendido como uma evidência para um universo em expansão, o que, de fato, foi percebido pelo astrônomo inglês Arthur Eddington (1882-1944).

A confirmação da expansão do universo veio definitivamente com o trabalho de Edwin Hubble, publicado em 1929, e com o artigo de Hubble e Milton Humason (1891-1972), publicado em 1931, que estendeu as observações existentes para distâncias de até algumas dezenas de Mpc. Esses trabalhos, juntamente com o artigo publicado por Lamaître

tre also used measurements of speed from galaxies published in 1925 by Gustaf Strömberg (1882-1962), and in the following year by Edwin Hubble (1889-1953), to derive the value of the rate of expansion of the Universe, i.e., 625 km/s/Mpc. This value is approximately one order of magnitude greater than the one currently measured – around 70 km/s/Mpc.

It is worthy of note that the vast majority of the measurements of radial velocity published by Strömberg and used by Lemaître were carried out by the American astronomer, Vesto Melvin Slipher (1875-1969). In his 1923 presentation, Slipher found a preponderance of receding velocities. Of the 41 galaxies observed, 36 were moving away at a speed of up to 1800 km/s. This result could already be understood as evidence that the Universe was expanding, which had in fact been perceived by the English astronomer, Arthur Eddington (1882-1944).

Confirmation that the Universe was expanding was ultimately corroborated with Edwin Hubble's work, published in 1929 and with an article by Hubble and Milton Humason (1891-1972), published in 1931, that extended existing observations to distances of up to several tens of Mpc. This work, together with the article published by Lamaître in 1927, launched observational cosmology and was a landmark in our understanding of the Universe.

Once the expansion of the Universe had been confirmed, Einstein abandoned the idea of a static universe and according to the Russian physicist, George Gamow (1904-1968), he con-

tinued to say that Λ had been the biggest mistake of his life:

"Einstein remarked to me many years ago that the cosmic repulsion idea was the biggest blunder he had made in his entire life."

There is some controversy over whether Einstein actually made this comment. In any case it is certain that Einstein abandoned Λ and made his position about the inclusion of the cosmological constant in GR clear, in the book *The Meaning of Relativity*:

"If Hubble's expansion had been discovered at the time of the creation of the general theory of relativity, the cosmological member would never have

UMA ÓTIMA DISCUSSÃO sobre as controvérsias envolvidas na descoberta da expansão do universo pode ser encontrada no artigo de M. Livio, publicado em 2011, com importantes referências, e também na análise de John A. Peacock sobre o papel de Slipher na descoberta da expansão do universo, no artigo publicado em 2013.

AN EXCELLENT DISCUSSION of the controversies surrounding the discovery of the expanding Universe can be found in M. Livio's article, published in 2011. See also John A. Peacock's article published in 2013 on the role of Slipher in discovering the expansion of the Universe.

em 1927, inauguraram a cosmologia observacional e marcam um ponto de inflexão no nosso entendimento do universo, com uma das principais descobertas científicas do século 20.

Com a confirmação da expansão do universo, Einstein abandonou a ideia de um universo estático e, segundo o físico russo George Gamow (1904-1968), ele ainda havia comentado, há muitos anos, que a ideia da repulsão cósmica foi o maior erro que ele havia cometido em toda a sua vida: "Einstein remarked to me many years ago that the cosmic repulsion idea was the biggest blunder he had made in his entire life".

Alguma controvérsia existe se, de fato, Einstein fez tal comentário. De qualquer forma, é certo que Einstein abandonou Λ e deixou claro sua opinião sobre a inclusão da constante cosmológica na TRG no livro *The meaning of Relativity*:

"If Hubble's expansion had been discovered at the time of the creation of the general theory of relativity, the cosmological member would never have been introduced. It seems now so much less justified to introduce such a

member into the field equations, since its introduction loses its sole original justification." ("Se a expansão do Hubble tivesse sido descoberta no momento da criação da Teoria da Relatividade Geral, o termo cosmológico nunca teria sido introduzido. E agora, parece ainda menos apropriado introduzir tal termo nas equações de campo, uma vez que sua introdução perde a única justificativa original", em tradução livre).

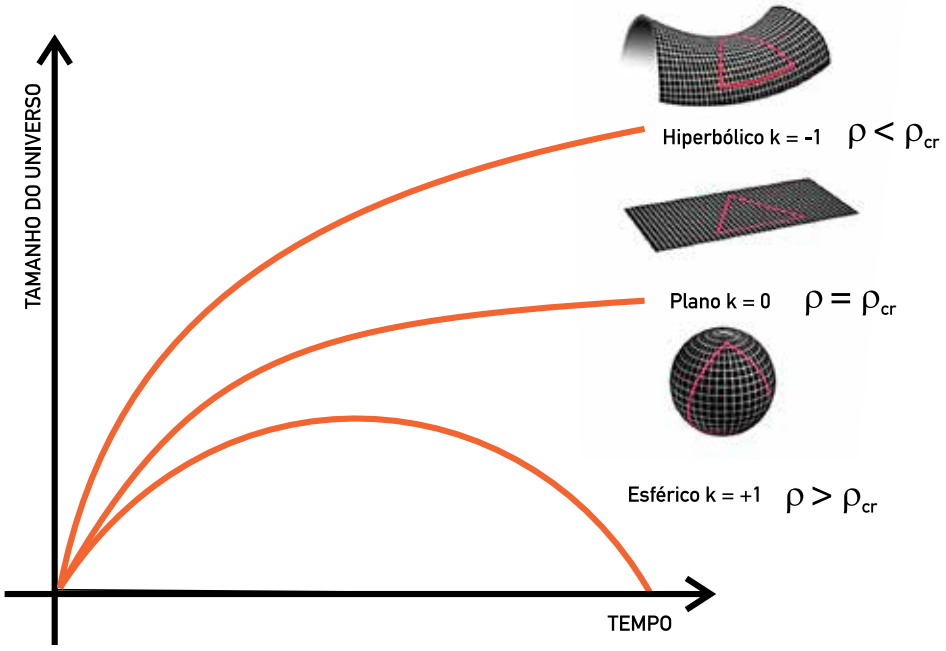
Em março de 1932, Einstein ainda publicou, em coautoria com de Sitter, o caso mais simples da chamada classe de modelos de Friedmann, isto é, um cenário cosmológico espacialmente plano, expansionista, dominado por matéria e sem constante cosmológica. A figura 2 mostra uma descrição sucinta da evolução desses modelos e a relação entre geometria, expansão e densidade de matéria/energia.

As décadas seguintes à descoberta da expansão do universo foram de grandes avanços observacionais e teóricos na Cosmologia. Do ponto de vista observacional, ainda nos anos trinta, o astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974) mostrou as primeiras evidências para a existência de uma componente exótica de matéria em aglomerados de galáxias, componente esta que só interage gravitacionalmente com a matéria visível. Essas evidências foram corroboradas quatro décadas mais tarde

been introduced. It seems now so much less justified to introduce such a member into the field equations, since its introduction loses its sole original justification."

In March 1932, Einstein and de Sitter published the simplest case of the so-called Friedmann Models, i.e., a spatially flat, expansionist cosmological scenario, dominated by matter and without the cosmological constant. Figure 2, provides a succinct description of the evolution of these systems and the relationship between geometry, expansion and density of matter/energy.

The decades subsequent to the discovery of the expanding Universe saw great observational and theoretical advances in cosmology. In terms of observation, in the 1930s, the Swiss astronomer, Fritz Zwicky (1898-1974) presented the first evidence



for the existence of an exotic component of matter in galactic clusters. This component only interacts gravitationally with visible matter. This evidence was corroborated four decades later by the American astronomer, Vera Rubin (1928-2016), using measurements of curves in galactic rotation – orbital velocity as a function of the radial distance of the galaxy centre – and led to the idea that we know today as dark matter.

In 1965, the American physicists, Arno Penzias (1933-) and Robert Wilson (1936-) reported the discovery of cosmic microwave background radiation at a temperature of ~ 3K. The excess of temperature measured in all directions of the sky was correctly interpreted by Robert Dicke (1916-1997), James Peebles (1935-), Peter Roll and David Wilkinson (1935-2002) – in the same volume of the publication as Penzias and Wilson – as evidence that the Universe is expanding from a dense hot phase, as foreseen by Lemaître in 1927 and by Gamow in the 1940s. Penzias and Wilson won the Nobel Prize for Physics in 1978, for their discovery of cosmic microwave background radiation.

Later, in the 1990s, the American astrophysicists John Mather (1946-) and George Smoot (1945-) used measurements from the COBE satellite (*Cosmic Background Explorer*) and presented important characteristics of cosmic radiation, for example, its spectrum of equilibrium with temperature of 2.72K and small

pela astrônoma americana Vera Rubin (1928-2016), através de medidas de curvas de rotação galáctica – velocidade orbital como função da distância radial do centro galáctico – e levaram à ideia do que conhecemos hoje como matéria escura.

Em 1965, os físicos americanos Arno Penzias (1933-) e Robert Wilson (1936-) reportaram a descoberta do fundo de radiação cósmica em micro-ondas com temperatura de ~ 3K. Esse excesso de temperatura medido em todas as direções do céu foi corretamente interpretado por Robert Dicke (1916-1997), James Peebles (1935-), Peter Roll e David Wilkinson (1935-2002) – no mesmo volume da publicação de Penzias e Wilson – como evidência de que o universo está expandindo a partir de uma fase densa e quente, tal como previsto por Lemaître em 1927 e por Gamow nos anos 1940. Pela descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas, Penzias e Wilson ganharam o prêmio Nobel de Física em 1978.

Figura 2. O caso espacialmente plano (modelo de Einstein-de Sitter) é intermediário entre os casos hiperbólico (aberto) e esférico (fechado) discutidos no texto. Nele, se aplicam em grandes escalas as regras da geometria Euclidiana e a expansão do universo que, tal como no caso aberto, é eterna. Num universo plano, a densidade de matéria ρ define o que chamamos de densidade critica ρcr, enquanto os casos aberto e fechado são caracterizados por terem ρ < ρ cr e ρ > ρ cr, respectivamente. As observações atuais indicam que vivemos em um universo espacialmente plano. Crédito: Rodrigo Cassaro/Observatório Nacional

Figure 2. The spatially flat case (Einstein-de Sitter model) holds an intermediary position between the hyperbolic (open) and spherical (closed) cases discussed in the text. In this case, the rules of Euclidian geometry are applied on large scales and the expansion of the Universe is eternal, as in the open case. In a flat universe, the density of matter ρ defines what we call critical density ρcr, while in open and closed cases they are characterised as having ρ < ρcr e ρ > ρcr, respectively. Current observations indicate that we live in a spatially flat universe. Source: Rodrigo Cassaro/National Observatory

Figura 3. Supernovas do tipo Ia (Sne Ia) são explosões estelares tão intensas que no pico da sua luminosidade se tornam tão brilhante quanto 1 bilhão de estrelas como o nosso Sol. Por ser muito luminosa e ter sua luminosidade razoavelmente bem conhecida e determinada, Sne Ia podem ser utilizadas como indicadores de distância cosmológica. Uma ótima leitura sobre esses eventos e suas consequências cosmológicas pode ser encontrada no livro de Robert Kirshner. Crédito: NASA/ESA, The Hubble Key Project Team and The High-Z Supernova Search Team.

Figure 3. Type Ia Supernovae (Sne Ia) are such intense stellar explosions that at the peak of their luminosity they are as bright as 1 billion stars like our Sun. As they are very bright and their luminosity is reasonably well-known and defined, Sne Ia can be used as indicators of cosmological distance. Excellent reading on these events and their cosmological consequences can be found in the book by Robert Kirshner. Source: NASA/ESA, The Hubble Key Project Team and The High-Z Supernova Search Team

Posteriormente, já na década de 1990, os astrofísicos americanos John Mather (1946-) e George Smoot (1945-) utilizaram medidas do satélite COBE (*Cosmic Background Explorer*) e mostraram características importantes da radiação cósmica como, por exemplo, o seu espectro de equilíbrio com temperatura 2.72K e as pequenas anisotropias na sua distribuição de temperatura. Em particular, essas anisotropias estão diretamente relacionadas às flutuações de densidades gera-

anistropies in temperature distribution. In particular, these anistropies are directly related to fluctuations in density, generated in the primordial universe that have been transformed, over billions of years of expansion by the action of gravity, in structures (galaxies, galactic clusters etc.) that are currently observed. In 2005, Mather and Smoot won the Nobel Prize for Physics for these discoveries.

From a theoretical point of view, the principal

das no universo primordial e que se transformaram, durante bilhões de anos de expansão pela ação da gravidade, nas estruturas (galáxias, aglomerados de galáxias, etc.) que observamos atualmente. Em 2006, Mather e Smoot ganharam o prêmio Nobel de Física por tais descobertas.

Do ponto de vista teórico, a principal contribuição proposta no início dos anos 1980 foi a Teoria inflacionária, que postula um período de rápida expansão nos estágios iniciais da evolução do universo e, com isso, fornece (dentre outras) uma explicação causal para as perturbações de matéria mencionadas anteriormente.

As construções teóricas e evidências observacionais que surgiram ao longo do século passado desenharam, no início dos anos 1990, o seguinte quadro para a cosmologia: enquanto as observações da radiação cósmica de fundo preferiam um universo espacialmente plano ou, equivalentemente, com uma densidade de matéria/energia total igual à chamada densidade crítica (Figura 2), o que também era previsto pelos modelos inflacionários mais simples, as estimativas dinâmicas da quantidade de matéria aglomerada indicavam apenas ~ 1/3 desse valor. Essa discrepância ficou conhecida como o *problema da massa faltante*. Além disso, as estimativas de idade para alguns aglomerados globulares e galáxias vermelhas indicavam um valor maior do que a idade do universo prevista por um modelo plano dominado por matéria ordinária e escura. Essa contradição ficou conhecida como o *problema da idade do universo*.

contribution proposed at the beginning of the 1980s was inflation theory that postulates a fast period of expansion in the initial stages of the evolution of the universe and as such provides (among others) a causal explanation for the fluctuations of matter previously mentioned.

At the beginning of the 1990s, the theoretical constructs and observational evidence that had arisen throughout the last century led to the following framework for cosmology: while observations of cosmic background radiation prefer a spatially flat universe, or alternatively, one with a density of total matter/energy equal to so-called critical density (Figure 2), also foreseen by the simpler inflation principles, the dynamic estimates of the quantity of cluster matter indicate only ~ 1/3 of this value. This discrepancy has come to be known as the *problem of the missing mass*. In addition, the estimated age for some globular clusters and red galaxies show a greater value than the age of the Universe provided for in the flat principle dominated by ordinary and dark matter. This contradiction has come to be known as the *cosmic age problem*.

How can we conciliate such differing theoretical and observational aspects? The solution to these problems as well as their cosmological consequences were therefore the principal issue of cosmology at the turn of the 20th century. At the beginning of the 1990s, there was observational evidence for the need for an exotic component of energy, usually attributed to the cosmological constant Λ, but the response arose in 1998,

Como conciliar aspectos teóricos e observacionais tão discrepantes? A solução desses problemas, assim como as suas consequências cosmológicas, eram, portanto, a principal questão da cosmologia na virada do século 20. No início da década de 1990, havia evidências observacionais da necessidade de uma componente exótica de energia, usualmente atribuída à constante cosmológica Λ, mas a resposta surgiu em 1998, com a descoberta da aceleração cósmica a partir de medidas de distância utilizando supernovas do tipo Ia (Figura 3).

Num universo dominado por matéria (escura e/ou ordinária) e, portanto, desacelerado, as distâncias entre dois pontos são menores do que, por exemplo, num universo que expande com uma taxa constante – usualmente chamado de *coasting*. Assim, para um universo plano e dominado por matéria (modelo de Einstein-de Sitter), o fluxo de uma supernova observado quando o Universo tinha ~ 2/3 de seu tamanho atual deveria ser ~ 25% maior do que esperado num universo *coasting*. Mas as supernovas, reportadas pelo *Supernova Cosmology Project* e pelo *High-z Supernovae Team*, foram ainda menos brilhantes do que esperado num universo que expande com uma taxa constante. Para isso ocorrer, o Universo deve ser acelerado!

with the discovery of cosmic acceleration based on measurements of distance using type Ia supernovas (Figure 3).

In a universe dominated by matter (dark and/or ordinary) and therefore, decelerating, the distances between two points are less than in a universe that is expanding at a constant rate, for example, usually called coasting. Thus, for a flat universe, dominated by matter (Einstein-de Sitter model), the flux of a supernova observed when the Universe had ~ 2/3 of its current size should be ~ 25% larger than expected in a coasting universe. But the supernovas, reported by the *Supernova Cosmology Project* and by the *High-z Supernovae Team*, were even less bright than expected in a universe that is expanding at a constant rate. For this to happen, the Universe must therefore be accelerating!

OS AGLOMERADOS globulares são grupos de aproximadamente 100 mil estrelas encontrados no halo de galáxias. Essas estruturas estão entre as mais antigas do universo, de tal maneira que estimativas de sua idade são utilizadas para impor limites inferiores na idade do universo.

GLOBULAR clusters are groups of approximately 100 thousand stars found in galactic halos. These structures are among the oldest in the Universe, so estimates of their age are used to establish a lower limit to the age of the Universe.

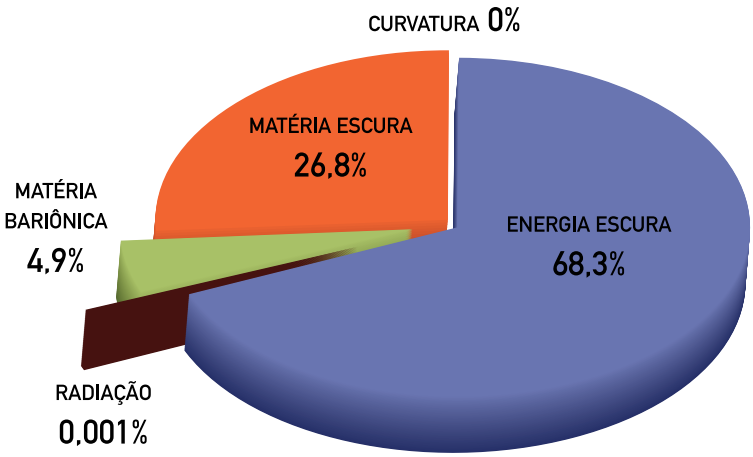


Figura 4: Composição atual do cosmos de acordo com as observações cosmológicas.
Figure 4: Current composition of the Universe according to cosmological observations.

In an accelerating universe, the distances are even greater than expected in the case of deceleration and coasting and consequently the age of the Universe is also greater – this resolves the *cosmic age problem* discussed previously. Adam Riess (1969-), Saul Permutter (1959-) and Brian Schmidt (1967-) won the Nobel Prize for Physics in 2011 for their discovery of cosmic acceleration through observation of supernovas.

But what could be the cause of this acceleration? Which physical mechanism is capable of accelerating the Universe? In the context of GR, the most natural response is Einstein's cosmological constant, given that Λ acts as a repulsive force capable of accelerating the Universe on cosmological scales – as shown by de Sitter in 1917. Moreover, if its contribution is of the order of 2/3 of critical density, it would be the extra component – denominated dark energy – needed to resolve the *problem of the missing mass*.

vada quando o universo tinha ~ 2/3 do seu tamanho atual deveria ser ~ 25% maior do que o esperado num universo *coasting*. Mas as supernovas, reportadas pelo *Supernova Cosmology Project* e pelo *High-z Supernovae Team*, apareciam ainda menos luminosas do que o previsto por um universo que expande a uma taxa constante. Para isso acontecer, o universo deve, portanto, estar acelerado!

Em um universo acelerado, as distâncias são ainda maiores do que o previsto nos casos desacelerado e *coasting* e, consequentemente, a idade do universo também é maior, o que resolve o *problema da idade do universo* discutido anteriormente. Pela descoberta da aceleração cósmica através de observações de supernovas, Adam Riess (1969-), Saul Permutter (1959-) e Brian Schmidt (1967-) ganharam o prêmio Nobel de Física em 2011.

Mas, o que poderia causar tal aceleração? Qual o mecanismo físico capaz de acelerar o universo? No contexto da TRG, a resposta mais natural é a constante cosmológica de Einstein, uma vez que Λ age como uma força repulsiva capaz de acelerar o universo em escalas cosmológicas – tal como mostrado por de Sitter em 1917. Além disso, se sua contribuição for da ordem de 2/3 da densidade crítica, ela seria a componente extra – denominada de energia escura – necessária para resolver o *problema da massa faltante*.

This is precisely the framework established in current cosmology, in which an ever increasing number of different observational data points to a spatially flat universe, that is expanding at an accelerated rate and is composed of ~ 5% of baryonic or ordinary matter (composed of protons, electrons and neutrons), ~ 25% dark matter and ~ 70% dark energy in the form of Λ, as shown in Figure 4.

Given the theoretical and observational advances that have led to the current scenario of cosmic concordance, nobody disputes that the introduction of Λ to make the Universe static was indeed a blunder. However, it seems clear that this is not an ordinary mistake, like those committed every day in research work and lost over time, but is instead the kind of mistake described in James Joyce's sentence, at the beginning of this text, the kind that opens the portals of discovery. The new generation of observational data that will be available in the next decade will tell us whether the cosmological constant is, in fact, the dark energy responsible for cosmic acceleration or whether we should abandon it and/or moreover substitute GR with a more general theory of the gravitational field.

Esse é exatamente o quadro estabelecido na cosmologia atual, em que um número cada vez maior de dados observacionais distintos aponta para um universo espacialmente plano, que expande aceleradamente e é composto por ~ 5% de matéria bariônica ou ordinária (composta por prótons, elétrons e neutrons), ~ 25% de matéria escura e ~ 70% de energia escura na forma de Λ, como mostrado na Figura 4.

Diante dos avanços teóricos e observacionais que levaram a esse cenário de concordância cósmica atual, ninguém discute que a introdução de Λ para tornar o universo estático foi, de fato, um erro. No entanto, parece claro que esse não é um daqueles erros ordinários, que se comete todos os dias na atividade de pesquisa e que se perde com o tempo, mas aquele tipo de erro descrito na frase de James Joyce no início desse texto, que se torna portais de descobertas. A nova geração de dados observacionais que estarão disponíveis já na próxima década nos dirá se a constante cosmológica é, de fato, a energia escura responsável pela aceleração cósmica ou se devemos abandoná-la e/ou, além disso, substituir a TRG por uma Teoria mais geral do campo gravitacional.

SUGESTÕES PARA LEITURA_ SUGGESTED READING

G. Efstathiou, W. J. Sutherland & S. J. Maddox, Nature 348, 705 (1990)

G. Gamow, My World Line: An Informal Autobiography, Viking Press (1970)

C. J. Hogan, The Little Book of the Big Bang: A Cosmic Primer, Copernicus (1998)

R. P. Kirshner, The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos, Princeton (2002)

L. M. Krauss & M. S. Turner, Gen. Rel. Grav. 27, 1137 (1995). astro-ph/9504003

M. Livio, Nature 479, 171 (2011)

M. Livio, Brilliant Blunders: From Darwin to Einstein, Simon & Schuster (2013)

C. O'Raifeartaigh & S. Mitton, Perspective 20, 318 (2018). arXiv:1804.06768

J. A. Peacock, Origins of the Expanding Universe: 1912-1932, ASP Conference Proceedings, Vol. 471, 3, 2013. arXiv:1301.7286

S. Weinberg, Physics Today 58, 11, 31 (2005)

AS EXPEDIÇÕES

THE EXPEDITIONS

O Observatório Nacional e a observação de eclipses solares: ciência e cooperação internacional

Christina Helena Barboza
Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAST

Christina Helena Barboza
Museum of Astronomy and Related Sciences – MAST, Brazil

The National Observatory and the observation of solar eclipses: science and international cooperation

Em 1º de junho de 1917, o diretor do Observatório Nacional (ON), Henrique Morize (1860-1930), recebeu uma carta do colega norte-americano Charles Perrine (1867-1951). Os dois astrônomos se conheciam desde 1912, quando este último, na época, já diretor do Observatório Nacional de Córdoba, viajara ao Brasil para observar o eclipse total do Sol de 10 de outubro. Na tal carta, Perrine manifestava seu interesse em voltar ao Brasil para observar o eclipse total de 1919, e solicitava o apoio de Morize: "As expedições que serão enviadas de todas as partes do mundo, se a guerra o permitir, terão que depender de vosso Observatório, para quase toda classe de informações".

Este artigo examina a presença do ON nos eclipses totais do Sol visíveis no Brasil entre o final do século 19 e as primeiras décadas do século 20, e, em particular, no eclipse de 29 de maio de 1919, quando astrônomos ingleses comprovaram a Teoria da Relatividade. Seu objetivo é destacar o papel exercido pelas "redes astronômicas mundiais", formadas nesse período – das quais Morize e o ON faziam parte –, no planejamento e na divulgação dos resultados das expedições científicas organizadas com vistas à observação desses fenômenos.

On June 1, 1917, the director of the National Observatory (ON), Henrique Morize (1860-1930), received a letter from his American colleague Charles Perrine (1867-1951). The two astronomers had known each other since 1912, when the latter, then director of the National Observatory of Cordoba, had travelled to Brazil to observe the total eclipse of the Sun of October 10. In this letter, Perrine expressed his interest in returning to Brazil to observe the total eclipse of 1919, and requested Morize's support: "If the war permits, expeditions that will be sent from all over the world will depend on your Observatory for most types of information."

This article examines the presence of the ON during the total eclipses of the Sun visible in Brazil between the late 19th and early 20th centuries, and in particular during the eclipse of May 29, 1919, when the Theory of General Relativity was proven by English astronomers. It aims at highlighting the role played by the "worldwide astronomical networks" formed during this period, which included Morize and the ON, in the planning and the dissemination of results from the scientific expeditions organized to observe these phenomena.

AS EXPEDIÇÕES ASTRONÔMICAS DE 1893 E 1912_Muito antes de maio de 1919, o primeiro eclipse total do Sol que os ingleses vieram observar no Brasil foi visível em 16 de abril de 1893, também no estado do Ceará. Na época, a Comissão Conjunta Permanente para Eclipses *(Joint Permanent Eclipse Committee – JPEC)*, integrada por membros da Royal Society e da Royal Astronomical Society, era instituição recente. Seu objetivo era justamente coordenar

THE ASTRONOMICAL EXPEDITIONS OF 1893 AND 1912_Long before May 1919, on April 16,1893, for the first time English astronomers came to observe a total eclipse of the Sun in Brazil, also in the state of Ceará. At the time, the Joint Permanent Eclipse Committee (JPEC) was a recent institution, made up of members of the Royal Society and the Royal Astronomical Society. Its purpose was to coordinate the efforts of the different English observatories (Cambridge, Oxford and Greenwich): in the definition of the program and the place of observations, in the selection, acquisition and / or loan of instruments and in articulating the necessary support for the journeys with governments and institutions. Perhaps due to the initial fragility of the Commission at its beginning, especially in the organization of an expedition sent outwards the British Empire, English astronomers faced a series of contretemps situations in Brazil.

At that moment, the ON had considerable experience in organizing different types of astronomical expeditions besides those aiming at the observation of solar eclipses. In 1881 the Observatory joined a pioneering international project conceived to observe the transit of Venus across the Sun's disk, visible on December 6, 1882. It organized three expeditions respectively sent to Olinda, in the state of Pernambuco, to Saint Thomas, in the Antilles, and to Punta Arenas, in Chile. The then director Luiz Cruls (1848-1908) participated in the latter.

os esforços dos diferentes observatórios ingleses (Cambridge, Oxford e Greenwich): na definição do programa e do local de observações, na seleção, aquisição e/ou empréstimo de instrumentos, e na articulação, junto aos governos e instituições, do suporte necessário para as viagens. Talvez devido à debilidade da Comissão nesse início de atuação, mais necessária na organização de uma expedição enviada para fora dos domínios do Império Britânico, os astrônomos ingleses enfrentaram uma série de contratempos no Brasil.

Nessa ocasião, contudo, o ON já possuía considerável experiência na organização de expedições astronômicas, e não apenas para a observação de eclipses do Sol. Em 1881, o Observatório juntara-se a um pioneiro projeto internacional constituído para a observação do trânsito de Vênus sobre o disco do Sol, em 6 de dezembro de 1882, e organizara três expedições, enviadas respectivamente a Olinda, em Pernambuco, Saint Thomas, nas Antilhas e Punta Arenas, no Chile, da qual participou seu diretor, Luiz Cruls (1848-1908), participou.

Em 1891, tendo em vista a organização de uma expedição do ON para observar o eclipse de 1893, Cruls solicitara ao diretor da Estrada de Ferro de Baturité, no Ceará, que o auxiliasse na obtenção de dados meteorológicos desse estado. Os primeiros resultados foram publicados na edição de maio de 1891 da Revista do Observatório. Todavia, quando chegou a época do eclipse, Cruls não conseguiu participar da expedição astronômica organizada pelo ON, porque estava envolvido com a redação do relatório da "Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil", realizada entre junho de 1892 e fevereiro de 1983, e por ele presidida. Assim, o Observatório enviou ao Ceará Morize e o engenheiro militar Alípio Gama (1863-1935).

In 1891, in order to organize an ON expedition to observe the 1893 eclipse, Cruls had asked the director of the Baturité Railroad in Ceará to assist him in obtaining meteorological data connected to the state. The first results were published in the May 1891 issue of *The Observatory* periodical, named *Revista do Observatório*. At the time of the eclipse, however, Cruls was not able to participate in the astronomical expedition organized by the ON because he was in charge of drafting the report of the Exploratory Commission of the Central Plateau of Brazil, held between June 1892 and February 1983. Therefore, *The Observatory* sent Morize and the military engineer Alípio Gama (1863-1935) to Ceará instead.

Figura 1: Corveta Parnahyba na Terra do Fogo, durante expedição do ON para observação do trânsito de Vênus, em 1882. Crédito: Luiz Cruls/Acervo MAST

Figure 1: Corvette Parnahyba in Tierra del Fuego, during the ON expedition to observe the transit of Venus, in 1882. Source: Luiz Cruls/MAST Archive

A expedição inglesa enviada ao Ceará em 1893 era formada por Albert Taylor (1865-1930) e William Shackleton (1871-1921), e tinha o objetivo de fotografar a coroa solar utilizando uma câmera prismática. Outra expedição inglesa, com objetivo semelhante, foi enviada à costa oeste da África, no atual Senegal, para evitar o risco de o mau tempo prejudicar o programa de observações.

The English expedition sent to Ceará in 1893 was formed by Albert Taylor (1865-1930) and William Shackleton (1871-1921), and its objective was to photograph the solar corona using a prismatic camera. Another English expedition with a similar purpose was sent to the west coast of Africa, to present day Senegal, to avoid the risk of bad weather jeopardazing the observation program.

