

# Eclipse 2013

História e Ciência no Príncipe

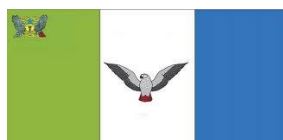


Santo António  
Ilha do Príncipe, São Tomé e Príncipe

# Eclipse 2013:

## História e Ciência no Príncipe

Organização de  
**Joana Latas**  
**Luís Cardoso**



EDITOR: HBD, Santo António, São Tomé e Príncipe – Projecto Eclipse 2013

JULHO DE 2014

ISBN: 978-989-20-4865

APOIOS:

Agência Nacional para a Cultura: Ciência Viva

Associação Portuguesa de Astrónomos Amadores

Banco Internacional de São Tomé e Príncipe

Companhia Santomense de Telecomunicações

Gradiva

Museu da Ciência da Universidade de Coimbra

NUCLIO – Núcleo Interactivo de Astronomia

Observatório Astronómico de Lisboa

Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra

Reserva da Biosfera da Ilha do Príncipe

Rómulo – Centro de Ciência Viva da Universidade de Coimbra

Secção de Astronomia, Astrofísica e Astronáutica da Associação Académica de Coimbra

Sociedade de Geografia de Lisboa

União Astronómica Internacional



## ÍNDICE

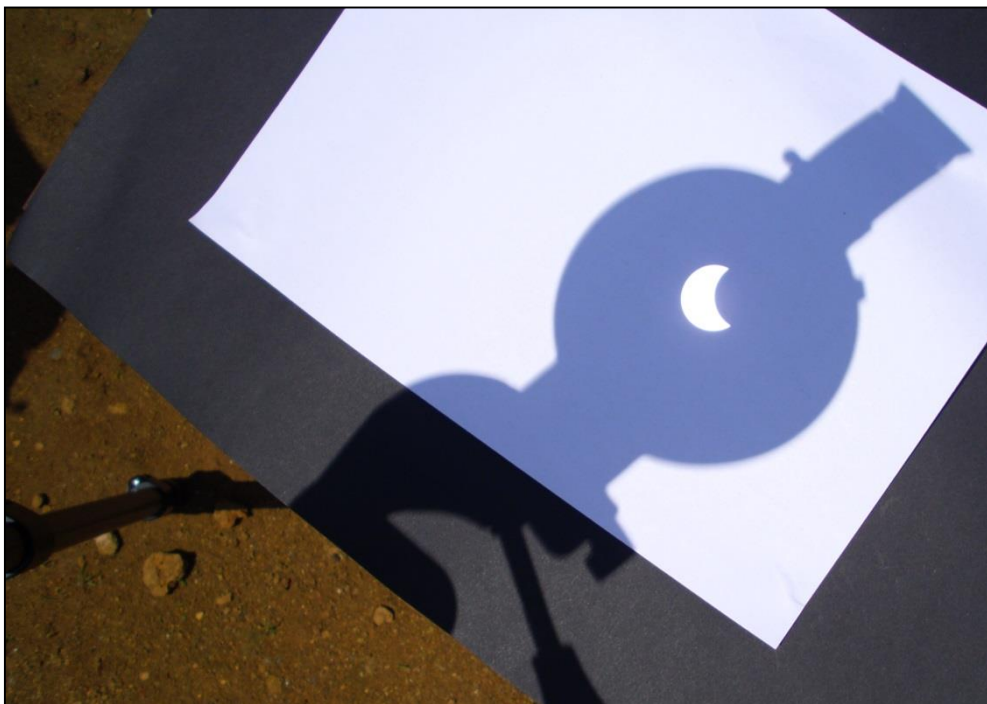
APRESENTAÇÃO	
<i>Joana Latas</i> .....	5
PROGRAMA .....	8
PARTÍCULAS ELEMENTARES E FORÇAS FUNDAMENTAIS	
<i>João Carvalho</i> .....	14
ECLIPSE DO SOL	
<i>Máximo Ferreira</i> .....	22
O ECLIPSE E O IMPACTO SOCIAL DOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS	
<i>Fausto Amaro</i> .....	31
A LUA VEM BRIGAR COM O SOL	
<i>Rita Alves</i> .....	37
EDDINGTON: DE CAMBRIDGE À ILHA DO PRÍNCIPE PARA TESTAR A TEORIA DE EINSTEIN	
<i>Paulo Crawford</i> .....	51
DO PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE À RELATIVIDADE GERAL	
<i>Paulo Crawford</i> .....	64
O ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA EM PORTUGAL	
<i>Carlota Simões</i> .....	90
ASTRONOMIA, UMA PODEROSA FERRAMENTA PARA CONSTRUIR O FUTURO!!	
<i>Rosa Doran</i> .....	100
BREVE DOCUMENTÁRIO FOTOGRÁFICO DO EVENTO ECLIPSE 2013: HISTÓRIA E CIÊNCIA NO PRÍNCIPE .....	109

ECLIPSE SOLAR PARCIAL NA REGIÃO AUTÓNOMA DO PRÍNCIPE, 3 DE NOVEMBRO DE 2013



Eclipse Solar Parcial observado da Praça Marcelo da Veiga localizada na Cidade Santo António

Foto de Luís Cruz



Projeção do Eclipse Solar Parcial, observado na Roça Sundry

Foto de Lúcio Carvalho

## APRESENTAÇÃO

Um dos momentos em que a História das Ciências e a História da ilha do Príncipe se intersejam é a propósito da expedição para observação do eclipse solar total de 29 de maio de 1919, que contribuiu para a validação da Teoria da Relatividade Geral de Albert Einstein (1879-1955). Contudo, talvez devido a um esparso contacto com os habitantes locais, que caracterizava estas expedições (Pang, 1993<sup>1</sup>), este episódio revelou pouca apropriação por parte da população. A partir do último quartel do séc. XX, algumas dinâmicas começaram a inverter esta tendência em direção a uma valorização da História e da Ciência no Príncipe. Para isso contribuíram alguns eventos com projeção nacional e internacional. Nomeadamente, em 1989, no septuagésimo aniversário das observações realizadas por Arthur Eddington (1882-1944), numa ação com a participação do então Sr. Embaixador de Portugal em São Tomé e Príncipe, Eugénio Anacoreta Correia e membros do Governo da Região Autónoma do Príncipe, foi colocada uma placa de mármore no terreiro da Roça Sundry a assinalar o evento. Em 2009, numa ação da Sociedade de Geografia de Lisboa em colaboração com o Governo da Região Autónoma do Príncipe e com a participação da Royal Astronomical Society, foi comemorado o 90º aniversário desta expedição com um encontro científico internacional que levou cientistas de Inglaterra, Portugal e Brasil até à ilha do Príncipe e foi colocada uma nova placa oferecida pela Royal Astronomical Society na Roça Sundry (Barros, 2010<sup>2</sup>; Ellis, Ferreira & Weszkalnys, 2009<sup>3</sup>). Mais tarde, em 2011, por iniciativa de um trabalho desenvolvido por uma investigadora espanhola, Paloma Pólo, e com o apoio do Governo da Região Autónoma do Príncipe, a placa de mármore foi transferida pelos moradores da referida Roça para as coordenadas da localização indicadas no relatório publicado por Dyson, Eddington & Davidson (Dyson et al., 1920<sup>4</sup>). Dessa iniciativa esteve em exibição uma exposição intitulada *Apparent Position*

---

<sup>1</sup> Pang, A. S.-K. (1993). The social event of the season. *Isis*, 84(2), 252–277.

<sup>2</sup> Barros, L. A. (2010). A ação da Sociedade de Geografia de Lisboa na programação da missão Eddington à ilha do Príncipe em 29 de Maio de 1919. In Comemorações do 90.º aniversário da expedição científica de Eddington à ilha do Príncipe (pp 9-27). Lisboa: Sociedade de Geografia de Lisboa.

<sup>3</sup> Ellis, R., Ferreira, P., & Weszkalnys, G. (2009). 1919 eclipse revisited. *Astronomy & Geophysics*, 50(4), 12–15.

<sup>4</sup> Dyson, F. W., Eddington, a. S., & Davidson, C. (1920). A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 220(571-581), 291–333. doi:10.1098/rsta.1920.0009.

no Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, em Madrid, durante o período de 25 de janeiro a 23 de abril de 2012 (Polo, 2012<sup>5</sup>).

Em 2013, 94 anos depois, a propósito de um eclipse visível na ilha do Príncipe a 3 de novembro, o Governo da Região Autónoma do Príncipe, em colaboração com a HBD e a Matemática do Planeta Terra, organizou um evento científico intitulado *Eclipse2013: História e Ciência no Príncipe* com o objetivo de, por um lado, promover e divulgar a Ciência e, por outro, reafirmar o legado científico da ilha do Príncipe na História das Ciências.

Desde o início que um dos pontos fortes desta iniciativa foi envolver a comunidade local na organização, dinamização e participação da programação. Neste sentido, o evento dirigiu-se a toda a sociedade civil, mas revelou-se de extrema importância para a comunidade científica, para professores e para alunos.

A programação estendeu-se durante os meses de outubro e de novembro, na qual a Ciência assumiu o papel principal na ilha do Príncipe. Durante o mês de outubro, tiveram lugar iniciativas de preparação e informação sobre diferentes temas. Em novembro, entre os dias 2 e 10, na presença de ilustres cientistas internacionais, foram promovidas iniciativas de divulgação científica, principalmente nas áreas da Astronomia, da Física e da Matemática.

Todos deixaram sementes para a continuação do desenvolvimento da Ciência no Príncipe. Nesta publicação ficam alguns registos das conferências que tiveram lugar durante o evento. A Física das partículas e algumas imagens do CERN estiveram presentes numa conferência via *skype* de João Carvalho. Um ponto de vista astronómico chegou, via *skype*, nas palavras de Máximo Ferreira, bem como de uma perspetiva sociológica deste fenómeno apresentada por Fausto Amaro. Os eclipses foram interpretados de um ponto de vista dos saberes populares à luz da Etnoastronomia com o visionamento de um documentário realizado no âmbito do projeto *o Céu dos nossos avós*, projeto parceiro da Matemática do Planeta Terra, bem como com o testemunho de elementos da comunidade da Sundry recolhidos por Rita Alves. A explicação da importância do eclipse de 29 de maio de 1919 para a validação da Teoria da Relatividade Geral foi-nos apresentada por Paulo Crawford, que nos brindou com hilariantes detalhes deste episódio. Além da tónica histórica, Crawford, explorou, igualmente, relações entre relatividade geral e restrita, bem como, aplicações destas na

---

<sup>5</sup> Polo, P. (2012). Apparent position. Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía

Ciência. Estiveram ainda na ordem do dia as redes de colaboração no âmbito de projetos desenvolvidos à escala do globo. Numa conferência via *skype*, foi apresentado um balanço da participação de Portugal e São Tomé e Príncipe durante o ano de 2013 no projecto Matemática do Planeta Terra que nos chegou pelas palavras de Carlota Simões, coordenadora do mesmo em Portugal. No âmbito da Astronomia, o *Galileo Teacher Training Program* esteve presente quer com o testemunho da respetiva coordenadora Rosa Doran, quer com a partilha do processo do desenvolvimento da Astronomia como uma chave para o desenvolvimento em Moçambique, que nos chegou pelas palavras de Cláudio Paulo. Além das conferências a programação integrou outros formatos, nomeadamente: oficinas dirigidas especialmente a professores e sessões práticas para os alunos de todas as escolas do Ensino Básico e Secundário do Príncipe; mostra de revistas científicas; conversas com especialistas da biologia marinha, agricultura, meteorologia e física. A comemoração do Dia Mundial da Ciência para a Paz e para o Desenvolvimento, assim reconhecido pela UNESCO, encerrou o evento. O auge da programação teve lugar, porém, durante o eclipse solar de dia 3 de novembro. Mais de meio milhar de curiosos desfrutaram o eclipse nos locais de observação equipados para o efeito, a Roça Sundry e a Praça Marcelo da Veiga, Santo António. Alguns dos momentos vivenciados nestas sessões ao longo de cinco semanas de iniciativas foram documentados e incluídos em registo fotográfico nesta publicação.




A organização deste evento envolveu uma empenhada comissão constituída por: Carlota Simões, Joana Latas, João Fernandes, José Menezes, Luís Cardoso, Luís Cruz, Paulo Crawford, Ricardo Gafeira e Rita Alves; bem como apoios de diversas instituições, nomeadamente: Agência Nacional para a Cultura: Ciência Viva, Associação Portuguesa de Astrónomos Amadores, Banco Internacional de São Tomé e Príncipe, Companhia Santomense de Telecomunicações, Gradiva, Observatório Astronómico de Lisboa, Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra, Secção de Astronomia, Astrofísica e Astronáutica da Associação Académica de Coimbra, Museu da Ciência da Universidade de Coimbra, NUCLIO – Núcleo Interactivo de Astronomia, Reserva da Biosfera da Ilha do Príncipe, Rómulo – Centro de Ciência Viva da Universidade de Coimbra, Sociedade de Geografia de Lisboa e União Astronómica Internacional, a quem agradecemos.

Todo este processo despoletou com a partilha de uma visão inovadora, quiçá ousada, de Richard Hughes a quem dirigimos um grande bem haja.



## PROGRAMA DE OUTUBRO

Durante o mês de outubro, decorreram diversas videoconferências, exibições de filmes e oficinas dirigidas a professores, alunos e comunidades locais. Em simultâneo foram desenvolvidas sessões de esclarecimento de preparação para o eclipse solar parcial do dia 3 de novembro na ilha do Príncipe.

	1	2	3	4	5	6
			O Céu dos nossos avós (17h)			
7	8	9	10	11	12	13
			CERN - A Máquina do Fim do Mundo (17h)			
14	15	16	17	18	19	20
			A física do muito pequeno (17:00 – 18:30)		Medir as estrelas (14:00 – 17:00)	
21	22	23	24	25	26	27
Laboratórios sem paredes (18:00 – 20:00)		Laboratórios sem paredes (18:00 – 20:00)	Eclipse do Sol, em português (17:00 – 18:30)		Protege-te para observares o Eclipse (14:00 – 17:00)	
28	29	30	31	<b>Legenda:</b>		
Sol para todos (18:00 – 20:00)		Sol para todos (18:00 – 20:00)	O Eclipse e o impacto social dos fenómenos astronómicos (17:00 – 18:30)		Filme	
					Conferência (via Skype)	
					Oficina	

**CICLO DE CINEMA/VIDEOCONFERÊNCIA,  
CENTRO CULTURAL DO PRÍNCIPE**

FILMES:

- O Céu dos nossos avós
- CERN - A Máquina do Fim do Mundo

VÍDEOCONFERÊNCIAS:

- **A física do muito pequeno**

*João Carvalho, Departamento de Física da  
Universidade de Coimbra*

- **Eclipse do Sol, em português**

*Máximo Ferreira, Centro Ciência Viva de  
Constância-Parque de Astronomia*

- **O Eclipse e o impacto social dos  
fenómenos astronómicos**

*Fausto Amaro, Sociedade de Geografia de  
Lisboa*

**OFICINAS, “VÊ, EXPERIMENTA E  
APRENDE”, CENTRO CULTURAL DO  
PRÍNCIPE**

- **Medir as estrelas**

*Joana Latas, Projeto Eclipse 2013*

- **Protege-te para observares o Eclipse**

*Ricardo Gafeira, Observatório  
Astronómico da Universidade de Coimbra*

- **Laboratórios sem paredes**

*Ricardo Gafeira, Observatório  
Astronómico da Universidade de Coimbra e  
Projeto Eclipse 2013*

- **Sol para todos,**

*Luís Cardoso, Projeto Eclipse 2013*

## PROGRAMA DE NOVEMBRO

Entre 2 e 10 de novembro, o programa científico do evento intensificou-se, contando com conferências presenciais e por via *skype*, oficinas, minicursos de formação para professores, sessões de mostra de revistas científicas, conversas com cientistas de diferentes áreas e exposições relacionadas com o eclipse solar. No dia 3 de novembro, a observação, em segurança, do eclipse solar parcial foi o mote para uma atividade entre comunidade científica e as comunidades locais da Sundry e da cidade de Santo António.

Hora	2Nov	3 Nov	4 Nov	5 Nov	6 Nov	7Nov	8Nov	9Nov	10Nov	
8										
8:30										
9			Mesa redonda 1	Oficina 5	Feira de produtos regionais					
9:30									UNESCO skype	
10			Intervalo		Conf. 3			Conf. 6 Skype	T Biosfera	
10:30										
11			Conf. 2		Conf. 4				Filme 2	
11:30										
12		Obs. Eclipse								
12:30										
13										
13:30										
14	R. Oficial									
14:30	S. A.		Oficina 3	Prog. Cultural						
15	Conf. 1	Oficina 2			Conf. 5			Oficina 6		
15:30										
16			Exposição 1	Exposição 2/3	Exposição 4					
16:30	Intervalo									
17	Filme 1									
17:30			R. Cient.1	R. Cient.2	R. Cient.3	R. Cient.4	R. Cient.5	R. Cient.6	R. Cient.7	
18			Conversa com... 1	Conversa com... 2	Conversa com... 3	Conversa com... 4	Conversa com... 5	Conversa com... 6	Conversa com... 7	
18:30										
19					T. Biosfera					
19:30										
20		MCF 1	Of. 4	MCF 2	MCF 2	Convívio MCF 2				
20:30	OF 1						MCF 1			
21										
21:30										
22										

**Legenda:** R Oficial: Recepção oficial    S. A.: Sessão de Abertura    Conf.:conferência  
of.: oficina    MCF: Mini Curso de Formação

## CONFERÊNCIAS

### 1. Eddington: de Cambridge à ilha do Príncipe para testar a teoria de Einstein

*Paulo Crawford, Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa (CAAUL)*

### 2. Introdução da Astronomia em Moçambique

*Cláudio Paulo, Departamento de Física da Faculdade de Ciência da Universidade Eduardo Mondlane (FCUEM)*

### 3. A Lua vem brigar com o Sol...

*Rita Alves, Empresa HBD – TI*

### 4. Astronomia, uma poderosa ferramenta para construir o futuro!

*Rosa Doran, Núcleo Interativo de Astronomia, (NUCLIO)*

### 5. Do Princípio da Relatividade à Génese da Relatividade Geral

*Paulo Crawford, CAAUL*

### 6. Matemática do Planeta Terra (via Skype)

*Carlota Simões, Museu da Ciência e Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*

## OFICINAS

### 1. Observação astronómica

*Ricardo Gafeira, Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra (OAUC)*

### 2. Novas perspetivas do Ensino da Física

*Lúcio Carvalho, Instituto Diocesano de Formação João Paulo II (IDF)*

*Manuel Penhor, Instituto Superior Politécnico de São Tomé e Príncipe (ISP)*

### 3. Como introduzir Astronomia na CPLP usando o OAD como alavanca: o caso de África

*Cláudio Paulo, (FCUEM)*

### 4. Festa dos Astros

*Manuel Penhor, ISP*

### 5. Trilho da Ciência

### 6. Integração do tema Eclipse nas escolas do Príncipe

## MESA REDONDA, CENTRO CULTURAL DO PRÍNCIPE

### Ciência na Periferia: o papel da Astronomia como estímulo para o crescimento de vocações para a Ciência

**Moderador:** *Paulo Crawford, CAAUL*

**Intervenientes:** *Cláudio Paulo, (FCUEM)*

*Lúcio Carvalho, (IDF) Manuel Penhor, (ISP)*

## MINI-CURSO DE FORMAÇÃO

**1. As grandes descobertas da física relativista: dos buracos negros às viagens no tempo e ao Big Bang. A teoria da Relatividade no século XXI. Einstein e a unificação da física.**

*Paulo Crawford, CAUUL*

**2. Recursos para o ensino das ciências**

**O Futuro à distância de um click**

*Rosa Doran, (NUCLIO)*

**À CONVERSA COM...,**

**1. Conversa com um Meteorologista**

*Cláudio Paulo, (FCUEM)*

**2. Um astrofísico**

*Ricardo Gafeira, (OAUC)*

**3. Um biólogo marinho**

*Rogério Ferreira, CCMAR – Centro de Ciências do Mar, Universidade do Algarve, Portugal*

**4. Um Embaixador de Galileu em STP e chair do Galileo Teacher Training Program (GTTP)**

*Manuel Penhor, (ISP), Rosa Doran, (NUCLIO)*

**5. Um economista**

*Silvino Palmer*

**6. Um Missionário Eudista**

**7. Uma engenheira agrónoma**  
*Francesca Orlandi, Empresa HBD- AO*

**FILMES, CENTRO CULTURAL DO PRÍNCIPE**

**1. Einstein e Eddington**, com comentários de Paulo Crawford, *CAUUL*

**2. Contacto**, com comentários de Cláudio Cardoso, Empresa HBD-TI

**EXPOSIÇÕES, ESCOLA DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL PROTÁSIO PINA**

As exposições 1 e 2 estiveram em exibição de 1 a 10 de novembro

A exposição 3 teve um período de exibição entre 25 de outubro e 5 de novembro

A exposição 4 esteve exposta desde dia 6 até 12 de novembro

**EXPOSIÇÕES**

**1. Matemática em STP**, visita guiada por *Joana Latas*

**2. A Luz desviada pelo Sol**, visita guiada por *Lúcio Carvalho e Francisco Gula*

**3. Observação do Sol**, visita guiada por *Luís Cardoso*

**4. ECLIPSE 2013 – Ilha do Príncipe**

## **MOSTRA DE REVISTAS CIENTÍFICAS**

Cada convidado divulgou uma revista científica argumentando o interesse da mesma, bem como comentou um artigo dessa revista científica por si selecionado.

## **UNESCO SKYPE, Centro Cultural do Príncipe**

Mensagem da representação da Comissão Nacional da UNESCO em Portugal por Elisabeth Silva, no âmbito do Dia Mundial da Ciência para a Paz e para o Desenvolvimento.

# PARTÍCULAS ELEMENTARES E FORÇAS FUNDAMENTAIS<sup>6</sup>

João Carlos Carvalho

Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

[jcarlos@uc.pt](mailto:jcarlos@uc.pt)

Resumo: Uma das descobertas científicas mais importantes da humanidade é que todos os corpos são constituídos por um pequeno número das mesmas partículas elementares, mantidas juntas por um ainda menor número de interações fundamentais. Este campo do conhecimento, designado “Física de Partículas”, teve um enorme desenvolvimento teórico e experimental nas últimas décadas, produto do aumento da capacidade de previsão dos modelos teóricos, alimentados pelos cada vez mais precisos resultados experimentais. Estes são obtidos, maioritariamente, em aceleradores de partículas de dimensão, energia e intensidade cada vez mais elevadas. Estas máquinas permitem produzir partículas pesadas e de tempo de vida muito curto, cujo decaimento é reconstruído a partir da informação adquirida por detetores especializados. A informação obtida a partir do conhecimento do comportamento da matéria à sua escala mais pequena contribui para a explicação da estrutura e da evolução do Universo. Esta viagem de descoberta ainda não está terminada e muitas questões estão ainda por responder, adivinhando-se a necessidade de uma nova geração de aceleradores e de detetores de partículas para a resolução dos problemas em aberto.

Palavras-chave: partículas elementares, interações fundamentais, aceleradores, detetores

Abstract: One of the most important scientific discoveries of mankind is the fact that all bodies are built from the same small number of elementary particles, kept together by an even lower number of fundamental interactions. This field of knowledge, named “Particle Physics”, has had an enormous theoretical and experimental development in the last decades, as the result of an increase in the prediction capability of theoretical models, fed by increasingly precise experimental results. These are obtained mainly at particle accelerators, with ever increasing dimension, energy and intensity. These machines allow the production of heavy particles, with very short lifetimes, whose decay is reconstructed from the information acquired by specialized detectors. The information obtained from the study of the matter properties at its smallest scale

---

<sup>6</sup> Texto baseado na videoconferência transmitida do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para a ilha do Príncipe, no dia 17 de outubro de 2013 a propósito do eclipse parcial do Sol que ocorreu naquela região em 3 de novembro de 2013.

contributes to explain the Universe structure and evolution. This voyage of discovery is not yet finished and many questions are still to be answered, requiring a new generation of particle accelerators and detectors to solve the still open problems.

Keywords: elementary particles, fundamental interactions, accelerators, detectors

## Introdução

Desde os primórdios da civilização que a humanidade se interroga acerca da constituição de todas as coisas à sua volta, desde o corpo humano até às estrelas mais remotas. Uma questão em particular intrigou os pensadores, pelo menos desde a antiguidade clássica: ao dividir um objeto, qual a menor partícula que se pode obter? Existem partículas que já não são divisíveis, ou seja, que são elementares? Os gregos designavam estas partículas como átomos. Sabemos há mais de um século que aquilo que designamos por átomo não é realmente elementar. A partir de experiências cada vez mais precisas, descobriu-se que o átomo é constituído por um núcleo e por eletrões, e que o núcleo é por sua vez constituído por prótons e neutrões, e que estes são formados por quarks, e estes, finalmente, parecem ser realmente elementares ou indivisíveis (figura 1). Para manter estas partículas juntas são necessárias forças, das quais se conhecem quatro com propriedades e campos de ação muito diferentes: as interações gravítica, eletromagnética, forte e fraca. Atualmente apenas as três últimas são descritas pelo designado Modelo Padrão, sendo a melhor descrição atual da força gravítica a Teoria Geral da Relatividade.

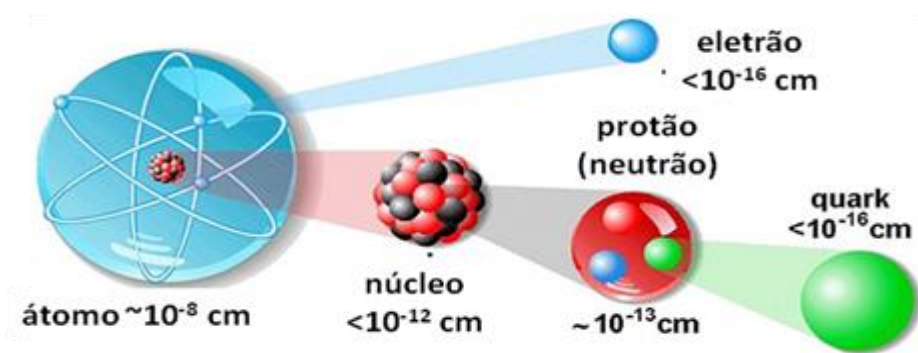


Figura 1 - Modelo de um átomo em que o núcleo é constituído por prótons e neutrões, por sua vez combinações de quarks *up* (u) e *down* (d), e que é rodeado por eletrões [1].



## Modelo Padrão das Partículas Elementares

Ao longo das últimas décadas do século XX, foi desenvolvido um modelo da Física de Partículas em que, em traços muito gerais, todos os átomos podem ser descritos por um número reduzido de partículas elementares de dois tipos diferentes relativamente às suas propriedades e interações, os quarks e os leptões, interagindo entre si pela troca de partículas mensageiras das forças, os chamados bósons de troca. Assim, os constituintes do núcleo atômico são construídos a partir de combinações de 3 quarks, dois do tipo *up* e um do tipo *down* no caso do próton, e dois do tipo *down* e um do tipo *up* no caso do neutrão. A última componente do átomo, o elétron, é considerada uma partícula elementar (do tipo leptão, ou partícula leve). A interação eletromagnética entre estas partículas eletricamente carregadas é produzida pela troca de radiação eletromagnética, também designada por fótons. Os quarks mantêm-se ligados entre si e conservam a estabilidade do núcleo através de outra interação, a força forte, descrita pela troca de outras partículas mensageiras: os gluões. Dentro deste modelo, existe ainda uma terceira interação, a força fraca, que explica, por exemplo, a instabilidade do neutrão, em particular quando fora do ambiente nuclear. Nestas condições, irá decair, com um tempo de meia vida de cerca de 15 minutos, num próton, num elétron e num neutrino (um parceiro do elétron, mas eletricamente neutro e muito leve). Este decaimento, muito fraco e então muito lento, é explicado pelo decaimento de um dos quarks *up* do próton num quark *down* com a troca de um bóson designado por  $W^-$  que decai para um elétron e um neutrino (noutros tipos de decaimento fraco, a partícula de troca pode ser carregada positivamente, um bóson  $W^+$ , ou neutra,  $Z^0$ ).

Esta construção pode parecer complexa, mas vem simplificar em muito a descrição da matéria, visto recorrer apenas a um número muito pequeno de partículas, sejam as constituintes da matéria, sejam as de troca, permitindo unificar a compreensão da estrutura das coisas ao nível mais pequeno. A descrição acabada de dar não está, no entanto, completa. Por exemplo, em experiências de alta energia, descobriu-se que para além da família de partículas elementares referidas, constituída por dois quarks (*up* e *down*) e dois leptões (elétron e neutrino), existem mais duas famílias (figura 2), cada uma delas constituída também por dois quarks e dois leptões, em tudo igual à primeira família exceto na massa (mais elevada) dos seus elementos. Existe ainda um outro bóson, designado por bóson de Higgs, cuja existência foi recentemente

experimentalmente confirmada e premiada pelo comit  Nobel. A massa das restantes partículas é devida   intera o destas com este campo extra de Higgs.

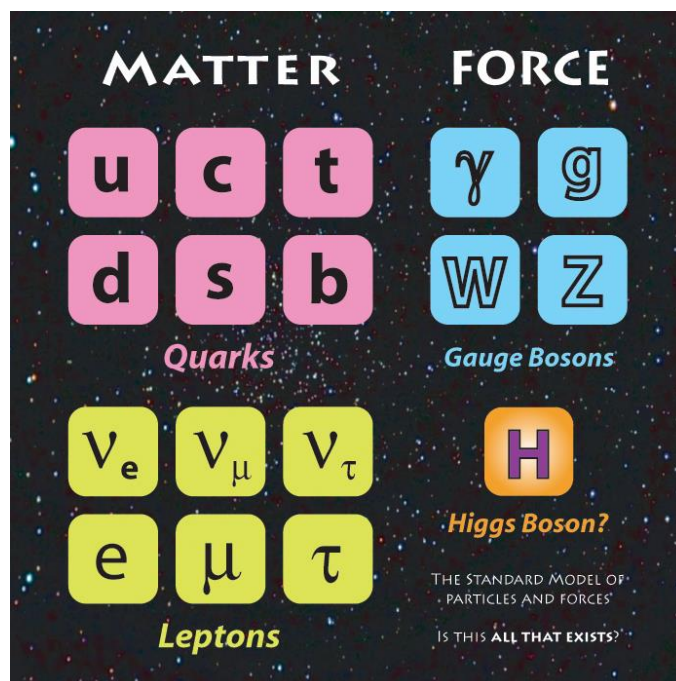


Figura 2 - No Modelo Padrão da Física de Partículas, todas as partículas de matéria são compostas por quarks (por exemplo os quarks *up* (u) e *down* (d) constituem os protões e os neutrões dos núcleos at micos) e por leptões (por exemplo o eletrão), divididos em três “famílias” (cada uma das colunas das tabelas rosa e amarela). Estas partículas são mantidas unidas pela troca de outras partículas, chamadas bosões (por exemplo o fot o para a intera o eletromagnética), representadas a azul. Da intera o com um bos o extra, chamado bos o de Higgs, resulta o facto de as partículas terem diferentes massas [2].

## Aceleradores

Todo o conhecimento de Física de Partículas tem por base resultados experimentais que permitem intuir e testar os modelos teóricos propostos. Atualmente, o chamado Modelo Padrão tem sido confirmado por todas as experiências realizadas. Para que tal seja possível, as partículas elementares e os bosões de troca têm de ser criados em colisões de partículas a alta energia e as suas propriedades estudadas. Inicialmente, estas experiências foram realizadas com recurso a raios cósmicos (partículas de alta energia, produto de processos estelares, que colidem com átomos das camadas mais altas da atmosfera terrestre). Mais tarde, foram desenvolvidos e construídos aceleradores de partículas, os quais permitem a cria o de condi es experimentais bem controladas, definindo o tipo, energia e ponto de colisão das partículas aceleradas. Tirando partido da famosa rela o da teoria da relatividade,  $E=mc^2$ ,   possível criar novas partículas, de massa mais elevada, desde que na colisão esteja disponível energia suficiente. Assim, o

acelerador funciona como um gigantesco microscópio, permitindo observar objetos muito pequenos (menores ainda do que a escala do núcleo atômico), obtendo provas da existência de partículas como os quarks ou os bosões de troca.

O grande colisionador hadrónico (LHC) é apenas a mais recente máquina de uma longa história de desenvolvimento de aceleradores sucessivamente mais poderosos e/ou precisos. Localizado num túnel a uma profundidade média de 100 m, na fronteira entre a França e a Suíça, tem um perímetro de 27 km, produz feixes de prótons com energia até 7 TeV ( $10^{12}$  eV, em que esta unidade de energia, o eletrão-Volt, corresponde a  $1,6 \times 10^{-19}$  J), e pode ainda colidir iões de chumbo (ver a figura 3). Dentro do túnel circular, as partículas são curvadas por campos magnéticos muito poderosos e em cada volta a sua energia é aumentada pela utilização de campos elétricos perfeitamente sincronizados com a sua passagem. Os dois feixes de prótons, circulando em sentidos opostos com uma velocidade muito próxima da luz no vázio, são feitos colidir no centro de detetores que registam os produtos da colisão. Das muitas partículas obtidas, algumas estáveis e outras com tempos de vida muito curtos, uma parte significativa será bem conhecida, mas com as restantes podemos estudar melhor as suas propriedades (massa, carga, tipos de interação, etc.) ou podem mesmo ser partículas novas, previstas ou não pelos modelos teóricos.