Figura 2: Paisagem do Ceará, em fotografia obtida durante expedição do ON para observação do eclipse de 1893. Crédito: Henrique Morize/Acervo ON
Figure 2: Landscape of Ceará, in a photograph taken during the ON expedition to observe the 1893 solar eclipse. Source: Henrique Morize/ON Archive

No seu relatório, Shackleton descreve detalhadamente as difíceis condições logísticas em que se deu a observação do eclipse no Brasil. Já na chegada, "uma insurreição em curso no Rio de Janeiro" – a Revolta da Armada – teria provocado imprevistos com a alfândega e o atraso de uma semana. Depois, o desembarque de toda a bagagem no píer em Parazinho teve que ser feito em jangadas, e seu transporte até Paracuru, local escolhido para o acampamento, em carros de boi. Finalmente, segundo ele, a única ajuda obtida para a construção dos abrigos e instalação dos instrumentos teria sido prestada pelo funcionário inglês de uma empresa privada de Fortaleza. Em síntese, com exceção de uma breve visita de Morize ao acampamento inglês, não parece ter havido qualquer contato anterior (ou posterior) dos ingleses com as autoridades e astrônomos brasileiros.

O cenário seria outro na vinda dos ingleses ao Brasil para observação do eclipse de 10 de outubro de 1912. Na verdade, desde pelo menos 1905, quando foi criada a União Internacional para a Cooperação em Pesquisa Solar (*International Union for Cooperation in Solar Research – IUCSR*), o intercâmbio de informações sobre os preparativos, programas e resultados das expedições para observação de eclipses solares já havia se tornado prática comum, sobretudo entre europeus e norte-americanos.

In his report, Shackleton describes in detail the difficult logistical conditions faced in Brazil during the observation of the eclipse. Immediately on their arrival, there was "an uprising in progress in Rio de Janeiro", the so-called Armada Rebellion, which caused unforeseen problems with customs and one week's delay. Then, the unloading of all luggage on the pier in a nearby village had to be done on rafts, and its transportation to the chosen campsite in Paracuru (CE) by ox carts. Finally, according to him, the only assistance obtained for the construction of the tents and installation of the instruments was provided by an English employee of a private company in Fortaleza (CE). In effect, with the exception of a brief visit from Morize to the English camp, there seems not to have been any previous (or later) contact of the English team with the Brazilian authorities and astronomers.

The scenario was different when the English came to Brazil to observe the eclipse of October 10, 1912. In fact, since about 1905, when the International Union for Cooperation in Solar Research (IUCSR) was created, the exchange of information concerning the preparations, programs and results of the solar eclipse expeditions had already become a common practice, especially among Europeans and North Americans.

In addition to the official English expedition, four foreign expeditions came to Brazil to observe this eclipse. The English expedition team consisted of Charles Davidson (1875-1970), Arthur Eddington (1882-1944), at the

time assistant at the Greenwich Observatory, and John Atkinson (1844-1924), an amateur astronomer. The equally amateur James Worthington came on his own, and only joined the group in Brazil. The French expedition was formed by Milan Stefanik (1880-1919) and his assistant, Jaromir Kralicek. Both expeditions shared the same objectives of photographing the solar corona and carrying out spectroscopic studies, and both settled close to Passa Quatro (MG), next to the ON's main expedition.

Figura 3: Fotografia das equipes inglesa, francesa e brasileira acampadas em Passa Quatro para observação do eclipse de 1912. Crédito: Augusto Soucasseaux/Acervo ON

Figure 3: Photograph of the English, French and Brazilian teams camped in Passa Quatro to observe the 1912 eclipse. Source: Augusto Soucasseaux /ON Archive

Além da expedição oficial inglesa, quatro expedições estrangeiras vieram ao Brasil observar esse eclipse. A expedição inglesa era formada por Charles Davidson (1875-1970), Arthur Eddington (1882-1944) – este último, na época, ainda assistente no Observatório de Greenwich –, e John Atkinson (1844-1924), astrônomo amador. O também amador James Worthington veio por conta própria, e juntou-se ao grupo apenas no Brasil. A expedição francesa era formada por Milan Stefanik (1880-1919) e um ajudante, Jaromir Kralicek. Ambas as expedições, inglesa e francesa, tinham como objetivos fotografar a coroa solar e realizar estudos espectroscópicos, e instalaram-se em local próximo a Passa Quatro (MG), junto à expedição principal do ON.

As outras expedições estrangeiras foram organizadas por instituições latino-americanas. A do Observatório Nacional do Chile era chefiada por seu diretor, o astrônomo alemão Friedrich Ristenpart (1868-1913), e integrada por três profissionais dessa instituição e também pelos alemães Walter Knoche (1881-1945), diretor do Instituto Central Meteorológico e Geofísico do Chile, e Jakob Laub (1882-1962), professor de Física na Universidade de La Plata (Argentina), que colaborara com Albert Einstein no início de sua carreira, ainda na Suíça. Já a expedição do Observatório de La Plata era formada por seu diretor, o norte-americano William Hussey (1862-1926) e dois assistentes. Finalmente, do Observatório Nacional de Córdoba, dirigido por Perrine, vieram ele próprio e três auxiliares.

De todos os astrônomos que vieram ao Brasil observar o eclipse de 1912, apenas Perrine tinha como objetivo comprovar a Teoria da Relatividade (especial). Em um encontro com Erwin Freundlich (1885-1964) por ocasião de uma visita sua ao Observatório de Berlim, em 1911, Perrine já havia

The other foreign expeditions were organized by Latin American institutions. The National Observatory of Chile expedition was headed by the director, the German astronomer Friedrich Ristenpart (1868-1913), and consisted of three professionals from the institution, and also by the Germans Walter Knoche (1881-1945), director of the Central Meteorological and Geophysical Institute of Chile, and Jakob Laub (1882-1962), professor of physics at the University of La Plata (Argentina), who had collaborated with Albert Einstein early in his career, when he was still in Switzerland. The expedition of the Observatory of La Plata was formed by its director, the North American William Hussey (1862-1926) and two assistants. Lastly, the National Observatory of Cordoba expedition which was led by Perrine, who travelled with three assistants.

Figura 4: Paisagem de Passa Quatro, em fotografia obtida em 1912. Crédito: Augusto Soucasseaux/Acervo ON

Figure 4: Landscape view of Passa Quatro, in a photograph obtained in 1912. Source: Augusto Soucasseaux /ON Archive

Of all the astronomers who came to Brazil to observe the eclipse of 1912, only Perrine aimed at proving the Theory of (Special) Relativity. In 1911, in a meeting with Erwin Freundlich (1885-1964) at the Berlin Observatory, Perrine had already learned of the possibility of using photographs taken during total solar eclipses for this purpose. Subsequently, in a letter received from Freundlich in early 1912, he was asked to photograph the eclipse that would take place in Brazil in October. William Campbell (1862-1938), director of Lick Observatory, lent him the necessary lenses.

tomado conhecimento da possibilidade de utilizar-se fotografias tiradas durante eclipses totais do Sol com tal objetivo. Posteriormente, em carta recebida de Freundlich no início de 1912, foi instado a fotografar o eclipse que teria lugar no Brasil em outubro. William Campbell (1862-1938), diretor do Observatório de Lick, emprestou-lhe as objetivas necessárias.

Figura 5: Equipamento utilizado pela expedição do Observatório de Córdoba para fotografar o eclipse de 1912, com o objetivo de comprovar a Teoria da Relatividade. Crédito: Observatório Astronómico de Córdoba
Figure 5: Equipment used by the Cordoba Observatory expedition members to photograph the 1912 eclipse, in order to prove the Theory of Relativity. Source: Astronomical Observatory of Cordoba

O Brasil também participou da mobilização internacional para a observação do eclipse de outubro de 1912. O Observatório de São Paulo preparou uma expedição para realizar observações e estudos meteorológicos. O Ministério da Marinha e a Diretoria dos Telégrafos organizaram uma expedição mista, com o objetivo de verificar a influência do eclipse sobre a propagação das ondas de rádio. E o ON organizou duas expedições. A principal era chefiada por Morize e formada pelos astrônomos Domingos Fernandes da Costa (1882-1956), Mário Rodrigues de Souza (1889-1973), Alix Corrêa de Lemos (1877-1957), e Gualter de Macedo Soares, além de voluntários e um fotógrafo, Augusto Soucasseaux. A expedição secundária foi chefiada pelo astrônomo Julião de Oliveira Lacaille (1851-1926) e enviada a Silveiras (SP).

Na verdade, ciente do interesse científico internacional pela observação daquele eclipse, Morize aproveitara a ocasião para pedir ao governo recursos extraordinários, sob o argumento de que era necessário fazer "as despesas de recepção às comissões astronômicas estrangeiras". Sua intenção era empregar a verba obtida na aquisição e reforma de instrumentos, dentre os quais destacavam-se uma luneta fotográfica de Mailhat, de 8m de distância focal, conjugada a um celostato do mesmo fabricante, e um fotoheliógrafo de Steinheil, portátil, com 10cm de abertura. Os recursos demoraram a ser aprovados e liberados e, por isso, a imensa luneta de Mailhat, embora levada a campo, não pode ser ajustada a tempo de uso. De todo modo, no dia do eclipse choveu, e nenhuma equipe conseguiu fotografar a totalidade.

Brazil also took part in the international mobilization to observe the eclipse of October 1912. The São Paulo Observatory prepared an expedition to carry out meteorological observations and studies. The Ministry of the Navy and the Telegraph Office organized a joint expedition with the purpose of verifying the influence of the eclipse on the propagation of radio waves. The ON organized two expeditions. The main one was headed by Morize and formed by the astronomers Domingos Fernandes da Costa (1882-1956), Mário Rodrigues de Souza (1889-1973), Alix Corrêa de Lemos (1877-1957), and Gualter de Macedo Soares, as well as volunteers and the photographer, Augusto Soucasseaux. The secondary expedition was led by the astronomer Julião de Oliveira Lacaille (1851-1926) and sent to Silveiras (SP).

In fact, Morize, who was aware of the international scientific interest in observing this eclipse, seized the occasion to appeal to the government for special funds, on the grounds that it was necessary to pay "the expenses for the reception of foreign astronomical commissions." His intention was to use these financial resources in the acquisition and reform of instruments, such as a Mailhat photographic telescope, with 8m focal length, combined with a coelostat from the same manufacturer, and a portable Steinheil photoheliograph with 10cm in diameter. Yet, the process of approving and releasing the funds was slow, and the immense Mailhat telescope, although taken to the field, could not be adjusted in time to be used. Furthermore, it rained on the day of the eclipse and no team was able to photograph the totality.

Não obstante, os brasileiros ofereceram apoio incondicional aos astrônomos estrangeiros. No Rio de Janeiro, onde todos aportaram, o clima de confraternização imperou, reforçado pela presença das esposas (comum, na época). O oferecimento recíproco de almoços e jantares foi frequente, e vários cientistas realizaram breves excursões turísticas pelas redondezas. Em Passa Quatro, um vagão foi colocado à disposição dos astrônomos, para levá-los do centro até a fazenda onde os instrumentos ficaram instalados.

Despite this, the Brazilians offered unconditional support to foreign astronomers. In Rio de Janeiro, where all the teams docked, a friendly atmosphere prevailed, reinforced by the presence of the wives (common at the time). The reciprocal invitations to lunches and dinners were frequent, and several scientists made short excursions to the neighbourhood. In Passa Quatro, a wagon was provided for the astronomers, in order to take them from the village to the farm where the instruments were installed.

Figura 6: Vista geral do acampamento brasileiro em Passa Quatro, com destaque para o fotoheliógrafo, no centro da imagem. Crédito: Augusto Soucasseaux/Acervo ON

Figure 6: Wide angle photography of the Brazilian camp in Passa Quatro, highlighting the photoheliograph at the center of the image. Source: Augusto Soucasseaux /ON Archive

Figura 7: Instalação dos instrumentos em Passa Quatro, pela expedição do ON. Crédito: Augusto Soucasseaux/Acervo ON
Figure 7: Installation of the instruments in Passa Quatro by the ON team. Source: Augusto Soucasseaux /ON Archive

Na pequena cidade, os integrantes das expedições inglesa, francesa e do ON permaneceram hospedados no mesmo hotel, situado em um "prédio de construção recente, elegantíssimo, com o aspecto de uma casa suíça". Finalmente, no dia do eclipse, o dono da fazenda ofereceu um banquete a todos, aí incluídos o presidente da República, Hermes da Fonseca, e sua extensa comitiva, que se deslocaram para a região especialmente para visitar as expedições e observar o eclipse.

Eddington registrou suas boas lembranças do Brasil em artigo publicado em 1913 no periódico The Observatory. Nesse texto lamentou não apenas a chuva, mas os poucos dias no país, nas suas palavras, insuficientes para "explorar as florestas tropicais que circundavam Passa Quatro e para visitar os pontos turísticos da magnífica cidade do Rio de Janeiro".

Also, the members of the English, French and ON expeditions stayed in the same hotel, situated in a "very elegant and recently constructed building, in the style of a Swiss house". Finally, on the day of the eclipse, the farm's owner offered everyone a banquet, including the President of the Republic, Hermes da Fonseca, and his large entourage, who had travelled to the region especially to visit the expeditions and observe the eclipse.

Eddington recorded nice memories of Brazil in an article published in 1913 in the magazine *The Observatory*. In this text he not only lamented the rain, but also the few days he had in the country insufficient time, in his words, to "explore the rainforest that surrounded Passa Quatro, and to visit the tourist attractions of the magnificent city of Rio de Janeiro."

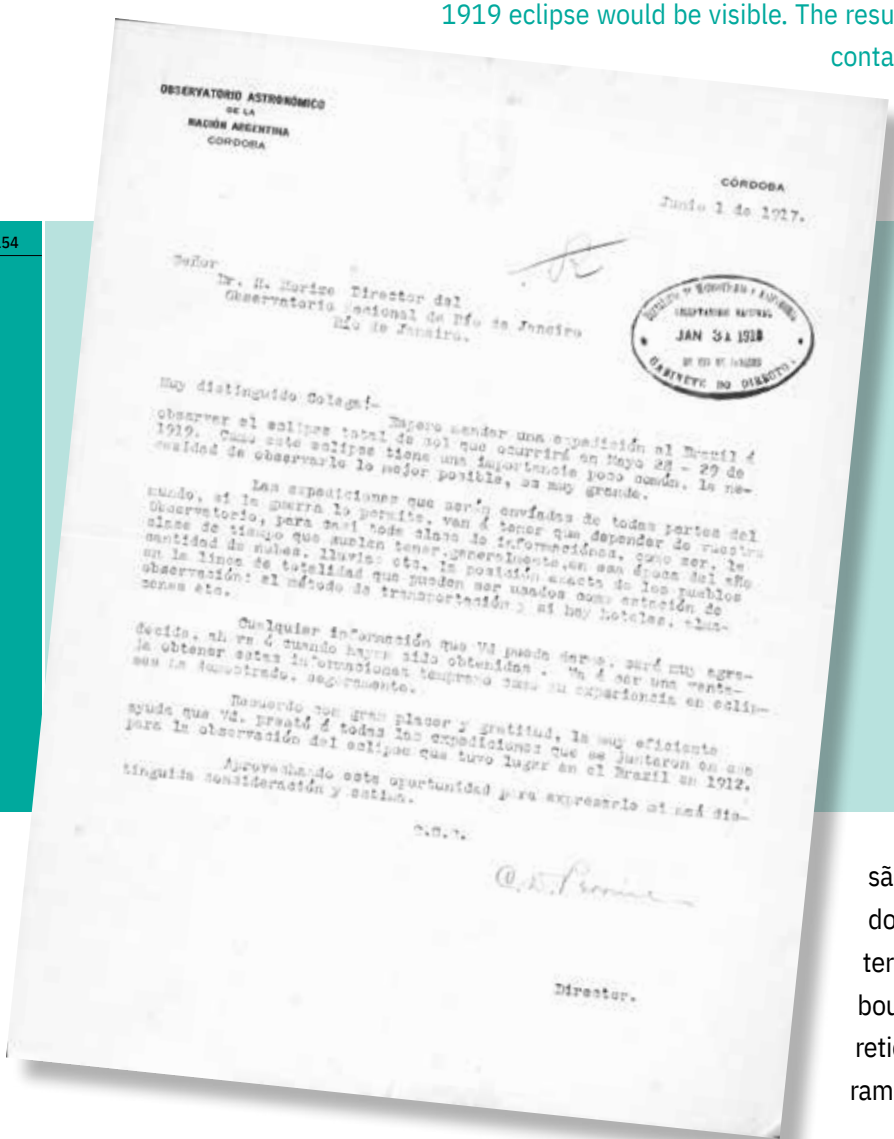
Figura 8: Convidados do grande almoço realizado no dia do eclipse de 1912, em homenagem aos integrantes das expedições acampadas em Passa Quatro. O presidente Hermes da Fonseca pode ser visto no canto direito da imagem.
Crédito: Augusto Soucasseaux/Acervo ON
Figure 8: Guests at the banquet held on the day of the 1912 eclipse, in honour of the expeditions' members encamped in Passa Quatro. President Hermes da Fonseca can be seen in the right corner of the image. Source: Augusto Soucasseaux /ON Archive

THE SOBRAL ECLIPSE_ The first reference that the total eclipse of the Sun on 29 May 1919 would be an opportunity to resume efforts to prove the Theory of General Relativity was made by the English royal astronomer Sir Frank Dyson (1868-1939), in a short note published in the journal *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, in March 1917, thus still during the First World War. Other attempts had already been made following the failure of 1912, as during the eclipse of August 21, 1914, visible in Russia. Freundlich himself had travelled to the region, as did Campbell and Perrine, but neither of them had been

O ECLIPSE DE SOBRAL_A primeira referência ao eclipse total do Sol de 29 de maio de 1919 como uma oportunidade de retomar os esforços para comprovar a Teoria da Relatividade foi feita pelo Astrônomo Real inglês, Sir Frank Dyson (1868-1939), em breve nota publicada no periódico *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, em março de 1917 – portanto, ainda durante a Primeira Guerra Mundial. Outras tentativas já haviam sido feitas após o fracasso de 1912, como por ocasião do eclipse de 21 de agosto de 1914, visível na Rússia. O próprio Freundlich viajara até a região, assim como Campbell e Perrine, mas, seja por causa da eclo-

able to obtain the necessary photographs due to either the outbreak of war shortly before the eclipse or the bad weather. Freundlich was arrested, and Campbell had his instruments withheld in Russia. Perrine's photographs were hampered by overcast weather.

In the second half of 1917, at the request of Perrine, Morize engaged in the collection of meteorological data and other relevant information about locations in the Northeastern part of Brazil, where the totality of the 1919 eclipse would be visible. The results obtained gave rise to a detailed report containing data on the climate and on transport systems, accommodation, and local population and habits.



OBSERVATORIO ASTRONÓMICO
DE LA
NACIÓN ARGENTINA
CORDOBA

CÓRDOBA
Junio 1 de 1917.

Señor
Dr. H. Morize Director del
Observatorio Nacional de Río de Janeiro
Río de Janeiro.

JAN 31 1918

Muy distinguido Colega:-

Espero mandar una expedición al Brasil á observar el eclipse total de sol que ocurrirá en Mayo 28 - 29 de 1919. Como este eclipse tiene una importancia poco común, la necesidad de observarlo lo mejor posible, es muy grande.

Las expediciones que serán enviadas de todas partes del mundo, si la guerra lo permite, van á tener que depender de nuestro Observatorio, para saber todo clase de informaciones, como ser, la clase de tiempo que suelen tener generalmente en esa época del año, la cantidad de nubes, lluvia, etc. la posición exacta de los pueblos en la línea de totalidad que pueden ser usados como estación de observación; el método de transportación si hay hoteles, etc. etc.

Cualquier información que Vd. pueda darme, será muy agradecida, ahora ó cuando haya sido obtenidas. Va á ser una ventaja obtener estas informaciones temprano para su conveniencia en eclipse ha demostrado, seguramente.

Recuerdo con gran placer y gratitud, la muy eficiente ayuda que Vd. prestó á todas las expediciones que se juntaron en Río para la observación del eclipse que tuvo lugar en el Brazil en 1912.

Aprovechando esta oportunidad para expresarle al mas distinguida consideración y estima.

S.S.S.

C. D. Perrine

Director.

Figura 9: Carta de Perrine a Morize solicitando informações sobre o clima na faixa de totalidade do eclipse de 1919. Crédito: Acervo MAST
Figure 9: Letter from Perrine to Morize requesting information about the weather within the path of the 1919 eclipse totality. Source: MAST Archive

são da guerra naqueles dias, seja por causa do mau tempo, nenhum deles conseguira obter as fotografias necessárias. Freundlich acabou preso, e Campbell teve seus instrumentos retidos na Rússia. As fotografias de Perrine foram prejudicadas pelo tempo nublado.

No segundo semestre de 1917, atendendo à solicitação feita por Perrine, Morize engajou-se na coleta de dados meteorológicos e outras

informações a seu ver relevantes sobre as localidades na região nordeste do Brasil onde a totalidade do eclipse de 1919 seria visível. Os resultados obtidos deram origem a um minucioso relatório contendo dados sobre o clima e sobre os sistemas de transporte, hospedagem, e a população e hábitos locais.

No relatório, Morize garantia que "apesar da imigração ser praticamente nula, a emigração [ser] intensa, e de terríveis secas se manifestarem a cada dez anos, os números da população crescem constantemente. Isso prova [...] que o clima é saudável, e que não se deve temer o contato com uma latitude quase equatorial". E acrescentava: "se, portanto, meus colegas quiserem vir ao Ceará observar o eclipse, eles podem fazê-lo com toda a segurança". Extratos desse documento foram enviados por carta a Perrine e à Royal Astronomical Society, e sua íntegra foi publicada na revista *L'Astronomie*, da Sociedade Astronômica da França, no início de 1918. Na sua conclusão, Morize indicava Sobral como a localidade no Brasil que reunia as melhores condições para receber as expedições.

No final de 1917 foi formada a subcomissão do JPEC encarregada de planejar as expedições para a observação do eclipse. Ela era constituída por Dyson, pelo presidente da Royal Astronomical Society, Alfred Fowler (1868-1940), pelo diretor do Observatório de Oxford, Herbert Turner (1861-193), e por Eddington, na época já diretor do Observatório de Cambridge. Nesse primeiro momento, porém, os ingleses ainda não tinham certeza se conseguiriam cruzar o Oceano Atlântico de navio, até o norte do Brasil e a costa oeste da África, os dois pontos da faixa de totalidade onde pretendiam fazer as observações. Felizmente, o armistício que pôs fim à Guerra Mundial foi assinado em 11 de novembro de 1918. A partir daí, os preparativos se aceleraram.

As duas duplas de astrônomos ingleses, formadas por Davidson e Andrew Crommelin (1865-1939), e Ed-

In the report, Morize asserted that "despite immigration being practically zero, and the intense emigration due to the terrible droughts that occur every ten years, population numbers are constantly increasing. This proves [...] that the climate is healthy, and one should not fear contact with a nearly equatorial latitude. " He added: "If, therefore, my colleagues want to come to Ceará to observe the eclipse, they can safely do so." Excerpts of this document were sent by letter to Perrine and the Royal Astronomical Society, and the complete report was published in the Astronomical Society of France magazine, called *L'Astronomie*, in early 1918. In his conclusion, Morize recommended Sobral as the best location in Brazil to receive the expeditions, due to its favourable conditions.

At the end of 1917 a JPEC subcommittee was formed to plan the expeditions to observe the eclipse. It consisted of Dyson, the president of the Royal Astronomical Society, Alfred Fowler (1868-1940), the director of the Oxford Observatory, Herbert Turner (1861-193), and Eddington, then director of the Cambridge Observatory. At the beginning, however, the British were still unsure as to whether they would be able to navigate across the Atlantic Ocean towards the north of Brazil and the west coast of Africa, the two locations in the path of totality where they intended to make observations. Fortunately, the armistice that ended the World War was signed on November 11, 1918. From then on, the preparations accelerated.

dington e Edwin Cottingham (1869-1940), embarcaram juntas no dia 8 de março e, após uma escala na Ilha da Madeira, dividiram-se, a primeira seguindo para Sobral, e a outra, para a ilha do Príncipe.

Segundo o relato de Crommelin, publicado na edição de outubro de 1919 da revista The Observatory, ao aportarem no Brasil, em Belém, no dia 23 de março – dois meses antes do eclipse,– os ingleses decidiram seguir de navio até Manaus, e visitar a Amazônia. Um pouco antes de sua chegada, entre 9 e 18 de março, Morize e Costa haviam estado em Sobral, a fim de acertar com as autoridades locais questões logísticas que facilitassem o trabalho dos ingleses, tais como sua recepção e hospedagem, e o suprimento de material e trabalhadores para a construção de tendas e pilares destinados aos instrumentos. De volta da excursão pela Amazônia, Davidson e Crommelin chegaram a Sobral no dia 30 de abril. Na pequena cidade, ficaram hospedados na melhor casa, do deputado federal e proprietário da fábrica local de algodão, Vicente Saboya – a única provida com um poço de água próprio. Seus instrumentos foram instalados na pista de corridas do Jockey Club. Conforme reconheceu Crommelin, "toda a hospitalidade e assistência de que nós desfrutamos tão amplamente deveu-se aos acertos feitos por ele [Morize]..."

Além dos ingleses, apenas uma expedição norte-americana dirigiu-se a Sobral para observar

The two pairs of English astronomers, consisting of Davidson and Andrew Crommelin (1865-1939), and Eddington and Edwin Cottingham (1869-1940), embarked together on March 8. Following a stopover on the island of Madeira, the first pair went to Sobral and the other to the Island of Príncipe.

According to Crommelin's account, published in the October 1919 issue of *The Observatory*, when they arrived in Brazil, in Belém (PA), on March 23, two months before the eclipse, the English decided to sail to Manaus and visit the Amazon region. Shortly before their arrival, between March 9 and 18, Morize and Costa went to Sobral in order to settle logistical issues with the local authorities that would facilitate the work of the English team, such as their reception and lodging, and the supply of materials and workers for the construction of tents and pillars for the instruments. Back from the Amazon tour, Davidson and Crommelin arrived in Sobral on April 30. They were housed in the best house of the small town, the only one that had a well of its own, belonging to the federal deputy and owner of the local cotton factory, Vicente Saboya. Their instruments were installed on the racetrack of the Jockey Club. As Crommelin acknowledged "all the hospitality and assistance that we so gratefully received were due to his [Morize] efforts..."

o eclipse de maio de 1919. Organizada pelo Carnegie Institution – segundo a historiografia, uma verdadeira "fábrica de expedições" geofísicas –, seu objetivo não era fotografar o eclipse, mas realizar estudos sobre eletricidade atmosférica e magnetismo terrestre durante o fenômeno. Seus integrantes, Andrew Thomson (1893-1974) e Daniel Wise, ficaram hospedados na mesma residência que os ingleses. A expedição planejada por Perrine não pode ser realizada, por falta de apoio do governo da Argentina.

Já o ON conseguiu organizar uma expedição própria, chefiada por Morize, e constituída pelos astrônomos Costa e Allyrio de Mattos (1889-1975), o matemático Lelio Gama (1892-1981), o químico Theophilo Lee (1873-1926), o meteorologista Luiz Rodrigues, um mecânico e um carpinteiro. Entre os equipamentos astronômicos levados a campo constavam a luneta fotográfica de Mailhat e o fotoheliógrafo de Steinheil levados a

Besides the English, only a North American expedition went to Sobral to observe the eclipse of May 1919. Organized by the Carnegie Institution, which was a true geophysical "expedition factory", according to historiography, its objective was not to photograph the eclipse, but to carry out studies on atmospheric electricity and terrestrial magnetism during the phenomenon. Its members, Andrew Thomson (1893-1974) and Daniel Wise, stayed in the same residence of the English astronomers. The expedition planned by Perrine could not be carried out due to the lack of support from the Argentinian government.

The ON was able to organize its own expedition, which was led by Morize and consisted of the astronomers Domingos da Costa and Allyrio de Mattos (1889-1975), the mathematician Lelio Gama (1892-1981), the chemist Theophilo Lee (1873-1926), the meteorologist Luiz Rodrigues, as well as a mechanic

Figura 10: Equipes inglesa, norte-americana e brasileira reunidas em Sobral, para a observação do eclipse de 1919. A esposa de Morize encontra-se sentada à sua frente. Crédito: Acervo ON

Figure 10: English, American and Brazilian teams assembled in Sobral during the observations of the 1919 solar eclipse. Morize's wife is seated in front of him. Source: ON Archive

Passa Quatro, além de três espectrógrafos de Hilger.

Os instrumentos foram instalados na Praça do Patrocínio, em frente à igreja de mesmo nome, sob tendas de lona, a fim de protegê-los da poeira e da chuva. Ficaram a cargo, respectivamente, de Mattos, Morize, e a dupla Costa e Lee. O jovem Gama ficou encarregado da cronometragem do tempo após o início da totalidade.

O programa científico dos astrônomos brasileiros se desdobrava em duas linhas principais, ambas sintonizadas com os avanços da astrofísica na época. A primeira delas pretendia fotografar o espectro da coroa solar, a fim de determinar a presença de elementos químicos (como o hidrogênio, o hélio e o coronium, cuja existência se supunha verdadeira). Todavia, segundo o relatório apresentado por Morize à Sociedade Brasileira de Ciências, posteriormente publicado na revista desse órgão, nenhuma placa fotográfica tinha a nitidez necessária para levar adiante

and a carpenter. The astronomical equipment taken to the field included the Mailhat photographic telescope and the Steinheil photoheliograph which had been taken to Passa Quatro, as well as three Hilger spectrographs.

The instruments were installed in the square named Praça do Patrocínio, in front of a church with the same name, under canvas tents, in order to protect them from dust and rain. Mattos, Morize, and Costa and Lee, respectively, were in charge of them. The youthful Gama was in charge of timing the totality.