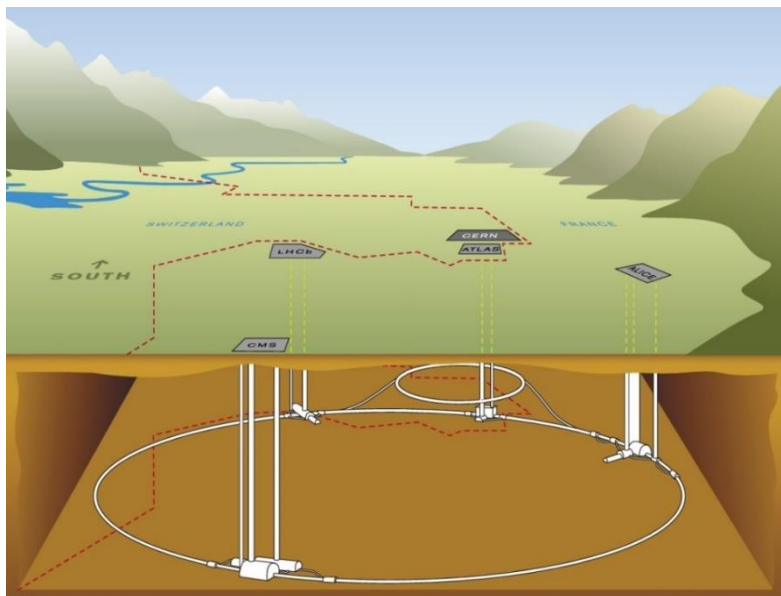


Figura 3 - Representação esquemática do complexo de aceleradores do laboratório CERN, localizados em túneis, com especial destaque para o grande colisionador hadrónico (LHC) e as quatro grandes cavernas. Nestas estão instalados quatro detetores de partículas para registo dos dados experimentais obtidos a partir da colisão no seu centro a alta energia [3].

Apenas as grandes instituições internacionais reúnem os recursos humanos e financeiros a uma escala global necessários para construir estes grandes aceleradores. Um exemplo de uma destas organizações é o laboratório europeu de física de partículas, CERN, localizado nos arredores de Genebra, Suíça, de que fazem parte 20 países membros e muitos outros como estados observadores e utilizadores dos seus equipamentos.

## Detetores

Os detetores de partículas funcionam como os olhos que conseguem observar e registar as colisões dentro de um acelerador de partículas. São constituídos por um número muito elevado de subdetetores de diferentes tecnologias, dispostos em camadas em torno do ponto de colisão, permitindo medir a trajetória, as propriedades cinemáticas, a energia e outras propriedades das partículas produzidas, seleccionando os acontecimentos mais interessantes (os que dão origem a partículas mais energéticas). Um exemplo destes detetores do LHC é apresentado na figura 4, o detetor ATLAS. Estes detetores são desenvolvidos por grandes colaborações internacionais, verdadeiramente globais, com contribuições de diferentes instituições de investigação científica, bem como da indústria tecnológica. A enorme quantidade de dados recolhida é depois distribuída por uma rede mundial de centros de computação, a Grid, onde é analisada pelos físicos que extraem a informação relevante, medem as propriedades das partículas e respetivas interações e comparam os resultados obtidos com os diferentes modelos teóricos.

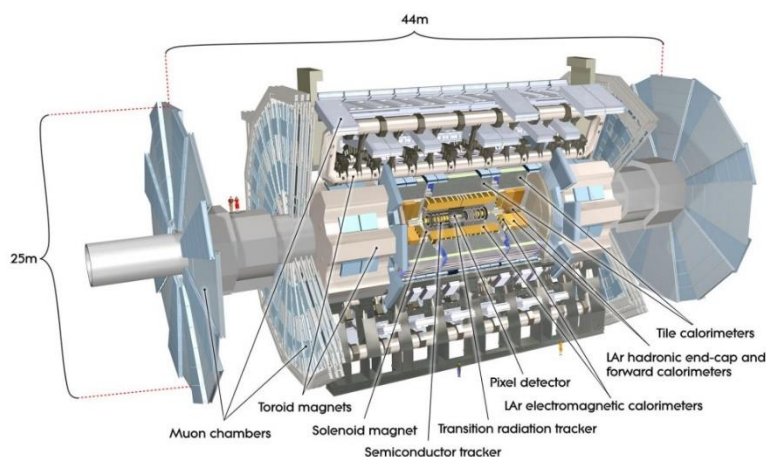


Figura 4 - Representação esquemática do detetor ATLAS, para o LHC, constituído por várias camadas de subdetetores organizados cilíndricamente em torno do ponto de colisão dos feixes de alta energia. As diferentes tecnologias utilizadas permitem obter informação acerca das partículas produzidas na colisão e assim reconstruir a colisão e identificar e medir as propriedades das partículas produzidas [4].

## **Conclusões**

Desde a antiguidade clássica, a humanidade percorreu um longo caminho na procura dos constituintes elementares da matéria e no estudo das interações entre eles. Em particular durante o século XX, foram construídas grandes instalações experimentais que permitiram o estudo de colisões de partículas de alta energia, produzidas em aceleradores, observadas com detetores de partículas e analisadas por equipas de físicos e de engenheiros em laboratórios de todo o mundo. De todo este esforço e desta aventura da descoberta científica, que ainda continua no século XXI, resulta um modelo teórico, designado por Modelo Padrão, que descreve toda a matéria conhecida como constituída por combinações de um número reduzidos de partículas elementares, divididas em dois grandes grupos com propriedades diferentes, os quarks e os leptões, ligadas por interações mediadas pela troca de outras partículas, os bosões. Este conhecimento permite esclarecer ou pelo menos apontar pistas, para a explicação do Universo na sua escala mais vasta. As experiências de Física de Partículas podem, eventualmente, fornecer explicação para dois dos maiores mistérios do Universo, que são a constituição e propriedades da matéria e da energia escura, que se pensa corresponderem a cerca de 95% da energia do Universo.

Sabe-se que o Modelo Padrão não está completo e que terá de ser estendido para explicar as questões em aberto. Estas são várias e incluem desde a razão para a existência de três famílias de partículas elementares, a introdução da força gravítica ou a explicação de muitos dos parâmetros do modelo.

A descoberta da constituição básica da matéria conhecida e das propriedades das forças da natureza é um dos maiores triunfos científicos da humanidade, uma vitória da curiosidade humana e da capacidade de desenvolvimento de tecnologia capaz de provar experimentalmente as ambiciosas teorias produzidas pelo espírito humano. Muita da tecnologia especialmente criada para estas experiências está agora disponível para outras aplicações no dia-a-dia, desde tecnologias da computação e da partilha da informação, até aplicações em terapias e diagnósticos médicos.

## **Referências bibliográficas**

[1] <https://community.emc.com/people/ble/blog/2011/11>

[2] <http://journalofcosmology.com/Cosmology5.html>

[3] <http://www.symmetrymagazine.org/article/august-2006/deconstruction-large-hadron-collider>

[4] <http://sbhep-nt.physics.sunysb.edu/HEP/AcceleratorGroup/atlas.html>

## ECLIPSE DO SOL<sup>7</sup>

Máximo Ferreira

Centro Ciência Viva de Constância-Parque de Astronomia

[info@constancia.cienciaviva.pt](mailto:info@constancia.cienciaviva.pt)

Resumo: O mecanismo dos eclipses é conhecido de há muito, razão por que é possível prever tais fenómenos com antecedência de muitos anos, bem como a sua duração e os locais da Terra onde são observáveis. Dos eclipses lunares e solares são estes últimos os de maior interesse, não só por permitirem o estudo de efeitos na atmosfera terrestre - no período em que a Lua impede a radiação solar de atingir a superfície da Terra - e, muito particularmente, visualizar aspetos da coroa solar.

Na sequência da confirmação da Teoria da Relatividade Geral por ocasião do eclipse total do Sol observado em 1919, na ilha do Príncipe - S. Tomé e Príncipe e Sobral-Brasil, e noutros posteriores, a ocorrência de tais acontecimentos evoca sempre o seu precioso contributo para o avanço da ciência. O eclipse de 3 de novembro de 2013, para além de características semelhantes às do de 1919, apresentará ainda a particularidade de poder ser observado igualmente no Brasil e em S. Tomé e Príncipe, o que sugere um conjunto de atividades suscetíveis, não só de evocar a missão que, 94 anos antes, se instalou na Roça Sundry, mas também motivar os naturais para o papel histórico do seu país no panorama científico mundial.

Palavras-chave: eclipse; centralidade; protuberância; relatividade.

---

<sup>7</sup> Texto baseado na videoconferência transmitida do Centro de Ciência Viva de Constância para a ilha do Príncipe, no dia 24 de outubro de 2013, a propósito do eclipse parcial do Sol que ocorreu naquela região em 3 de novembro de 2013.

## Porque há eclipses?

São vários os fatores que determinam a ocorrência de eclipses do Sol e da Lua, sendo os mais importantes o facto de os componentes do sistema solar girarem em torno do Sol segundo órbitas que se encontram aproximadamente no mesmo plano e a coincidência curiosa de a Lua e o Sol apresentarem o mesmo diâmetro angular, apesar de o Sol ser cerca de 400 vezes maior do que a Lua.



Figura 1 - Disposição aproximadamente complanar dos componentes do Sistema Solar

Por outro lado, como existe uma ligeira inclinação (5 graus) entre os planos das órbitas da Terra e a da Lua, isso faz com que não existam eclipses do Sol em todas as fases de *lua nova* ou eclipses da Lua em todas as fases de *lua cheia* e que, para além disso, o tipo e “grandeza” dos eclipses não sejam sempre os mesmos.

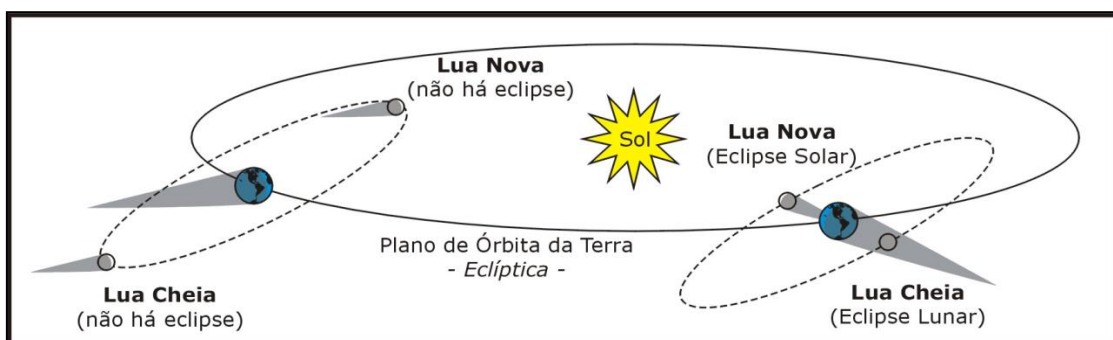


Figura 2 - Ilustração da inclinação entre os planos das órbitas da Terra e da Lua

Na figura 2 – em que se exagerou a inclinação das órbitas – mostra-se que só há eclipses quando as fases de *lua nova* e *lua cheia* ocorrem com a Lua exatamente no plano da órbita da Terra (à direita). Geralmente, a Lua encontra-se abaixo ou acima do plano orbital da Terra, pelo que os eclipses não podem acontecer (à esquerda).



A figura 3 representa eclipses totais da Lua (em baixo) e do Sol (em cima), sendo fácil perceber que um eclipse lunar pode ser visto de toda a metade da Terra onde é noite, ao passo que o eclipse solar só será visível numa pequena faixa da metade do planeta voltada para o Sol.

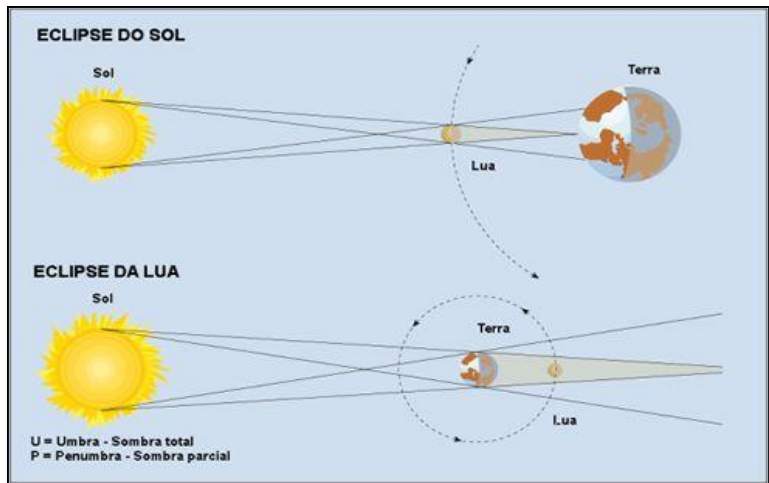


Figura 3 - Esquemas demonstrativos de condições de eclipses

No caso dos eclipses do Sol – caso que nos interessa particularmente nesta ocasião - há a notar o facto de o eclipse poder ser total numa faixa que (tendo em conta o diâmetro da Lua e a distância a que ela se encontra da Terra) não poderá exceder muito os 260 quilómetros, embora, para norte e para sul dessa faixa, o eclipse possa ser observado – como parcial – ao longo de muitos quilómetros.

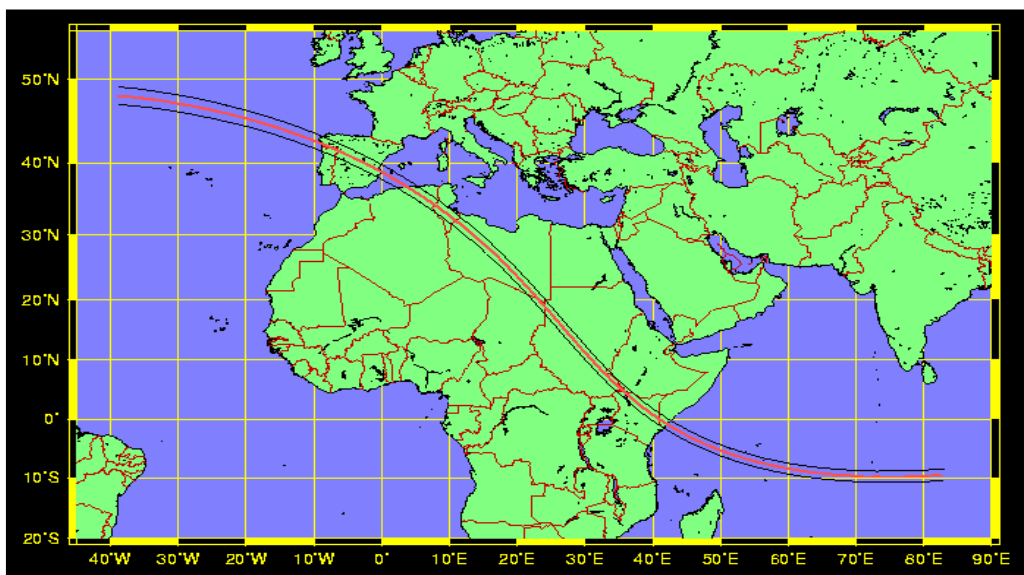


Figura 4 - Faixa de visibilidade do eclipse total do Sol de 3 de outubro de 2005

Na figura 4, relativa ao eclipse de 3 de outubro de 2005, assinala-se a “linha de centralidade” e a faixa de visibilidade do eclipse solar que, não sendo extraordinariamente larga, se estende ao longo de mais 17 000 quilómetros em longitude.

Depois desta breve apresentação sobre o *mecanismo dos eclipses*, é oportuno realçar o facto de, atualmente, à custa de trabalho e, conseqüentemente, conhecimento científico, ser possível prever a ocorrência de fenómenos astronómicos, bem como conhecer as suas causas e os seus efeitos, ao contrário do que acontecia no passado, quando os povos entravam em pânico perante tais acontecimentos. Em muitas épocas e locais da Terra, um eclipse – em particular do Sol – era encarado como expressão de forças sobrenaturais capazes de lançar as maiores desgraças sobre os habitantes terrestres, o que levava à prática de estranhos rituais que poderiam tornar-se violentos sobre pessoas e animais.



Figura 5 - Rituais e sacrifícios, por ocasião de um eclipse solar

Hoje, aproveitamos estas raras ocasiões para aperfeiçoar conhecimentos, em particular aqueles que nos permitem um melhor conforto na vida, seja o aproveitamento de energia solar ou a tomada de precauções em relação a alguns dos seus efeitos sobre a Terra.

Sabemos, por exemplo, que o Sol gera um campo magnético que influencia o espaço envolvente, numa espécie de “banho” em que estão mergulhados todos os planetas que

*Ferreira*

giram à sua volta e nos quais – necessariamente – as condições de vida, ou outras, são condicionadas pelo *estado* do Sol.

Durante o curto intervalo de tempo que dura um eclipse total do Sol, é possível ver a coroa solar e mesmo perceber como se distribui o campo magnético à sua volta e, em particular, as posições dos polos, aquelas regiões em que as linhas de campo se apresentam retilíneas.



Figura 6 - Coroa solar, durante a fase de totalidade do eclipse

Em imagens muito ampliadas, tornam-se evidentes longos arcos de matéria e gás incandescente que mostram a violência extrema na superfície da nossa estrela e a vida altamente instável que, mesmo assim, alimenta a vida na Terra



Figura 7 - Protuberância solar com milhares de quilômetros de extensão

Para além disso, os eclipses totais do Sol, em particular o que ocorreu a 29 de maio de 1919, estão associados a um progresso extraordinário no conhecimento científico.

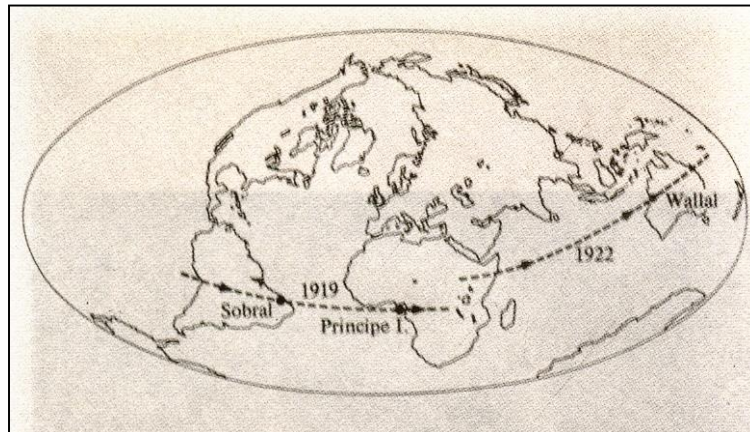


Figura 8 - Trajetos da sombra lunar nos eclipses totais do Sol de 1919 e 1922

Einstein havia estabelecido, em 1915, a Teoria da Relatividade Geral – a sua teoria da gravitação – que previa que a luz, ao passar na proximidade de corpos de grande massa, se encurvaria.

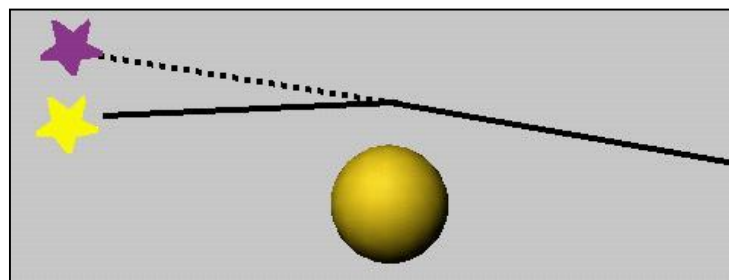


Figura 9 - Posição aparente de uma estrela cuja luz fosse defletida pela gravidade solar

No entanto, a comprovação prática não poderia ser obtida na Terra. Alguns astrónomos que se tornaram adeptos das ideias de Einstein conceberam que, se o cientista tivesse razão, as posições das estrelas do céu – registadas em determinada época – seriam alteradas pela gravidade do Sol, na época do ano em que ele se projetasse sobre elas, mas não seria possível ver tais estrelas ao mesmo tempo que o Sol, dado que, em circunstâncias normais, seria dia e a intensidade da luz solar não permite – como se sabe – ver as estrelas, embora seja certo que elas estão lá. Elaboraram uma lista dos eclipses solares futuros e das regiões onde eles iriam ser vistos, concebendo, depois disso, expedições científicas a locais onde pudessem ser observados e registados os momentos mais importantes de cada eclipse.

*Ferreira*

A mais importante de todas as expedições foi a que fez deslocar duas equipas de cientistas para Sobral (no Brasil) e Roça Sundy (em S. Tomé e Príncipe), onde, a 29 de maio de 1919, foi possível obter a confirmação de que algumas estrelas pertencentes à constelação do Touro apareciam nas chapas fotográficas em posições ligeiramente diferentes daquelas que, na verdade, ocupam quando o Sol não está a sua frente. Arthur Eddington – o astrónomo inglês que chefiou a missão à ilha do Príncipe – acabaria por obter a prova de que Einstein tinha razão, com elementos que acabariam por ser confirmados por registos do eclipse total do Sol observado na Austrália em 21 de setembro de 1922 e por outros eclipses posteriores.

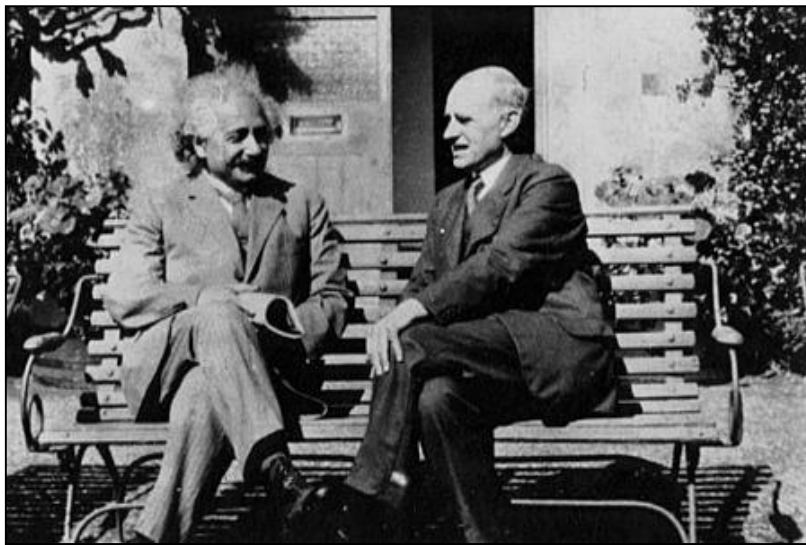


Figura 10 - Eddington e Einstein

Não vai ser tão interessante o eclipse que se vai observar em S. Tomé e Príncipe no próximo dia 3 de novembro de 2013, não só por já não depender dele a comprovação da teoria da relatividade de Einstein, mas também porque a faixa de totalidade não coincide exatamente com esta região da Terra.

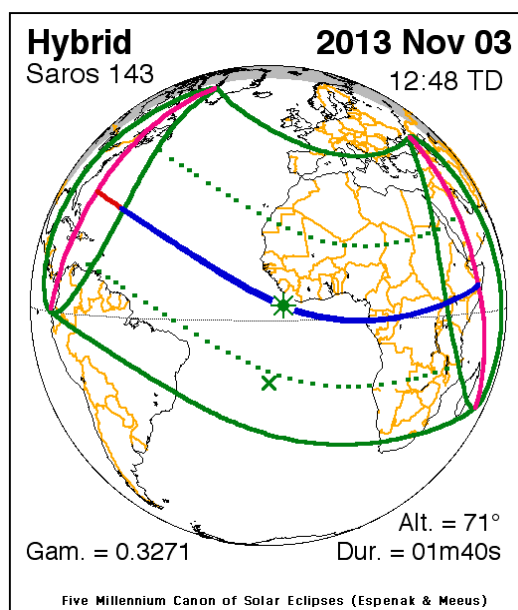


Figura 11 - Faixa de totalidade do eclipse solar de 3 de novembro de 2013

Na verdade, este eclipse tem características particulares – pelo que é designado por *eclipse híbrido* - pois há locais onde será total, noutros será visto como anular (a Lua, colocada à frente do Sol, parecerá mais pequena e, por isso, ficará visível uma espécie de anel de Sol) e será parcial a norte e a sul da faixa de centralidade.

Com início em latitudes a oeste do Brasil, o eclipse poderá ser visto como parcial na parte norte do referido país e propagar-se-á para Este, ao longo do Atlântico. Um observador que pudesse viajar de avião, sempre pela “linha de centralidade” veria o fenómeno passar de anular a total e voltar a anular, enquanto fora da “linha” o aspeto é sempre de “eclipse parcial”. Em Cabo Verde, o fenómeno será deveras interessante nas ilhas mais a sul (Brava, Fogo, Santiago e Maio), ficando o Sol tapado em mais de oitenta por cento. Depois de ser total em pleno Atlântico, a sul da Libéria e da Costa do Marfim, o eclipse mostrar-se-á em S. Tomé e Príncipe em cerca de 99 por cento. Luanda verá 74 por cento do Sol ocultado por detrás da Lua, enquanto em Maputo – cidade de Moçambique situada muito mais a sul – apenas uma fina “fatia” do Sol ficará invisível durante o período de 63 minutos, centrado nas 14:19.

Em Portugal, veremos, a partir das 11:30, a Lua como que a roçar o limbo inferior do Sol, ocultando uma porção progressivamente maior - até perto de 15 por cento - para iniciar então a “saída”, o que acontecerá completamente quando passarem cerca de cinco minutos da 13 horas.

*Ferreira*

Um acontecimento desta natureza serve não só como incentivo à contemplação da beleza do fenómeno e ao reconhecimento de como a ciência é capaz de calcular antecipadamente e com rigor os detalhes da sua evolução, mas também, neste caso, para se estabelecerem contactos entre pessoas – estudantes, professores e cidadãos em geral – situadas em locais diferentes do planeta.

# O ECLIPSE E O IMPACTO SOCIAL DOS FENÓMENOS ASTRONÓMICOS<sup>8</sup>

Fausto Amaro

Sociedade de Geografia de Lisboa

Centro de Administração e Políticas Públicas, Universidade de Lisboa (ISCSP)

[famaro@iscsp.ulisboa.pt](mailto:famaro@iscsp.ulisboa.pt)

Resumo: Os eclipses como fenómenos astronómicos sempre suscitaram a curiosidade humana e tiveram impacto na cultura e na sociedade. A falta de conhecimentos científicos no passado levava as populações a interpretar os eclipses como maus presságios, gerando o pânico e comportamentos irracionais. O desenvolvimento científico trouxe outro conhecimento do Universo, sendo hoje aceite que a mentalidade científica é necessária ao próprio desenvolvimento económico e social. A ocorrência de um eclipse do Sol na ilha do Príncipe, no dia 3 de novembro de 2013, é o pretexto para recordar a experiência realizada na mesma ilha em 1919 destinada a comprovar a teoria da relatividade generalizada de Einstein e acentuar a importância da ciência para o progresso e desenvolvimento das sociedades.

Palavras-chave: Eclipse; Príncipe; Teoria da relatividade

Abstract: Astronomical phenomena such like eclipses had long stimulated human curiosity, with a significant impact on culture and society. In ages before widespread scientific knowledge, people would interpret eclipses as bad omens, which generated panic and irrational behaviours. Scientific advances allowed a deeper knowledge about the Universe and today it is unquestionable that the scientific mindset is necessary to any economic and social development. The occurrence of a solar eclipse in the Principe Island on November 3, 2013 is the pretext to recall the experiment held on the exact same island in 1919 that aimed to prove Einstein's theory of general relativity, as well as to highlight the importance of science for the progress and development of society.

Keywords: Eclipse; Principe Island; Theory of relativity

---

<sup>8</sup> Texto baseado na videoconferência transmitida da Sociedade de Geografia de Lisboa para a ilha do Príncipe, no dia 31 de outubro de 2013 a propósito do eclipse parcial do Sol que ocorreu naquela região em 3 de novembro de 2013.



## **Introdução**

Desde sempre os fenómenos cósmicos despertaram curiosidade entre os seres humanos, quer se tratasse da aparição de cometas, de estrelas cadentes ou de eclipses do Sol. Estes eram considerados acontecimentos dramáticos, sinal de mau agouro, por vezes relacionados com a morte. O Sol era o astro Rei, fonte de luz, do calor e da vida, elevado à categoria de Deus como no antigo Egito ou na Grécia antiga, onde Apolo era o Deus Solar por excelência. O Japão é representado pelo Sol Nascente, que dá também o nome ao país, e Jesus Cristo foi por vezes referido como o Sol que irradia justiça. Na maior parte das sociedades antigas, o Sol foi identificado com o princípio masculino, o princípio ativo, por isso se desenvolveu toda uma mitologia acerca do Sol quando este ficava oculto devido a um eclipse.

Na Índia antiga, acreditava-se que os demónios engoliam o Sol e causavam a podridão das colheitas e das águas.

No ano de 632, um eclipse do Sol foi associado à morte do filho de Maomé, Ibrahim.

No antigo Perú, este fenómeno do Sol teria sido um dos sinais da chegada dos conquistadores Espanhóis e queda do império Inca.

Interessante é também o registo que ficou dos comportamentos da população que presenciava o eclipse. Entre os cristãos, a população refugiava-se nos templos para rezar e pedir a proteção divina e o mesmo se verificava entre outros povos onde os feiticeiros recomendavam que as pessoas se fechassem em casa nessas ocasiões.

Estes comportamentos poderão parecer hoje irracionais e fruto da ignorância, mas podemos colocar a hipótese, provavelmente verdadeira, de representarem uma adaptação cultural com o objetivo de evitar que as pessoas fixassem o astro rei, sem qualquer proteção, o que ocasionaria fortes danos para os olhos.

Com o caminhar dos séculos, os conhecimentos do homem sobre o Universo foram aumentando. Copérnico e Galileu mudaram a teoria antiga sobre as relações entre a Terra e o Sol, demonstrando que não era o Sol que girava em torno da Terra, mas exatamente o contrário e naturalmente também aumentou o nosso conhecimento sobre os eclipses, bem como a capacidade para prevermos a sua ocorrência.

No século XVII, Newton desenvolveu a teoria sobre a gravitação universal e trouxe um novo conhecimento do universo e dos fenómenos cósmicos; mais tarde, já no século

XX, Albert Einstein viria a aprofundar esse conhecimento através da teoria da relatividade.

Foi justamente por causa da teoria de Einstein que a ilha do Príncipe ganhou um lugar na história da ciência, por ter sido aí, na roça Sundry, que se realizou em 29 de maio do ano de 1919, a famosa experiência destinada a comprovar um aspeto da teoria da relatividade.

De acordo com Einstein, a luz, tal como qualquer objeto, sofre também o efeito da gravidade. Assim, um raio luminoso fica sujeito a uma deformação da sua trajetória se atravessar um campo de gravidade criado por um corpo com grande massa. A sua hipótese era que os raios luminosos das estrelas seriam afetados pelo campo gravitacional do Sol. Como esta observação não é possível fazer durante o dia, Einstein sugeriu que o fenómeno fosse observado durante um eclipse. Se a sua teoria estivesse certa, os raios luminosos das estrelas que passassem perto do Sol sofreriam uma deformação e as estrelas seriam percecionadas na Terra ligeiramente deslocadas da sua posição habitual, como ilustra a figura 1.

Teoria sobre a deflexão da luz. O raio de luz sofre a atração gravítica do sol originando uma diferença entre a posição estimada e verdadeira de uma estrela

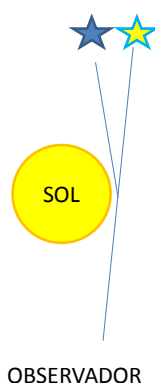


Figura 1 – Teoria sobre a deflexão da luz

Esta verificação era fundamental para comprovar a teoria da relatividade generalizada de Einstein. Assim surgiu a ideia da expedição à região equatorial para observar o eclipse de 29 de maio de 1919.

*Amaro*

Um grupo de cientistas ingleses dirigidos por Dyson (1868-1939) e por Eddington (1882-1944) organizaram uma expedição ao Príncipe e a Sobral para observarem o eclipse total do Sol. A expedição ao Príncipe teve o apoio da Sociedade de Geografia de Lisboa que, a pedido da Royal Geographical Society of London, forneceu um mapa da Ilha e informações necessárias ao planeamento da expedição, incluindo

“dados meteorológicos (valores de temperatura do ar, bem como do número de dias dos meses de Maio de 1914, 1916, 1917 e ainda Agosto de 2015, com sol claro, nublados, com chuva forte ou com trovoadas”<sup>9</sup>

A interessante correspondência trocada entre a Royal Geographical Society e a Sociedade de Geografia de Lisboa foi publicada em 2010 pela Sociedade de Geografia de Lisboa.<sup>10</sup>

A equipa transportou para a ilha do Príncipe e para Sobral, no Brasil, o material necessário para poder fotografar, durante o eclipse, as estrelas visíveis mais perto do Sol e, tal como Einstein tinha previsto, os cientistas concluíram que a luz das estrelas era de facto afetada pelo campo gravitacional do Sol, afastando-se em média 1,64 segundos de arco, valor bastante próximo do cálculo teórico feito pelo próprio Einstein de 1,75 segundos de arco.<sup>11</sup>

As medições feitas com base em fotografias do eclipse deram razão a Einstein.