The scientific programme of Brazilian astronomers unfolded into two main lines of research, both attuned to the advances of astrophysics at the time. The first one was intended to photograph the spectrum of the solar corona in order to determine the presence of chemical elements (such as hydrogen, helium and coronium, the latter then believed to be

Figura 11: Instrumentos da expedição brasileira instalados em Sobral, na Praça do Patrocínio, sob coberturas de lona. Crédito: Acervo ON

Figure 11: Instruments of the Brazilian expedition installed under canvas tents in Sobral, in Praça do Patrocínio. Source: ON Archive

tais estudos. A segunda linha de pesquisas baseava-se na obtenção de fotografias da coroa durante a totalidade. Apesar da experiência da equipe brasileira, e de Morize, em particular, na fotografia astronômica, esse objetivo também representava um desafio, embora de menores proporções do que a obtenção de espectrogramas, dadas as condições precárias do trabalho em campo.

real). However, according to the report presented by Morize to the Brazilian Society of Sciences, later published in its journal, not a single photographic plate had the necessary resolution to carry out such studies. The second line of research was based upon obtaining photographs of the corona during totality. Despite the experience of the Brazilian team and particularly Morize in astronomical photography,

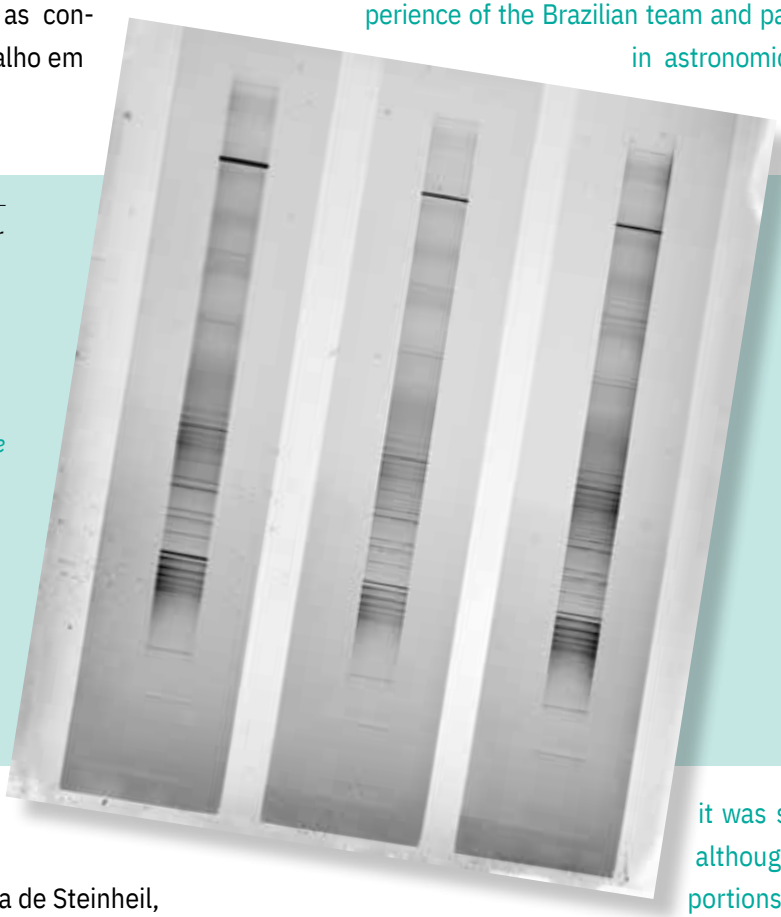


Figura 12: Espectro solar obtido pelos astrônomos brasileiros durante o eclipse de 1919. Crédito: Acervo ON

Figure 12: Solar spectrum obtained by the Brazilian astronomers during the eclipse of 1919. Source: ON Archive

Assim, a despeito dos problemas enfrentados com a luneta de Steinheil, Morize conseguiu cinco fotografias, sendo duas avaliadas por ele como “boas”. Mattos obteve sete placas fotográficas com a luneta de Mailhat, dentre oito programadas, com tempos de exposição diferentes. Em duas fotografias tomadas com curta exposição, ainda registrou uma protuberância solar.

it was still a challenge, although of smaller proportions than obtaining spectrograms, given the precarious working conditions in the field .

In spite of the problems with the Steinheil’s lenses, Morize obtained five photographs of the corona, two of which he considered “good.” Mattos obtained seven out of eight programmed photographic

Cópias dessas últimas foram enviadas para Perrine, e dele receberam elogios: “the most wonderful I think in my experience”.

Davidson e Crommelin também foram felizes na obtenção de fotografias durante a totalidade: o primeiro, responsável pela operação do instrumento principal, o telescópio astrográfico de Grubb, de 33cm de abertura, pertencente ao Observatório de Greenwich, conseguiu obter 15 chapas, algumas registrando até 12 estrelas; o segundo, operando o telescópio reserva emprestado pala Academia Real Irlandesa, de 10cm de abertura, obteve sete fotografias. Essas últimas, como sabemos, foram decisivas na comprovação da Teoria da Relatividade, anunciada publicamente na famosa sessão conjunta da Royal Society e da Royal Astronomical Society, realizada em 6 de novembro de 1919.

Poucos dias depois do eclipse, após desmontar e empacotar os instrumentos, quase todos os cientistas deixaram Sobral, inclusive a equipe brasileira. Apenas a dupla de astrônomos ingleses ainda permaneceu na região, em Fortaleza, até o dia

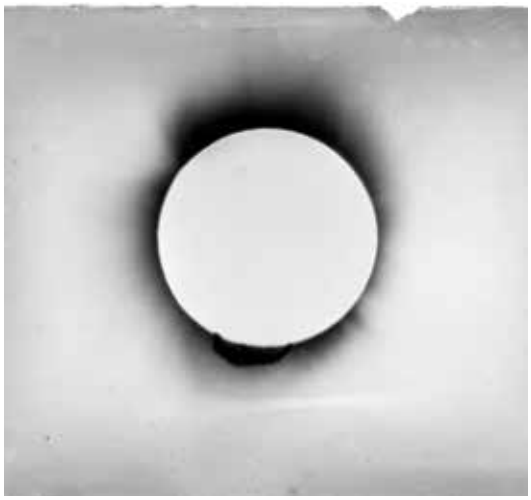


Figura 13: Fotografia da coroa solar obtida por Morize durante o eclipse em Sobral. Crédito: Acervo ON
Figure 13: Photograph of the solar corona obtained by Morize during the eclipse in Sobral. Source: ON Archive

plates using the Mailhat telescope, with different exposure times. A solar protuberance was registered in two of the photographs taken with short exposures. Copies of them were sent to Perrine, who praised them: “the most wonderful I think in my experience.”

Davidson and Crommelin were also successful in obtaining photographs during totality. The first one, responsible for the operation of the main instrument, the 13-inch Grubb astrographic telescope of the Greenwich Observatory, managed to obtain 15 plates, some registering up to 12 stars; the second, operating a 4-inch backup telescope lent by the Royal Irish Academy, obtained seven photographs. The latter, as we know, were decisive in proving the Theory of Relativity, publicly announced at the famous joint session of the Royal Society and the Royal Astronomical Society held on November 6, 1919.

A few days after the eclipse, after disassembling and packaging the instruments, almost all the scientists left Sobral, including the Brazilian team. Only the pair of English astronomers still remained in the region,

9 de julho, quando voltou a Sobral a fim de obter as fotografias do mesmo campo estelar à noite, para efeito de comparação. Nas palavras de Crommelin, contradizendo um pouco o que Morize assegurara sobre as ótimas condições locais para a observação do eclipse, esse período seria "um mês de descanso depois do clima debilitante de Sobral, [já que] Fortaleza usufrui da brisa fresca do Atlântico".

in Fortaleza, until July 9, when they returned to Sobral to obtain photographs of the same star field at night, for comparison purposes. In Crommelin's words, contradicting somewhat what Morize had asserted about the excellent local conditions for the eclipse observation, this period would be "a month of rest after the debilitating climate of Sobral, [since] Fortaleza enjoys the fresh breeze of the Atlantic".

Figura 14: Fotografia de uma protuberância solar obtida por Allyrio de Mattos durante o eclipse em Sobral. Crédito: Acervo ON
Figure 14: Photograph of a solar protuberance obtained by Allyrio de Mattos during the eclipse in Sobral. Source: ON Archive

PARA CONCLUIR_Ao contrário das expedições naturalistas, tão frequentes e características da ciência oitocentista, as quais muitas vezes abriram caminho para a exploração econômica e a ocupação política/militar de regiões "remotas", as expedições astronômicas para observação de eclipses totais do Sol realizadas nas primeiras décadas do século 20 usufruíram da infraestrutura material deixada para trás pela expansão capitalista da segunda metade do século 19, tais como portos, estradas de ferro, e linhas de telégrafo. De igual modo, também beneficiaram-se do suporte humano provido por agentes do capitalismo, como os engenheiros, proprietários de terra, e militares.

Na verdade, no caso das expedições astronômicas havia uma necessidade extrema dos cientistas estabelecerem contato com a comunidade científica local, por mais incipiente que esta fosse, seja para conhecer melhor o clima e decidir a região mais adequada para realizar suas observações, seja para arranjar ajuda na liberação e transporte das equipes e do delicado equipamento. Em consequência, essa prática acabou contribuindo para o estabelecimento de redes internacionais de cooperação em astronomia.

Embora dominado pelos ingleses, franceses e norte-americanos, astrônomos de países como o Brasil e a Argentina também integravam esse amplo movimento de circulação de pessoas, instrumentos e ideias, o qual antecedeu e cimentou a criação da União Internacional de Astronomia (*International Astronomical Union – IAU*) logo depois da Primeira Guerra. Não por acaso, no ano de 2019, simultaneamente ao centenário do eclipse de Sobral, celebra-se o centenário dessa organização até hoje fundamental para a astronomia.

SUMMING UP_Unlike the naturalist expeditions so frequent and characteristic of nineteenth-century science, which have often paved the way for economic exploration and political / military occupation of "remote" regions, the astronomical expeditions for the observation of total solar eclipses that took place in the first decades of the 20th century benefited from the material infrastructure left behind by the capitalist expansion of the second half of the 19th century, such as ports, railroads, and telegraph lines. Similarly, they had also the human support provided by agents of capitalism, such as engineers, landowners and the military.

Indeed, in the case of astronomical expeditions, the scientists needed to get in contact with the local scientific community, no matter how incipient it might be, either for better acquaintance with the regional climate in order to decide on the most appropriate place to make observations or for obtaining help with customs and transportation of the teams together with their fragile equipment. As a result, this practice eventually contributed to the establishment of international networks of cooperation in astronomy.

Although dominated by the English, French, and North Americans, astronomers from countries such as Brazil and Argentina were also a part of this broad circulation of people, instruments and ideas, which preceded and cemented the creation of the International Astronomical Union (IAU) shortly after the First War. It is therefore not by chance, that in the year 2019, simultaneously with the centenary of the Sobral eclipse, the centennial of this important organization is also celebrated.

SUGESTÕES PARA LEITURA_ SUGGESTED READING

BARBOZA, Christina Helena. Ciência e natureza nas expedições astronômicas para o Brasil (1850-1920). Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas, v. 5, n. 2, p. 273-294. 2010

CAFFARELLI, Roberto Vergara. O eclipse solar de 1912. Ciência e Cultura, v. 32, n. 5, p. 561-573. 1980

CRISPINO, Luís Carlos; LIMA, Marcelo Costa de. Expedição norte-americana e iconografia inédita de Sobral em 1919. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40, n. 1, p. 1-8. 2018

EINSENSTAEDT, Jean, VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. A Relatividade Geral verificada: o eclipse de Sobral de 29/05/1919. In: MOREIRA, Ildeu de Castro, VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (Org.) Einstein e o Brasil. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ. p. 77-99. 1995

MINNITI, Edgardo, PAOLANTONIO, Santiago. Córdoba Estelar. Desde los sueños a la Astrofísica. Historia del Observatorio Nacional Argentino. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2013

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. Einstein: de Sobral para o mundo. Sobral: UVA, 2003

SILVA JUNIOR, Renaldo Nicacio da. História e memória de vidro: preservação das fotografias brasileiras do Eclipse de Sobral. Dissertação (Mestrado Profissional) – Programa de Pós-Graduação em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia, Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro. 2018

Muito ocupado trocando chapas: astronomia sob tendas

Richard Dunn
Museu de Ciências, Londres, Inglaterra

Richard Dunn
Science Museum, London, UK

Too busy changing plates: astronomy under canvas

According to the British astronomer, Arthur Eddington, who was a leading figure behind the 1919 eclipse expeditions, the observing teams faced the unenviable task of 'weighing light'. To add to their problems, they would have to do this by transporting sensitive equipment to unfamiliar territories, hundreds of miles from the controlled environments of their observatories. Their eventual success in getting at least some of their instruments to produce convincing results relied, therefore, on careful planning and preparation, lots of help, meticulous observational practice, painstaking analysis and a bit of luck.

To appreciate the challenge, it is important to understand how the experiment was meant to work. Put simply, the test of relativity theory involved comparing two sets of photographs of a group of stars, the first taken during the eclipse, when light from the stars would pass close to the Sun, the second at a time when the Sun was further away from them. By superimposing the two sets of photographs, it would be possible to measure the difference between the apparent positions of the stars at these two times and, after various calculations and corrections, work out how far the light had been deflected.

De acordo com o astrônomo britânico Arthur Eddington, pessoa de destaque por trás das expedições do eclipse de 1919, as equipes de observação enfrentaram a tarefa desafiadora de "pesar a luz". Para aumentar seus problemas, tiveram de fazer isso transportando equipamentos sensíveis para territórios desconhecidos, distantes centenas de quilômetros dos ambientes controlados de seus observatórios. O eventual sucesso em conseguir que ao menos alguns de seus instrumentos produzissem resultados convincentes dependia, portanto, de cuidados no planejamento e na preparação, muita ajuda, prática meticulosa de observação, análise cuidadosa e um pouco de sorte.

Para compreender esse desafio é importante entender como planejaram conduzir o experimento. De uma forma simplificada, o teste da Teoria da Relatividade envolvia a comparação de dois conjuntos de fotografias de um grupo de estrelas, a primeira tomada durante o eclipse, quando a luz das estrelas passava perto do Sol, e a segunda no momento em que o Sol estava mais distante delas. Ao sobrepor os dois conjuntos de fotos, seria possível medir a diferença entre as posições aparentes das estrelas nos dois instantes e, depois de vários cálculos e correções, calcular o quanto a luz foi defletida.

METEOROLOGIA, LOGÍSTICA E PERFORMANCE DOS INSTRUMENTOS, GRANDES DESAFIOS_A Teoria da Relatividade sugeria que a luz das estrelas seria defletida em 1,75 segundos de arco, o dobro do valor previsto pela física newtoniana. Isso significava que, ao comparar

METEOROLOGY, LOGISTICS AND PERFORMANCE OF THE INSTRUMENTS, BIG CHALLENGES_ Relativity theory suggested that starlight would be deflected by 1.75 arcseconds, twice the value predicted by Newtonian physics. This meant that when comparing photographs, the astronomers would be looking for a displacement of just one sixtieth of a millimetre, a little less than the width of the finest human hair. But there were many sources of error to account for: the difference in temperature when photographing during the day (the eclipse photographs) and at night (the comparison photographs), the difficulty of matching the fields of view at different times, and any changes in the telescopes, either mechanically or in their orientation relative to their optical axes. It was, however, possible to compensate for some of these problems by making check plates, photographs of an arbitrary field of stars taken the night before or after the eclipse and again around the time the comparison photographs were taken. These would allow the astronomers to establish any change of scale between the eclipse and comparison photographs.

Another issue was that the calculations to determine the tiny displacement required good images of at least six stars on each photographic plate. This introduced further problems. Above all, it meant that the weather was critical, since clouds could easily obscure parts of the photographs, making them useless for

fotografias, os astrônomos estariam procurando um deslocamento de apenas um sexagésimo de milímetro, um pouco menos do que a largura de um fio de cabelo. E nessa busca havia muitas possibilidades de erro a serem consideradas: a diferença de temperatura ao fotografar durante o dia (as fotos do eclipse) e à noite (as fotos de comparação), a dificuldade de combinar os campos de visão em momentos diferentes, além de quaisquer alterações nos telescópios, fossem mecânicas ou na orientação em relação aos eixos ópticos. No entanto, era possível compensar alguns desses problemas fazendo chapas de verificação, fotografias de um campo arbitrário de estrelas feitas na noite anterior ou posterior ao eclipse e novamente na época em que as fotografias de comparação fossem tiradas. Isso permitiria aos astrônomos identificar qualquer mudança de escala entre as fotografias de comparação e do eclipse.

Outro ponto era que os cálculos para determinar o pequeno deslocamento exigiam boas imagens de pelo menos seis estrelas em cada chapa fotográfica. Isso trouxe mais problemas. Particularmente, significava que o tempo era crítico, pois as nuvens poderiam

facilmente obscurecer partes das fotografias, tornando-as inúteis para as medições necessárias. Além disso, as chapas fotográficas deveriam ser expostas por 28 segundos e durante esse tempo a Terra seguia em rotação. Para que as fotografias ficassem nítidas o bastante para uma medição precisa, a imagem capturada deveria permanecer estática na chapa fotográfica durante a exposição. Qualquer movimento relativo criaria erros muito maiores do que o efeito minúsculo que estava sendo estudado. Mas ainda havia outros desafios.

Em 1919, tirando as questões meteorológicas e logísticas, os astrônomos britânicos sabiam que o sucesso dependia de sua própria performance e de seus instrumentos. Quatro expedições para comprovar as Teorias de Einstein já haviam enfrentado os mesmos tipos de problemas práticos e logísticos que as equipes observadoras iriam enfrentar no Brasil, na cidade de Sobral, estado do Ceará, e na ilha do Príncipe, arquipélago de S. Tomé e Príncipe no golfo da Guiné.

Assolado pela chuva em Cristina, no Brasil, em outubro de 1912, Charles Perrine, do Observatório Nacional Argentino, não conseguiu tirar fotografias

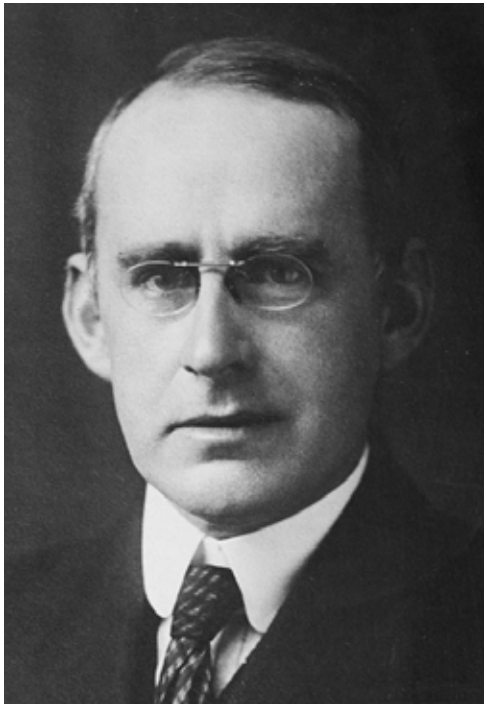


Figura 1. Arthur Stanley Eddington (1882-1944), professor de astronomia e diretor do Observatório na Universidade de Cambridge, foi de suma importância na organização nas expedições de 1919 e liderou a equipe em Príncipe. Crédito: Science Museum/Science Society Picture Library

Figure 1. Arthur Stanley Eddington (1882-1944), professor of astronomy and director of the observatory at Cambridge University, was instrumental in organising the 1919 expeditions and led the team in Príncipe. Source: Science Museum/Science Society Picture Library

the measurements required. Moreover, the photographic plates had to be exposed for up to 28 seconds, during which time the earth was still rotating. For the photographs to be sharp enough for precise measurement, the image captured had to remain static on the photographic plate during exposure; any relative motion would create errors far larger than the tiny effect being studied. There were other challenges too.

By 1919, four expeditions to prove Einstein's theories had fallen foul of the sorts of practical and logistical problems the observing teams at Sobral and Príncipe would face. Beset by rain in Christina, Brazil in October 1912, Charles Perrine of the Argentine National Observatory failed to take viable photographs and lamented that, 'we ... suffered a total eclipse instead of observing one'. Bad weather hampered further attempts between 1914 and 1918, with global war also preventing observations due to restrictions on moving people and instruments between and within different countries.

Meteorological and logistical challenges aside, the British astronomers knew that success relied on their own performance and that of their instruments.

viáveis e lamentou: “nós ... sofremos um eclipse total ao invés de observar um”. O mau tempo dificultou novas tentativas entre 1914 e 1918, além da guerra mundial que também impediu observações, com as restrições impostas à movimentação de pessoas e instrumentos entre e dentro de diferentes países.

Felizmente, o comitê de planejamento das expedições de 1919 contou com observadores experientes e equipamentos bem testados. Eddington (figura 1), que considerava a expedição uma oportunidade para promover a cooperação internacional, liderou a equipe na ilha do Príncipe e já havia participado de uma expedição eclipse em Minas Gerais no Sul do Brasil em 1912.

Ele foi acompanhado pelo relojoeiro Edwin Cottingham, escolhido por seu conhecimento prático de instrumentos. Já a equipe de Sobral foi liderada por Charles Davidson, astrônomo assistente do Observatório Real, em Greenwich, que também participara, com Eddington, da expedição do eclipse de 1912. Com Davidson estava Andrew Crommelin, assistente do Observatório Real e veterano de quatro expedições de eclipse anteriores.

O instrumento mais importante de cada equipe era uma grande câmera telescópica para tirar as fotografias cruciais. Ele tinha três elementos principais: uma lente de vidro de alta qualidade, um suporte para as chapas fotográficas usadas para capturar a imagem e um celóstato, mecanismo de relógio que girava um espelho para neutralizar a rotação da Terra e manter a imagem perfeitamente imóvel na chapa fotográfica.

Fortunately, the committee planning for 1919 was able to draw on experienced observers and well-tested equipment. Eddington (Figure 1), for whom the expedition was an opportunity to promote international cooperation, led the team in Principe and had previously been on an eclipse expedition to Minas Gerais in southern Brazil in 1912.

He was accompanied by clockmaker Edwin Cottingham, chosen for his practical knowledge of instruments. The team going to Sobral was led by Charles Davidson, assistant astronomer at the Royal Observatory, Greenwich, who had also been on the 1912 eclipse expedition with Eddington. With him was Andrew Crommelin, an assistant at the Royal Observatory and veteran of four previous eclipse expeditions.

The most important instrument for each team was a large telescopic camera to take the crucial photographs. It had three main elements: a high-quality glass lens, a holder for the photographic plates used to capture the image; and a coelostat, a clockwork mechanism that rotated a mirror to counteract the Earth’s rotation and keep the image perfectly still on the photographic plate. When the telescope was assembled, the

Quando o telescópio foi montado, a lente e o suporte da chapa fotográfica foram mantidos em um longo tubo, montado horizontalmente e que permaneceu estático, com o celóstato colocado na frente para direcionar a luz da imagem-alvo para baixo do tubo (figura 2).

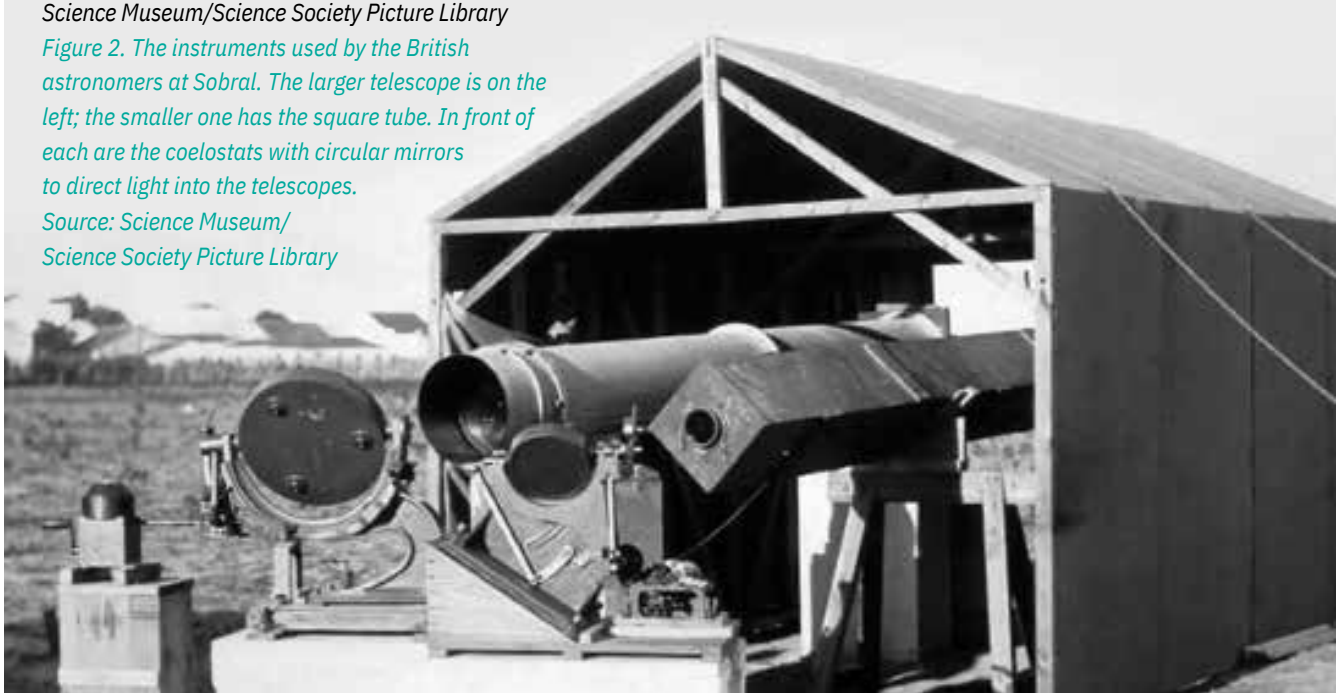
As duas equipes levaram equipamento similar. Conseguiram lentes astronômicas idênticas de 13 polegadas (33 cm) de diâmetro emprestadas, uma do Observatório Real, Greenwich, e a outra da Universidade de Oxford (cedida após alguma negociação). Originalmente encomendadas para um ambicioso levantamento fotográfico das estrelas, iniciado em 1887, ambas eram lentes excepcionais que prestaram um serviço importante em seus observatórios e no exterior. Elas

lens and photographic plate support were held in a long tube that was mounted horizontally and remained static, with the coelostat placed in front to direct light from the target image down the tube (Figure 2).

The two teams took similar equipment. They were able to borrow identical astrographic lenses of 13 inches (33 cm) in diameter, one from the Royal Observatory, Greenwich, the other from the University of Oxford (although only after some negotiation). Originally commissioned for an ambitious photographic survey of the stars begun in 1887, both were exceptional lenses that had seen considerable service at their observatories and overseas. They were also extremely valuable: each was insured for £1000 or enough to buy four automobiles. The expedition also borrowed 16-inch (41 cm) coelostats from the University of Oxford and the Royal Astronomical Society. In addition, the Royal Irish Academy offered a 4-inch lens and an 8-inch coe-

Figura 2. Os instrumentos utilizados pelos astrônomos britânicos em Sobral. O telescópio maior, a esquerda; o tubo menor possui perfil quadrado. Na frente de cada um deles, estão o celóstato com espelhos circulares para direcionar a luz para os telescópios. Crédito: Science Museum/Science Society Picture Library

Figure 2. The instruments used by the British astronomers at Sobral. The larger telescope is on the left; the smaller one has the square tube. In front of each are the coelostats with circular mirrors to direct light into the telescopes. Source: Science Museum/ Science Society Picture Library



eram extremamente valiosas: cada uma estava segurada por £1000, o suficiente para comprar quatro carros. A expedição também emprestou celóstatos de 16 polegadas (41 cm) da Universidade de Oxford e da Real Sociedade Astronômica. Além disso, a Real Academia Irlandesa ofereceu uma lente de 4 polegadas e um celóstato de 8 polegadas, que havia sido usado em 1911 para o trabalho de eclipse em Tonga e seria enviado para Sobral como um sobressalente para o telescópio principal.

Os preparativos e o acondicionamento dos equipamentos foram feitos no Observatório Real a partir do segundo semestre de 1918, um período ofuscado pelo fim da Primeira Guerra Mundial e suas consequências. O preparo geral das lentes e dos espelhos foi bastante simples, assim como a confecção dos tubos de aço para prender as lentes grandes, os suportes de chapas fotográficas e as cabanas de observação que deveriam ser facilmente transportáveis. Mas os celóstatos se mostraram mais complicados, e Edwin Cottingham dedicando muitas semanas para fazê-los deslizar o mais suavemente possível. Embora estivesse frustrado com as exigências do trabalho de guerra, na esperança de que eles funcionassem eletricamente, em vez de fazê-lo por um relógio, ele se sentiu confiante de que eles estavam funcionando bem no momento em que a expedição partiu.

Com os preparativos completos, o equipamento foi embalado em caixotes de madeira – 14 ao todo para os instrumentos, produtos químicos fotográficos e outros equipamentos para Sobral – levados em seguida para Liverpool e embarcados no vapor Anselm. As duas equipes zarparam para a ilha da Madeira via Lisboa em março de 1919, todos repletos de otimismo, embora o mau tempo tenha diminuído a animação de Crommelin e Cottingham que, mareados, sofreram de enjoos.

lostat, which had been used for eclipse work in Tonga in 1911 and was to be sent to Sobral as a back-up for the main telescope.

Preparations and packing took place at the Royal Observatory from the second half of 1918, a period overshadowed by the end of the First World War and its aftermath. General servicing of the lenses and mirrors was fairly straightforward, as was the manufacture of the steel tubes to hold the large lenses and photographic plate holders (see Figure 2), and of easily transportable observing huts. But the coelostats proved more troublesome, with Edwin Cottingham devoting many weeks to getting them running as smoothly as possible. Although he was frustrated by the demands of war work in his hope of having them run electrically rather than by clockwork, he felt confident that they were working well by the time the expedition departed.

With the preparations complete, the equipment was packed into crates – fourteen for the instruments, photographic chemicals and other equipment for Sobral – then taken to Liverpool to be put onto the steamship Anselm. The two teams set sail for Madeira via Lisbon in March 1919 full of optimism, although heavy weather soon dampened the spirits of Crommelin and Cottingham, who suffered from seasickness.

After calling at Madeira, Davidson and Crommelin left their colleagues and continued on the Anselm to Brazil, where the help of the Brazilian government allowed their many cases passed through customs without being examined before travelling north to Sobral. Eddington and Cottingham had to wait several days for a ship to Príncipe, however, since political turmoil in Portugal was disrupting travel. Indeed, they were to face similar difficulties when returning home, with impending strikes forcing them to leave Príncipe before they could carry out post-eclipse observations (which had to be done back in Britain instead).

ASTRONOMY IN THE FIELD_ Knowing that the full eclipse would last little more than five minutes, the observing teams were under enormous pressure to ensure that their observations went perfectly. They

Depois de alcançar a ilha da Madeira, Davidson e Crommelin deixaram seus colegas e continuaram no Anselm para o Brasil, onde, com a ajuda do governo brasileiro, toda a bagagem passou direto pela alfândega, sem que fosse examinada antes de viajarem até Sobral. Eddington e Cottingham, no entanto, tiveram que esperar vários dias por um navio para ilha do Príncipe, uma vez que a conturbada situação política em Portugal estava atrapalhando as viagens. Na volta para a casa, ainda enfrentariam dificuldades semelhantes, pois, com o risco de ataques iminentes, foram forçados a deixar a ilha do Príncipe antes de realizar as observações pós-eclipse (que tiveram de ser feitas depois, na Grã-Bretanha).

ASTRONOMIA EM CAMPO_ Sabendo que o eclipse completo duraria pouco mais de cinco minutos, as equipes de observação estavam sob enorme pressão

therefore put time and effort into preparing and testing the instruments exhaustively. The teams were at their chosen locations by the end of April, giving them a month to select an observing site, set up and test the instruments, and carry out full rehearsals for the precious minutes of the eclipse. Local advice and assistance proved invaluable as they faced the challenges of doing astronomy in the field.

At Sobral, Davidson and Crommelin had the support of local officials, including their interpreter, Dr Leocadio Araújo. They also had the advice and support of a team of Brazilian astronomers, led by Henrique Morize, who were there to make their own observations (figure 3). Morize had already helped the team plan their travel to Sobral and, once there, he made sure to warn the public that setting off fireworks during the eclipse might ruin the photographs they were there to capture.