Desta forma a ilha do Príncipe passou a fazer parte da história da ciência moderna, ficando associada à comprovação da teoria da relatividade.

Experiências semelhantes foram mais tarde repetidas por Dyson e Eddington em 1922, e por outros cientistas, anos mais tarde.

A experiência de 1919 ilustra alguns aspetos fundamentais do pensamento científico:

1. Todas as ideias que temos sobre o mundo e sobre nós próprios devem ser verificadas por métodos rigorosos
2. A verificação da realidade deve ser baseada em factos

---

<sup>9</sup> Aires-Barros, Luís (2010). A Acção da Sociedade de Geografia de Lisboa na Programação da Missão Eddington à ilha do Príncipe em 29 de Maio de 1919. In Sociedade de Geografia de Lisboa (2010). *Comemorações do 90.º Aniversário da Expedição Científica de Eddington à ilha do Príncipe*. Lisboa: SGL.

<sup>10</sup> Idem.

<sup>11</sup> Barnett, L. (1951). *Einstein et l'univers*. Paris: Gallimard, p.135.

3. Mesmo depois de comprovação a partir dos factos, outros cientistas devem repetir as observações para aumentarem a certeza sobre a realidade.

### **Importância da Ciência**

O pensamento científico é essencial para a resolução de muitos problemas das sociedades atuais. Podemos dar alguns exemplos práticos: precisamos de água potável e de eletricidade; necessitamos de casas para viver e melhor qualidade de vida ou de construir máquinas para fazer alguns trabalhos.

O conhecimento é portanto cada vez mais necessário, as pessoas necessitam ser cada vez mais instruídas e compreender melhor o mundo onde vivem.

Mesmo pequenos países podem ter grande desenvolvimento se aproveitarem a inteligência dos seus habitantes.

Este caminho na direção do conhecimento científico, seja no domínio das ciências físicas como a Astronomia, seja no campo das ciências sociais e humanas, como a Sociologia, não implica, porém, rejeitar a tradição. O pensamento científico é perfeitamente compatível com os valores tradicionais da família, da sociedade e da religião. Em todas estas áreas é necessário desenvolver o pensamento científico.

S. Tomé e Príncipe e quase todos os países onde se fala português, Portugal, Guiné, Angola, Cabo Verde, Moçambique e Brasil vão poder observar o eclipse, mas mais uma vez os habitantes da ilha do Príncipe vão ser privilegiados e poder observar o eclipse do Sol próximo da sua totalidade.

Esta é uma excelente oportunidade para refletir sobre o espírito científico, observando o eclipse com óculos apropriados, estudando as razões porque não devemos olhar diretamente para o Sol e tentando compreender melhor estes fenómenos astronómicos.

## **Conclusão**

O eclipse do próximo dia 3 de novembro já não significa mau agouro nem desgraça como pensavam os povos antigos.

S. Tomé e Príncipe ganha visibilidade mundial e isso pode contribuir para o seu desenvolvimento económico e cultural.

Alguns jovens podem sentir-se atraídos pela ciência e vir a ter profissões importantes para o desenvolvimento do país.

É na ciência que reside o novo poder.

## **A LUA VEM BRIGAR COM O SOL**

Rita Manuel Barbosa Alves

Empresa HBD- TI. Património Cultural

[ritamanuel@gmail.com](mailto:ritamanuel@gmail.com)

**Resumo:** Este artigo surge da recolha de informações em conversas informais com algumas pessoas residentes na Sundry, sobre as suas ocupações, suas vidas e a interligação com a Lua, Estrelas, Sol e “Quando a Lua tapa o Sol – Eclipse”. A par da recolha oral, foi igualmente desenvolvida uma breve pesquisa bibliográfica como fundamentação dos dados recolhidos.

**Palavras-chave:** Saber Empírico, História/s, Lua, Sol, Eclipse

**Abstract:** This paper results from collected data obtained in informal meetings with some people who live at Sundry about their occupations, lives and the link with the Moon, Stars, Sun and “when the Moon hides the Sun - Eclipse”. At the same time a brief bibliographic research was developed to fundament the collected data.

**Keywords:** Empirical Knowledge, History/ies, Moon, Sun, Eclipse

## Introdução

Este trabalho surge enquadrado no programa do projeto *ECLIPSE 2013: História e Ciência no Príncipe*<sup>12</sup> e pretende estabelecer um diálogo e partilha de saberes.

A breve pesquisa incidiu em histórias, saberes e práticas de pessoas da ilha do Príncipe, em particular residentes da roça Sundry e na sua relação direta com o meio envolvente, na sua cosmogonia, no seu modo de estar e de encarar o mundo, seus conhecimentos, experiências, narrativas e histórias.

A metodologia envolveu conversas informais junto de pescadores, trabalhadores de campo (agricultura) e outros. Apesar do diminuto número de pessoas que participou, a pesquisa abrangeu um leque variado e diverso de ocupações e gerações. Deste modo, foi elaborado um pequeno levantamento sobre o conhecimento empírico do meio envolvente que inclui um “saber empírico do céu” manifesto em práticas quotidianas. Às pessoas abordadas foi pedido que contassem histórias, que explicassem as suas práticas, os seus saberes sobre as fases da Lua, o Sol, as Estrelas, a Lua quando tapa o Sol - eclipse. Foram solicitadas elucidações de como e porquê desempenham de determinado modo as suas ocupações, de como estabelecem relações entre os diversos recursos, meios e técnicas. A título de exemplo foi referida a relação entre fases da Lua e marés. Este exemplo foi mencionado continuamente uma vez que é reconhecido por todos os indivíduos abordados e permitiu o entendimento do que era pretendido.

Durante a pesquisa, verificou-se que os intervenientes, através de observações quotidianas, consolidaram um saber empírico. Um saber vivido que compreende práticas diárias e experiências das quais resulta uma otimização de técnicas e estratégias e conseqüentemente uma melhor gestão dos recursos existentes. Revelou-se um saber que é experienciado no dia a dia e transmitido oralmente, na prática e com a experiência. Este trabalho é uma mostra da breve pesquisa realizada, uma apresentação de algumas das potencialidades de uma pesquisa mais exaustiva sobre saberes empíricos

---

<sup>12</sup> Importa referir que um dos fundamentos para a realização do programa ECLIPSE 2013 foi o facto da ilha do Príncipe ter lugar na História da Ciência. A ilha do Príncipe foi um dos locais escolhidos para a observação do eclipse total em 1919. A observação de 1919 permitiu validar a TGR de Einstein. Para mais informações sobre as expedições realizadas em 1919 ver, Crawford, P., & Simões, A. (2009). «O eclipse de 29 de maio de 1919 A.S. Eddington e os astrónomos do Observatório da Tapada». *Gazeta de Física* 32 ( N- 2/3).; Mota, E., Crawford, P., & Simões, A. (2008) «Einstein in Portugal: Eddington's expedition to Príncipe and the reactions of Portuguese astronomers (1917–25)». *British society for the history of science.*.

que possibilite o diálogo e a partilha entre os ditos conhecimentos empíricos e científicos.

É um trabalho organizado em três partes. Um primeiro momento dedicado ao lugar da ilha do Príncipe na História das Ciências e aos contactos entre esta Ciência e os saberes locais e histórias transmitidas oralmente. A segunda parte alude aos estudos de Etnoastronomia / Astronomia Cultural realizados pelo Professor Germano Afonso e é feita uma breve menção a esses casos de estudo. A finalizar são apresentados, resumidamente, discursos e algumas das reações observadas no dia do eclipse – 3 de novembro 2013. São referidas as mudanças dos discursos sobre o tópico nos dias que se seguiram ao evento. É igualmente apresentado sumariamente o evento, em particular a participação que ocorreu no dia 6 de novembro 2013 no âmbito do programa *ECLIPSE 2013* e que contou com a presença de algumas das pessoas que partilharam os seus conhecimentos.

### **História ou histórias**

Nos meandros da História da Ciência, em particular da Física e da Astronomia, é reconhecido o lugar da ilha do Príncipe. O interesse deve-se ao facto de, em 1919, ter sido a ilha do Príncipe um dos locais<sup>13</sup> eleitos para uma expedição liderada por Eddington, cientista inglês que pretendia verificar experimentalmente a Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Einstein através da observação do eclipse total a 29 de maio de 1919.

Contrariamente e apesar de não ter sido efetuada uma pesquisa profunda, não foram encontrados registos de reações nem de relatos de trabalhadores das roças na ilha do Príncipe referentes ao eclipse de 1919, nem à expedição dirigida por Eddington para a validação da TRG de Einstein. Apesar da importância do acontecimento em 1919, não há referências orais nem escritas da parte das pessoas/ descendentes de trabalhadores contratados da Sundry durante a pesquisa.

---

<sup>13</sup> Além da expedição à ilha do Príncipe, em 1919 ,foi igualmente organizada uma expedição ao Brasil – a Sobral, um dos outros locais onde era possível observar o eclipse total de 1919 e que seria o elemento de comparação na verificação da TRG de Einstein. Para mais informações sobre as expedições realizadas em 1919 ver Crawford, P., & Simões, A. (2009). «O eclipse de 29 de maio de 1919 A.S. Eddington e os astrónomos do Observatório da Tapada». *Gazeta de Física* 32 ( N- 2/3).; Mota, E. Crawford, P. Simões, (2008) A. «Einstein in Portugal: Eddington's expedition to Príncipe and the reactions of Portuguese astronomers (1917–25)». *British Society for the History of Science*.



O estatuto da maioria dos residentes das roças da ilha do Príncipe no período em que ocorreu o eclipse era de serventes, trabalhadores contratados cujos anseios e receios eram desconsiderados, assim como os seus saberes e práticas, facto que reforça a inexistência de registos de outros que não os ditos ocidentais.

Contrariamente ao expectável, aquando das celebrações em 2009, verificou-se algo que denota uma “perpetuação” da distância e manutenção de segmentos tidos como opostos. Por um lado, um saber empírico local com base na experiência diária da maioria da população da ilha do Príncipe, por outro lado um saber científico ocidental composto por um grupo restrito de pessoas.

Neste sentido, se no período colonial - em 1919, só um pequeno grupo muito específico podia aceder, ter um contacto com a “Ciência”, atualmente o distanciamento mantém-se. “Yet astronomers based in the colonial observatories also routinely denied the involvement, for example, of local assistants (cf. Schaffer 2007)” (2009:12)<sup>14</sup>.

O excerto anterior e o seguinte são apresentados num artigo de 2009 da autoria de Weszkalnys, referente às celebrações dos 90 anos da expedição liderada por Eddington à ilha do Príncipe.

A small group of girls huddled nearby, whom I encouraged to take a look at the new plaques, informed me that this was only for brancos (‘whites’) and that a guard had threatened to beat them up should they come too close. I was left hoping that this would be only a temporary situation, charitably interpreted as an expression of respect for the president and his diplomatic guests on this special day. (2009:10)<sup>15</sup>

Correndo o risco de generalizar, verifica-se comumente um distanciamento entre práticas e saberes. No caso apresentado, um trabalhador da Sundry, através de um ato como que automatizado sustenta o distanciamento entre a ciência dita ocidental, o que ela representa e os residentes da Sundry da ilha do Príncipe. Apesar de não ser este o tema do trabalho aqui proposto, este tópico é considerado válido de análise e de mudança para o estabelecimento de diálogo entre saberes. É de relevar a distância entre conhecimentos e a importância que a comunicação tem na partilha de experiências entre

---

<sup>14</sup> Este facto está associado a questões de poder que se manifestam através do acesso ao “conhecimento”, sendo que as distâncias ao poder/ ciência estão diretamente associadas a questões de género, “etnias”, entre muitas outras.

<sup>15</sup> De relevar o esforço do Programa *ECLIPSE 2013* de inclusão da população da ilha do Príncipe, em particular dos professores, através de diversas e variadas atividades. Contudo, a adesão não foi tão grande quanto o desejado.

estes. Esta partilha implica recordar e reforçar a importância dos saberes empíricos, práticas e narrativas não reconhecidas por quem os pratica quotidianamente. Estas experiências já começaram a ser debatidas e o seu valor reconhecido pela ciência dita ocidental, pelo que é necessário legitimar o conhecimento empírico constituído de interdependências, de inter-relações com por exemplo entre as fases da Lua e as marés, as estrelas, a produção agrícola e as estações, os animais, as relações e as práticas entre o uso de madeiras / corte de árvores e as fases lunares, a produção de óleo de palma, etc. Um dos focos propostos é identificar algumas das práticas, a rede de saberes empíricos, discursos, algumas das histórias, crenças, superstições, enfim, um vislumbre holístico da vida na ilha do Príncipe.

### **Saberes Partilhados com Denominações Diversas**

Contrariando todos os pessimismos referentes a uma globalização associada a uma possível “homogeneização do mundo”, observa-se que as práticas “tradicionais locais” e narrativas transmitidas oralmente são legitimadas e valorizadas. O reconhecimento, ainda que muito ténue em algumas partes do mundo, nomeadamente nos países africanos, é atualmente tido e levado a cabo por muitos investigadores. Em países como o Brasil, desenvolvem-se redes e plataformas para chegar a “etnias recônditas”, durante séculos ignoradas, muitas delas extintas pela imposição de uma outra língua, “estrangeira”.

Neste sentido é de relevar o trabalho de recolha e “tradução” numa linguagem dita científica de conhecimentos empíricos de algumas tribos da Amazónia realizado pelo professor Germano Afonso. De referência, alguns dados recolhidos nas suas pesquisas que se identificam nas informações recolhidas durante esta pesquisa. No artigo *Relações Afro-Brasileiras* de 2006, Germano Afonso aborda as experiências, saberes, narrativas e mitos de criação das populações descendentes dos escravos da costa ocidental africana com os indígenas americanos, como se entrelaçaram saberes de diversos espaços geográficos. Muitos destes conhecimentos empíricos apresentam semelhanças com os saberes relatados e práticas quotidianas associadas na ilha do Príncipe. De menção as referências e a importância atribuída à Lua e suas fases, às marés, ao Sol, mas também às *Três-Marias*<sup>16</sup> (localmente também referidas como os *Três Reis*), *Sirius* - estrela que

---

<sup>16</sup> Três estrelas brilhantes alinhadas.

o mais provável é ser a estrela nomeada localmente por *Estrela de Eva* e/ou da *Hora*, etc. Estes são apenas alguns dos exemplos das ligações que se estabelecem entre céu/s, “povos”, saberes,..., resultantes de experiências empíricas constituídas por observações constantes aplicadas no quotidiano.

## Coisas da Natureza

A Lua vem brigar com Sol, Lua vem brigar com Sol...então que Sol volta a Lua para baixo começa a escurecer [...] Lua começa a lutar, a lutar com o Sol.

A Lua faz parte de água e o Sol é fogo. [...] Ficam a brigar até 2 a 3h de relógio [...] Coisa de muitos anos.

Lua vence porque é água, água apaga fogo. As estrelas continuam em cima... O planeta mais alto é o Sol. Se o Sol estivesse em lugar de Lua, queimava tudo. [...]. Pois a Lua está debaixo de Sol. (Sr. C)

Esta história foi a única ouvida na Sundy sobre o tópico – *Eclipse* – que foi apresentado como um breve apontamento com a finalidade de explicar o fenómeno. Apesar de ser a única exposição do acontecimento, a mesma versão foi mencionada por três das pessoas abordadas, entre dez, com mais de 60 anos. Como no caso de outros depoimentos, este relato surgiu em conversas informais antecedidas de pedidos insistentes de histórias sobre o Sol, a Lua, as estrelas, sobre o tema *que acontece quando a Lua tapa o Sol?*.

De relevar que perante esta pergunta - *O que acontece quando a Lua tapa o Sol*, as pessoas abordadas responderam imediatamente - *Eclipse*. Contrariamente a ideias pré-feitas sobre o desconhecimento por parte da população em geral, dos habitantes das roças e da Sundy em particular, relativamente a informações exteriores à ilha. Verificase que uma grande parte dos residentes da Sundy<sup>17</sup> tem acesso a informação através da televisão, muitos têm antenas parabólicas e acesso a vários canais televisivos internacionais. Além das telenovelas tão famosas e admiradas entre todos, também são visionados documentários sobre as mais variadas temáticas. Um dos indivíduos entrevistados referiu ter visto um programa sobre a “vida noutros planetas [...] naves espaciais” (Sr. K). Entre os residentes<sup>18</sup> abordados nenhum deles conseguiu reproduzir

---

<sup>17</sup> No caso da roça Sundy, é de mencionar que quem não tem televisão frequenta a casa de vizinhos para ver os mais diversos programas – *Televizinha*.