On Morize's advice, Davidson and Crommelin set up their telescopes on the racecourse at Sobral. They then devoted the first ten days of May to carefully laying off a meridian (the north-south line along which the instruments lay), building sturdy supports for the telescopes and coelostats, and erecting the huts (see figure 2). Much

para garantir que suas observações fossem perfeitas. Assim, dedicaram tempo e esforços na preparação e nos testes exaustivos dos instrumentos. No final de abril, as equipes já estavam nos locais escolhidos, e assim tiveram um mês para selecionar um local de observação, configurar e testar os instrumentos, e realizar ensaios completos para os minutos preciosos do eclipse. As assessorias e os suportes locais se provaram inestimáveis para enfrentar o desafio de fazer astronomia em campo.

Em Sobral, Davidson e Crommelin tiveram o apoio de autoridades locais, incluindo o intérprete, Dr. Leocádio Araújo. Eles também tiveram a assessoria e suporte de uma equipe de astrônomos brasileiros, liderados por Henrique Morize, que estava lá para fazer suas próprias observações (figura 3). Morize já havia contribuído com a equipe no planejamento da viagem para Sobral e, lá estando, fez questão de alertar o público para não disparar fogos de artifício durante o eclipse, que poderiam arruinar as fotografias que eles estavam lá para capturar.

Por recomendação de Morize, Davidson e Crommelin instalaram seus telescópios na pista de corrida de Sobral. Em seguida, dedicaram os primeiros dez dias de maio a marcar cuidadosamente um meridiano (a linha norte-sul ao longo da qual os instrumentos se estenderiam), construindo suportes ro-

Figura 3. As equipes de observação brasileira, inglesa e americana em Sobral. O segundo e o terceiro, a partir da direita, são os astrônomos britânicos Charles Davidson and Andrew Crommelin. Crédito: Acervo ON
Figure 3. The Brazilian, British and American observing teams at Sobral. The British astronomers, Charles Davidson and Andrew Crommelin, are sitting second and third from the right. Source: ON Archive

bustos para os telescópios e celóstatos e erguendo os abrigos, como mostrado na figura 2. Grande parte dessa atividade contou com trabalhadores locais, que devem também ter ajudado em outras tarefas em Sobral, incluindo estruturação da estação meteorológica dos astrônomos brasileiros (figura 4), que forneceu dados à equipe britânica.

Logo depois que os telescópios foram instalados, o clima mostrou sua força quando fortes ventos danificaram o abrigo de observação. Improvisando, eles foram consertados com vigas que seriam destinadas a um quarto escuro temporário, e que não seria mais necessário, já que estavam usando os prédios próximos para esse fim. Outros problemas surgiram quando o equipamento foi testado nas duas semanas seguintes. As fotografias experimentais com o teles-

of this activity drew on local workers, who must also have helped with other tasks in Sobral, including the establishment of the Brazilian astronomers' meteorological station (figure 4), which supplied the British team with data.

Soon after the telescopes were installed, however, the weather got the upper hand as strong winds blew over and damaged the observing hut. Improvising, they had it repaired with beams intended for a temporary dark room, which was not needed as they were using nearby buildings for that purpose. More problems emerged as the equipment was tested over the next couple of weeks. Trial photographs with the larger telescope were out of focus due to imperfections in the coelostat mirror, so an 8-inch stop had to be introduced. This also meant that it would be vital

Figura 4. A estação meteorológica de Sobral, 1919. Seus dados, que eram necessários para os cálculos baseados nas fotografias do eclipse, foram compartilhados com os observadores britânicos. Crédito: Acervo ON

Figure 4. The meteorological station at Sobral, 1919. Its data, which was needed for the calculations based on the eclipse photographs, was shared with the British observers. Source: ON Archive

cópio maior estavam fora de foco devido a imperfeições no espelho do celóstato, e foi necessário introduzir um fixador de oito polegadas. Isso também significava que seria vital permanecer no Brasil mais tempo do que o planejado originalmente para tirar as fotos de comparação do campo do eclipse.

Durante os ensaios finais, verificou-se que o mecanismo do relógio do celóstato maior estava funcionando de maneira irregular. Eles decidiram então reduzir os tempos de exposição, esperando assim evitar que as imagens fossem comprometidas. Uma notícia mais feliz foi que o telescópio menor parecia estar funcionando bem. Na ilha do Príncipe, Eddington e Cottingham estavam preocupados que a troca das chapas fotográficas afetasse o equipamento e desfizesse as fotografias. Embora os testes mostrassem que isso não deveria ser um problema, eles decidiram sempre aguardar um segundo antes de mudar uma chapa e de começar uma exposição.

Ambas as equipes também tiveram que se adaptar ao clima tropical. Eles usaram telas para proteger os telescópios contra o sol, o vento e a chuva. Em Sobral, os celóstatos estavam expostos ao vento e precisaram ser cuidadosamente protegidos. Mas Davidson ficou aliviado por ter chovido alguns dias antes do eclipse, reduzindo a poeira que entrava nos mecanismos do celóstato. Eddington e Cottingham também sofreram com fortes chuvas na roça Sundy, na ilha do Príncipe, mas ficou comprovado que a lona sobre as cabanas de observação era a prova d'água. Consciente do clima desafiador, eles decidiram manter o espelho de celóstato empacotado até antes do eclipse, para evitar que ficasse manchado.

to remain in Brazil longer than originally planned in order to take comparison photographs of the eclipse field.

During final rehearsals, it became clear that the clockwork drive of the larger coelostat was running unevenly. They decided to reduce exposure times, thus hoping that this would prevent the images from being ruined. Some happier news was that the smaller telescope appeared to be working well. At Príncipe, Eddington and Cottingham were concerned that changing the photographic plates would shake the equipment and blur their photographs. Although tests showed that this should not be a problem, they decided always to wait one second between changing a plate and starting an exposure.

Both teams also had to adjust to the tropical climate. They erected screens to protect the telescopes from sun, wind and rain. At Sobral, the coelostats were susceptible to the wind and had to be carefully protected. But Davidson was delighted that it rained a few days before the eclipse, damping down the dust that was getting into the coelostat mechanisms. Eddington and Cottingham also suffered heavy rain at Roça Sundy on Principe, but the canvas over the observing huts proved to be waterproof. Aware of the challenging climate, they nevertheless decided to keep the coelostat mirror packed away until just before the eclipse so that it wouldn't tarnish.

Revelar fotografias no calor era igualmente desafiador. Geralmente isso era feito de noite, quando estava mais frio, particularmente em Sobral, onde não havia gelo disponível. Mesmo assim, testes antes do eclipse mostraram que a maioria das chapas fotográficas estava amolecendo. Para evitar problemas, eles trouxeram cinco tipos diferentes de chapas fotográficas, mas só uma mostrou-se resistente ao calor. No entanto, a adição de formol para fixação das imagens reveladas e impedi-las de se distorcerem foi de grande ajuda.

No dia do eclipse (figura 5), as equipes britânicas fizeram o máximo que puderam para garantir que seus instrumentos estivessem estáveis e protegidos. Mas o tempo estava além do que podiam controlar e tudo que podiam fazer era observar os céus e manter a esperança.

Sofrendo com as nuvens na ilha do Príncipe, Eddington escreveu: "Tivemos que realizar nosso programa de fotografias com fé." Isso apesar do fato de que a roça Sundy, uma plantação de cacau no noroeste da Ilha, ter sido escolhida por ser normalmente menos propensa a nebulosidade. Os astrônomos de Sobral aparentemente tiveram mais sorte; a nuvem ao redor do Sol desapareceu durante a totalidade, embora a nuvem anterior tenha impedido as correções finais nos relógios dos celóstatos.

Os cinco minutos de eclipse total foram intensamente ocupados. Em Sobral, Leocádio Araújo ajudou contando o tempo a partir de um metrônomo, permitindo que os dois astrônomos se concentrassem em mudar as chapas fotográficas. Trabalhando com o telescópio maior, Davidson expôs 19 chapas por 5 e 10 segundos alternados. Crommelin

Figura 5. Observadores e visitantes no dia do eclipse, em Sobral. Crédito: Acervo ON
Figure 5. Observers and other visitors on the racecourse at Sobral on the day of the eclipse. Source: ON Archive

Developing photographs in the heat was equally difficult. It was usually done at night, when it was cooler, particularly at Sobral, where no ice was available. Nonetheless, tests before the eclipse showed that most of the photographic plates were becoming soft. Anticipating problems, they had brought five different types of photographic plate but only one was resilient to the heat. However, adding formalin to harden the developed images and prevent their distorting proved helpful.

By the day of the eclipse (figure 5), the British teams had done as much as they could to ensure that their instruments were stable and protected. But the weather was beyond their control and all they could do was watch the skies and hope. Suffering cloud at Príncipe, Eddington wrote that, 'We had to carry out our programme of photographs in faith.' This was despite the fact that Roça Sundy, a cocoa plantation in the north-west of the island, had been chosen as it was normally less prone to cloud. The astronomers at Sobral appeared to have better luck; the cloud around the Sun mostly cleared during totality, although cloud beforehand prevented final corrections to the coelostat clocks.

The five minutes of total eclipse were intensely busy. At Sobral, Leocadio Araújo helped by calling out the time from a metronome, allowing the two astronomers to concentrate on changing the photographic plates. Working with the larger telescope, Davidson exposed 19 plates for alternately 5 and 10 seconds. Crommelin exposed eight plates for 28 seconds each with the smaller instrument. At Roça Sundy, where they had only one telescope, Eddington changed the plates, while Cottingham called

expôs 8 chapas por 28 segundos cada uma com o instrumento menor. Na roça Sundy, onde tinham apenas um telescópio, Eddington trocava as chapas, enquanto Cottingham contava o tempo e verificava o celóstato. Eles tiveram pouco tempo para apreciar o que estava acontecendo acima deles. “Eu não vi o eclipse”, disse Eddington para sua mãe, “estava muito ocupado trocando as chapas, exceto por uma espiada para ter certeza de que havia começado e outra para ver quanta nuvem havia.”

Com o termino do eclipse, ainda havia muito a ser feito. As fotografias tiveram que ser reveladas e foram necessárias observações adicionais, além de outras fotografias, antes do retorno à Grã-Bretanha para dar início ao trabalhoso processo de comparação e cálculo. As primeiras indicações de que seus esforços foram um sucesso vieram quando eles revelaram as fotografias do eclipse nos dias seguintes.

Na ilha do Príncipe, houve desapontamento: nuvens obscureceram as estrelas em muitas das fotografias, e somente algumas pareciam que poderiam produzir resultados. As imagens de Sobral também tiveram problemas, mas havia também motivo para otimismo. As fotografias com o telescópio menor mostraram boa definição (figura 6), oferecendo uma promessa real de sucesso. As fotografias do telescópio maior estavam mal focalizadas, embora as chapas de comparação tomadas anteriormente tivessem sido boas. Eles acreditavam que o sol quente do Brasil fizera com que o espelho do celóstato se distorcesse no dia do eclipse. Ironicamente, na ilha do Príncipe, as nuvens problemáticas evitaram que o espelho de celóstato sofresse a mesma distorção.

Figura 6. Sobral — foto do eclipse de 1919 feita por Andrew Crommelin com o telescópio menor. Crédito: Science Museum/Science Society Picture Library

Figure 6. The 1919 eclipse photographed at Sobral by Andrew Crommelin with the smaller telescope. Source: Science Museum/ Science Society Picture Library

the time and checked the coelostat. They had little time to appreciate what was going on above them. 'I did not see the eclipse,' Eddington told his mother, 'being too busy changing plates, except for one glance to make sure it had begun, and another halfway through to see how much cloud there was.'

With the eclipse over, there was still much to be done. The photographs had to be developed and additional observations and photographs were needed before returning to Britain to begin the laborious process of comparison and calculation. The first indications of whether their efforts had been a success came as they developed the eclipse photographs in the next few days.

On Principe, there was disappointment: clouds had obscured the stars on many of the photographs, with only a few looking like they might yield results. The Sobral images also had problems, although there was cause for optimism too. The photographs with the smaller telescope showed good definition (figure 6), offering real promise of success. But the photographs from the larger telescope were poorly focused, even though the comparison plates taken beforehand had been good. They reckoned that the hot Brazilian sun had caused the coelostat mirror to distort on the day of the eclipse. Ironically, the troublesome clouds at Príncipe meant that their coelostat mirror did not suffer in the same way.

Eddington and Cottingham left Príncipe shortly after the eclipse, being forced to take the last available ship before strikes stranded them there, but Davidson and Cottingham were able to stay in Brazil until July. Having developed their eclipse photographs by 7 June, they went travelling for a month before re-

Eddington e Cottingham saíram da ilha do Príncipe logo após o eclipse, sendo obrigados a tomar o último navio disponível antes que ataques os detivessem, mas Davidson e Cottingham conseguiram permanecer no Brasil até julho. Tendo revelado suas fotografias do eclipse até 7 de junho, viajaram por um mês antes de voltarem para tirar fotos comparativas do campo do eclipse. Eles tiveram o cuidado, no entanto, de deixar as partes sensíveis do equipamento dentro de prédios, protegidos da poeira, enquanto estivessem fora. Os dois astrônomos finalmente partiram para casa no final de julho e estavam de volta a Greenwich no final de agosto de 1919.

As semanas seguintes foram dominadas por longas e meticulosas análises das fotografias antes que os resultados estivessem finalmente prontos para serem analisados em uma reunião na Sociedade Real em Londres, em 6 de novembro de 1919.

Conduzindo a discussão, Eddington disse nesse grande e esperado encontro que eles haviam conseguido calcular valores para a deflexão da luz de fotografias tiradas de cada telescópio, mas que os valores diferiam consideravelmente. Considerando cuidadosamente o desempenho de cada um dos instrumentos, ele argumentou que os resultados do telescópio menor usado em Sobral eram os mais confiáveis e que apoiavam as previsões de Einstein. Os resultados de duas das chapas da ilha do Príncipe, sugeriu, ofereceram confirmação adicional, mas de forma menos conclusiva. As imagens do telescópio maior de Sobral, no entanto, foram sujeitas a “erros sistemáticos”, incluindo a exposição excessiva das estrelas mais brilhantes, e deveriam ser desconsideradas.

Figura 7. Uma imagem positiva do eclipse de 1919 captada em Sobral com o telescópio menor. Os pares de traços adicionados indicam as estrelas usadas para medir a deflexão da luz. Cópias foram enviadas para outros astrônomos e uma versão negativa surgiu com os resultados publicados. Crédito: Science Museum/Science Society Picture Library

Figure 7. A positive image of the 1919 eclipse taken at Sobral with the smaller telescope. The added pairs of dashes indicate the stars used to measure the deflection of light. Copies were sent to other astronomers and a negative version appeared with the published results. Source: Science Museum/Science Society Picture Library

turning to take comparison photographs of the eclipse field. They were careful, however, to move the delicate parts of the equipment indoors to protect them from dust while they were away. The two astronomers finally headed home towards the end of July and were back in Greenwich by late August 1919.

The next few weeks were dominated by long and painstaking analysis of the photographs before the results were finally ready for consideration at a meeting at the Royal Society in London on 6 Nov 1919.

Leading the discussion, Eddington told the large, expectant gathering that they had managed to calculate values for the deflection of light from photographs taken with each telescope, but that the values differed considerably. Carefully considering the performance of each of the instruments, he argued that the results from the smaller telescope used in Sobral were the most trustworthy and that they supported Einstein's predictions. The results from two of the Príncipe plates, he suggested, offered further support, but less conclusively so. The images from the larger Sobral telescope, however, were subject to 'systematic error', including over-exposure of the brighter stars, and should be discounted.

There is some irony in the fact that the smaller telescope used at Sobral should have proved so significant in making the expeditions a success. It had, after all, been taken only as a secondary instrument to back up what they assumed would be the higher quality telescope, and only then because the Royal Irish Academy happened to offer the loan. Yet it was this instrument that carried the day and appropriately

Há uma certa ironia no fato de que o telescópio menor usado em Sobral tenha se mostrado tão significativo para tornar as expedições um sucesso. Afinal de contas, ele era considerado apenas como um instrumento secundário, um sobressalente do que eles consideravam ser o telescópio de maior qualidade, e só o levaram por que a Real Academia Irlandesa ofereceu o empréstimo. No entanto, foi esse instrumento que salvou o dia e, por consequência, uma das fotografias tiradas com ele é que foi publicada com os resultados e distribuída para outros astrônomos (figura 7). Da mesma forma, Sobral destacou-se em ilustrações na imprensa popular, tornando-se um ícone da revolução científica amplamente divulgada.

As duas equipes britânicas sempre souberam que fazer astronomia no campo com equipamentos delicados seria desafiador. Tendo percorrido centenas de quilômetros, seus instrumentos de precisão precisavam ser montados e estabilizados em condições ideais. Uma importante lição aprendida nas expedições do eclipse de 1919 foi que os celóstatos portáteis não eram adequados para esse tipo de trabalho. Eddington e seus colegas observadores de eclipses recomendaram que expedições futuras usassem instrumentos de montagem equatorial. Mesmo assim, com um pouco de sorte e um apoio valioso de colegas e representantes dos governos brasileiro e português, as equipes britânicas superaram os desafios da astronomia avançada em circunstâncias difíceis, ainda mais em um mundo que ainda se recuperava da guerra. Ao fazê-lo, apresentaram as provas das Teorias de Einstein.

Os jornais de 7 de novembro de 1919 puderam, com razão, saudar uma revolução no pensamento científico baseada no cuidadoso gerenciamento e operação de instrumentos delicados (figura 8).

Figura 8. Sobral passou a ser lugar de destaque quando o sucesso da expedição apareceu na Illustrated London News, 22 de novembro 1919.
Figure 8. Sobral took pride of place when the expedition's success appeared in Illustrated London News, 22 November 1919.

it was one of the photographs taken with it that was published alongside the results and circulated to other astronomers (figure 7). Likewise, Sobral featured prominently in illustrations in the popular press, becoming an icon of the widely publicised scientific revolution.

The two British teams always understood that doing astronomy in the field with delicate equipment was going to be challenging. Having travelled hundreds of miles, their precision instruments needed to be set up and made stable in far from ideal conditions. An important lesson learned on the 1919 eclipse expeditions was that portable coelostats were not suited to this kind of work. Eddington and his fellow eclipse-watchers recommended that future expeditions use equatorially mounted instruments instead. Nevertheless, with a bit of luck and valuable support from Brazilian and Portuguese colleagues and officials, the British teams had overcome the challenges of advanced astronomy in difficult circumstances, all the more so in a world still recovering from war. In doing so, they had presented proof of Einstein's theories.

The newspapers of 7 November 1919 could rightly hail a revolution in scientific thinking based on the careful management and operation of delicate instruments (figure 8).

O magnetismo terrestre e a eletricidade atmosférica: a Comissão Carnegie em Sobral

Luís C. B. Crispino
Marcelo C. de Lima
Universidade Federal do Pará, Brasil

Earle R. Williams
Instituto de Tecnologia de Massachusetts, EUA

Luís C. B. Crispino
Marcelo C. de Lima
Federal University of Pará, Brazil

Earle R. Williams
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA

Terrestrial magnetism and atmospheric electricity: The Carnegie Commission in Sobral

In 1919, the May 29 total eclipse of the Sun became famous for the confirmation of Einstein's theory of General Relativity, due to measurements of light bending, documented on photographic plates, registered by the British expeditions organized for this purpose. One of these British expeditions, comprised of Arthur Stanley Eddington (1882-1944) and Edwin Turner Cottingham (1869-1940) both of whom traveled to Africa, to Príncipe

O eclipse total do Sol de 29 de maio de 1919 ficou famoso pela confirmação da Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein, com as medidas de deflexão da luz documentadas em placas fotográficas pelas expedições britânicas de Arthur Stanley Eddington (1882-1944) e Edwin Turner Cottingham (1869-1940), para a Ilha do Príncipe, Golfo da Guiné, e de Andrew Claude de la Cherois Crommelin (1865-1939) e Charles Rundle Davidson

Figura 1. Daniel Maynard Wise (ca. 1915). Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 1. Daniel Maynard Wise (ca. 1915). Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Island. Another British expedition comprised of Andrew Claude de la Cherois Crommelin (1865-1939) and Charles Rundle Davidson (1875-1970) who traveled to the city of Sobral (CE), located in the North-East of Brazil. The local arrangements for the British expedition in South America were organized by Henrique Charles Morize (1860-1930), director of the Brazilian National Observatory, who also organized an expedition to Sobral to perform measurements related to the solar corona.

Apart from the British and the Brazilian expedition, a third expedition, from the Carnegie Institution in North America was organized, to observe the total solar eclipse of 1919 in Sobral, with the aim of studying Earth magnetism and atmospheric electricity. Daniel Maynard Wise, as the team leader, together with Andrew Thomson (1893-1974), comprised the Carnegie team. Here we describe in detail the historical context and the activities related to the Carnegie Institution expedition.

In this article we will learn about the historical context and activities related to the Carnegie Institute expedition, which brought about new data about the influence of eclipses on variations of terrestrial magnetism, on the surface potential of the earth and on atmospheric conductivity.

(1875-1970), para a cidade brasileira de Sobral (CE). Os preparativos locais de organização para a expedição britânica na América do Sul foram feitos por Henrique Charles Morize (1860-1930), diretor do Observatório Nacional Brasileiro, que também organizou uma expedição a Sobral para realizar medições relacionadas à coroa solar.

Além das equipes britânica e brasileira, uma terceira expedição para observar o eclipse total do Sol de 1919 em Sobral foi organizada pelo Instituto Carnegie, na América do Norte. Tendo Daniel Maynard Wise como líder, acompanhado de Andrew Thomson (1893-1974), a equipe Carnegie objetivava estudar o magnetismo da Terra e a eletricidade atmosférica.

Neste artigo, vamos conhecer o contexto histórico e as atividades relacionadas a essa expedição do Instituto Carnegie, que trouxe novos dados sobre a influência dos eclipses nas variações do magnetismo terrestre, no gradiente de potencial na superfície da Terra e na condutividade atmosférica.

FUNDAÇÃO DO INSTITUTO CARNEGIE: CONTEXTO HISTÓRICO_O magnata do aço Andrew Carnegie (1835-1919) fundou o Instituto Carnegie em Washington (ICW), em 1902, com a missão de financiar pesquisas científicas inovadoras. Dois anos depois, o Departamento de Magnetismo Terrestre (DMT) foi criado nessa instituição, sob a liderança de Louis Agricola Bauer (1892-1939), com o propósito de realizar uma ampla pesquisa relacionada ao mapeamento do campo magnético da Terra, o comportamento da eletricidade atmosférica, geoquímica e radioastronomia.

Naquela época, Bauer considerava uma prioridade do DMT lidar com medições geomagnéticas oceânicas e, em 1905, o navio Galilee já havia içado velas em sua primeira expedição científica. Originalmente construído para fins de navegação, o Galilee foi adaptado para minimizar a influência das estruturas de ferro do navio nas medições a serem realizadas. Posteriormente, em 1919, o Galilee foi substituído pelo navio Carnegie, projetado especificamente para fins de pesquisa geomagnética. Em 1914, o DMT se mudou para o local em que fica hoje, na Broad Branch Road em Washington D.C., onde também foi criado o Observatório Magnético da ICW. Paralelamente às expedições

HISTORICAL CONTEXT AND THE ESTABLISHMENT OF THE CARNEGIE INSTITUTION_ The steel magnate Andrew Carnegie (1835-1919) founded the Carnegie Institution in Washington (CIW), in 1902, with the mission of financing innovative scientific research. Two years later the Department of Terrestrial Magnetism (DTM) was created within that institution, under the leadership of Louis Agricola Bauer (1892-1939), with the purpose of doing broad research related to: the mapping of the Earth's geomagnetic field; the behavior of atmospheric electricity; geochemistry; and radio astronomy.

At that time, Bauer considered it a priority of the DTM to deal with oceanic geomagnetic measurements and, in 1905, the ship Galilee had already set sail on its first scientific expedition. Originally constructed for navigation purposes, the Galilee was adapted to minimize the influence of the iron structures of the ship on the measurements to be performed. Subsequently, the Galilee was replaced, in 1919, by the ship Carnegie, specifically designed for the purpose of geomagnetic research. In 1914, the DTM was established at the place where it remains today, on Broad Branch Road, Washington, D.C., where the CIW Magnetic Observatory was also established. In parallel to the sea expeditions, various other continental expeditions also took place.

When the DTM launched its "magnetic crusade", other international efforts were no more than 60 years old. The idea that solar activity was associated with magnetic storms and auroras on Earth had finally been consolidated

marítimas, várias outras expedições continentais também foram realizadas.

Quando o DMT lançou sua "cruzada magnética", os esforços internacionais não tinham mais que 60 anos. A ideia de que a atividade solar estava associada a tempestades magnéticas e auroras na Terra finalmente se consolidou após 50 anos de controvérsia. Edward Walter Maunder (1851-1928) havia proposto que, nos períodos de intensa atividade, o Sol expulsaria a matéria solar, na forma de jatos, atirando em uma direção definida; mas a compreensão desse fenômeno chamado "ejeção de massa coronal" ainda teria de aguardar desenvolvimentos posteriores em física fundamental. George Ellery Hale (1868-1938), principal responsável pela fundação do Observatório de Monte Wilson com o apoio de Carnegie, descobriu, em 1908, a intensidade magnética associada às erupções solares, graças ao então recém descoberto "efeito Zeeman" (nome dado ao deslocamento das linhas espectrais de um sistema em vários componentes pela ação de um campo magnético). Douglas Mawson (1882-1958), da expedição Nimrod, liderada por Sir Ernest Shackleton (1874-1922), identificaria o polo sul geomagnético em 1909.

MAPEAMENTO GEOMAGNÉTICO_ Desde o tempo de Isaac Newton (1643-1727), sabia-se que o modelo de Terrella proposto por William Gilbert (1544-1603) em sua obra De Magnete – segundo o qual a Terra seria um grande imã, com seu eixo magnético inclinado em relação ao seu eixo de rotação – não correspondia

after 50 years of controversy. Edward Walter Maunder (1851-1928) had proposed that, during periods of intense activity, the Sun would expel solar matter, in the form of jets, shooting in a defined direction. However, the understanding of the coronal mass ejection (CME) would still await later developments in fundamental physics. George Ellery Hale (1868-1938) who had mainly been responsible for establishing the Mount Wilson Observatory with Carnegie's support discovered magnetic intensity associated with solar flares in 1908, thanks to the then newly discovered zeeman effect (the name given to the slitting of spectral lines of a system into several components by the action of a magnetic field). Douglas Mawson (1882-1958), of the Nimrod expedition headed by Sir Ernest Shackleton (1874-1922), would identify the geomagnetic South Pole in 1909.

GEOMAGNETIC MAPPING_ Since the time of Isaac Newton (1643-1727), it was known that the Terrella model proposed by William Gilbert (1544-1603) in his De Magnete, in which the Earth was a great magnet, with its magnetic axis inclined with respect to its rotation axis, did not correspond well with reality. Since Henry Gellibrand´s (1597–1637) discovery of secular magnetic declination, indicating the migration of the geomagnetic North Pole, the complexity of the geomagnetic field became evident, imposing the need for a continuous updating of Edmund Halley's map of declinations from 1701 (Halley, 1701).

bem à realidade. Com o registro da declinação magnética secular, feito por Henry Gellibrand (1597-1637), indicando a migração do Polo Norte geomagnético, a complexidade do campo magnético da Terra tornou-se evidente, impondo a necessidade de uma atualização contínua do mapa de declinações de Edmund Halley, de 1701.

Em 1722, a descoberta de George Graham (1674-1751) sobre as variações diurnas da declinação magnética (devido à rotação da Terra na presença do vento solar) trouxe dados adicionais a essa matéria. A observação de tempestades magnéticas, por Graham e Anders Celsius (1701-1744), em 1741, e sua possível relação com as auroras boreais e a atividade solar apontaram para um cenário mais complexo.

A primeira tentativa de mapeamento global do campo magnético na superfície da Terra foi realizada em meados do século 19, quando estações magnéticas foram criadas em todo o Império Britânico, com a instalação dos Observatórios Magnéticos Coloniais Britânicos. Além de Greenwich (Londres), Dublin (Irlanda) e Toronto (Canadá), foram colocadas estações na Ilha Santa Helena (Atlântico Sul), no Cabo da Boa Esperança (África do Sul), na Tasmânia (Oceania), em Madras, Simla e Bombaim (Índia), e em Singapura. O Império Russo, por sua vez, estabeleceu 10 estações magnéticas em seu território e uma em Beijing (China).

Esse empreendimento internacional surgiu como consequência da iniciativa de Alexander von Humboldt (1769-1859), que, após suas viagens à América do Sul (onde descobriu o equador magnético da Terra), alertou Carl Friedrich Gauss (1777-1855) sobre a necessidade de se estabelecer um programa de estudo sistemático do magnetismo terrestre, bem como de uma rede de observatórios magnéticos, e para desenvolver e aperfeiçoar os dispositivos de medição. Gauss, em colaboração com Wilhelm Eduard Weber(1804-1891), iniciou a Göttingen Magnetische Verein (União Magnética de Göttingen), criando assim os padrões de medição magnética que levaram ao sistema C.G.S. de unidades.

O próximo passo para Humboldt era atrair a atenção do Império Britânico para esse empreendimento global. Isso foi realizado pelo coronel Edward Sabine (1788-1883), que já havia participado de expedições do Almirantado Britânico, realizando medições geomagnéticas na busca pelo polo geomagnético norte. Juntamente com Michael Faraday (1791-1867) e Thomas Young (1773-1829), Sabine tornou-se consultor científico do Almirantado. Quando estações localizadas em toda a Europa, no Império Russo e nos domínios do Império Britânico começaram a operar por volta de 1840, o esforço coletivo ficou conhecido como Cruzada Magnética. Os avanços sem precedentes dessa cruzada também mostraram que esse esforço era um passo tímido e preliminar para a compreensão da dinâmica do campo geomagnético, e que esse monitoramento era uma tarefa a ser ampliada e refinada.

The discovery in 1722 by George Graham (1674-1751) of the diurnal variations of magnetic declination (due to the Earth's rotation in the presence of solar wind), provided additional input for the subject. The discovery of magnetic storms, by Graham and Anders Celsius, in 1741, and their possible relation to the Auroras Borealis and solar activity, pointed to a more complex scenario.

The first attempt at global mapping of the magnetic field on the Earth's surface was performed in the middle of the 19th century, when magnetic stations and British Colonial Magnetic Observatories were established throughout the British Empire. In addition to Greenwich (London), Dublin (Ireland), and Toronto (Canada), stations were set up in the Island of Santa Helena (South Atlantic), at the Cape of Good Hope (South Africa), in Tasmania (Oceania), in Madras, Simla and Bombay (India) and in Singapore. The Russian Empire established 10 magnetic stations in its territory and one in Beijing (China).

This international enterprise arose as a consequence of the initiative of Alexander von Humboldt (1769-1859), who, after his voyages to South America (where he discovered the Earth's magnetic equator), had inspired Carl Friedrich Gauss (1777-1855) to establish a program not only for the systematic study of terrestrial magnetism, but for the creation of a network of magnetic observatories, as well as the development and refinement of the measuring devices. Gauss, in collaboration with Wilhelm Eduard Weber, then started the Göttingen Magnetische Verein (Göttingen Magnetic Union), thereby establishing the magnetic measurement standards that led to the C.G.S. system of units.