<sup>18</sup> De referir uma exceção - um professor recém-formado em Física no Instituto Superior Politécnico – São Tomé. Foi uma pessoa ativa, com iniciativa e fez questão em participar nas várias ações de esclarecimento sobre o que é um eclipse e o que fazer quando este ocorre. Estas foram algumas das

uma “explicação científica”, um “entendimento científico” sobre o que é um eclipse. Contudo, o mesmo desconhecimento sobre os fenômenos científicos também é encontrado nas populações dos ditos países desenvolvidos.

É acrescentado o depoimento sobre o que ocorre e como é vivido na Terra o fenômeno – Eclipse:

Eu era muito garoto [...] Quando aconteceu, em 1953, aconteceu aqui no Príncipe - 10h de dia. Toda a gente pensava que era fim de mundo.

Fica escuro, tempo fica escuro, depois de estar a escurecer, já toda gente sabe como é que fica [...], fica tudo assustado, toda a gente fica já, um pouco atrapalhada. (Sr. C)

Não há muitos contadores de histórias na Sundry, pelo menos não se intitulam como tal. Dizem não saber histórias e fogem perante a insistência de pedidos ainda que seja reconhecida por vizinhos e familiares essa aptidão, a ligação à cultura, “já saiu no carnaval, era teatreiro [...]”, dizem alguns dos residentes da Sundry quando se referem ao Sr. C. entre outras pessoas.

A calamidade foi diversas vezes referida aquando a questão do que se passa na Terra com os animais, as plantas, o meio envolvente no geral e o Homem em particular. Foi demonstrada uma associação direta entre o “fim do mundo” e superstições e crenças que lhe são aliadas. Algumas das pessoas abordadas, entre mulheres e homens com idades compreendidas entre os 20 e os 40 anos, narraram episódios de medo e receios difundidos pelos meios de comunicação – rádio e televisão na passagem do milénio, fazendo uma comparação com o fenómeno eclipse.

Uma mulher com quase 30 anos demonstrou receio e afirmou que se iria fechar em casa com os filhos. A justificação que apresentou foi ter “medo que os filhos cegassem”, apesar de ter visto o esclarecimento televisivo sobre como agir e o compromisso de cedência de óculos para uma observação segura do fenómeno natural. Contudo, a família em questão, no dia do eclipse usufruiu do evento e os receios foram ultrapassados, possivelmente os amigos e vizinhos demonstraram ser seguro. Este discurso associando catástrofe à ocorrência de um eclipse, o fim de mundo e a passagem

---

atividades, entre outras de promoção e divulgação da Ciência nas quais participou e que foram desenvolvidas no âmbito do programa do *ECLIPSE 2013*.

*Alves*

para um novo milénio foi referido por cerca de vinte das pessoas abordadas, apesar de nem todas demonstrarem receio.

Um outro caso, este deveras interessante pela descrença demonstrada, foi a de um pescador que negou a possibilidade de a “Lua tapar o Sol”, segundo ele – “isso não é possível” (Sr. P).

## **Céus**

As características atribuídas aos astros, à Lua e ao Sol em particular, repetem-se em diversas narrativas e são diretas as associações entre Lua e chuva, água, entre o Sol e o fogo, a seca/gravana (estação seca), estas entre outras acima mencionadas na história que dá nome a este trabalho escrito.

Em dois momentos diferentes, duas intervenientes, uma nos seus 80 anos e outra com 46 anos, mencionaram o aforismo – “A Chuva diz ao Sol: – Eu sou porca, mas sou rica. Tu és limpo, mas és pobre”. Também neste ditado está implícita a ligação da chuva, às fases da Lua, à água que caí na terra e produz lama que suja – época das chuvas, fertilidade do solo. Por outro lado, o Sol associado ao “fogo”, à época seca - gravana, à falta de água que não permite o crescimento das plantas, “Não plantamos na gravana, tudo está seco. É uma luta que não acaba” (Sra. E).

É impossível dissociar elementos, o que se manifesta na vida quotidiana, os saberes e práticas diárias e que se verbalizam na forma de provérbios. Assim, aquando um temporal foi afirmado que os temporais têm influência no carácter das crianças que nascem. “É mau uma criança ser parida com aquele temporal [...] a criança nasce zangada” (Sra. E).

A influência de fatores naturais na personalidade, carácter das pessoas manifesta-se também na afirmação que associa características sazonais ao nascimento da pessoa. Mês de outubro, mês de ventos, dizem ser em meados do mês que a mudança de época ocorre. No mês de abril, mês de muita água e temporal. Assim, “as pessoas de outubro falam muito, deitam tudo cá para fora, as de abril guardam tudo no coração” (Sr. P).

Todas as ocupações estão diretamente associadas ao meio envolvente. Quando um pescador foi questionado relativamente à sua atividade, o procedimento a ter na sua

ocupação, mencionou quase imediatamente a interdependência entre marés, fases da Lua e estações – seca ou das chuvas, mas também o espaço, o sítio – *a pedra*, onde pesca os diferentes tipos de peixes. Possivelmente existem outros elementos não referidos.

Outras duas pessoas que se dedicam à pesca também corroboraram as informações previamente cedidas, assim como outros indivíduos que, apesar de não praticarem esta atividade, têm experiência nessa ocupação. Neste sentido um dos pescadores abordados, na casa dos 40 anos, referiu a existência de uma estrela que aparece sempre na mesma posição relativamente à Lua, sempre às 2h30/ 3h da madrugada, nomeou esta estrela de *Estrela da Hora*. Quando questionado sobre o visionamento de astros pelos quais os pescadores se guiam, replicou não existir uma prática que se sustente na observação do céu para orientação.

A informação cedida foi replicada por um idoso na casa dos 70 anos que, apesar de não ter sido pescador a tempo inteiro, tinha esta atividade bastante presente paralelamente à agricultura e obras / construção. Este reafirma a existência da estrela anteriormente mencionada mas nomeia-a de *Estrela Eva* ou *Estrela da Madrugada* e com uma certeza não exigida referiu que esta surge exatamente às 3h da madrugada. A influência de fenómenos, a inter-relação entre todos elementos nunca é esquecida e surge mais uma vez, através da atribuição do nome, “(...) Aurora é nome de pessoa. Há quem tenha esse nome porque nasceu de madrugada na aurora do dia (...)” (Sr.B).

Neste caso, foram igualmente cedidas outras informações como o “aparecimento” e “queda” da Lua em diferentes pontos do horizonte dependendo da sua fase e época do ano.

A existência das sete estrelas, um aglomerado de sete estrelas pouco nítidas, é ainda mencionado pelo velho pescador ou ainda o *cão grande*. Este senhor é cego, segundo ele, devido aos diferentes trabalhos que desempenhou nas roças por onde passou, desde os secadores de cacau, à oficina mecânica, etc., o calor do primeiro e as faíscas do segundo são as principais razões apresentadas para justificar a sua falta de “vista”.

O ideal seria acompanhar um visionamento do céu e identificar o mais exato possível os astros referidos. Como ajuda para uma observação do céu e conseqüente identificação de astros, foi indicada uma vizinha que o apoia em várias tarefas diárias, pois ele não anda, não vê nem tem família próxima que o possa auxiliar nas ações mais simples. Esta

senhora prontificou-se, contudo a tarefa demonstrou ser difícil, uma vez que nem sempre as condições proporcionaram a empreitada de identificação e nomeação e alguns dos astros mencionados pelo velho senhor não foram reconhecidos pela senhora. Todavia referiu uma série de práticas que aliam a experiência de observação e a execução de práticas quotidianas. Uma observação direta e óbvia para quem a relata refere-se à cor do céu aquando o amanhecer. Dependendo da cor do céu e respetivo posicionamento do Sol no horizonte é feita a premonição que irá chover ou não.

A maioria das pessoas residentes na Sundy tem diversas ocupações desde trabalhos no campo à pesca. Em conversa com trabalhadores de campo (quase toda a população da Sundy tem conhecimentos e prática na área da “agricultura”), foram referidas as estações “sazonais” – gravana, chuvas e ventos, estes elementos entre outros associados às diferentes fases da Lua e à observação noturna do céu, se estrelado ou enublado. Assim, se a Lua tem uma névoa é sinal de chuva, “(...) como quando temos os olhos cheios de água quase a chorar, é porque vai chover” (Sra. E).

Convém igualmente relevar a ligação apresentada entre fases da Lua e a produtividade da Terra versus a abundância de peixe no mar. Neste sentido, dependendo se a Lua se encontra em quarto crescente ou quarto minguante, se está “virada” para a Terra ou para o mar revela-se respetivamente a fertilidade do solo e a abundância de peixe.

Verifica-se que a fase da Lua determina a prática de abate de árvores, independentemente de quando será manufaturada a madeira. Similarmente, somente uma fase lunar é a ideal para a apanha e produção de óleo de palma, “os bagos são mais carnudos” – a sua produção é maior.

Não foram mencionados casos de prescrições na coleta de plantas medicinais nem na confeção de mezinhas tradicionais. Contudo, existe um conhecimento generalizado das “folhas a aplicar” perante diferentes maleitas e conseqüentemente uma procura maior de certas folhas, raízes e cascas em determinadas épocas sazonais.

## **Diálogo**

Ao longo do período de ocorrência do projeto *ECLIPSE 2013*, verificaram-se quatro discursos diferentes: um antes da ocorrência do Eclipse e anterior às informações difundidas através da TV e da rádio; um segundo momento, após ter sido abordado e esclarecido o tema através de diversos meios de comunicação e de comunicações diretas

de uma pequena equipa constituída por elementos da comissão organizadora do *ECLIPSE 2013*, um terceiro momento após os eventos, em particular a observação do eclipse e um outro decorrente da participação de residentes da Sundry numa conferência incluída na programação do *ECLIPSE 2013*.

O primeiro discurso envolvia, essencialmente afirmações de descrença da parte dos residentes da Sundry quanto à ocorrência de um eclipse, conexões de calamidade ao fenómeno, expressões que demonstravam receios e anseios.

Num segundo momento, já com a difusão de informação através da televisão, do rádio e de comunicações em campo sobre os cuidados a ter durante a ocorrência do fenómeno apresentadas por uma equipa, o discurso “local” assume um carácter mais sério, as pessoas de um modo geral, associam as suas palavras e ideias anteriormente abordadas e identificam os elementos da equipa em campo como sendo os participantes.

No dia 3 de novembro, dia em que ocorreu o eclipse do Sol visível na ilha do Príncipe, foram preparados dois núcleos de observação no âmbito do *ECLIPSE 2013*. Um deles na cidade e um outro na roça Sundry. No último caso, os participantes do *ECLIPSE 2013* juntaram-se aos residentes da Sundry, tendo o fenómeno sido apreciado e acompanhado conjuntamente com a distribuição de óculos próprios para a observação segura do eclipse e a existência de telescópios disponíveis para os presentes. Observou-se, verificou-se, comprovou-se e conseqüentemente foi atribuído ao fenómeno uma outra carga de avaliação. Desfizeram-se as (des)crenças e receios referentes à ocorrência do fenómeno, esqueceram-se e chegou a negar-se algumas das primeiras afirmações proferidas.

Num quarto momento, durante o decorrer da programação do *ECLIPSE 2013*, quatro pessoas residentes na roça Sundry foram convidadas a participar numa conferência da responsabilidade da autora deste artigo cujo tema coincide com o título deste artigo “A Lua vem brigar com o Sol”. Apesar de nenhum interveniente ser mulher, as diversas ocupações estavam representadas assim como diferentes gerações. Foram quatro participantes, um ligado à pastorícia – cuidados e saberes sobre os animais; um ligado ao trabalho de campo e ligado à *cultura* em geral, um pescador e um rapaz ligado à pesca de mergulho e ao trabalho do campo. As idades compreendiam os 60, 70, 40 e os 20 anos respetivamente. A palavra esteve do lado dos “participantes locais” e centrou-se nas interdependências que se verificavam entre as suas ocupações, o meio envolvente e



as estratégias que estes desenvolvem e aplicam nas suas atividades. Com o desenrolar do encontro, o foco principal foi para uma *estrela* – o tema foi indiretamente apresentado pelo pescador presente. A questão deu início ao diálogo e incitou a curiosidade, *qual a estrela a que corresponde a Estrela da Hora*, também denominada localmente por *Estrela de Eva*. Uma das participantes internacionais, Dra. Rosa Doran projetou o *Stellarium* e conjuntamente com o pescador procurámos identificar a estrela e designar pela sua nomeação na Astronomia. Perante a impossibilidade de um astro se situar sempre no mesmo sítio independentemente da época do ano e, de surgir exatamente à mesma hora todos os dias – foi colocada a sugestão de se tratar não de uma, mas sim de três estrelas extremamente brilhantes que surgem aproximadamente no mesmo local ao longo do ano, podendo ser suscetível de criar a aparência de ser uma única estrela. Uma delas é a estrela *Sirius*, uma estrela com um brilho intenso que a destaca das outras estrelas quando observadas da Terra.

Para solucionar este enigma foi colocado um desafio pescador e a todos os presentes em geral, de fazer um visionamento metódico do céu e representá-lo num desenho no sentido de através dos esboços mensais se identificar as posições da referida estrela (s) para que esta (s) possa ser identificada e reconhecida pela sua denominação na Astronomia.

## **Conclusão**

Este artigo resulta de uma breve pesquisa e, apesar de não ser um trabalho exaustivo, pretende realçar a importância das relações entre saber empírico, experiências, práticas quotidianas do Homem e meio envolvente, a otimização de técnicas e de recursos ambientais. O caso abordado incidiu sobre uma pequena amostra de pessoas residentes na ilha do Príncipe, circunscrita à Sundy.

Saberes empíricos e práticas quotidianas, ainda que não sejam reconhecidos, são conhecimentos passíveis de serem estudados, relidos por um olhar dito científico e conseqüentemente considerados bases passíveis de serem casos de estudo. É desejável fazer um levantamento mais profundo destas práticas e narrativas para que seja possível estabelecer um diálogo efetivo entre “saberes iguais” e ainda hoje muitas vezes tidos erroneamente por contrários.

A ciência dita exata foi-se construindo com um lado pagão e hoje como outrora recorre a diversas áreas de saber<sup>19</sup> para se fazer representar e entender. A História de H maiúsculo, contrariamente ao pregoado, assim como a ciência ocidental em geral, construiu-se e constrói-se com base em superstições e crenças concebidas para explicar o inexplicável, o assustador, a única explicação passível para dar um sentido a fenómenos naturais, numa tentativa de controlá-los.

Este trabalho pretende dar início ao diálogo e partilha. Estabelecer uma plataforma que permita a continuação de estudos e que estabeleça um diálogo profícuo entre “cientistas”, “sábios locais” onde saberes, práticas e narrativas possam ser trocados e partilhados.

## Referências Bibliográficas

- Afonso, G. (2006a). Mitos e Estações no Céu Tupi- Guarani. *Scientific American Brasil, Edição Especial: Etnoastronomia*, 14, 46-55.
- Afonso, G. (2006b). Relações afro-Brasileiras. *Scientific American Brasil, Edição Especial: Etnoastronomia*, 14, 72-79.
- Crawford, P. & Simões, A. (2009). O eclipse de 29 de Maio de 1919. A.S. Eddington e os astrónomos do Observatório da Tapada. *Gazeta de Física*, 32 (2, 3), 22-28.
- Galison, P., Holton, G. & Schweber, S. (2008). *Einstein for the 21st Century: His Legacy in Science, Art, and Modern Culture*. Princeton: University Press.
- Jones, C. (1998). *Picturing science, producing art*. New York: Routledge.
- Mota, E., Crawford, P. & Simões, A. (2009). Einstein in Portugal: Eddington's expedition to Principe and the reactions of Portuguese astronomers (1917-1925). *British Journal of History of Science*, 42(2), 245-273.
- Weszkalnys, G. (2009). Príncipe Eclipsed. Commemorating the confirmation of Einstein's Theory of General Relativity. *Anthropology today*, 25 (5), 8-12.

---

<sup>19</sup> Atualmente prolifera a produção de estudos de História das Ciências que incide nas relações, na impossibilidade de delimitar áreas como Arte e Ciência. A inter-relação entre as mais diversas áreas de saber é reconhecida assim como as suas interdependências manifestas desde sempre ainda que negadas. A título de exemplo ver: Jones, C. (1998). *Picturing science, producing art*. New York: Routledge.; Galison, P., & Holton G., & Schweber, S. (2008). *Einstein for the 21st Century: His Legacy in Science, Art, and Modern Culture*, Princeton University Press., estes são alguns estudos entre muitos outros existentes e outros em curso.

*Alves*

## **Agradecimentos**

O mais sincero agradecimento à Comunidade da Sundry e aos participantes do *ECLIPSE 2013: História e Ciência no Príncipe*. Um muito obrigado ao Ivo, à Joaquina, ao Joãozinho, ao Sr. Jorge, ao Machuca, à Maria e ao Neca pela partilha dos seus saberes e participação neste projeto.