For Humboldt, the next step was to attract the attention of the British Empire for this global enterprise. This was accomplished by Colonel Edward Sabine (1788-1883) who had already taken part in expeditions of the British Admiralty, performing geomagnetic measurements in the search for the north geomagnetic pole. Together with Michael Faraday (1791-1867) and Thomas Young (1773-1829), Sabine became a scientific consultant of the Admiralty. When stations located throughout Europe, the Russian Empire, and the British Empire began to operate around 1840, the collective effort became known as the Magnetic Crusade. The unprecedented advances of this Crusade also demonstrated that this effort was a timid and preliminary step towards the understanding of the dynamics of the geomagnetic field, and that the monitoring of which was a task to be both magnified and refined.

ATMOSPHERIC ELECTRICITY_Apart from Gilbert's model for the "great magnet", the Earth and its atmosphere had also been conceived as the "great capacitor" by William Thomson (1824-1907), later known as Lord Kelvin.

Since the year of 1752, the pioneering experiments by Benjamin Franklin (1706-1790) and those of François D'Alibard (1709-1778) demonstrated the electrical nature of lightning, and that in general its electricity was a "resinous" or negative type. In the same year, Louis-Guillaume Le Monnier (1717-1799) demonstrated that the atmosphere is electrified, even in fair weather, and found evidence that the level of electrification varies diurnally. Giovanni Battista Beccaria (1716-1781) confirmed this finding in 1775, after 20 years of observations. Beccaria determined that the atmospheric polarity was, in general, positive in fair weather, but alternating locally to negative when storms were nearby, in agreement with previous results obtained by Franklin.

In 1779, Franklin postulated the existence of a global electrical circuit being the carrier of electricity to the polar regions, describing the warm and humid ascending air in the tropics, advecting in the upper atmosphere to the polar region and returning to lower latitudes near the ground. Although at that time it was an effort to explain Franklin's circuit and the origin of the auroras, it was, however, the preliminary version of the present Direct Current (DC) global circuit.

ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA_ Além do modelo de Gilbert do "grande ímã", a Terra e sua atmosfera também foram concebidas como o "grande capacitor" por William Thomson (1824-1907), mais tarde Lord Kelvin.

Desde o ano de 1752, os experimentos pioneiros de Benjamin Franklin (1706-1790) e de François D'Alibard (1709-1778) demonstraram, além da natureza elétrica do raio, que sua eletricidade era, em geral, do tipo "resinosa", ou negativa. No mesmo ano, Louis-Guillaume Le Monnier (1717-1799) demonstrou que a atmosfera é eletrificada, mesmo com tempo bom, e encontrou evidências de que o nível de eletrificação varia durante o dia. Giovanni Battista Beccaria (1716-1781) confirmou esse achado em 1775, após 20 anos de observações. Beccaria determinou que a polaridade atmosférica era, em geral, positiva, em tempo bom, alternando localmente para negativa quando as tempestades estavam próximas, de acordo com resultados anteriores obtidos por Franklin.

Em 1779, Franklin postulou a existência de um circuito elétrico global, imaginando que o ar quente e úmido ascendente nos trópicos – advectando na alta atmosfera para a região polar e retornando para latitudes mais baixas próximas do solo – seria o transportador de eletricidade para as regiões polares. Embora o circuito de Franklin fosse à época um esforço para explicar a origem das auroras, era de algum modo uma versão preliminar do atual circuito global de corrente contínua (CC).

In the same year, Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) measured the induced charge on a conductor immersed in the atmosphere. He discovered the annual variations of the atmospheric electrification, higher in the winter than in the summer fair weather, as well as its variation of latitude. It was only in 1804, that Paul Erman (1764-1851) suggested that the Earth's surface may be negatively charged, an estimation that would explain a diversity of phenomena related to atmospheric electricity, but erroneously assuming the absence of a positive electric charge in lower atmosphere. In 1842, Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845) confirmed the negative electrification of the Earth´s surface.

When William Thomson analyzed the problem of atmospheric electricity in 1860, in light of his theory for electrostatic potential, he had shown that, simply by measurements on the surface of the Earth, it was not possible to determinate the location of the charge responsible for the phenomenon of atmospheric electricity. He argued that a free positive charge should exist in the atmosphere, and not at infinity, which would produce a potential gradient in the lower atmosphere. Since he knew that air at low pressure is a good conductor, he assumed that this condition holds in high atmosphere, later called the Heaviside Layer, and nowadays known as the ionosphere.

Since the lines of potential gradient do not penetrate a conductor, Thomson assumed that the free positive charges should be located on the inner side of the layer or even below. Thomson then suggested that the atmosphere was globally analogous to the interior of a capacitor, in which the plates were the Earth surface itself, and the conducting layer was in the high atmosphere.

No mesmo ano de 1779, Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) mediu a carga induzida em um condutor imerso na atmosfera. Ele descobriu as variações anuais da eletrização atmosférica, mais altas no inverno do que no verão, em tempo bom, bem como sua variação com a latitude. Foi somente em 1804, que Paul Erman (1764-1851) sugeriu que a superfície da Terra seria carregada negativamente, estimativa que explicaria uma diversidade de fenômenos relacionados à eletricidade atmosférica, mas assumindo erroneamente a ausência de carga elétrica positiva na baixa atmosfera. Em 1842, Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845) confirmou a eletrificação negativa da superfície da Terra.

Quando William Thomson analisou o problema da eletricidade atmosférica em 1860, à luz de sua Teoria do potencial eletrostático, ele havia mostrado que, apenas por medições na superfície da Terra, não era possível determinar a localização da carga responsável pelo fenômeno da eletricidade atmosférica. Ele argumentou que deveria haver uma carga positiva livre na atmosfera, e não no infinito, o que produziria um gradiente de potencial na baixa atmosfera. Como ele já sabia que o ar a baixa pressão é um bom condutor, supôs que essa condição se mantinha na alta atmosfera, depois chamada de Camada de Heaviside e hoje conhecida como ionosfera.

Como as linhas de gradiente de potencial não penetram em um condutor, Thomson presumiu que as cargas positivas livres deveriam estar localizadas no lado interno da camada ou mesmo abaixo dela. Thomson então sugeriu que a atmosfera era globalmente análoga ao interior de um capacitor, no qual as placas eram a superfície da própria Terra e a camada condutora na alta atmosfera.

Sabia-se, pelas medidas disponíveis na época, que esse gradiente de potencial não era constante, mudando de lugar para lugar e também ao longo do tempo, o que levou Thomson a sugerir um mapeamento global do gradiente de potencial, com medições não só na superfície da Terra, mas também na atmosfera, com a ajuda de balões, constituindo uma "cruzada elétrica". Esse esforço só foi iniciado no século 20 e nele, novamente, coube ao Instituto Carnegie um importante papel.

Em 1885, F. Linss mediu a condutividade elétrica do ar em baixa altitude, confirmando as evidências estabelecidas 100 anos antes por Charles Augustin Coulomb (1736-1806). Embora esse ar exibisse uma baixa condutividade, era suficiente descarregar "o capacitor de Kelvin" em aproximadamente 10 minutos, contrariamente ao comportamento observado do campo elétrico, que se mantém. A explicação de por que tal descarga não ocorre tornou-se então um dos problemas fundamentais da eletricidade atmosférica.

Em 1897, Joseph John Thomson (1856-1940) descobriu o elétron, abrindo caminho para a compreensão de que o raio era um fluxo de elétrons. Em 1899, Julius Elster (1854-1920) e Hans Friedrich Geitel (1855-1923) demonstraram a constituição iônica da atmosfera, registrando a existência de partículas de dimensões moleculares ou ainda maiores, e positivamente e negativamente carregadas. Eles mostraram que a radioatividade estava presente na atmosfera, como uma possível explicação para a origem desses íons.

It was known, by the measurements available at that time, that this potential gradient was not constant, changing from place to place, as well as with time, leading Thomson to suggest a global mapping of the potential gradient, with measurements not only at the Earth's surface, but also in the atmosphere, with the help of balloons, constituting an Electric Crusade. This effort was not initiated until the 20th century, and again the Carnegie Institution played an important role.

In 1885, F. Linss measured the electrical conductivity of the air at low altitude, confirming the evidence established by Charles Augustin Coulomb (1736-1806) a hundred years before. Though the air exhibited low conductivity, it was sufficient to discharge "Kelvin's capacitor" in approximately 10 minutes, contrary to the observed behaviour of the maintained electric field. The explanation why such a discharge does not occur then became one of the fundamental problems in atmospheric electricity.

In 1897, Joseph John Thomson (1856-1940) discovered the electron, clearing the way for the understanding that lightning was a flux of electrons. In 1899, Julius Elster (1854-1920) and Hans Friedrich Geitel (1855-1923) demonstrated the ionic constitution of the atmosphere, registering the existence of particles of molecular dimensions, or even bigger, positively as well as negatively charged. They had shown that radioactivity was present in the atmosphere, as a possible explanation for the origin of such ions.

Esses resultados levaram Victor Francis Hess (1883-1964) a investigar a esperada diminuição da ionização atmosférica da superfície da Terra para cima, o que de fato ocorre em baixas altitudes. No entanto, surpreendentemente, ele descobriu que, a partir de certa altura, a ionização começou a aumentar com a altitude, levando-o à descoberta dos raios cósmicos. Mais tarde percebeu-se que os raios cósmicos são, de fato, uma fonte de ionização em todos os níveis da atmosfera, com grande influência ocorrendo em altitudes mais elevadas. A radiação ultravioleta do Sol é grandemente absorvida antes de atingir as camadas inferiores da atmosfera e, por causa disso, essa radiação não é importante para a eletricidade atmosférica. Na parte da atmosfera mais próxima da superfície da Terra, a ionização dos raios cósmicos é independente do tempo solar ou sideral.

Graças ao trabalho do DMT, na época do eclipse de 29 de maio de 1919, a variação do campo elétrico atmosférico durante o dia foi confirmada, independentemente do local de medição e variando com o tempo universal. No intervalo entre 1915 e 1921, o DMT organizou quatro cruzeiros, coletando os dados do ar oceânico limpo que levou ao que se conhece hoje como curva Carnegie de eletricidade atmosférica. Com a "curva de Carnegie" foi possível obter um resultado de valores médios horários de campo elétrico ao longo de muitos dias e as medições locais da condutividade do ar na superfície em Sobral fizeram parte desse esforço. No período 1928-1929, duas expedições adicionais foram organizadas.

Em 1920, o C.T.R. Wilson Institute, ciente das descobertas do Instituto Carnegie, sugeriu que as tempestades globais seriam responsáveis pela variação diurna

These results then led Victor Francis Hess (1883-1964) to investigate the expected decrease of the atmospheric ionization from the Earth's surface upward, which in fact occurs at lower altitudes. However, he found surprisingly, that from a certain height ionization began to increase with altitude, leading him to the discovery of cosmic rays. Later, came the realization that cosmic rays are in fact, a source of ionization at all levels in the atmosphere, with major influence occurring at higher altitudes. The Sun's ultraviolet radiation is greatly absorbed before reaching lower layers of the atmosphere and, because of this, radiation is unimportant in atmospheric electricity. In the part of the atmosphere closer to the Earth's surface, the ionization from cosmic rays is independent from solar or sidereal time.

Thanks to the work of the DTM, at the time of the eclipse of May 29, 1919, the diurnal variation of the atmospheric electric field was confirmed, independent from the measurement location and variations of universal time. Between 1915-1921, the DTM organized four cruises, collecting data from clean oceanic air that led to the now known Carnegie curve of atmospheric electricity. Due to the "Carnegie curve" it was possible to obtain a result of hourly average electric field values, over many days. Local measurements of surface air conductivity in Sobral were also part of this effort. During the period 1928-1929, two additional expeditions were organized.

In 1920, the C.T.R. Wilson Institute, well aware of the findings of the Carnegie Institution, suggested that global storms were responsible for the diurnal variation of atmospheric electricity, overcoming the discharge of the "Kelvin capacitor". In 1929, Francis

da eletricidade atmosférica, superando a descarga do "capacitor de Kelvin". Em 1929, F. J. W. Whipple (Francis John Welsh Whipple, 1876-1943) mostrou que a variação diurna do campo elétrico em tempo bom apresenta uma variação diurna similar às tempestades globais. O circuito global CC foi então estabelecido, com as tempestades globais sendo as baterias que impulsionam a corrente elétrica para cima, em direção à ionosfera, uma corrente que retorna ao solo em regiões com tempo bom.

A EXPEDIÇÃO AO BRASIL DE 1919_O DMT enviou duas expedições para pontos no trajeto da totalidade do eclipse de 29 de maio de 1919. Além da expedição enviada ao Brasil, a outra foi para o Cabo Palmas, na Libéria, composta pelo próprio Bauer e H. F. Johnston. Lá os observadores testemunharam um eclipse total mais longo (6 minutos e 33 segundos) do que no Brasil. Além dos que estiveram no Brasil e na Libéria, outros observadores do DMT testemunharam apenas um eclipse parcial. Eram eles: H. M. W. Edmonds, que estava no Peru, onde instalou o Observatório de Huancayo, F. Brown , em Campo, Camarões, na África e A. Sterling, em Puerto Deseado, Argentina. Também em 29 de maio de 1919, fora da região do eclipse, W.F. Wallis e W.C. Parkinson, no Observatório de Watheroo, Austrália Ocidental, e C.R. Duvall, no Observatório de Washington D.C., realizaram medições para o DMT.

A expedição Carnegie ao Brasil foi liderada por Daniel Maynard Wise, encarregado de fazer medições do campo geomagnético em vários locais do território brasileiro e, durante o eclipse, em Sobral. Ele foi acompanhado por Andrew Thomson, encarregado de fazer medições das variações de condutividade do ar durante o eclipse.

Wise e Thomson deixaram a cidade de Nova York, nos Estados Unidos, em 25 de março de 1919, embarcando no vapor Hollandia. Chegaram a Recife (PE) alguns dias depois, em abril de 1919. De Recife eles seguiram para Fortaleza (CE), a bordo do navio "Pará", operado pela Companhia Lloyd Brasileiro.

No Ceará, em 23 de abril, Wise realizou medições magnéticas em Quixadá (figura 2) e seguiu para Iguatu (figura 3), onde realizou novas medições em 25 de abril.

Figura 2: Vista da estação magnética de Quixadá (CE). 23 de abril de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA

Francis John Welsh Whipple (1876-1943) would then show that the diurnal variation of the electric field in fair weather shows a similar diurnal variation to global storms. The DC global circuit was then established, with the global storms being the batteries that propel the electric current upward toward the ionosphere, a current that returns to the ground in fair weather regions.

THE EXPEDITION TO BRAZIL IN 1919_ The DTM in fact sent two expeditions to points on the path of the totality of the eclipse of May 29, 1919. In addition to the expedition sent to Brazil, another one went to Cape Palmas, Liberia, led by L. Bauer himself and H.F. Johnston, where they witnessed a total eclipse of 6 minutes and 33 seconds, longer than in Brazil. Apart from the ones in Brazil and Liberia, other DTM observers only witnessed a partial eclipse. They were: H. M. W. Edmonds, who was in Peru, where he installed the Huancayo Observatory, F. Brown in Campo, Cameroun, Africa, and A. Sterling, in Puerto Deseado, Argentina. Also on May 29, 1919, outside the eclipse region, W.F. Wallis and W.C. Parkinson at the Watheroo Observatory, West Australia, and C.R. Duvall at the Washington D.C. Observatory, carried out measurements for the DTM.

Figure 2: View of the magnetic station at Quixadá (CE). April 23, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

The Carnegie expedition to Brazil was led by Daniel Maynard Wise, in charge of making measurements of the geomagnetic field at several locations on Brazilian territory, as well as during the eclipse at Sobral. He was accompanied by Andrew Thomson, in charge of making measurements of air conductivity variations during the eclipse.

Wise and Thomson left New York City, USA, on March 25, 1919, boarding the steamboat Hollandia. They arrived at Recife, the capital of the Brazilian State of Pernambuco a few days later, in April 1919. From Recife they proceeded to Fortaleza, the capital of the Brazilian State of Ceará, on board the ship Pará, operated by the Lloyd Company.

On April 23, Wise carried out magnetic measurements at Quixadá (Ceará), (figure 2), then going on to Iguatu (Ceará), (figure 3), where he carried out new measurements on April 25. He also performed addi-

Ele também realizou medições adicionais em Fortaleza, em 29 de abril, e em Camocim (figura 4), no dia 8 de maio. Suas medições em Sobral começaram em 21 de maio, onde permaneceu até 9 de junho, fazendo medições diárias, exceto na manhã do eclipse (dia 29 de maio), quando as medidas foram tomadas em intervalos de tempo mais curtos. Ainda no estado do Ceará, em 12 de junho, realizou medições em Nova Russas. Depois, nos dias 22 e 28 do mesmo mês, as medições foram feitas, respectivamente, no estado do Piauí, na Vila de Amarração (hoje Luís Correia), e em Natal (RN). Em 29 de junho, ele foi para a Paraíba, município de Cabedelo (figura 5), e no dia 3 de julho seguiu para Pernambuco (figura 6). Na região amazônica, ele fez medições em Vila do Pinheiro (hoje Icoaraci), na região metropolitana de Belém, capital do Pará, em 18 de julho, e depois disso deixou o Brasil.

tional measurements at Fortaleza (Ceará), on April 29, and at Camocim (Ceará) (figure 4), on May 8. His measurements in Sobral began on May 21, where he remained until June 9, taking daily measurements, except on the morning of the eclipse (May 29) when measurements were taken at shorter time intervals. On June 12, he carried out measurements at Nova Russas (Ceará), and then on 22 and 28 of the same month at Armação (now Luis Correia), in the Brazilian State of Piauí and Natal, capital of the Brazilian State of Rio Grande do Norte, respectively. On June 29 he relocated to Cabedelo (figure 5), in the Brazilian State of Paraíba and on July 3, in the State of Pernambuco (figure 6). On July 18, in the Amazon region, he made measurements at Pinheiro (now Icoaraci) and in the metropolitan region of Belém, capital of the Brazilian State of Pará, leaving Brazil shortly after that.

Figura 3: Homem de pé na estação magnética de Iguatu (CE). 26 de abril de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 3: Man standing at the magnetic station at Iguatu (CE). April 26, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Figura 4: Garoto de pé na estação magnética, em Camocim (CE). 8 de maio de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 4: Boy standing at the magnetic station, at Camocim (CE). May 8, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Figura 5: Homens de pé na estação magnética de Cabedelo (PE). 29 de junho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 5: Men standing at the magnetic station at Cabedelo (PE). June 29, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Figura 6: Estação magnética de Pernambuco. 4 de julho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 6: Man holding a tripod, standing at the magnetic station at Pernambuco. July 4, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

No total, Wise realizou medições em 11 estações em todo o Brasil, percorrendo uma distância de aproximadamente 4.500 km em território brasileiro. Essas medições individuais consistiram em registrar a intensidade do campo geomagnético local, sua declinação e inclinação. Em seu retorno a Washington, ele também realizou medições em Bridgetown (Barbados), em 28 de julho, chegando a Washington em 6 de agosto de 1919.

A expedição ocorreu durante o décimo quinto ciclo solar – ciclo de atividade magnética solar, devidamente registrado desde 1755 – que começou em agosto de 1913 e durou até agosto de 1923, portanto, um pouco menor do que a média de 11 anos. Segundo o principal astrônomo da expedição brasileira, Henrique Morize, o máximo da atividade solar ocorreu em agosto de 1918, e durou mais tempo do que o normal, com frequentes e grandes manchas solares que poderiam ainda ser vistas durante o eclipse de 29 de maio de 1919.

Figura 7: Vista panorâmica da pradaria com os abrigos de gradiente de potencial, condutividade e do Observatório de Greenwich. 1º de junho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA

Figure 7: General view of Prada with potential-gradient, conductivity, and Greenwich shelters. June 1, 1919. Observatory. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

In total, Wise had performed measurements in 11 stations throughout Brazil, Wise travelling a distance of approximately 4500 Km inside Brazilian territory. The individual measurements consisted of recording the intensity of the local geomagnetic field, as well as its declination and inclination. On his return to Washington he also performed measurements at Bridgetown (Barbados) on July 28, arriving in Washington on August 6, 1919.

The expedition occurred during the fifteenth solar cycle (cycle of solar magnetic activity) registered properly after 1755. It began in August 1913 and lasted until August 1923, somewhat shorter than the average of 11 years. According to the leading astronomer of the Brazilian expedition, H. Morize, the height of solar activity occurred in August 1918, and lasted longer than usual, with frequent and large sunspots that could still be seen during the eclipse of May 29, 1919.

Naquela época, os esforços do Brasil para ter suas próprias estações magnéticas haviam apenas começado, com a criação do Observatório Magnético de Vassouras em 1915, pelo Observatório Nacional, sob a responsabilidade do astrônomo Alix Correa Lemos, fiel colaborador de Morize.

Thomson instalou seu equipamento na área do Jockey-Club de Sobral (figura 7). O equipamento era um aparato denominado Gerdian (figuras 8 e 9),

At that time, Brazil's efforts to have its own magnetic stations had just begun, with the establishment of the Magnetic Observatory of Vassouras in 1915, in association with the Brazilian National Observatory, under the responsibility of the astronomer Alix Correa Lemos, Morize's faithful collaborator.

Thomson had installed his equipment in the Jockey-Club area of Sobral (figure 7). The equipment was a Gerdien Conductivity Apparatus (figures 8 and

Figura 8: Abrigo de condutividade e montagem na estação do eclipse em Sobral, Brasil, visto do Nordeste. 1º de junho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 8: Conductivity shelter and mounting at the eclipse station, Sobral, Brazil, as seen from the northeast. June 1, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Figura 9: Abrigo de condutividade conforme visto do Leste. 1 de junho de 1919. O par de tubos Gerdien é visível (à esquerda e à direita do girador da manivela, Sr. Porto, que parece de pé), um para a condutividade de íons negativos e outro de íons positivos. Andrew Thomson pode ser visto sentado. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 9: Conductivity shelter and mounting as seen from the east. June 1, 1919.
The pair of Gerdien tubes is visible (to the left and to the right of the crank turner Porto, standing), one for positive and the other for negative ion conductivity. Andrew Thomson is seen sitting. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

que permite a medição das condutividades positivas e negativas do ar, associadas a íons livres na atmosfera, bem como um gradiente de potencial (figuras 10 e 11), que permite a medição do campo elétrico atmosférico. A análise dos dados de condutividade elétrica durante o eclipse mostrou concordância com os resultados obtidos em expedições anteriores de eclipse do DMT, indicando uma atenuação do campo elétrico atmosférico no início da totalidade e durando até 20 minutos depois.

9), which allows the measurement of the positive and negative conductivities of air, associated with free ions in the atmosphere, as well as a potential gradient (figures 10 and 11), which allows the measurement of the atmospheric electric field. The analysis of the electrical conductivity data during the eclipse was in agreement with the results obtained in previous eclipse expeditions of the DTM, indicating a damping of the atmospheric electric field at the beginning of totality, and lasting up to 20 minutes after it.

Figura 10: Abrigo com gradiente de potencial e eletroscópio. O poste de coleta é visto do lado de fora e à direita do abrigo e em frente a uma casa distante. 1º de junho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA

Figure 10: Potential-gradient shelter and electroscope. The collector post is seen outside and to the right of the shelter, and in front of a distant house. June 1, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Figura 11: O observador de gradiente de potencial, Antônio Lima, no trabalho. O poste de coleta está em primeiro plano, do lado de fora e à direita do telhado de palha. Andrew Thomson aparece em pé. 1º de junho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA

Figure 11: Potential-gradient observer Lima at work. The collector post is in the foreground, outside and to the right of the thatched roof. Andrew Thomson appears standing. June 1, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Figura 12: Foto mostrando a casa do coronel Vicente Saboya, em Sobral, onde as equipes norte-americana e britânica foram hospedadas. Imagem reproduzida com a permissão da Cambridge Library, UK. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA

Figure 12: Photo showing Colonel Vicente Saboya's house, in Sobral, where the North-American and the British teams were hosted. Image reproduced with the permission of Cambridge Library, UK. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Encarregado de medir os efeitos magnéticos, Wise instalou seu equipamento cinco metros abaixo do nível do solo, no porão da casa do coronel Vicente Saboya, onde a equipe de pesquisadores estava hospedada (figura 12). As medidas de intensidade horizontal e declinação magnéticas foram feitas com um magnetômetro ICW e para medições de inclinação ele usou um indutor de aterramento (figuras 13 e 14). Como Bauer apontou mais tarde, os resultados das medições associadas

Wise, in charge of measuring magnetic effects, installed his equipment five meters below ground level, in the basement of Colonel Vicente Saboya's house, where the research team was hosted (figure 12). The measurements of magnetic horizontal intensity and declination were made with a CIW magnetometer, and an Earth Inductor (figures 13 and 14) was used for inclination measurements. As Bauer pointed out later, the results of the measure-

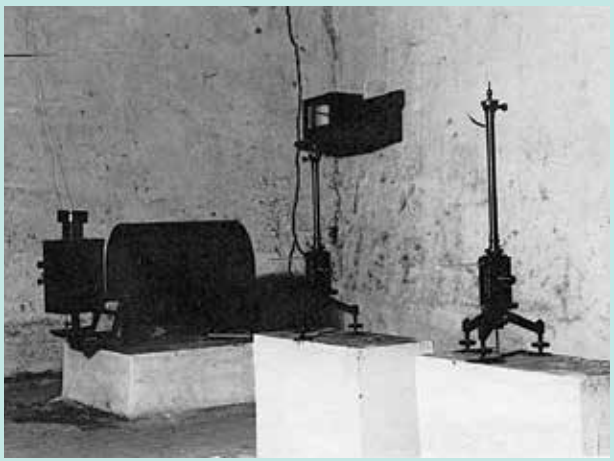


Figura 13: Vista dos variômetros de declinação e intensidade horizontal, bem como do aparelho de gravação. Estação do eclipse, Sobral. 9 de junho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 13: View of the declination and horizontal-intensity variometers, as well as the recording device. Eclipse station, Sobral, Brazil. June 9, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

Figura 14: Vista dos variômetros. Estação do eclipse, Sobral. 9 de junho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 14: View of the variometers. Eclipse station, Sobral, Brazil. June 9, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA

ao eclipse solar de 29 de maio de 1919 contribuíram para estabelecer firmemente a influência de eclipses no campo geomagnético. Em suas palavras: "Não pode haver qualquer dúvida de que a condição magnética da Terra está sujeita a uma variação magnética apreciável durante um eclipse solar".

A equipe americana também recebeu assistência do Sr. Antônio C. Lima (figuras 11 e 15), que sabia falar inglês e havia realizado estudos de pós-graduação nos Estados Unidos, bem como do Sr. Porto (figuras 8, 9 e 15), que foi responsável por girar a manivela associada ao aparato Gerdian. Além de atuar como intérprete, Lima fez algumas medições relacionadas à eletricidade atmosférica (figura 11), sob a supervisão de Thomson.

ments associated with the total eclipse of the Sun of May 29, 1919, contributed to firmly establishing the influence of the eclipse on the geomagnetic field. In his words: "There cannot be any doubt that the Earth's magnetic condition is subject to an appreciable magnetic variation during an eclipse of the sun."

The American team also received assistance from Mr. Antonio C. Lima (figures 11 and 15), who could speak English, having performed graduate studies in the United States, as well as from the crank turner Mr. Porto (figures 8, 9 and 15). As well as acting as an interpreter, Mr. Lima made some measurements related to atmospheric electricity (figure 11), under the supervision of Thomson.

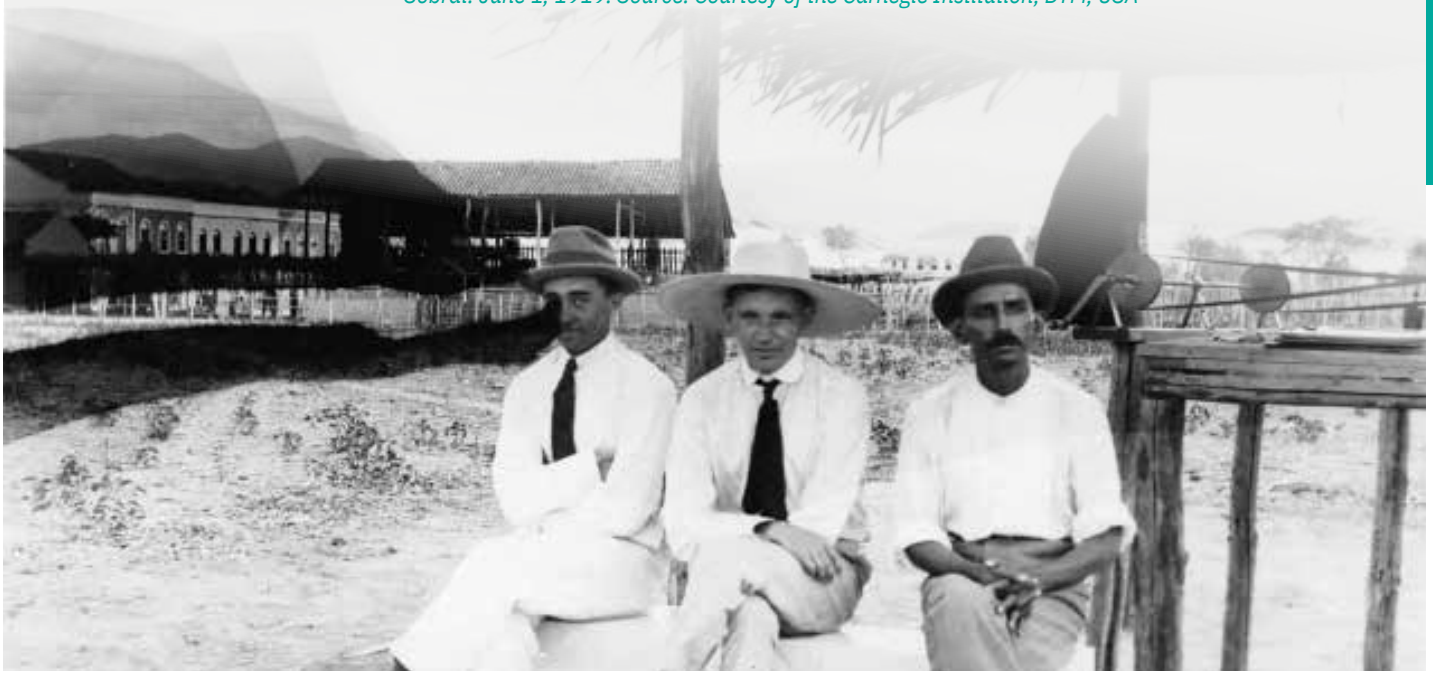
Ao contrário dos resultados da expedição britânica do Observatório de Greenwich, relacionados à confirmação da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, os resultados da expedição de Carnegie não estão associados a nenhum tipo de experimentum crucis nas ciências físicas.

As medições feitas pela expedição do Instituto Carnegie durante o eclipse solar de 29 de maio de 1919 fizeram parte de um esforço extenso do Departamento de Magnetismo Terrestre daquela instituição para acumular dados sobre as variações do magnetismo terrestre, o gradiente de potencial na superfície da Terra e a condutividade atmosférica, sobre continentes e sobre oceanos, e, em particular, durante a ocorrência de eclipses.