# EDDINGTON: DE CAMBRIDGE À ILHA DO PRÍNCIPE PARA TESTAR A TEORIA DE EINSTEIN

Paulo Crawford

Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa

[paulo.crawford@gmail.com](mailto:paulo.crawford@gmail.com)

Resumo: Nesta palestra recordaremos o contexto em que decorreu a expedição de Arthur S. Eddington à ilha do Príncipe para verificar a Relatividade Geral (RG), de Einstein, que substituiu a teoria da Gravitação de Newton. Complementaremos com a exposição ao Sobral, no Brasil, e mostraremos como os investigadores envolvidos nestas observações e na análise dos resultados tinham boas razões para concluírem a favor da teoria de Einstein. Na sequência desta exposição, tentaremos ainda responder a algumas questões simples tais como: Qual o impacto da expedição de 1919 em Portugal? Porque é que os astrónomos portugueses não acompanharam Eddington? Teria a Relatividade Geral desempenhado algum papel em investigações posteriores dos astrónomos portugueses?

Palavras-chave: Testes da Relatividade Geral, Eclipse total do Sol, Receção da teoria da Relatividade

Abstract: In this talk I will recall the context of the Arthur S. Eddington 1919 eclipse expedition to the island of Príncipe to verify Einstein's General Relativity, the theory that replaced Newton's Gravitation. We also discuss the expedition to Sobral, Brazil, and we likewise show in this talk why the astronomers involved in these two expeditions had good reasons to favor Einstein's theory, based on the thorough analysis of the observations. In this talk we will try to answer some more relevant questions such as: What was the impact in Portugal of the 1919 expedition that took place then in Portuguese soil? Why did not any Portuguese astronomers accompany Eddington? Did General Relativity play a role in their subsequent work?

Keywords: Tests of General Relativity, Total Eclipses of the Sun, Reception of Relativity theory

## Introdução

Uma das experiências mais relevantes do século XX, que permitiu comprovar a teoria da Relatividade Geral de Einstein, fez noventa e quatro anos em 2013, ano em que foi possível observar, em São Tomé e na ilha do Príncipe, um eclipse do Sol a 3 de novembro. Este foi um eclipse híbrido, designação que se utiliza quando a curvatura da Terra faz com que o eclipse seja observado como anular em alguns locais e total noutros. Porém, para quem teve a oportunidade de o observar a partir da roça Sundry, na ilha do Príncipe ou em qualquer outro local da ilha de São Tomé, tratou-se de um eclipse parcial. Este eclipse atingiu o seu máximo pelas 13h:45m com uma obscuridade de 0.94 (a fracção do Sol obscurecido). Entre o início do eclipse e o seu máximo houve uma redução de 10 graus na temperatura do ar, segundo a medição feita na roça Sundry.

Assim, quer em S. Tomé, quer na ilha do Príncipe, o eclipse não foi total, contrariamente ao que aconteceu em 29 de maio de 1919, quando a equipa liderada pelo astrofísico inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944), um dos mais brilhantes da sua geração, comprovou a previsão feita pela teoria da gravitação de Albert Einstein (1879-1955) de que os raios luminosos emitidos pelas estrelas sofrem uma deflexão, ao passarem junto ao bordo do Sol, que altera a posição aparente dessas estrelas relativamente ao Sol. Nessa longínqua data, quando São Tomé e Príncipe ainda estava sob administração portuguesa, não era nada fácil a uma equipa de astrónomos deslocar-se à ilha do Príncipe para observar um eclipse e determinar esse desvio, ainda mais sabendo-se que o planeamento das expedições foi delineado numa época em que a I Guerra Mundial não tinha terminado.

A concretização dessa experiência ficou a dever-se à persistência do astrónomo real britânico, Sir Frank Watson Dyson (1868-1939), que contou com a visão e o rigor experimental do famoso astrónomo A. Eddington para organizar duas expedições a dois locais remotos dos trópicos, para observar o eclipse total do Sol de 29 de maio de 1919. Uma delas, liderada por Eddington, dirigiu-se precisamente à ilha do Príncipe, um dos territórios por onde passava a totalidade. A outra expedição, chefiada por Andrew Crommelin, dirigiu-se ao Sobral, no nordeste do Brasil. As expedições tinham por objectivo verificar precisamente o encurvamento dos raios luminosos no campo gravítico do Sol. Na altura, a preocupação dos astrónomos ingleses era decidir entre a teoria da gravitação de Isaac Newton e a nova teoria da gravidade de Albert Einstein, a

Teoria da Relatividade Geral (TRG). Qualquer dessas teorias previa que a luz proveniente de uma estrela, ao rasar o bordo do Sol, sofreria um ligeiro encurvamento, sendo a previsão do desvio na teoria de Einstein o dobro da previsão feita com base na teoria de Newton. Nos bastidores da preparação destas expedições, alguns dos cientistas ingleses alimentavam a esperança de poder provar a superioridade da ciência inglesa sobre a ciência do inimigo alemão, apesar das manifestações de pacifismo e de afirmação pública contra a guerra de Albert Einstein.

### **Um astrónomo inglês no equador africano**

A Primeira Guerra Mundial (1914-18) dificultou muito a troca de informações entre cientistas. Porém, pouco depois de Einstein ter publicado o artigo sobre a TRG (1915, 1916), o astrónomo holandês Willem de Sitter (1872-1934) obteve uma cópia e enviou-a a Eddington, que era alguém capaz de entender as cogitações e os cálculos aí apresentados pelo físico alemão. Como astrónomo e também teórico de raro talento, Eddington rapidamente reconheceu a elegância, os fundamentos lógicos e o potencial da nova teoria e, contrariando a posição de alguns dos seus pares, apostou nas ideias de Einstein e, mais tarde, foi mesmo um dos maiores divulgadores das teorias de Einstein, não só na Grã-Bretanha, como nos Estados Unidos da América. O primeiro artigo de Eddington dedicado à teoria da relatividade geral é publicado em 28 de dezembro de 1916, na revista científica inglesa *Nature* com o título: “Gravitation and the Principle of Relativity”, que se presume estar baseado na palestra realizada num Encontro da Associação Britânica para o Avanço da Ciência (em inglês, *British Association for the Advancement of Science*, BAAS) que se realizou entre 5 e 8 de dezembro de 1916, muito antes das suas observações no Príncipe. Mas o seu primeiro tratado [1] sobre a relatividade geral é publicado em 1918 com o título *Report on the Relativity Theory of Gravitation*, e seria novamente publicado em Londres em 1920 (segunda edição), já no respaldo da excitação provocada pelas observações do eclipse de 29 de maio de 1919.

Se Eddington conhecia a previsão einsteiniana do encurvamento dos raios luminosos, possivelmente ainda antes do contacto com de Sitter, eram muito poucos os astrónomos que com ele partilhavam esse conhecimento. O pequeno grupo incluía o alemão Erwin Finlay-Freundlich (1885-1964), o americano Charles Dillon Perrine (1867-1951), o holandês de Sitter, os ingleses pai e filho Lindemann e o astrónomo real britânico Frank Dyson. Alguns estavam a par desta novidade já desde 1911, outros tinham participado

em expedições para observação de eclipses solares com esse objectivo, como Perrine, outros ainda tinham explorado alternativas comprovativas que não dependessem da ocorrência de eclipses solares e que incluíam a discussão do teste do encurvamento da luz rasante à superfície de Júpiter, o planeta mais pesado do sistema solar, como aconteceu com Freundlich, ou tinham procurado desenvolver técnicas fotográficas que permitissem fotografar estrelas com magnitudes entre 3 e 2 durante o dia, como foi o caso dos Lindermann. Ora, Eddington desloca-se ao Brasil em 1912 para participar pela primeira vez numa expedição a um eclipse solar. E deu-se a circunstância que Perrine também aí se deslocou, incluindo no seu programa de observações testar a previsão feita por Einstein em 1911, da deflexão da luz na posição aparente de uma estrela no campo gravítico do Sol, muito antes de ter completado a sua teoria da relatividade geral. Embora as observações desse eclipse tenham sido um fracasso total, para todos os grupos e independentemente dos objectivos em causa, e apesar de Eddington e Perrine terem feito observações em diferentes locais do Brasil, é bastante provável que Eddington tenha tomado conhecimento do trabalho de Einstein de 1911, pela primeira vez, a partir de Perrine (Cf. John Stachel in [2]). Depois de voltar a Cambridge em 1913, já como Professor de Astronomia e Filosofia Experimental, escreve um artigo intitulado “Some Problems of Astronomy. XIX. Gravitation,” publicado em fevereiro de 1915, onde refere o artigo de Einstein de 1911.

Quanto aos restantes astrónomos e equipas que organizavam expedições no início do século XX para observação desses acontecimentos raros, faziam-no por razões mais tradicionais, ora no contexto da astronomia de posição com o intuito de determinar rigorosamente o instante do segundo e terceiro contactos, que marcam a duração da totalidade, ora no contexto da emergente física solar para desvendar as características químicas e físicas da superfície solar. Assim, muito poucos astrónomos estavam dispostos a arriscar, em tempo de guerra, uma aventura ao equador, a um local particularmente inóspito e isolado, onde ainda se respiravam ares de escravatura, para verificar uma consequência astronómica de uma teoria física igualmente singular.

Em março de 1917, Dyson chamara a atenção para o eclipse total previsto para maio de 1919, assinalando tratar-se de uma excelente oportunidade para testar a TRG, pois o Sol teria como fundo a constelação das Híadas, muito rica em estrelas brilhantes.

Nos preparativos para a expedição ao Príncipe, a Royal Society of London estabeleceu contactos prévios com a Sociedade de Geografia de Lisboa (SGL) e com o Observatório

Astronómico de Lisboa (OAL). A participação do OAL passou muito especificamente pelo controlo de alguns aspetos de ordem logística, como atesta a correspondência trocada entre Eddington e os então diretor e subdiretor do observatório, Vice-Almirante Campos Rodrigues e coronel Frederico Oom, respetivamente. No contacto estabelecido, Eddington e a sua equipa tentaram garantir o apoio das autoridades da ilha, auxílio na marcação das viagens de vapor, uma possível presença de intérpretes, bem como informações sobre recursos materiais e humanos de que poderiam dispor na sua estada na ilha.

A 8 de março de 1919, cerca de quatro meses após ter sido assinado o armistício, as duas expedições, chefiadas por Eddington e Crommelin, largaram do porto de Liverpool a bordo do *H.S.M. Anselm* e dirigiram-se para a ilha da Madeira. Aí separaram-se. A equipa que se dirigia ao nordeste brasileiro, continuou a bordo do *Anselm*, chegando ao Pará a 23 de março. A equipa de Eddington permaneceu no Funchal várias semanas a aguardar transporte. A 3 de abril embarcaram finalmente no cargueiro *Portugal*, da Companhia Nacional de Navegação, em direção ao Príncipe, situado um grau acima do equador. A 23 de abril, entram no pequeno porto de S. António.

O clima é muito húmido mas não é insalubre. A vegetação é muito luxuriante e o cenário extremamente belo. Chegámos à ilha perto do fim da época das chuvas, mas a gravana – um vento seco – irrompeu por volta de 10 de maio, e nos dias seguintes, já não mais choveu exceto na manhã do dia do eclipse. Na verdade, nessa manhã houve uma verdadeira tempestade que durou cerca de hora e meia antes do eclipse, um acontecimento notável naquela época do ano. O Sol apareceu então por breves minutos, mas as nuvens logo se adensaram. (*Sir Arthur S. Eddington, descrição da ilha do Príncipe*)

O sucesso da expedição foi, do ponto de vista de Einstein, total. Os valores observados no Príncipe foram  $1.6 \pm 0.3$ , e no Sobral  $1.98 \pm 0.12$ , intervalos compatíveis com o valor previsto (1.75). Para Eddington, o momento em que mediu a imagem de uma estrela e verificou que a gravidade do Sol tinha encurvado o espaço através do qual a luz tinha viajado, foi o momento mais marcante da sua vida. Seis semanas após o seu regresso a Inglaterra, haveria de recordar os momentos de duração do eclipse, de enorme beleza, esperança e muita azáfama, em termos poéticos (mais tarde rememorados em livro [3]):

As nossas caixas-negras tomam toda a nossa atenção. Há um espetáculo maravilhoso por cima de nós e, como as fotos revelaram posteriormente, uma bela chama proeminente ergue-se umas cem mil milhas acima da



superfície do Sol. Mas nem temos tempo para lançar um olhar atento para essa proeminência. Estamos apenas conscientes de uma paisagem à média-luz e do silêncio da natureza, quebrado pelos gritos dos observadores, e a batida do metrônomo marcando os 302 segundos da totalidade. (*Sir Arthur S. Eddington.*)



Figura 1 - Foto de proeminências solares durante o eclipse de 1919, obtida no Príncipe, enviada por Eddington ao director do OAL, Vice-Almirante Campos Rodrigues.

### **O Encontro conjunto das duas Sociedades e os preconceitos desfeitos**

Quando, em 6 de novembro de 1919, foi anunciado por Dyson [4] na célebre reunião conjunta da Royal Society of London e da Royal Astronomical Society que as medidas efetuadas pelos astrónomos britânicos confirmavam as previsões da TRG, físicos e astrónomos não puderam deixar de partilhar o vaticínio do patriarca J.J. Thomson, que presidiu à sessão [5]:

Este é o resultado mais importante relacionado com a teoria da gravitação desde os tempos de Newton, e é adequado que seja anunciado numa reunião da Sociedade que tão identificada está com ele. Se a confirmação dos raciocínios de Einstein se mantiver – e acabam de sobreviver a dois testes muito severos ligados ao periélio de Mercúrio e ao presente eclipse – então esta teoria é um dos maiores monumentos do pensamento humano. (p. 394)

Na linha da afirmação de J.J. Thomson, devemos recordar que alguns historiadores das ciências e alguns cientistas, ao discutirem o resultado das três previsões da TRG – o encurvamento dos raios luminosos, o avanço do periélio de Mercúrio e o desvio

gravitacional para o vermelho – consideraram que a explicação do avanço do periélio de Mercúrio desempenhou um papel ainda mais importante na aceitação da nova teoria do que as outras confirmações. Muito mais importante, mas talvez menos espetacular. Porque apesar de não estar associada a uma previsão de um facto novo, consubstanciava uma explicação de um facto bem conhecido desde há muito e, por isso mesmo, permitia explicar algo que persistentemente tinha desafiado décadas de tentativas explicativas (Cf. Brush [6]).

No dia seguinte, no cabeçalho do jornal londrino *The Times* lia-se: “Revolução na Ciência/ Nova Teoria do Universo/ Ideias Newtonianas Abandonadas.” Esta foi uma verdadeira pedrada no charco, num mundo cansado e desiludido com a guerra, a primeira Guerra Mundial tinha terminado há pouco tempo. Não admira pois que a teoria de Einstein, com as suas ideias extravagantes sobre a curvatura do espaço(-tempo), tenha captado a imaginação da opinião pública, embora muito poucas pessoas a compreendessem. Apareceram então inúmeros artigos de divulgação em jornais e em revistas filosóficas que entusiasmaram o público culto e tornaram a relatividade um tema de conversação obrigatório. O próprio Einstein escreveu um longo artigo no *The Times* em finais de 1919, procurando explicá-la aos leigos. Na capa da revista noticiosa *Berliner Illustrierte Zeitung*, de 14 de dezembro de 1919, a sua fotografia é publicada com a legenda: “Uma nova grande figura da história mundial.” Einstein torna-se então um pensador célebre em todo o mundo e a sua opinião é solicitada para os mais diversos assuntos. Os Estados Unidos recebem-no com pompa e circunstância, em 1921, e o seu nome passa a ser pronunciado com reverência, acabando por se tornar sinónimo de génio. Nem todos, porém, aplaudiram o triunfo de Einstein. Alguns membros da comunidade científica e outras pessoas impelidas por razões políticas movem-lhe uma guerra sem quartel, considerando a sua teoria totalmente incompreensível e inútil.

Especialmente a partir dos anos 70 do século XX, foi difundida a ideia segundo a qual as observações de 1919 não constituíram uma experiência decisiva. Entre os físicos, chamava-se a atenção para a falta de rigor das observações. Por exemplo, só duas das 16 chapas utilizadas na ilha do Príncipe registavam 5 estrelas cada, o número mínimo para viabilizar um tratamento estatístico. E, mais grave ainda, num artigo de dois filósofos da ciência, John Earman e Clark Glymour [7], publicado em 1980, Eddington e seus colaboradores, no que respeita às observações do Sobral, eram acusados de eliminarem dados que favoreciam a previsão da teoria de Newton, insinuando-se que os dados de

*Crawford*

observação teriam sido interpretados abusivamente de modo a rejeitar a teoria newtoniana. Esta crítica apoiava-se numa conceção subliminar de um Eddington antecipadamente favorável à teoria de Einstein por motivações não exclusivamente científicas. Talvez movido pela ânsia de contribuir para a reconciliação internacional durante (e logo após) a I Guerra Mundial, o astrónomo inglês teria sido levado a proclamar a vitória da teoria de um cientista alemão, que brevemente se viria a tornar um dos mais célebres cientistas de sempre. Com efeito, para além de ser um dos poucos astrónomos a par das consequências astronómicas da teoria da relatividade geral, como já vimos acima, Eddington era um pacifista e objetor de consciência por motivos religiosos. Era membro dos quakers. Em vias de ser chamado a alistar-se e ser preso na sequência da sua esperada recusa, Dyson negociou a sua chefia da expedição como alternativa ao serviço militar. E Eddington encarou-a no espírito das missões que os quakers organizavam por toda a Europa, ajudando as populações em sofrimento na sequência da guerra, independentemente da sua nacionalidade [8].