Unlike the results of the English expedition (Dyson, Eddington & Davidson, 1920) from the Greenwich Observatory, related to the confirmation of Einstein's theory of general relativity, the Carnegie expedition results are not associated with some kind of experimentum crucis in physical science.

The measurements made by the Carnegie Institution expedition during the eclipse of the sun, May 29, 1919 were part of an extensive effort by the Department of Terrestrial Magnetism of the same institution. This effort was to accumulate data on the variations of terrestrial magnetism, and on the potential gradient at the Earth's surface, as well as on atmospheric conductivity over continents and oceans, in particular during the occurrence of eclipses.

Figura 15: Da esquerda para a direita: Lima, Thomson e Porto; sentados próximos do abrigo de condutividade em Sobral. 1º de junho de 1919. Crédito: Cortesia do Instituto Carnegie, DMT, EUA
Figure 15: From left to right: Lima, Thomson, and Porto; sitting near the conductivity shelter at Sobral. June 1, 1919. Source: Courtesy of the Carnegie Institution, DTM, USA



A premissa relacionada aos eclipses, que se buscava corroborar, na época era a de que tais variações eram em essência de uma natureza similar àquelas observadas devido à rotação da Terra, ou seja, devido à transição entre a noite e o dia. Esses objetivos foram parte de um esforço muito mais árduo para revelar as regularidades e anomalias desse imenso e complexo sistema que é o campo geomagnético, assim como o imperfeito "condensador Kelvin", para o qual a nossa atmosfera é o isolante (imperfeito) entre os condutores Terra e a ionosfera. Ambos os sistemas, magnético e elétrico, não estão isolados, estando sujeitos a influências externas, particularmente às do vento solar. Essas influências estavam, naquele momento, apenas começando a ser entendidas. Esse é o contexto no qual os esforços dos emissários do Instituto Carnegie, Daniel Maynard Wise e Andrew Thomson são mais bem compreendidos.

The premise related to eclipses, sought to be corroborated at the time, was that such variations were in essence similar in nature to those observed because of the Earth's rotation, that is, due to the transition between night and day. These aims were part of a much more arduous effort to reveal the regularities and anomalies of the geomagnetic field (an immense and complex system), as well as the imperfect "Kelvin capacitor", for which our atmosphere is the (imperfect) insulator between conductive Earth and ionosphere. Both systems, magnetic and electric, were not isolated, and were subject to external influences, particularly to those of the solar wind. These influences were, at that time, only beginning to be understood. This is the context in which the efforts of the Carnegie Institution emissaries, Daniel Maynard Wise and Andrew Thomson, are best understood.

AGRADECIMENTOS_ Agradecemos a Paulo Eduardo Artaxo Netto, Raquel Ifanger Albrecht e Márcia Akemi Yamasoe, da USP, bem como a Jorge Castiñeiras Rodríguez e Jessé Carvalho Costa, da UFPA, por discussões proveitosas. Agradecemos também a Luiz Carlos dos Santos Leite por visitar a Biblioteca da Universidade de Cambridge na busca de documentos relacionados ao eclipse solar de 29 de maio de 1919. Agradecemos a ajuda especial de Shaun J. Hardy, do Instituto Carnegie em Washington, EUA. Luís Crispino também agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código Financeiro 001, pelo apoio financeiro parcial.

ACKNOWLEDGMENTS_ We thank Paulo Eduardo Artaxo Netto, Rachel Ifanger Albrecht, and Márcia Akemi Yamasoe, from the USP, as well as Jorge Castiñeiras Rodríguez and Jessé Carvalho Costa, from the UFPA, in Brazil, for valuable discussions. We also thank Luiz Carlos dos Santos Leite for visiting the Cambridge University Library in the search of documents related to the eclipse of the sun of May 29, 1919. We acknowledge the special assistance from Shaun J. Hardy at the Carnegie Institution in Washington, USA. LC also thanks Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Finance Code 001, from Brazil, for partial financial support.

SUGESTÕES PARA LEITURA_ SUGGESTED READING

Brown, L. (2004). Centennial History of the Carnegie Institution of Washington, v.II, The Department of Terrestrial Magnetism. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004

Crispino, L. C. B. (2018). Expeditions for the observation in Sobral, Brazil, of the May 29, 1919 total solar eclipse. International Journal of Modern Physics D, v. 27, n. 11, 1843004, pp. 1-10

Crispino, L. C. B. & Lima, M. C. (2018). Expedição norte-americana e iconografia inédita de Sobral em 1919. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, n. 1, e1601, pp. 1-8

Crispino, L. C. B. & Kennefick, D. J. (2019). A hundred years of the first experimental test of general relativity. Nature Physics, v. 15, pp. 416–419

Haldoupis, C., Rycroft, M., Williams, E., & Price, C. (2017). Is the "Earth-ionosphere capacitor" a valid component in the atmospheric global electric circuit? Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, v. 164, pp. 127-131

Mouël, V. C. L. (2007). The study of Earth's magnetism (1269-1950): A foundation by peregrinus and subsequent development of geomagnetism and paleomagnetism. Reviews of Geophysics, v. 45, RG 3008, pp. 1-31

Stern, D. P. (2002). A millennium of Geomagnetism. Reviews of Geophysics, v. 40, n. 3, pp. B1-B30

Williams, E. (2003). ELECTRICITY, ATMOSPHERIC | Global Electrical Circuit. In: Encyclopedia of Atmospheric Sciences (pp. 724-733). Elsevier Science Ltd

O eclipse de 1919 e a Teoria da Relatividade: a resposta de Lisboa

Ana Simões
Universidade de Lisboa, Portugal

Ana Simões
University of Lisbon, Portugal

The 1919 eclipse and the Theory of Relativity: the response from Lisbon

O dia 29 de maio de 2019 assinala o centenário de um dos mais famosos eclipses solares totais. Foi esse eclipse que mediou o encontro improvável entre o físico Albert Einstein (1879-1955) e o astrofísico Arthur Stanley Eddington (1882-1944).

Entre as várias expedições – duas britânicas, uma brasileira e uma americana – que o observaram, as expedições britânicas organizadas por Eddington deslocaram-se uma à cidade de Sobral, no estado do Ceará, no Brasil, e outra à então portuguesa ilha do Príncipe, hoje República de S. Tomé e Príncipe. Tinham um objetivo singular. Queriam verificar o encurvamento dos raios luminosos ao passarem junto de grandes massas gravitacionais, como o Sol, previsto pela então recente Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Einstein. E fizeram-no com sucesso.

Para além do efeito imediato do anúncio nos percursos dos personagens principais desta narrativa – Einstein, Eddington e o eclipse de 29 de maio de 1919 – as comunidades físicas, astronômicas e também matemáticas reagiram a ele de modos e em tempos diversos. No que se segue, discuto a resposta dos astrônomos de Lisboa. Quero entender o processo de apropriação da relatividade em países como Portugal ou Brasil ou, melhor, em algumas das suas cidades ou regiões.

May 29, 2019 marked the centenary of one of the most famous total solar eclipses of all times. It was this eclipse that mediated the unlikely encounter between the physicist Albert Einstein (1879-1955) and the astrophysicist Arthur Stanley Eddington (1882-1944).

Of the several expeditions – two British, one Brazilian and one American – organized to observe it, the British expeditions were led by Eddington: One travelled to the city of Sobral, in the state of Ceará, Brazil, the other to the island of Príncipe, then a Portuguese colony, and nowadays part of the Republic of São Tomé e Príncipe. They had a singular purpose. They aimed at verifying the bending of light rays as they passed close to a large gravitational mass, such as the Sun, an unexpected prediction by Einstein's then recent general relativity theory (GRT). And they did it successfully.

Besides the immediate effect of the announcement of their results on the main characters of this narrative – Einstein, Eddington and the eclipse of May 29, 1919 – physical, astronomical as well as mathematical communities around the world reacted to it in different ways and at different times. In what follows, I discuss the response of the Lisbon astronomers. I want to understand the process of appropriation of relativity in countries like Portugal or Brazil or, better, in some of their cities or regions.

PREPARATIVOS DAS EXPEDIÇÕES_A expedição dos astrônomos britânicos a Sobral foi acompanhada por uma equipe brasileira e outra americana. Os astrônomos brasileiros, chefiados por Henrique Morize (1860-1930), do Observatório Nacional do Rio de Janeiro, realizaram observações de física solar e os observadores americanos, da Carneggie Institution of Washington,

PREPARATION OF THE EXPEDITIONS_ The British astronomers who travelled to Sobral were joined by a Brazilian and an American team. The Brazilian expedition, led by Henrique Morize (1860-1930), director of the National Observatory of Rio de Janeiro, made astrophysical observations, and the American observers of the Carnegie Institution of Washington studied terrestrial magnetism and atmospheric electricity. The distinct astronomical objectives of all teams, together with the linguistic obstacle, shaped the contacts between them. In what concerns the Brazilian and British teams, they included logistical support extending from governmental to local authorities, participation in social events and the help of Leocádio Araújo, an English-speaking employee of the Ministry of Agriculture who not only acted as an interpreter for the British but also assisted in their astronomical observations.

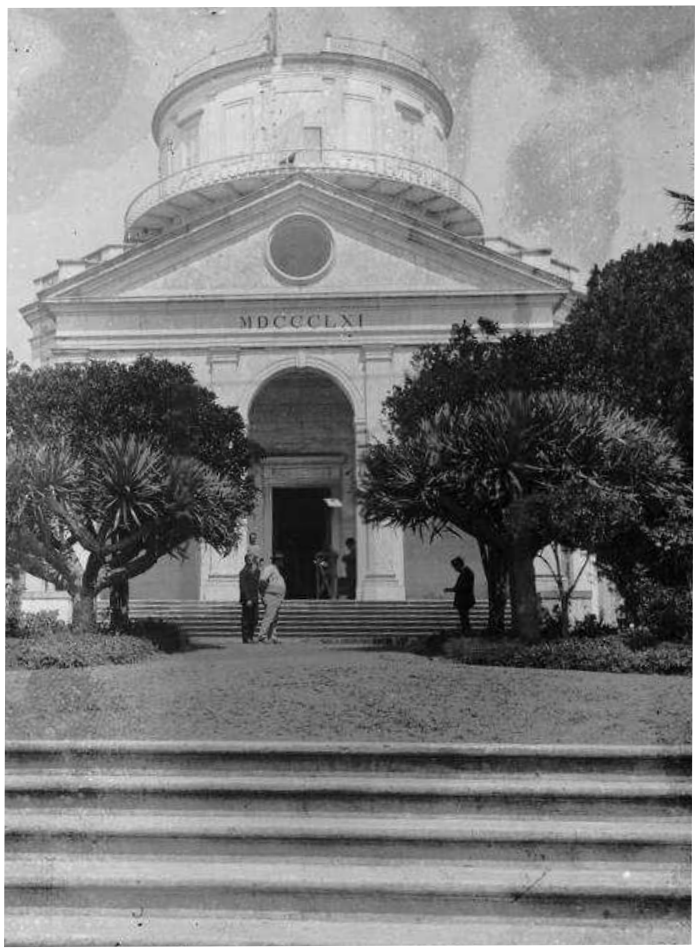


Figura 1. Observatório Astronômico de Lisboa. Crédito: Arquivo Nacional Torre do Tombo, PT/TT/EPJS/SF/008/09595
Figure 1. Astronomical Observatory of Lisbon Source: Arquivo Nacional Torre do Tombo, PT/TT/EPJS/SF/008/09595

estudaram magnetismo terrestre e electricidade atmosférica. Os objetivos astronômicos distintos das equipes de diferentes nacionalidades, conjuntamente com o obstáculo linguístico, moldaram os contatos entre a equipe brasileira e a britânica, incluindo todo o apoio concedido, que se estendeu da esfera governamental às autoridades locais, aos eventos sociais e ao apoio específico de Leocádio Araújo, um funcionário do Ministério da Agricultura, que falava bem inglês e não só serviu de intérprete aos expedicionários britânicos como também ajudou nas observações durante a totalidade do eclipse.

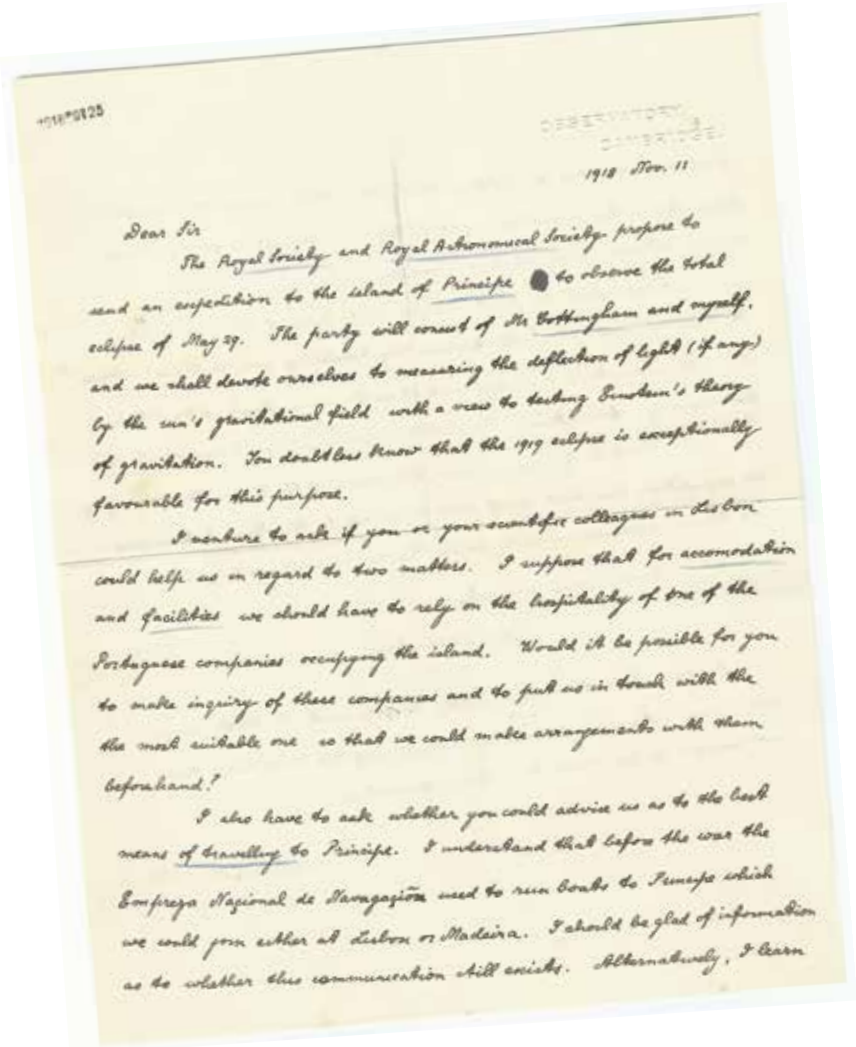
A expedição que se dirigiu ao Príncipe teve, também, o apoio de várias instituições portuguesas, dentre as quais se destacou o Observatório Astronômico de Lisboa (OAL), mas também a Sociedade de Geografia de Lisboa, que fizeram os contatos necessários com os organismos coloniais e membros da elite local e, assim, asseguraram tanto o sucesso do deslocamento, nas suas várias etapas, como a estada dos viajantes ao longo do seu périplo.

Ao contrário de Sobral, não houve nenhuma equipe portuguesa nem de qualquer outro país ao lado de Eddington e do seu parceiro Edwin Turner Cottingham (1869-1940). Na verdade, Frederick Brown, um observador magnético do Departamento de Magnetismo Terrestre da mesma instituição e com o mesmo objetivo dos colegas americanos que se instalaram em Sobral, contatou o OAL solicitando ajuda para um deslocamento ao Príncipe. No entanto, acabou por desistir e optar por observar nos Camarões.

Desde há mais de uma década que Frederico Thomaz Oom (1869-1930), o subdiretor do OAL, esclarecera quais, dadas as limitações instrumentais e financeiras do país e do observatório, eram os deveres dos astrônomos portugueses. No artigo "O Futuro Eclipse", publicado na revista *O Instituto*, em 1905, Oom defendia que o seu dever era sempre o de apoiar as expedições estrangeiras que se deslocassem a território nacional, mas somente o de fazer observações se possuíssem ins-

The expedition to Príncipe counted also on the support of several Portuguese institutions, including the Lisbon Astronomical Observatory (OAL), but also the Lisbon Geographical Society. They made the necessary contacts with colonial institutions and members of the local elite, thus ensuring scientific and logistical support fundamental to the expedition's success.

Unlike what happened in Sobral, there were no teams, from Portugal or from any other country,


1918 Nov. 11

Dear Sir

The Royal Society and Royal Astronomical Society propose to send an expedition to the island of Principe to observe the total eclipse of May 29. The party will consist of Mr Cottingham and myself, and we shall devote ourselves to measuring the deflection of light (if any) by the sun's gravitational field with a view to testing Einstein's theory of gravitation. You doubtless know that the 1919 eclipse is exceptionally favourable for this purpose.

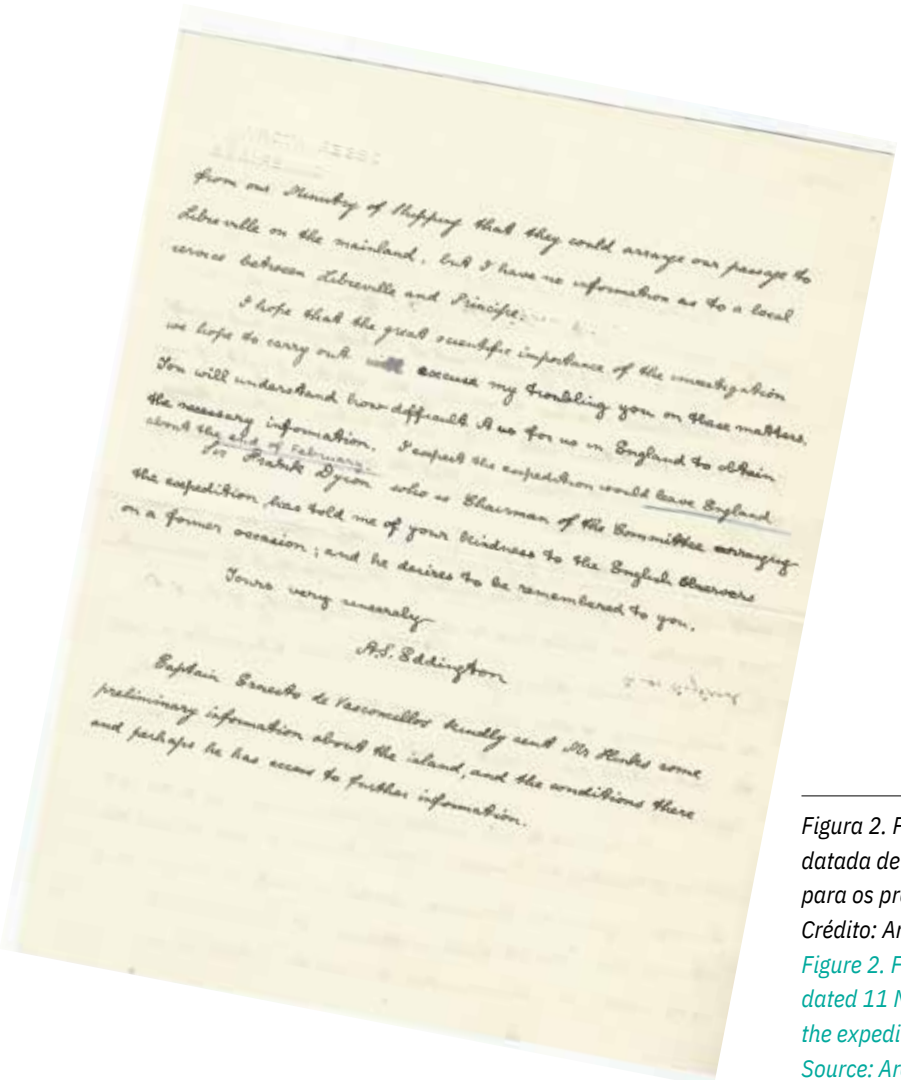
I venture to ask if you or your scientific colleagues in Lisbon could help us in regard to two matters. I suppose that for accomodation and facilities we should have to rely on the hospitality of one of the Portuguese companies occupying the island. Would it be possible for you to make inquiry of these companies and to put us in touch with the the most suitable one so that we could make arrangements with them beforehand?

I also have to ask whether you could advise us as to the best means of travelling to Principe. I understand that before the war the Empreza Nacional de Navagação used to run boats to Principe which we could join either at Lisbon or Madeira. I should be glad of information as to whether this communication still exists. Alternatively, I learn

trumentos adequados ou tivessem inventado processos novos. Por isso, o OAL tinha apoiado com profissionalismo as equipes expedicionárias estrangeiras que, durante o eclipse solar de 1900, observado na totalidade em Viseu e Ovar, tinham se deslocado a Portugal. Entre eles, encontrava-se o astrônomo real britânico Frank Dyson (1868-1939). Na correspondência trocada a propósito das expedições de 1919, Eddington menciona a recordação extremamente positiva de Dyson dessa visita.

alongside Eddington and his partner Edwin Turner Cottingham (1869-1940). In fact, Frederick Brown, a magnetic observer from the Department of Terrestrial Magnetism of the Carnegie Institution of Washington, who belonged to the same institution and had the same scientific purpose as the American team who observed in Sobral, contacted the OAL to request assistance to travel to Príncipe. However, eventually he gave up and opted instead to observe in Cameroon.

For over a decade, Frederico Thomaz Oom (1869-1930), OAL's deputy director, clarified which were the duties of Portuguese astronomers, given the instrumental and financial limitations of the country and of the observatory. In the article "The Future Eclipse", published in the journal *O Instituto* in 1905, Oom argued that their main duty was to provide support for the foreign expeditions travelling to the country; he added that they should make observations only if they held adequate instruments or invented new observational procedures. For this reason, in the past the OAL provided professional support for foreign expeditionary astronomers, who travelled to Portu-


from our Ministry of Shipping that they could arrange our passage to Libreville on the mainland, but I have no information as to a local service between Libreville and Principe.

I hope that the great scientific importance of the investigation we hope to carry out will excuse my troubling you on these matters. You will understand how difficult it is for us in England to obtain the necessary information. I expect the expedition would leave England about the end of February.

Sir Frank Dyson, who is Chairman of the Committee arranging the expedition has told me of your kindness to the English observers on a former occasion; and he desires to be remembered to you.

Yours very sincerely

A.S. Eddington

Captain Ernesto de Vasconcellos kindly sent Mr Hinks some preliminary information about the island, and the conditions there and perhaps he has access to further information.

Figura 2. Primeira carta de Eddington ao OAL, datada de 11 de novembro de 1918, solicitando ajuda para os preparativos da expedição.
Crédito: Arquivo MUHNAC/OAL, PT/MUL/OAL/C/240
Figure 2. First letter from Eddington to OAL, dated 11 November 1918, requesting help with the expedition's preparations.
Source: Archive MUHNAC/OAL, PT/MUL/OAL/C/240

gal to observe the total solar eclipse of 1900 in Viseu and Ovar. Among them was the British Astronomer Royal Frank Dyson (1868-1939), who had an extremely positive recollection of this visit, according to Eddington's correspondence with the OAL pertaining to the 1919 eclipse.

ABSENCE, NOT LACK OF INTEREST_ The absence of Portuguese astronomers in Príncipe was due to OAL's limitations, together with wartime contingencies accrued by mounting difficulties in mobility.

On the one hand, the OAL's staff of astronomers was limited. As Eddington mentioned to his mother, Director Campos Rodrigues (1836-1919), was a "charming old man" (then 84 years old) who did not look like a vice admiral at all. For this reason, deputy director Oom held leadership functions and so, for different reasons, none could leave the observatory to accompany Eddington and his partner. Furthermore, one of OAL's two

AUSÊNCIA, NÃO DESINTERESSE_A ausência de astrônomos portugueses no Príncipe foi fruto das limitações do OAL e de contingências associadas ao tempo de guerra e às dificuldades acrescidas de mobilidade.

Por um lado, o quadro de astrônomos do OAL era reduzido. O diretor Campos Rodrigues (1836-1919), tal como Eddington mencionou em carta à mãe, era um "velho charmoso" que não parecia de todo um vice-almirante; o subdiretor Oom apoiava-o na chefia, pelo que, por razões diferentes, nenhum deles poderia abandonar o observatório para acompanhar Eddington e o seu parceiro. Um dos dois astrônomos de primeira classe do OAL, o astrônomo M. S. Melo e Simas (1870-1934) esteve na França, entre novembro de 2018 e março de 2019, a integrar o Corpo Expedicionário português na Grande Guerra. Não restavam alternativas adequadas.

Figura 3: Frederico Thomas Oom. Crédito: MUHNAC/OAL, PT
Figure 3: Frederico Thomas Oom. Source: MUHNAC/OAL, PT

first-class astronomers, astronomer M. S. Melo e Simas (1870-1934), was then in the Portuguese Expeditionary Corps in the Great War, and stayed in France from November 2018 to March 2019. There were no suitable alternatives.

On the other hand, astronomer Manuel Peres (1888-1968), trained at the OAL and at the time director of the Campos Rodrigues Observatory in Lourenço Marques, today Maputo, Mozambique, tried unsuccessfully to travel to Príncipe. The correspondence exchanged with the OAL, deposited in the institution's archives, reveals all bureaucratic obstacles he was unable to overcome. A few days after the armistice was signed, in a letter dated November 24, 1918, he wrote: "By the way: Is anyone going to Príncipe from the Tapada [OAL's location]? If yes, I would love if one could find a way to catch me... ".

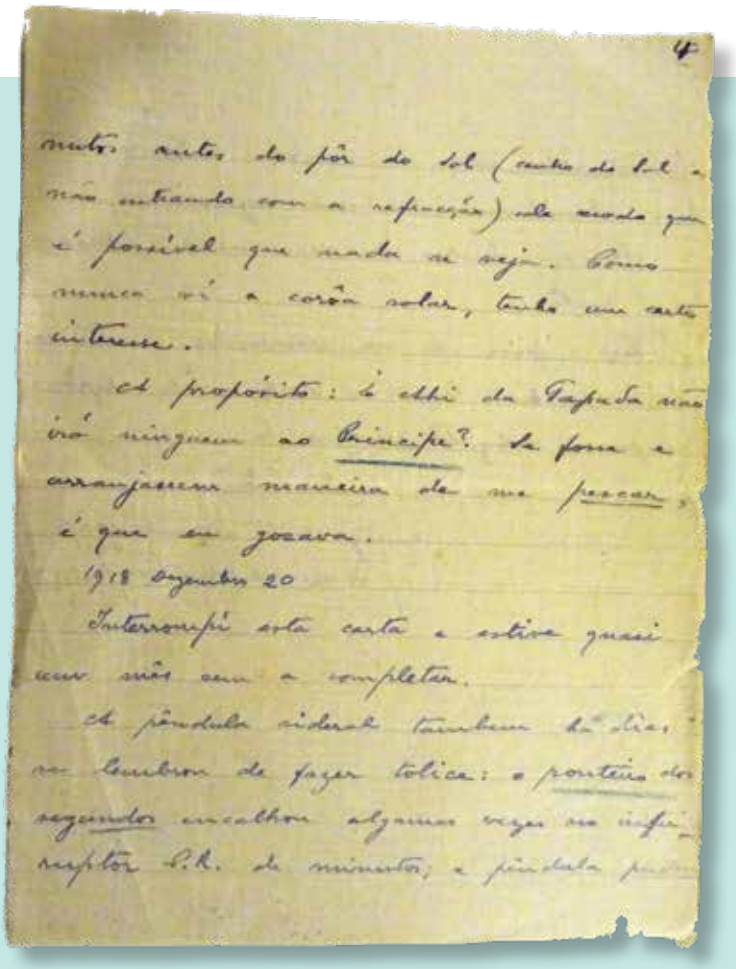


Figura 4. Extrato de Carta de Manuel Peres a Frederico Oom, iniciada a 24 de novembro de 1918. Crédito: Arquivo MUHNAC/OAL, PT/MUL/OAL/C/463
Figure 4. Extract from a letter from Manuel Peres to Frederico Oom, 24 November 1918. Source: Archive MUHNAC/OAL, PT/MUL/OAL/C/463

Por outro lado, o astrônomo Manuel Peres (1888-1968), formado pelo OAL, e na época diretor do Observatório Campos Rodrigues em Lourenço Marques, hoje Maputo, Moçambique, tentou deslocar-se ao Príncipe. A correspondência que trocou com o OAL, depositada nessa instituição, dá conta dos obstáculos burocráticos com que se deparou. Poucos dias depois da assinatura do armistício, em carta datada de 24 de novembro de 1918, escreve: "A propósito: Ahi da Tapada não irá ninguém ao Príncipe? Se fosse e arranjassem maneira de me pescar, é que eu gozava...".

As comunicações revelaram-se morosas. A 5 de março de 1919, Peres começa a desesperar: "A minha ida ao Príncipe parece-me difícil: É difícil arranjar lugar nos paquetes, sendo preciso requisitá-lo com grande antecedência. Se for oficialmente, dão-me lugar de qualquer modo, mas indo de licença já o caso se complica... Resta a ida oficial. Esta parece-me difícil porque até hoje não chegou cá nada e a vir pelo correio já não chegará a tempo. Pedi ao Governador que perguntasse telegraficamente ao Ministério, mas até hoje não veio resposta." Não sabemos quais as razões que levaram Peres a querer deslocar-se ao Príncipe. O mais provável é que estivesse a par das condições favoráveis de observação da totalidade nesse local, já discutidas por Oom. Talvez também soubesse dos planos dos astrônomos britânicos de para lá se deslocarem, discutidos nas páginas da revista *The Observatory*.

Communications were slow. On March 5, 1919, Peres began to despair: "My trip to Príncipe seems difficult to me: It is difficult to find a place in ships, and I have to request it well in advance. If it is done officially, they give me room anyway, but going on leave complicates the matter... It remains the official trip. This seems difficult to me because no reply has arrived here yet and if it comes by mail it will not arrive on time. I asked the Governor to send a telegram to the Ministry, but to this day there has been no answer." We do not know why Peres wanted to go to Príncipe. Most likely he was aware of its favourable conditions for observing totality, which were already discussed by Oom years before. He was also probably aware of the British astronomers' scientific plans, extensively discussed in the pages of the journal *The Observatory*.

Figura 5. Casa principal da roça Sundy, onde os expedicionários se instalaram e de onde fizeram as observações
Crédito: Herdeiros de Jerónimo José Carneiro
Figure 5. Main house at Roça Sundy, where the expeditionary group stayed and from where observations were made. Source: Herdeiros de Jerónimo José Carneiro

OBSERVATIONAL RESULTS_ Despite the tricks played by time both in Príncipe and Sobral, the telegrams sent to the UK to communicate the astronomers' first impressions of the five-minute observations left no doubt about their expectations: from Sobral, the telegram said "Eclipse. Splendid"; from Príncipe it said "Through cloud. Hopeful".

Back in the UK, British astronomers accompanied over summer the work of data reduction, presented at the meetings of the Royal Astronomical Society. Einstein anxiously awaited the verdict of the expeditions while unconfirmed rumours circulated.

RESULTADO DAS OBSERVAÇÕES_ Apesar das partidas do tempo tanto no Príncipe como em Sobral, os telegramas enviados a comunicar as primeiras impressões do registo das observações dos cinco minutos de totalidade, não deixavam dúvidas sobre as expectativas dos astrônomos: de Sobral chegava um "Eclipse. Esplêndido"; do Príncipe um "Através de nuvens. Esperançoso".

Durante o verão, os astrônomos britânicos acompanharam o regresso dos viajantes e o trabalho posterior de redução dos dados, por meio das reuniões da Royal Astronomical Society. Einstein aguardou com ansiedade o veredito das expedições enquanto rumores, mas nenhumas certezas, circulavam.

Figura 6. Comboio que ligava a roça Sundy ao embarcadouro da Sundy para o transporte de cacau, usado no transporte do equipamento astronômico. Crédito: Peter Ribton
Figure 6. Train connecting roça Sundy to its pier, which was used for the transportation of the astronomers' equipment, rather than the usual cocoa. Source: Peter Ribton

Figura 7. Proeminência solar (orientação leste). Príncipe 1919. 2h15min20s, exposição 20s (through cloud). Crédito: Arquivo MUHNAC/OAL, PT/MUL/OAL/C/240
Figure 7. Solar protuberance (east orientation). Príncipe 1919. 2 hours 15 minutes and 20 seconds, exposure 20 seconds (through cloud). Source: Archive MUHNAC/OAL, PT/MUL/OAL/C/240

Os resultados das expedições britânicas foram anunciados à comunidade científica numa reunião conjunta das prestigiadas Royal Society of London e Royal Astronomical Society, a 6 de novembro de 1919, com pompa e circunstância. Foram, para Sobral, 1.98''±0.12 segundos de arco e, para o Príncipe, 1.6''±0.3 segundos de arco, ambos compatíveis com o valor previsto por Einstein (1.75''segundos de arco). Davam razão a Einstein.

Apesar de Einstein estar convicto da veracidade do encurvamento, como manifestou privada e publicamente, a verdade é que a confirmação experimental era essencial para que o resultado passasse da órbita do seu autor e da dos poucos astrônomos que tinham apostado em testar as consequências astronômicas da TRG, para a esfera pública, passando a ser perfilhado pela comunidade científica internacional.

Esse foi, como sempre, um processo lento e tumultuado que, dessa vez, e ao contrário do passado, foi acompanhado pela imprensa diária, um pouco por todo o mundo. Projetou Einstein como figura pública, num movimento que, só no século 20, com a força crescente da imprensa e dos novos meios de comunicação, se afirmou como parte complementar, mas integrante, do processo de construção e comunicação das ciências. O mesmo aconteceu com Eddington, embora numa escala mais circunscrita. Finalmente, o eclipse de 29 de maio de 1919 passou, também, ao estrelato no universo dos eclipses solares totais.

A RESPOSTA DE LISBOA_ No Brasil, os primeiros passos decisivos do processo de apropriação da Teoria da Relatividade ocorreram na sequência do

On 6 November 1919, the results of the British expeditions were announced to the scientific community with pomp and circumstance at a joint meeting of the Royal Society of London and the Royal Astronomical Society. The result for Sobral was 1.98''± 0.12 seconds of arc, and for Príncipe, 1.6''± 0.3 seconds of arc, both compatible with the value predicted by Einstein (1.75'' seconds of arc). They corroborated Einstein's theory.

Einstein had been always convinced of the existence of light bending, as he expressed both privately and publicly. However, the experimental confirmation was essential for the result to move from its author's private sphere (as well as that of the few who supported earlier attempts at testing the astronomical consequences of the GRT) into the public domain on the way to its adoption by the international scientific community.

This was, as always in the past, a slow and complex process, which this time attracted attention worldwide from the daily press. They portrayed Einstein as a public figure in a process that became a complementary but integral part of the construction and communication of the sciences. This process took place from the 20th century onwards, with the growing influence of the press and of the new media. The same happened to Eddington, although to a lesser degree. Finally, the eclipse of 29 May 1919 also gained stardom status in the universe of total solar eclipses.

THE ANSWER FROM LISBON_ In Brazil, the first decisive steps in the process of appropriation of the theory of relativity took place after the 1919 eclipse, and gained additional impetus following Einstein's visit to South America in 1925 and his stay in Rio de Janeiro, associated with several conferences and intense publicity from the press.

Individual members of the Brazilian scientific community spoke for or against some of the results of relativity, but, above all, headed by figures such as Morize, the scientific community as a whole grasped the opportunity to consolidate its scientific authority, to reinforce its visibility, both nationally and internationally, and to show that science played a central role in the construction of Brazilian identity, then a main political theme.

Contrary to the Brazilian case, Einstein's passage in Lisbon on the way to his South American tour was not signalled either by the Portuguese Jewish community or by the Portuguese scientific community, for reasons still awaiting further research. Therefore, the appropriation of relativity by the community of Lisbon astronomers was triggered by the expedition to Príncipe, and did not result from the confluence of two factors (an expedition and a visit) as in the Brazilian case.

MANUEL PERES, COLONIAL ASTRONOMER_ Following Peres' unfulfilled expectations of joining Eddington in Príncipe, Peres became an adept of relativity theory, probably as a consequence of his knowledge of the expedition's aims.

In 1922, the year of the next total solar eclipse observed in Australia with the purpose of testing

eclipse de 1919 e colheram um ímpeto adicional com a visita de Einstein à América do Sul, em 1925, e a passagem pelo Rio de Janeiro, com várias conferências e muita publicidade nos jornais.

Foi nesse contexto complexo que se manifestaram a favor ou contra alguns dos membros da elite científica brasileira mas, acima de tudo, que a comunidade científica no seu conjunto, liderada por figuras como Morize, aproveitou para consolidar a sua autoridade científica, reforçar a sua visibilidade, tanto nacional como internacional, e mostrar que a ciência desempenhava um papel central na construção da identidade brasileira, tema de proa da realidade política de então.

Ao contrário do caso brasileiro, a passagem de Einstein por Lisboa, a caminho do seu périplo sul-americano não foi assinalada, nem pela comunidade judaica portuguesa nem pela comunidade científica, por razões que aguardam uma investigação detalhada. Por isso, a apropriação da relatividade pela comunidade de astrônomos lisboetas foi desencadeada pela expedição ao Príncipe, e não resultou da confluência de dois fatores (uma expedição e uma visita) tal como no caso brasileiro.

MANUEL PERES, ASTRÔNOMO COLONIAL_ Apesar das frustradas expectativas de acompanhar a expedição de Eddington, Peres tornou-se um adepto das ideias relativistas, o que pode ter resultado do conhecimento dos objetivos da expedição.

Em 1922, no ano de um outro eclipse solar, observado na totalidade na Austrália para reconfirmação do encurvamento, organizou o 20º Congresso da Associação da África do Sul para o Progresso

again Einstein's light bending prediction, Peres organized the 20th Congress of the South African Association for the Advancement of Science in Lourenço Marques and directed its Astronomy and Mathematics section. In his inaugural paper entitled "The Role of Astronomy in the Development of Science," published in the *South African Journal of Science*, he addressed the relationship between astronomy and physics to conclude: "(...) As you know, the main confirmation of Einstein's viewpoints depends on astronomical observations. (...) Therefore, in its development, physics arrives at a crossroads, and expects astronomy to point out which of two directions should be chosen."

da Ciência, em Lourenço Marques, e dirigiu a secção de astronomia e matemática. Na sua comunicação inaugural intitulada "The role of astronomy in the development of science," publicada no *South African Journal of Science*, abordou as relações entre astronomia e física para concluir: "(...) Como sabem, a principal confirmação dos pontos de vista de Einstein depende de observações astronômicas. (...) Portanto, no caminho do seu desenvolvimento, a física chega a uma bifurcação; espera que a astronomia possa dizer qual dos dois caminhos deve seguir."

Figura 8. O relógio público no porto de Lourenço Marques, hoje Maputo. Crédito: MUHNAC/ OAL
Figure 8. The public clock in the port of Lourenço Marques, now Maputo. Source: MUHNAC/ OAL

Atento às conexões entre física e astronomia no caso da Teoria da Relatividade Geral (TRG), foi um pequeno passo para se debruçar sobre a Teoria da Relatividade Restrita (TRR). Entre 1922 e 1923, iniciou a escrita de um opúsculo no qual discutiu a TRR, segundo se depreende de manuscritos encontrados no OAL mas, apesar da insistência de Oom, o livro nunca foi publicado.

Opondo o tempo metafísico newtoniano ao tempo físico einsteiniano, o seu texto introdutório refletia as preocupações do diretor de um observatório colonial, construído e equipado na tradição do OAL, que foi o primeiro observatório português a transmitir a hora solar local, medida pela pêndula do observatório, por telegrafia sem fios, para o relógio público do porto. Essas eram também as funções principais do Observatório Campos Rodrigues e esse tema tinha já sido objeto de uma publicação de Peres. É provável que a prática de astronomia posicional associada ao Serviço da Hora tenha despertado o interesse de Peres pela TRR, depois do efeito catalisador da expedição.

MELO E SIMAS, ASTRÔNOMO REPUBLICANO_ Melo e Simas falhou o eclipse de 1919 por estar alistado na França, mas não deixou escapar a oportunidade da reconfirmação do encurvamento durante o eclipse solar de 1922. Em julho de 1922, publicou um artigo sobre relatividade nos apêndices do *Almanaque* do OAL, onde nota, em sintonia com Peres,

Aware of the connections between physics and astronomy brought about by GRT, it was a small step to dwell on the special relativity theory (SRT). Between 1922 and 1923, he began writing a book in which he discussed the SRT, as disclosed in a manuscript found at OAL's archives, but despite Oom's insistence, for unknown reasons the book was never published.

Opposing Newton's metaphysical time to Einstein's physical time, the contents of the manuscript pages reflected the concerns of the director of a colonial observatory, built and equipped according to OAL's tradition. OAL was the first Portuguese observatory to transmit local solar time, measured by the observatory's pendulum, by wireless telegraphy to the public port clock. The transmission of local time was also the main function of the Campos Rodrigues Observatory, and it had been likewise the subject of a publication authored by Peres. It is probable that the practice of positional astronomy associated with the Hour Service justified Peres' interest in the SRT, following the expedition's catalytic effect.

MELO E SIMAS, REPUBLICAN ASTRONOMER_ Being enlisted in France, Melo e Simas missed the 1919 eclipse, but he did not miss the opportunity provided by the next 1922 total solar eclipse. In July 1922, he published an article on relativity in the appendix of OAL's *Almanaque* (*Almanac*), in which he noted, in line with Peres that: "At this moment, the name of a German attracts our appreciation as well as the admiration or curiosity

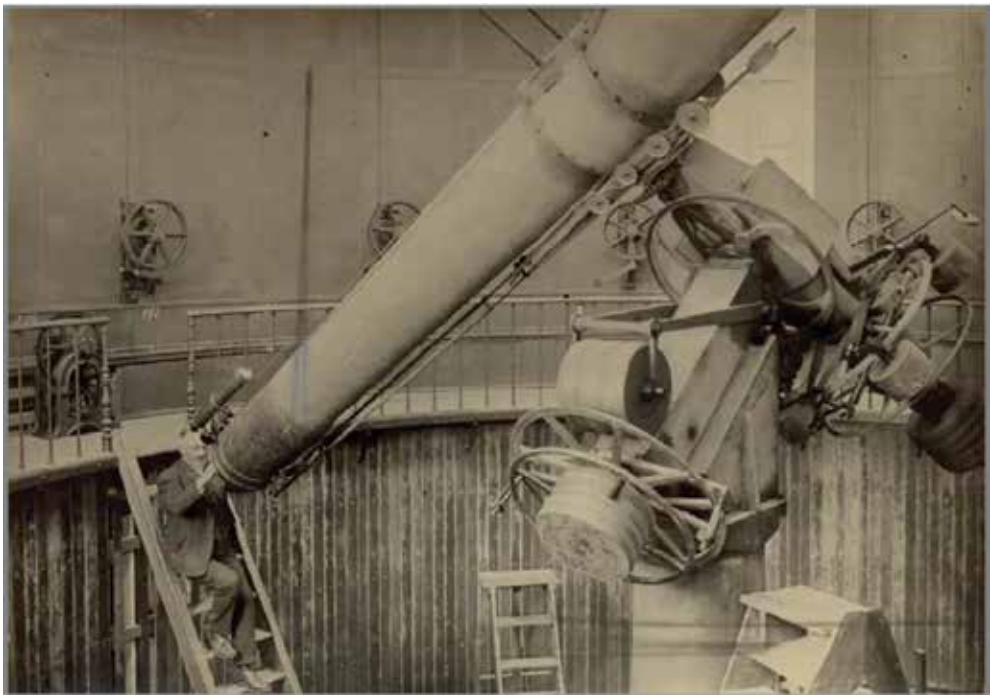


Figura 9. Melo e Simas no Grande Equatorial. Crédito: Arquivo MUHNAC/OA
Figure 9. Melo e Simas at the Great Equatorial. Source: Archive MUHNAC/OAL

que: "o nome de um alemão atrai neste momento as nossas simpatias e a admiração ou curiosidade de todo o mundo culto e não culto. (...) é certo ser a astronomia das ciências que mais tem a utilizar da Teoria da Relatividade, fornecendo-lhe, em troca, as melhores das suas confirmações (...)".

Poucos meses depois, promovia um ciclo de 13 conferências sobre a Teoria da Relatividade, que se iniciou em novembro de 1922, em Lisboa – na Universidade Livre, uma das criações da Primeira República, que visava a educação para adultos e se dirigia ao cidadão comum e trabalhador. Essas palestras, proferidas aos domingos de manhã, no espírito dos sermões laicos de Thomas Henry Huxley, contaram, segundo os jornais da época, com uma grande afluência de público.

O interesse de Melo e Simas pela relatividade foi múltiplo. Incluiu as vertentes de ensino e divulga-

of the learned and non-learned world. (...) it is certain that Astronomy is one of the sciences which can profit the most from the theory of Relativity, giving back, in exchange, the best of confirmations (...)"

A few months later, he promoted a cycle of thirteen conferences on the theory of relativity, beginning in November 1922 in Lisbon at the Universidade Livre (Free University), one of the creations of the First Republic, which aimed at adult education of the common working class citizen. Delivered on Sunday mornings, in the spirit of Thomas Henry Huxley's secular sermons, these lectures were very well attended, as corroborated by newspapers.

Melo e Simas's interest in relativity was manifold. It included scientific teaching and popularization both central to his republican agenda, which rested on the education of the new republican citizen through science. But it went beyond them, integrating relativity in

ACTUALIDADES SCIENTIFICAS

ESPAÇO. MATERIA. TEMPO

OU

A TRILOGIA EINSTEINIANA.

POR

A. Ramos da Costa

Composta e impressa

na

IMPRENSA LUCAS & C.ª

Figura 10. Frontispício do livro Espaço, matéria, tempo ou a trilogia einsteiniana.
Figure 10. The title page of the book Espaço, matéria, tempo ou a trilogia einsteiniana.

ção científica, centrais à sua agenda republicana de educação do novo cidadão através da ciência. Mas foi para além delas, integrando também a sua prática científica. Numa comunicação à Academia das Ciências de Lisboa, em 1924, publicada em 1926, descreveu como usou o grande equatorial do OAL para observar a ocultação de uma estrela pelo planeta Júpiter, a 7 de maio de 1923. Considerou os resultados inconclusivos embora revelassem "uma certa tendência no sentido apontado pela Teoria da Relatividade".

Não deixa de ser curioso especular sobre os motivos que levaram Melo e Simas a fazer essa observação. O astrônomo Erwin Freundlich (1885-1964) tinha discutido com Einstein há mais de uma década a possibilidade de usar Júpiter como alternativa a um eclipse solar para testar o encurvamento.

his scientific practice. In a talk delivered at the Academy of Sciences of Lisbon, in 1924, published two years later, in 1926, he described how he used OAL's great equatorial to observe the occultation of a star by the planet Jupiter on May 7, 1923, in order to test the light bending prediction, but circumventing the reliance on total solar eclipses. He considered that results were inconclusive despite revealing "a certain tendency pointing towards relativity theory".

It is interesting to speculate on the reasons behind Melo e Simas' observation. Over a decade earlier, the astronomer Erwin Freundlich (1885-1964) discussed with Einstein the use of Jupiter to test light bending as an alternative to a solar eclipse. Einstein reluctantly accepted this possibility, to the point of calculating the very small amount of light bending due to the planet. But most likely Melo e Simas reacted to the review article published in the *Astronomische Nachrichten* by Charles Dillon Perrine (1867-1951), one of the few astronomers who, before 1919, attempted unsuccessfully to test light bending. In this paper, Perrine discussed the various methods available to test Einstein's prediction.

RAMOS DA COSTA, "ASTRONOMER" WRITER_

Like Peres and Melo e Simas, the officer and professor of astronomy associated with OAL, A. Ramos da Costa (1875-1939), participated in the appropriation of the theory of relativity in Portugal, in the 1920s.

Einstein aceitara relutantemente essa possibilidade, ao ponto de vir a calcular o valor pequeníssimo do encurvamento da luz ao rasar o planeta. Mas o mais provável é que Melo e Simas tenha lido o artigo de revisão publicado na *Astronomische Nachrichten*, por Charles Dillon Perrine (1867-1951), um dos poucos astrônomos que, antes de 1919, tinha tentado sem sucesso testar o encurvamento. Nele, discutia os vários métodos ao dispor do astrônomo para essa verificação.

He published the books *A Teoria da Relatividade* (*The theory of relativity*) in 1921 and *Espaço, Matéria, Tempo ou a Trilogia Einsteiniana* (*Space, Matter, Time, or the Einsteinian Trilogy*) in 1923. They contrasted Newtonian and Einsteinian physics, discussed the foundations of SRT and GRT, and advocated the adoption of Einsteinian physics on the basis of convenience criteria. Once again, his interest in these issues aroused from his association with the Hour Service, and specifically from being in charge of the transmis-

Figura 11. O primeiro relógio público da hora legal em Portugal. Crédito: Arquivo Municipal de Lisboa, Fotografia de Joshua Benoliel, PT/AMLSB/CMLSBAH/PCSP/004/JBN/000321
Figure 11. The first public clock in Portugal telling legal time. Source: Municipal Archive Municipal of Lisbon, Photograph by Joshua Benoliel, PT/AMLSB/CMLSBAH/PCSP/004/JBN/000321

RAMOS DA COSTA, "ASTRÔNOMO" ESCRITOR_ Tal como Peres e Melo e Simas, também o oficial e professor de astronomia A. Ramos da Costa (1875-1939), associado ao OAL, participou na apropriação da Teoria da Relatividade em Portugal, nos anos 20 do século 20.

Publicou os livros *A Teoria da Relatividade*, em 1921, e *Espaço, matéria, tempo ou a trilogia einsteiniana*, em 1923. Neles contrastou a física newtoniana e a einsteiniana, discutiu os fundamentos da TRR e TRG e defendeu a adoção da física einsteiniana com base em critérios de conveniência. Mais uma vez, o seu interesse por essas questões decorreu da sua associação ao Serviço da Hora, estando a seu cargo a transmissão horária no porto de Lisboa. E não será uma coincidência que, no mesmo ano em que publicou o primeiro livro sobre relatividade, tenha publicado também o *Tratado prático de cronometria*, em que dedicava um capítulo inteiro à medida do tempo. Tal como Einstein, definia o tempo operacionalmente: para além de ser medido por relógios, o tempo era transmitido na superfície terrestre "por telegrafia sem fios de tal forma que o tempo corresponde à passagem de um sinal hertziano pelas estações cujos relógios se pretendem sincronizar."

A TESE DE PETER GALISON À LUZ DO ECLIPSE DE 1919_ A expedição ao Príncipe funcionou como uma espécie de catalisador do interesse dos astrônomos lisboetas que, como aconteceu em tantos outros países, acabaram por reagir simultaneamente à TRR e TRG. As suas reacções decorreram da sua prática científica, sendo a ligação à determinação da hora legal o que os levou a discutir aspectos da TRR. E o ambiente político da Primeira República, associado ao papel es-

sion of time at the port of Lisbon. Furthermore, it is not certainly a coincidence that, in the same year that he published the first book on relativity, he also authored the *Tratado Prático de Cronometria* (*Practical Treatise on Chronometry*), in which he devoted an entire chapter to the measure of time. Like Einstein, he defined time operationally: time was a physical quantity measured by clocks, and it was transmitted on the earth's surface by "wireless telegraphy in such a way that time corresponds to the passage of a Hertzian signal through the stations whose clocks we wish to synchronized."

REASSESSING PETER GALISON'S THESIS THROUGH THE 1919 ECLIPSE PERSPECTIVE_ The expedition to Príncipe acted as a kind of catalyst for the interest of Lisbon astronomers who, as in so many other countries, eventually reacted simultaneously to SRT and GRT. Their reactions stemmed fundamentally from their scientific practice, so that their involvement in the determination of legal time aroused their interest in aspects of SRT. The political environment of the First Republic, coupled with the structuring role of science in the new society, shaped the popularization of science activities of OAL's astronomers, ranging from lectures to books.

The Lisbon response to relativity on the part of astronomers affords a new perspective to revisit Peter Galison's thesis. In 2003, in *Einstein's clocks, Poincare's maps*, Galison showed that Einstein's stay at the patent office was a crucial step in the genesis of SRT; that thought experiments with trains, clocks and light beams, referred to in the famous 1905 paper, stemmed from a very material substrate; and

truturante da ciência na nova sociedade, moldou as suas atividades de divulgação científica, de palestras à publicação de livros.

A resposta de Lisboa permite revisitar a tese de Peter Galison. Em 2003, no livro *Einstein's clocks, Poincaré's maps*, Galison mostrou que a passagem de Einstein pelo gabinete de patentes foi uma etapa crucial para a gênese da TRR; que as experiências de pensamento com comboios, relógios e raios de luz referidas no famoso artigo de 1905 assentaram num substrato bem material; e que a definição de simultaneidade dependia de relógios reais e da transmissão de sinais eletromagnéticos também muito reais. Em suma, mostrou que as congeminações de Einstein foram uma reação ao novo mundo europeu de comunicações e de transportes, cada vez mais rápidos. Foram um sinal dos tempos. Não estavam para além do tempo, como anteriormente defendido.

Galison afirmou que a coordenação do tempo por volta de 1900 é uma história na qual entraram em colisão física, engenharia, filosofia, colonialismo e comércio: "(...) a sincronização de relógios foi simultaneamente prática e ideal: isolamento de guta-percha sobre condutor de cobre blindado a aço e o tempo cósmico."

Galison ilustra essa tese inovadora com exemplos da Alemanha e da França. Não conhecia, nem podia conhecer, o exemplo de Portugal quando escreveu essas linhas. O caso português teria robustecido a sua tese, projetando-a do contexto da produção para o contexto da circulação do saber. Tal como afirmou, a coordenação e a regulação do tempo foram interpretadas de maneiras diferentes em locais diferentes. Neste, como noutros casos, uma enorme diversidade de espaços e práticas, de atores e de redes, de negociações e de conexões contribuíram, em conjunto, para a construção das ciências na Europa no mundo.

that the definition of simultaneity depended on real clocks and the transmission of very real electromagnetic signals as well. In short, it showed that Einstein's bold proposals were a reaction to the new European world of increasingly faster communications and transports: They were a sign of the times; they were not, as previously claimed, ahead of time.

In sum, Galison argued that the coordination of time around 1900 is a story in which physics, engineering, philosophy, colonialism, and commerce collided: "at every moment synchronizing clocks was both practical and ideal: gutta-percha insulator over ironclad copper wire *and* cosmic time."

Galison illustrated his bold thesis with examples from Germany and France. He did not know, nor could he know, the implications stemming from the Portuguese case. They strengthen his thesis by extending it from the context of production to the context of circulation of knowledge. As he argued, the coordination and regulation of time was interpreted differently in different places. In this as in other cases, a huge diversity of spaces and practices, actors and networks, negotiations and connections contributed together to the building of the sciences in Europe and around the world.

CONCLUDING REMARKS_ In the Portuguese context, this new perspective allows us to move away from a deeply embedded historiography of scientific backwardness. It helps consolidate what economic historian Pedro Lains, in a book titled *Os Progressos do Atraso* (*The progress of being behind the times*), published in 2003, has gracefully termed the progress of overcoming the Portuguese pervasive sentiment of being always behind the times.

More importantly, this new approach makes it possible to move slowly but steadfastly towards a global history of the eclipse of May 29, 1919 that shifts focus from the main emphasis on the leading role of the United Kingdom and British travellers, relegating other actors to secondary positions and reducing the role of other countries to that of mere 'surrogate mothers'. The time has come to construct a global narrative, which integrates all actors and geographical, national and colonial contexts, including Portugal, Príncipe, UK and Sobral.

À LAIA DE CONCLUSÃO_ No contexto português, essa nova perspectiva permite consolidar aquilo a que o historiador econômico Pedro Lains designou como os lentos "progressos do atraso", num livro com o mesmo título, publicado em 2003.

Mais importante, permite caminhar, lenta mas eficazmente, para uma história global do eclipse de 29 de maio de 1919 que abandone a ênfase no protagonismo dos viajantes britânicos e do Reino Unido, secundarizando outros atores e reduzindo outros países a meras "barrigas de aluguel". Chegou o momento de construir uma narrativa global que entrelace todos os atores e contextos geográficos, nacionais e coloniais e que integre Portugal, Príncipe, Reino Unido e Sobral, mas não se esgote neles.

SUGESTÕES PARA LEITURA_SUGGESTED READING

Galison, Peter. *Relógios de Einstein, mapas de Poincaré.* Lisboa: Gradiva, 2005

Moreira, Ildeu Castro, A.A. Passos Videira (orgs.). *Einstein e o Brasil.* Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1995

Mota, Elsa, Paulo Crawford, Ana Simões. 'Einstein in Portugal: Eddington's expedition to Príncipe and the reactions of Portuguese astronomers (1917-1925)', *British Journal for the History of Science,* 42 (2009), 245-73

Nunes dos Santos, A.M., Christoffer Auretta (orgs.). *Eddington e Einstein.* Lisboa: Gradiva, 1992

Raposo, P.M.P., 'Time, weather and empires. The Campo Rodrigues Observatory in Lourenço Marques, Mozambique (1905-1930)', *Annals of Science* 72 (2015), 279-305

ACKNOWLEDGMENTS_
I am grateful for the support of the Foundation for Science and Technology, Portugal – projects UID/HIS/00286/2013,UID/HIS/00286/2019 and VISLIS – PTDC/IVC-HFC/3122/2014

AGRADECIMENTOS_ Agradeço o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal, no âmbito dos projetos UID/HIS/00286/2013 e UID/HIS/00286/2019 e do projeto VISLIS – PTDC/IVC-HFC/3122/2014

O eclipse em São Tomé e Príncipe: ciência, história e cultura

Manuel Penhor
Universidade de São Tomé e Príncipe

Manuel Penhor
University of São Tomé and Príncipe

The eclipse at São Tomé and Príncipe: science, history and culture

Em 1919, A Royal Society of London, a Royal Astronomical Society e o Observatório de Greenwich organizaram duas expedições científicas para observar o eclipse total do Sol que ocorreria em 29 de maio: uma para a ilha do Príncipe, no arquipélago de São Tomé e Príncipe, golfo da Guiné, então colônia de Portugal, e a outra para a cidade brasileira de Sobral, no estado do Ceará.

O propósito das expedições era obter fotografias inéditas do eclipse total, que permitissem a verificação experimental do fenômeno de deflexão da luz – desvio dos raios luminosos pelos campos gravíticos –, evento científico extremamente importante na história da Teoria da Relatividade Geral, de Albert Einstein.

In 1919, The Royal Society of London, The Royal Astronomical Society and The Greenwich Observatory organised two scientific expeditions to observe the total eclipse of the Sun, on 29 May. One went to the island of Príncipe, in the São Tomé and Príncipe arquipelago, in the Gulf of Guinea, that was a Portuguese colony at that time. The other was sent to the Brazilian town of Sobral, in the state of Ceará.

The purpose of the expeditions was to obtain unprecedented photographs of the total eclipse for experimental verification of the phenomenon of light deflection – the bending of light rays by gravitational fields. This scientific event is of the utmost importance in the history of Albert Einstein's General Theory of Relativity.

For a long time, the event was practically ignored in both Príncipe and on the island of São Tomé. But the small island in the Gulf of Guinea had entered scientific history and is cited in historical articles about the origin of General Relativity and in all of Einstein's biographies. It was only in the 1980s that the inhabitants of the archipelago began to realise the importance of this observational work.

Durante muito tempo, o evento permaneceu praticamente ignorado tanto no Príncipe como na ilha de São Tomé. Mas a pequena ilha do golfo da Guiné ficou na história da ciência, citada em trabalhos históricos sobre a origem da Relatividade Geral e em todas as biografias de Einstein. Somente a partir da década de 1980, a importância dessa observação passou a repercutir entre os habitantes do Arquipélago.

A celebração do 100º aniversário da expedição liga o conhecimento científico à história e à cultura de São Tomé e Príncipe, que acolhe a comunidade científica para implementação do projeto "Eddington na Sundy: 100 anos depois", iniciativa conjunta de diversas instituições renomadas no meio especializado.

INTRODUÇÃO_Um eclipse só pode ser visto como total numa área muito reduzida do nosso planeta. Tendo em conta a faixa de totalidade do eclipse de 29 de maio de 1919, a Royal Society of London,

a Royal Astronomical Society e o Observatório de Greenwich organizaram as duas expedições científicas de observação. A expedição à ilha do Príncipe era formada por Arthur Eddington (1882-1944), distinto professor de Cambridge, e por Edwin Cottingham (1869-1940). A de Sobral, constituída pelos astrônomos de Greenwich Charles Davidson (1875-1970) e Andrew Crommelin (1865-1939).

Em 1915, quando se alastrava na Europa a Primeira Guerra Mundial, Arthur Eddington recebeu, por intermédio do seu amigo holandês Willem de Sitter, artigos sobre a Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Eddington começou então a se interessar pelo assunto, principalmente porque essa nova Teoria podia esclarecer o avanço, inexplicado até então, do periélio de Mercúrio (o ponto da órbita em que o planeta encontra-se mais próximo ao Sol).

The celebration of the 100th anniversary of the expedition links scientific knowledge with the history and culture of São Tomé and Príncipe, where the scientific community will be received for the launch of the project "Eddington in Sundy: 100 years on," a joint initiative by a number of renowned, specialist institutions.

INTRODUCTION_There are very few places on the planet where an eclipse can be fully viewed. The Royal Society of London, The Royal Astronomical Society and The Greenwich Observatory organised two scientific expeditions to carry out the observations needed, based on information about where the eclipse on 29 May 1919 would be in full view. Arthur Eddington (1882-1944), a distinguished Professor at Cambridge and E. Cottinghan led the expedition to the island of Príncipe. The other expedition, to the Brazilian town of Sobral, was led by two astronomers from Greenwich, Charles Davidson (1875-1970) and Andrew Crommelin (1865-1939).

In 1915, when the First World War was spreading across Europe, Sir Arthur Eddington received articles on Einstein's General Theory of Relativity, through his Dutch friend, Willem de Sitter. As a consequence, Eddington started to become interested in the subject, principally because this new theory would explain the advance of the perihelion of Mercury (the point of orbit where the planet is closest to the Sun), which was still unexplained at that time.

Após a Primeira Guerra Mundial, Eddington partiu para São Tomé e Príncipe, onde o eclipse total do Sol de 29 de maio seria visível. Segundo a Relatividade Geral, uma estrela visível nas proximidades do Sol apareceria numa posição ligeiramente mais afastada deste, porque a sua luz deveria ser ligeiramente desviada pela ação da gravitação exercida pela massa do Sol. Esse efeito pode ser observado somente durante um eclipse total, pois senão a luminosidade do Sol impediria a visibilidade da estrela em questão.

Uma das fotografias de Eddington, do eclipse de 1919, apresentada no seu artigo de 1920, anunciava o seu sucesso. Devido ao mau estado meteorológico, as placas fotográficas revelaram-se de péssima qualidade e difíceis de medir. Ele anotou mesmo assim no seu caderno: "... uma placa que medi confirmava as predições de Einstein".

Note-se que todos os trabalhos históricos sobre a origem da Relatividade Geral e todas as biografias de Einstein referem-se à "pequena ilha do golfo da Guiné", segundo David Gagean e Manuel Leite, no seu artigo *A deflexão dos raios luminosos num campo gravítico*. Os habitantes do arquipélago de São Tomé e Príncipe, entretanto, pouco sabiam do assunto.

Na década de 1980, por iniciativa do então embaixador de Portugal em São Tomé e Príncipe, começaram a ser divulgadas informações sobre o evento ocorrido em 1919 na ilha do Príncipe. Em 29 de maio de 1989, data da celebração do 70º aniversário dessa observação histórica, foi afixada a 1ª placa em homenagem à expedição de Eddington à roça Sundy, na ilha do Príncipe. A comemoração foi bem acolhida pelas autoridades nacionais e contou com o apoio e o envolvimento dos titulares do Ministério da Educação, do Ministério de Equipamento Social e Ambiente e da Embaixada de Portugal em São Tomé e Príncipe, na pessoa do seu embaixador. A partir de então as observações feitas durante o eclipse de 1919 começaram a fazer eco em São Tomé e Príncipe.

Figura 1. Placa comemorativa do 70º aniversário da expedição de Eddington (Roça Sundy – Príncipe).
Figure 1. Commemorative plaque for the 70th anniversary of the Eddington expedition (Roça Sundy – Príncipe).

After the First World War, Eddington set off for São Tomé and Príncipe, where the total eclipse of the Sun on 29 May would be visible. According to General Relativity, a star that is visible, in the vicinity of the Sun should appear moderately further away from it, because light should be slightly bent by the gravitational action of the Sun's mass. This effect is only observed during a total eclipse of the Sun, because at other times the light from the Sun makes it impossible to see the star in question.

One of Eddington's photographs of the 1919 eclipse, presented in his article in 1920 demonstrates his success. Due to poor meteorological conditions, the photographic plates were of very poor quality and difficult to assess. He wrote in his notebook "... from measurements taken from one of the plates I was able to confirm Einstein's predictions".

It is worth mentioning that all historical work on the origin of General Relativity and all of Einstein's biographies refer to a "a small island in the Gulf of Guinea," according to David Gagean and Manuel Leite in their article *The deflection of light rays in a gravitational field*. The inhabitants of the São Tomé and Príncipe archipelago, however, knew very little about the event and it was forgotten for a long time.

In the 1980s, information started to circulate about the event that happened in 1919 on the island of Principe, in the São Tomé and Príncipe archipelago. This initiative was that of the incumbent Portuguese Ambassador in São Tomé and Príncipe. For the first time, on 29 May 1989, on the 70th anniversary of this historic observation a plaque was put up in honour of Eddington's expedition to the island of Príncipe. This was well received by local authorities and had the support and involvement of officials at the Ministry for Social Equipment and the Environment and the Portuguese Ambassador for São Tomé and Príncipe. Ever since the observations made during the 1919 eclipse have been talked about in São Tomé and Príncipe.

DEFLEXÃO DA LUZ E A TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL_A deflexão da luz consiste no desvio da trajetória retilínea dos raios luminosos ao atravessar um campo gravitacional. A ação dos campos gravitacionais sobre os raios luminosos não foi uma ideia lançada por Einstein. Em 1704, Isaac Newton já admitira essa possibilidade e o astrônomo alemão Johann Georg von Soldner (1776-1833) calculou, sem perder de vista a Teoria corpuscular e newtoniana, o valor da deflexão da luz no valor de 0,84 segundo de arco.

O propósito das expedições de 1919, segundo A. M. Nunes dos Santos e Christopher Auretta, no seu livro *Eddington e Einstein*, era o de determinar o efeito produzido pelo campo gravitacional sobre o trajeto de um raio luminoso, caso existisse. Nessas expedições, havia três expectativas:

- PRIMEIRA: o trajeto não é afetado pela gravidade, o que deitava por terra a lei newtoniana da gravitação;
- SEGUNDA: a luz está sujeita à gravidade do mesmo modo como a matéria e haverá um deslocamento aparente de uma estrela próxima da orla do Sol de 0,87'' de arco, de acordo com a Teoria newtoniana de gravitação;
- TERCEIRA: o desvio do trajeto do raio seria determinado de acordo com a nova Teoria da gravitação de Einstein, cujo valor seria de 1,75''.

O desvio em relação à lei newtoniana, explica, segundo a Teoria de Einstein, o avanço residual do periélio de Mercúrio.

DEFLECTION OF LIGHT AND RELATIVITY THEORY_ The deflection of light consists of the bending of light rays when they cross a gravitational field. Einstein was not the first person to put forward the idea of the impact of gravitational fields on light rays. In 1704, Isaac Newton had already accepted this possibility and the German astronomer, Johann Georg von Soldner (1776-1833) calculated the value of the deflection of light as 0.84 second of arc, without losing sight of Newton's corpuscular theory.

According to A. Nunes dos Santos and Christopher Auretta in their book, *Eddington e Einstein* the purpose of the 1919 expeditions was to determine the effect produced by the gravitational field on the path of a beam of light, and whether this existed. The expeditions had three expectations:

- FIRSTLY: that the path would not be affected by gravity, which would overturn Newton's law of gravitation;
- SECONDLY: light is subject to gravity in the same way as matter so there would be an apparent shift of a star close to the sun's corona of 0.87 seconds of arc, in line with Newton's gravitation theory;
- THIRDLY: that the bend in the path of the beam would be determined according to Einstein's new gravitational theory, the value of which would be 1.75 seconds.

According to Einstein's theory, the bend in relation to Newton's law explains the residual advance of Mercury's perihelion.

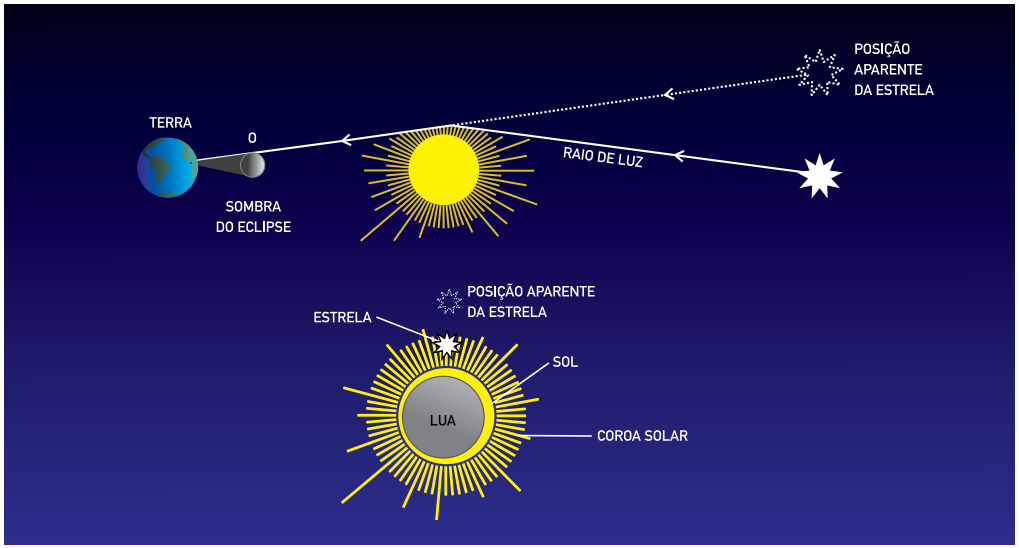


Figura 2. Esquema ilustrativo da deflexão da luz.
Figure 2. Illustrative diagram showing the deflection of light .

In fact, what was at stake in 1919 was not so much the deflection of light as choosing between Newton and Einstein's theories which would mean the value of the deflection known in Newton's theory would be doubled.

Einstein developed his theory of Special Relativity in 1905, as the result of analysis of the consequences for physics of the absence of a universal reference point. Later, in 1907, preparation for an article on Special Relativity Theory led him to try to modify Newton's theory of gravitation to bring it into line with Special Relativity. Einstein thought this would be possible, but he said his attempts to do this were not satisfactory because they were based on hypotheses that were not founded on physics.

Theoretically, two paths opened up for Einstein: to modify Newton's theory of gravitation and include it in his 1905 theory of Special Relativity, without altering it, or to generalise the theory of relativity to integrate a new theory of gravitation. According to the transcript of the work by Abra-

De fato, o que estava em causa em 1919, mais do que a deflexão da luz, era a escolha entre a Teoria de Newton e a de Einstein, que previa o dobro do valor da deflexão conhecida da Teoria newtoniana.

Einstein desenvolveu, em 1905, a Teoria da Relatividade Restrita como resultado da análise das consequências físicas derivadas da ausência de um marco universal de referência. Posteriormente, em 1907, a preparação de um artigo sobre a Teoria da Relatividade Restrita levou-o a tentar modificar a Teoria newtoniana de gravitação para que as respectivas leis estivessem de acordo com a Teoria da Relatividade Restrita. Einstein achava que tal fato seria possível, mas não ficou satisfeito, pois, segundo ele, algumas tentativas nesse sentido não se revelaram satisfatórias por estarem baseadas em hipóteses sem fundamento físico.

Teoricamente, abriram-se para Einstein dois caminhos: modificar a Teoria de gravitação newtoniana e incluí-la na Teoria da Relatividade Restrita de 1905, mantendo-a inalterada, ou generalizar a

ham Pais in his book *Subtil é o Senhor – Vida e Pensamento de Albert Einstein*, this was when he had the happiest thought of his life "the gravitational field has only one relative existence, in some ways similar to the electrical field generated by electromagnetic induction, because for an observer falling freely from the roof of a house the gravitational field does not exist at least in the immediate environment."

The effort undertaken by Einstein between 1905 and 1915 was because he understood that all natural phenomena could be discussed in terms of Special Relativity, except the law of gravitation. Einstein believed that although the relation between inertial mass and energy had been explained very elegantly, there was no relation between inertial mass and weight. It is worth mentioning that in 1911, according to texts published in Stephen Hawking's book *On the Shoulders of Giants*, Albert Einstein referred to the following:

"I return to this theme, because my previous presentation of the subject does not satisfy me, and for a stronger reason, because I now see that one of the most important consequences of my former treatment is capable of being tested experimentally. For it follows from the theory here to be brought forward, that rays of light, passing close to the sun, are deflected by its gravitational field, so that the angular distance between the sun and a fixed star appearing near to it is apparently increased by nearly a second of arc."

Teoria da Relatividade de forma a integrar uma nova teoria da gravitação. De acordo com a transcrição da obra de Abraham Pais no seu livro *Subtil é o Senhor – Vida e Pensamento de Albert Einstein* (Gradiva-publicações, 1993), foi então que lhe ocorreu o pensamento mais feliz da sua vida: "o campo gravitacional tem apenas uma existência relativa, de algum modo semelhante ao campo elétrico gerado por indução magnetoelétrica. Porque para um observador que cai livremente do telhado de uma casa não existe – pelo menos no ambiente imediato – campo gravitacional".

O esforço empreendido por Einstein entre 1905 e 1915 deveu-se à compreensão de que todos os fenômenos naturais poderiam ser discutidos em termos de relatividade restrita, exceto a lei da gravitação. Para Einstein, apesar da relação entre massa inercial e energia ter sido deduzida da forma tão elegante, não existia a relação entre massa inercial e peso. Note-se que, em 1911, de acordo com textos publicados no livro de Stephen Hawking, *Aos Ombros de Gigantes* (Texto Editores: 2012), Albert Einstein referiu o seguinte:

"Regresso agora a este tema, não só porque a minha apresentação sobre o assunto não me satisfaz, mas também por uma razão mais forte: compreendo agora que uma das consequências mais importantes do tratamento anterior pode ser verificada experimentalmente. Com efeito, segue-se da Teoria que proporemos aqui que os raios de luz, quando passam próximos do Sol, são deflectidos pelo seu campo gravitacio-

Einstein's review of the theme this time did not however culminate in a modification of Newton's theory of gravitation to fit the different laws into the Theory of Special Relativity. However, it did lead to a General Theory of Relativity that integrated the new theory of gravitation based on the happiest thought of his life, that consisted fundamentally in application to the relativity of equivalence between an animated reference point of an accelerated transversal movement, with uniform acceleration and a constant gravitational field in an inertial reference point.

Between 1907 and 1912, Einstein approached the issue of gravitation within the perspective of modification of Newton's theory of gravitation. From August 1912, Einstein followed the path of a General Theory of Relativity in order to integrate the new theory of gravitation and in 1915 this led to his presentation of the General Relativity Theory that revolutionised understanding of gravitation and of physics as a whole.

nal, de tal modo que a distância angular entre o Sol e uma estrela fixa observada perto dele aumenta aparentemente cerca de um segundo de arco".

O tal regresso de Einstein dessa vez não culminou com a modificação da Teoria newtoniana de gravitação para que as respectivas leis se enquadrassem na Teoria da Relatividade Restrita, mas sim na generalização da Teoria da Relatividade de forma a integrar a nova Teoria da gravitação baseada na ideia mais feliz da sua vida, que consistia, fundamentalmente, na aplicação à relatividade da equivalência entre um referencial animado de um movimento de translação uniformemente acelerado e um campo gravítico constante num referencial inercial.

Entre 1907 e 1912, Einstein fez uma abordagem da questão da gravitação enquadrada na perspectiva da modificação da Teoria newtoniana da gravitação. A partir de agosto de 1912, Einstein seguiu a via de generalização da Teoria da Relatividade de forma a integrar a nova Teoria da gravitação, levando-o a apresentar, em 1915, a Teoria da Relatividade Geral que revolucionou a compreensão da gravitação e da física como um todo.

SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE E A ASTRONOMIA_ Em 2019, São Tomé e Príncipe comemora o centenário da comprovação do fenômeno da deflexão da luz, tendo, desde 1989, promovido e realizado ações no domínio da astronomia, da física e da astrofísica, com participação de professores de física e de outros domínios de conhecimentos, entidades governamentais, organizações não governamentais e parcerias com outras instituições estrangeiras, apesar de o país não possuir especialistas, cursos conferentes de grau em astronomia nem docentes especializados nessas áreas. A Faculdade de Ciências e das Tecnologias da Universidade de São Tomé e Príncipe, anteriormente Instituto Superior Politécnico, sempre teve um papel de destaque.

O ano de 2009 foi proclamado pela Organização da Nações Unidas como Ano Internacional da Astronomia, ocasião em que se celebrava os 400 anos de um evento especial: o primeiro uso astronômico de um telescópio por Galileu Galilei. São Tomé e Príncipe integrou a lista de países participantes na celebração global da astronomia. Essa celebração, em São Tomé e Príncipe, ficou indelevelmente associada à celebração dos 90 anos das observações feitas durante o eclipse total do Sol de 1919. Para divulgar o evento e as atividades previstas, foi elaborado um poster, sob iniciativa do Instituto Superior Politécnico.

SÃO TOMÉ AND PRÍNCIPE AND ASTRONOMY_ In 2019, São Tomé and Príncipe are celebrating the centenary of proof of the phenomenon of the deflection of light. Since 1989 they have been promoting and holding activities in the areas of astronomy, physics and astrophysics, with the participation of physics professors, as well as lecturers from other areas of expertise, government bodies and non-governmental organisations, in partnership with institutions from overseas, despite the country itself not having any specialists, academic courses in astronomy or any academics specialising in these areas. The Faculty of Science and Technology at the University of São Tomé and Príncipe, formerly the Instituto Superior Politécnico (ISP), has always played an important role.

The United Nations declared 2009 the International Year of Astronomy. This was the same year as celebrations for the 400 year anniversary of a special event – the first time a telescope was used for astronomy by Galileo Galilei. São Tomé and Príncipe was on the list of countries that participated in the global celebration of astronomy. This celebration, in São Tomé and Príncipe, was indelibly linked to the 90 year celebration of the observations made during the total eclipse of the Sun in 1919. A poster was designed to publicise the event and related activities. This was an initiative of the Instituto Superior Politécnico.

Ainda no âmbito das atividades locais, com vista às celebrações do Ano Internacional da Astronomia e o 90º aniversário da verificação experimental da deflexão da luz, o Laboratório de Instrumentação de Física Experimental de Partículas (LIP) e o Centro Multidisciplinar de Astrofísica (CENTRA) de Portugal, em parceria com o Instituto Superior Politécnico, organizaram a Escola de Física e Astrofísica intitulada "O que sabemos do universo" e conferências sobre diversos temas, entre os quais "Os desafios da ciência no século 20", "O legado

The Laboratório de Instrumentação de Física Experimental de Partículas (LIP) and the Centro Multidisciplinar de Astrofísica (CENTRA) in Portugal, in partnership with the Instituto Superior Politécnico, organised a Physics and Astrophysics session called "What we Know about the Universe" and conferences on a number of themes, among them "Challenges to Science in the XX Century," "Einstein and Eddington's legacy today: gravitational lenses and the structure of the universe" and

Figura 3 – O Ano Internacional da Astronomia no Instituto Diocesano de Formação – Atual Escola Portuguesa (2009).
Figure 3 – The International Year of Astronomy at the Instituto Diocesano de Formação – Now the Escola Portuguesa (2009).

Figura 4. Conceição Abreu, da Sociedade Portuguesa da Física e da comissão organizadora da III conferência da física da CPLP (São Tomé 30 de maio a 3 de junho de 2019).
Figure 4. Conceição Abreu from the Sociedade Portuguesa da Física, member of CPLP's third physics conference organising board (São Tomé, 30 May to 3 June 2019).

de Einstein e Eddington nos dias de hoje: lentes gravitacionais e estrutura do universo" e "Novos mundos na física das astropartículas".

Ainda em parceria com o LIP, anualmente, um professor de física do ensino secundário participa da Escola de Verão no CERN (Organização Europeia para Pesquisa Nuclear), em língua portuguesa, para professores de física, em Genebra, Suíça. Desde 2010 até o presente ano, sete professores já participaram.

"New Worlds in Astroparticle Physics". These were local activities linked to celebrations for the International Year of Astronomy and the 90th anniversary of the experimental verification of light deflection.

Every year a secondary school Physics teacher participates in the summer school at CERN (European Organisation for Nuclear Research) for physics teachers in Geneva, Switzerland, in Portuguese. This is also in partnership with LIP. Seven teachers have participated since 2010.

Figura 5. Escola de Verão no CERN com participação de um professor de STP (2010).
Figure 5. Summer school at CERN with the participation of a STP teacher (2010).

Figura 6. Masterclass sobre física de partículas – Análise de imagens de acontecimentos reais de acelerador de partículas do LHC (2018).
Figure 6. Masterclass on particle physics – Analysis of pictures of real events in the LHC particle accelerator (2012).

Como legado da formação no CERN, desde 2012, São Tomé e Príncipe, em parceria com o LIP de Portugal, tem participado nas *Masterclasses* internacionais sobre física de partículas, como coorganizador local dessas escolas magnas.

No Ano Internacional da Astronomia, iniciaram-se os primeiros contatos com o Núcleo Interactivo de Astronomia (NUCLIO), o que permitiu a participação de professores de São Tomé e Príncipe em ações de formação (presenciais e online) no âmbito do Galileo Teacher Training Program (GTTP), um legado do Ano Internacional da Astronomia.

A partir de 2010, tiveram início os ciclos "Oficinas de formação de professores do ensino secundário", tendo como base as observações na ilha do Príncipe e noções elementares de astronomia no âmbito do GTTP, assim como palestras sobre as observações de 1919 dirigidas a professores e alunos do ensino secundário e ao público em geral.

As a legacy of their training at CERN, São Tomé and Príncipe, participated in international masterclasses in Particle Physics since 2010 in the role of local co-organiser, through a partnership with LIP in Portugal.

During the International Year of Astronomy, contact was made with the Núcleo Interactivo de Astronomia (NUCLIO). This led to teachers from São Tomé and Príncipe being able participate in training activities (face-to-face and online) in the Galileo Teacher Training Program (GTTP), a legacy of the International Year of Astronomy.

A series of training workshops for secondary school teachers started in 2010. These were based on the observations made on the island of Príncipe and on elementary notions of astronomy within the GTTP. Also this year, seminars on the observations made in 1919 geared to secondary school teachers and students and the general public were initiated.

Figura 7. Oficina com professores do ensino secundário – montagem de galileoscópios (2014).
Figure 7. Workshop with secondary school teachers – setting up a Galileoscope (2014).

Em 2013, por ocasião do eclipse do Sol de 3 de novembro de 2013, foi implementado o projeto "Eclipse 2013: História e Ciência no Príncipe", tendo sido organizadas, nos meses de outubro e novembro, conferências, palestras, observações noturnas com telescópios e oficinas e cursos de formação, que se mostraram de grande relevância para alunos, professores e comunidade em geral. Foi igualmente dinamizada uma oficina intitulada "Como Introduzir a Astronomia na Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) usando o Office of Astronomy for Development (OAD) como alavanca: O caso da África". Estiveram presentes os representantes de três países da CPLP: Moçambique, Portugal e São Tomé e Príncipe, e foi declarado o apoio à criação de um centro de língua portuguesa para astronomia por instituições de diversos países, como Portugal, Brasil, São Tomé e Príncipe e Moçambique, o embrião do atual Portuguese Language – OAD (PLOAD).

Figura 8. Observação do eclipse de 2013 no Príncipe.
Figure 8. Observation of the 2013 eclipse in Príncipe.

In 2013 the project "Eclipse 2013: History and Science in Príncipe" was implemented. This was sparked by the eclipse of the Sun on 3 November 2013. Conferences, seminars, nocturnal observation sessions with telescopes and workshops and training courses were organised in the months of October and November of 2013, under the umbrella of this project. This initiative proved to be highly relevant for students, teachers and the community in general. Another workshop called "How to Introduce Astronomy into the Community of Portuguese Speaking Countries (CPLP) was also supported by the Office of Astronomy for Development (OAD) with the help of: the case of Africa". There were representatives from three CPLP countries: Mozambique, Portugal and São Tomé and Príncipe. Support was expressed for the creation of a Portuguese language centre for Astronomy for institutions from a number of countries, including Portugal, Brazil, São Tomé and Príncipe and Mozambique. This was how the current Portuguese Language – OAD (PLOAD) started.

The Science Trail, an event that started on the island of Príncipe, on 29 May 2013, at the time of the celebrations at Roça Sundy, for the 94th anniversary of the experimental verification of General Relativity Theory, has the following objectives as well as other general ones: i) to encourage interdisciplinary activities between mathematical, physical, natural, social and sports sciences, ii) to publicise the moment that led to experimental verification of Einstein's General Relativity Theory on the island of Príncipe.

O Trilho da Ciência, evento iniciado na lha do Príncipe, em 29 maio de 2013, pelas comemorações, na roça Sundy, do 94º aniversário da verificação experimental da Teoria da Relatividade Geral, dentre outros objetivos, buscou promover interdisciplinaridade entre ciências matemáticas, físicas, naturais, ciências sociais e do desporto e divulgar o próprio episódio da comprovação da TRG de Einstein na ilha do Príncipe.

Figura 9. Trilho da Ciência na ilha do Príncipe – Paragem numa estação.
Figure 9. The Science Trail on the island of Príncipe – a stop at one of the points.

Figura 10. Analogia da curvatura espaço-tempo, numa das estações do trilho da Ciência em São Tomé (2018).
Figure 10. Analogy of space-time curvature at one of the points on the Science Trail in São Tomé (2018).

O Trilho da Ciência tomou um carácter rotineiro na ilha do Príncipe e teve sequência na ilha de São Tomé, onde a primeira edição foi realizada em maio de 2018, tendo como objetivos gerais:

- promover a interdisciplinaridade entre a física, a matemática, a biologia, a história e a geografia, tendo a astronomia como o elo de ligação;
- proporcionar o contato com a natureza;
- explorar conteúdos científicos integrados no contexto histórico e cultural de São Tomé e Príncipe;
- divulgar o episódio da verificação experimental do fenômeno de deflexão da luz na ilha do Príncipe.

The Science Trail became a routine event on the island of Príncipe and then also on the island of São Tomé. In May 2018, the first Science Trail took place on the island of São Tomé, with the following general objectives:

- to promote interdisciplinary studies between Physics, Mathematics, Biology, History and Geography, with Astronomy as the link between them;
- to encourage contact with nature;
- to explore scientific content within the historical and cultural context of São Tomé and Príncipe;
- to publicise the episode of the experimental verification of the phenomenon of light deflection on the island of Príncipe.

Figura 11. Última estação do Trilho da Ciência em São Tomé (2018) localizada a 1475 m de altitude.
Figure 11. The last spot on the Science Trail in São Tomé (2018) – crater of extinct volcano located at an altitude of 1475 metres.

Em 2015 e em 2016, o anfiteatro do Instituto Superior Politécnico foi palco de duas conferências: uma sobre o Ano Internacional da Luz e os projetos GTTP e outra sobre "Buraco Negro", ambas proferidas pela coordenadora do NUCLIO de Portugal, Rosa Doran.

Os eclipses do Sol de setembro de 2016 e fevereiro de 2017, parcialmente visíveis em São Tomé e Príncipe, foram amplamente divulgados e observados.

EDDINGTON NA SUNDY, 100 ANOS DEPOIS_O projeto "Eddington na Sundy" é resultado de uma iniciativa conjunta de diversas instituições científicas e educativas, com o principal objetivo de celebrar o centenário das observações de 29 de maio de 1919

In 2015 and 2016, the amphitheatre of the Instituto Superior Politécnico was the venue for two conferences. One on the International Year of Light and GTTP projects and the other on "Black Hole". Both by Rosa Doran, NUCLIO coordinator in Portugal.

The eclipses of the Sun in September 2016 and February 2017 that were partially visible in São Tomé and Príncipe were widely publicised and observed.

EDDINGTON IN SUNDY, 100 YEARS ON_ The project "Eddington in Sundy" led to a joint initiative by a number of scientific and educational institutions, with the principal objective of celebrating the centenary of the observations on 29 May 1919 on the island of Prín-

Figura 12. Conferência sobre Ano Internacional da Luz e projetos GTTP (2015).
Figure 12. Conference on the International Year of Light and GTTP projects (2015).

cipe, a world biosphere reserve. São Tomé and Príncipe will host commemorations for astronomy, relativity, scientific dissemination and teaching of the sciences.

In 2019, São Tomé and Príncipe also hosted the 3rd CPLP Physics Conference, where a number of topics were discussed – energy, environment and climate, nanotechnology, physics for health and physics in further and higher education as a contribution to balanced, sustainable development.

na ilha do Príncipe, patrimônio mundial da biosfera. São Tomé e Príncipe foi o palco para o festejo da astronomia, da relatividade, da divulgação científica e do ensino das ciências.

Em 2019, São Tomé e Príncipe acolheu, também, a 3ª Conferência de Física da CPLP, lugar para discussão de várias temáticas sobre energia, ambiente e clima, nanotecnologia, física para a saúde e física para o ensino médio e superior, como contribuição para o desenvolvimento equilibrado e sustentável.

SUGESTÕES PARA LEITURA_ SUGGESTED READING

GAGEAN, David Lopes & LEITE, Manuel Costa, “A deflexão dos raios luminosos num campo gravítico. A expedição de Eddington à Ilha do Príncipe”.Prelo : Revista da Imprensa Nacional Casa da Moeda. Lisboa: I.N.C.N. (1987)

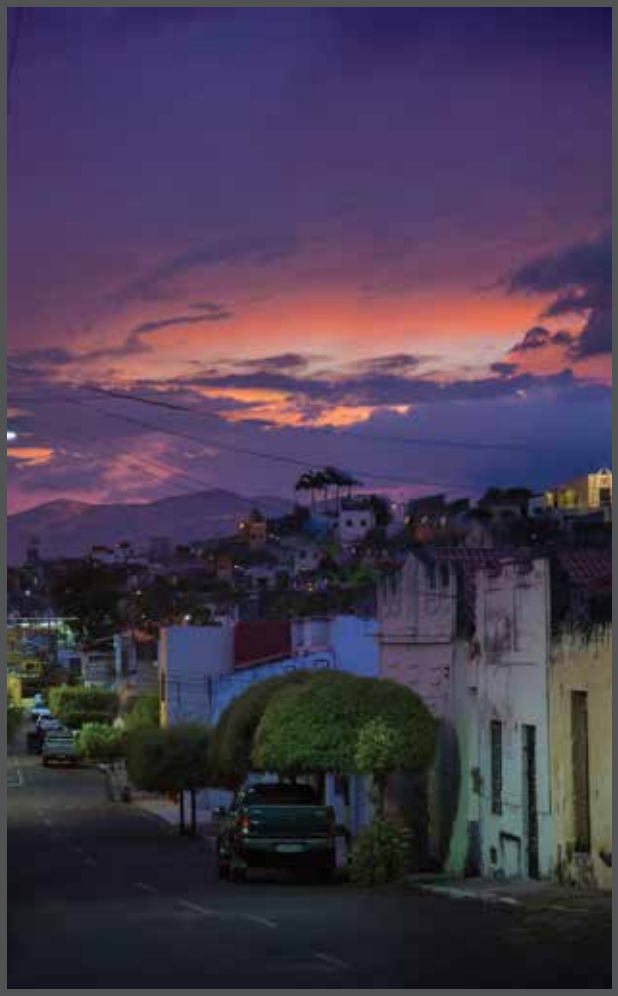
SANTOS, A. & AURETTA, C. Eddinngton e Einstein. Lisboa: Gradiva (1992).

PAIS, Abraham. Subtil é o Senhor. Vida e Pensamento de Albert Einstein. Lisboa: Gradiva (1993)

HAWKING, Stephen, Aos Ombros de Gigantes. Lisboa: Texto Editores (2012)

SOBRAL, 2019
Fotos_Luiz Baltar

Igreja de Nossa Senhora do Patrocínio
1919 / 2019



DOCUMENTÁRIO

100 anos do Eclipse de Sobral
e a comprovação da
Teoria da Relatividade Geral

EXPOSIÇÃO

Pelo céu de Sobral

Fotos de Luiz Baltar

Este livro foi composto em
IBM Plex Sans Condensed
e impresso em papel couché 115 g/m²
pela Walprint Gráfica e Editora
em outubro de 2019,
na cidade do Rio de Janeiro.