Sabemos hoje que as decisões mais importantes na análise dos dados foram tomadas por Dyson, que era de certa maneira cético em relação à teoria da relatividade e não podia ser considerado um ardente pacifista como Eddington. Efetivamente a letra manuscrita de Dyson aparece nas notas da redução de dados do Sobral, em várias passagens importantes, enquanto que, a letra de Eddington não aparece em nenhum lado. E uma reanálise das chapas do Sobral levada a cabo pelo Observatório de Greenwich em 1979, usando uma máquina moderna para medir as posições das estrelas nas chapas e recorrendo depois a um *software* de redução de dados astrométricos, especialmente escrito com este objetivo, veio apoiar os resultados apresentados por Dyson e mostrar que a eliminação das chapas pela equipa de Dyson e Eddington não afetou as conclusões da observação do eclipse solar de 1919 (Cf. [9] e [10]).

### **Os astrónomos portugueses e a recepção da teoria da relatividade**

Numa sessão do 20º congresso anual da Associação Sul-Africana para o Progresso das Ciências, em julho de 1922, o Presidente da Secção A (Astronomia, Meteorologia e Matemática), o astrónomo Manuel Peres Júnior (1888-1968), na época diretor do Observatório Campos Rodrigues em Moçambique e mais tarde diretor do OAL, ao dissertar sobre o que a ciência deve à astronomia, declarava:

[...] Como sabem, a principal confirmação dos pontos de vista de Einstein depende de observações astronómicas. [...] Portanto, no caminho do seu desenvolvimento, a física chega a uma bifurcação; espera que a astronomia possa dizer qual dos dois caminhos deve seguir.

De realçar-se que estas declarações foram feitas pouco antes do eclipse total do Sol de 1922, que levou várias equipas de astrónomos à Austrália, na esperança de confirmarem os resultados obtidos por Eddington em 1919, o que se veio a confirmar.

Manuel Peres tentou acompanhar a expedição inglesa de 1919 ao Príncipe, mas sem êxito, como decorre de alguns manuscritos no arquivo do OAL (Cf. [10] e [11]). Não conseguiu ultrapassar uma série de questões burocráticas, em grande parte relacionadas com dificuldades inerentes ao estado de guerra (I Grande Guerra) durante uma grande parte do período que antecedeu a expedição ao Príncipe, mas também devidas à instabilidade do regime político em Portugal nessa época (tentativas de derrube da república e de reinstalação da monarquia). O mesmo não sucedeu com a expedição ao Sobral, no Brasil, na qual um grupo de astrónomos brasileiros, chefiados por H. Morize (1860-1930), do Observatório do Rio de Janeiro, acompanhou os ingleses e realizou observações de física solar. Tinham, pois, objetivos distintos dos da equipa britânica, com a qual pouco contactaram por obstáculos linguísticos, segundo consta. O contraste entre as reações dos astrónomos brasileiros e portugueses não pode, por isso, ser justificado pelas razões habitualmente referidas na literatura que vê a ausência de portugueses no Príncipe como um sinal do seu desinteresse por estas questões.

Goradas que foram as suas expectativas relativamente à participação na expedição, Manuel Peres veio a tornar-se um adepto das ideias relativistas. Entre 1922 e 1923, escreveu um opúsculo no qual discute a relatividade restrita, segundo se depreende de manuscritos encontrados no Arquivo do OAL, que apesar da insistência de Oom, nunca será publicado. Opondo o tempo metafísico newtoniano ao tempo físico einsteiniano, o seu texto introdutório reflete 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. Assim, foi a prática de astronomia posicional associada ao Serviço da Hora que norteou o interesse de Peres pela TRR.

Até aos finais dos anos 20 do século XX, dois outros astrónomos, tal como Peres associados ao OAL, participaram na apropriação da teoria da relatividade em Portugal.

*Crawford*

Foram eles A. Ramos da Costa (1875-1939) e M. S. Melo e Simas (1870-1934). Ramos da Costa publicou, em 1921 e 1923, dois pequenos livros sobre a teoria da relatividade. Neles, contrasta a física newtoniana e a einsteiniana, discute os fundamentos da relatividade restrita e geral e defende a adoção da física einsteiniana com base em critérios de conveniência. Mais uma vez, o seu interesse por estas questões decorreu da sua associação ao Serviço da Hora, estando a seu cargo a transmissão horária no porto de Lisboa. E não será coincidência que no mesmo ano em que publicou o seu primeiro livro sobre relatividade tenha publicado também o *Tratado Prático de Cronometria*, em que dedicava um capítulo inteiro à medida do tempo. Nestes livros definia o tempo operacionalmente: “Na superfície terrestre o tempo é transmitido por telegrafia sem fios de tal forma que o tempo corresponde à passagem de um sinal hertziano pelas estações cujos relógios se pretendem sincronizar.” O seu afã em prol da teoria da relatividade traduziu-se ainda por um artigo apresentado em 1924 num congresso internacional de matemática em Toronto, no qual fazia uma apologia da reorientação do ensino da matemática norteado pela nova teoria.

Finalmente, é chegado o momento de destacar o papel de um astrónomo do OAL, Manuel Soares de Melo e Simas, como alguém que integrou na sua prática científica a teoria da relatividade. Na altura da expedição, Melo e Simas encontrava-se em França a participar na Grande Guerra. Esteve associado ao Observatório Astronómico da Tapada desde 1911, tornando-se seu subdiretor em 1931. Paralelamente, foi deputado em 1906 e, já durante a República, militou no Partido Unionista. Em 1923, foi ministro da Instrução do Governo de Ginestal Machado, que duraria apenas um mês (entre 15 de novembro e 18 de dezembro). Não admira que tenha comungado dos ideais da Primeira República, com a sua ênfase no positivismo e cientismo, tendo sido um convicto divulgador da ciência. Pouco antes da expedição para reconfirmação do encurvamento, durante o eclipse solar de setembro de 1922 observável na Austrália, publicou um artigo sobre relatividade nos apêndices do Almanaque do OAL, em julho de 1922, do qual destacamos afirmações que vão no sentido das de Peres:

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. Estas 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. Pelo que sabemos é o único astrónomo português a tentar acomodar os novos conhecimentos na sua prática científica. Assim, numa comunicação de 1924 à Academia das Ciências de Lisboa, descreve como, a propósito de um pedido feito pela *Astronomische Nachrichten*, fez no OAL a observação da ocultação de uma estrela pelo planeta Júpiter, no dia 7 de maio de 1923. E explica que:

O processo consistiu em determinar a posição relativa dos dois astros alguns minutos antes e depois da ocultação, para que, partindo da posição de um deles, se pudesse calcular a do outro para certo e determinado momento, obtendo-se assim não só uma série de verificações, difíceis de alcançar por outra forma, mas ainda meios para deduzir os efeitos de qualquer influência na própria ocultação, quer provenientes da irradiação luminosa, quer da atmosfera do planeta, quer ainda de não se ter entrado no cálculo com a teoria da relatividade.

Mas é levado a concluir que embora os resultados revelassem “uma certa tendência no sentido apontado pela teoria da relatividade,” os outros efeitos presentes produziam desvios no mesmo sentido, funcionando como obstáculos à verificação da teoria.

Em resumo, no que respeita à apropriação da relatividade em Portugal, a expedição ao Príncipe incentivou o interesse dos astrónomos portugueses que, como aconteceu em tantos outros países, acabaram por reagir simultaneamente à TRR e TRG. As suas reações decorreram da sua prática científica, sendo a ligação à determinação da hora legal o que levou alguns deles a discutirem aspetos da TRR. Por outro, tendo vivido o ambiente político da Primeira República, responderam-lhe de forma criativa através de variadas atividades de divulgação científica, desde a realização de palestras à publicação de livros.

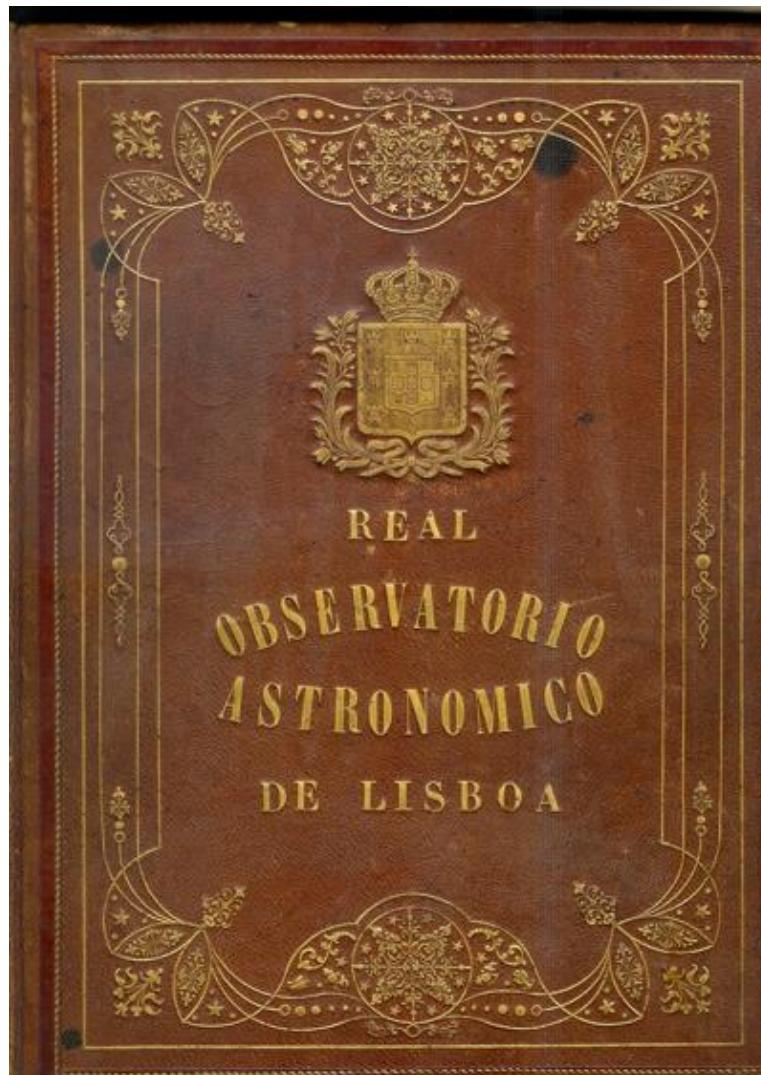


Figura 2 - Livro de visitas do OAL

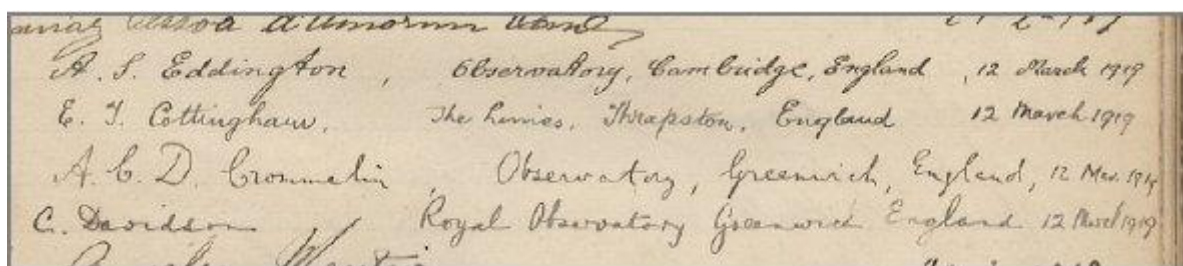


Figura 3 - Assinaturas dos astrónomos ingleses no livro de visitas do OAL.

## Referências bibliográficas

- [1] Eddington, A. S. (1920). *Report on the Relativity Theory of Gravitation*. Londres: Fleetway Press.
- [2] Stachel, J. (1986). Eddington and Einstein in E. Ullmann-Margalit (Ed.), *The Prism of Science, The Israel Colloquium: Studies in History, Philosophy and Sociology of Science 2* (pp. 225-250). Dordrecht: D. Reidel.
- [3] Eddington, A. S. (1959). *Space, Time and Gravitation: An Outline of the General Relativity Theory*, p. 115. New York: Harper & Row (reprinted (1920)).
- [4] Dyson, F. W., Eddington, A., Davidson, C. (1920). A determination of the deflection of light by the sun's gravitational field, from observations made at the total solar eclipse of May 29, 1919. *Philosophical Transactions Royal Society of London A* 220, 291-333.
- [5] Thomson, J. J. (1919). Joint eclipse meeting of the Royal Society and the Royal Astronomical Society. *Observatory*, 42, 389-398.
- [6] S.G. Brush, S. G. (1989, 1999). Prediction and theory evaluation: the case of light bending. *Science* 246, 1124-1129; Why was relativity accepted?, *Physics in Perspective*, 1, 184-214. Só muito mais tarde, em 1960, a verificação do deslocamento para o vermelho num campo gravítico seria corroborada, por Robert V. Pound e Glenn A. Rebka, usando a torre de 22,6 metros de altura do Laboratório de Física de Jefferson, na Universidade de Harvard.
- [7] Earman, J. & Glymour, C. (1980). Relativity and eclipses: the British expeditions of 1919 and their predecessors. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 11, 49-85.
- [8] Stanley, M. (2003, 2007). An Expedition to heal the wounds of war. The 1919 eclipse and Eddington as Quaker adventurer, *ISIS*, 93, 57-89; *Practical Mystic: Religion, science and A.S. Eddington*. Chicago: Chicago University Press.
- [9] Kennefick, D. (2009). Testing relativity from the 1919 eclipse – a question of bias. *Physics Today*, 62(3), 37-42.
- [10] Crawford, P. & Simões, A. (2009). O eclipse de 29 de maio de 1919. A.S. Eddington e os astrónomos do Observatório da Tapada. *Gazeta de Física* 32 (2, 3), 22-28.
- [11] Mota, E., Crawford, P. & Simões, A. (2009). Einstein in Portugal: Eddington's expedition to Principe and the reactions of Portuguese astronomers (1917-1925). *British Journal of History of Science*, 42(2), 245-273.



## **DO PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE À RELATIVIDADE GERAL**

Paulo Crawford

Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa

[paulo.crawford@gmail.com](mailto:paulo.crawford@gmail.com)

Resumo: Tendo mostrado que o Princípio da Relatividade devia aplicar-se a todos os fenómenos físicos, em 1905, Albert Einstein começa a pensar em 1907 como deveria estender esse princípio aos observadores acelerados de modo a poder tornar a teoria da Gravidade compatível com a Relatividade Restrita. Vão seguir-se 8 anos de intensa labuta até à criação da Relatividade Geral, a teoria da Gravitação de Einstein, que haveria de substituir a teoria de Newton. Uma vez obtida a nova teoria e comprovada pelas observações astronómicas, qual a importância que ela desempenhou no contexto da ciência do seu tempo? Será a Relatividade Geral uma teoria relevante no século XXI?

Palavras-chave: Génese da Relatividade Geral, Gravitação

Abstract: After having shown that the principle of relativity should be applied to every physical phenomenon in 1905, Albert Einstein starts a new struggle in 1907, grappling with the puzzle of accommodating gravitation into his 1905 special theory of relativity. This fight will be carried out through 8 long years until the creation of General Relativity, Einstein's theory of gravitation, which would replace Newton's theory. Once obtained the new theory and then proved through the astronomical observations, still remains to be asked which was its importance in the framework of Science of those days. Will General Relativity theory be still relevant in the XXI century?

Key-words: Genesis of General Relativity, Gravitation

## **Introdução**

Albert Einstein (1879-1955), o mais famoso cientista de todos os tempos, esteve na origem imediata da criação, em 1905, das duas grandes teorias que revolucionaram no século XX a nossa descrição do mundo físico. A primeira destronou os nossos conceitos de espaço e tempo (absolutos), combinando-os naquilo que hoje designamos por espaço-tempo, o qual através da sua curvatura veio mais tarde (1915) a incorporar as propriedades omnipresentes e misteriosas do campo gravítico. A segunda alterou completamente a maneira como compreendemos a natureza da matéria e da radiação, fornecendo-nos uma representação da realidade onde as partículas se comportam como ondas e as ondas como partículas, onde as nossas descrições físicas habituais ficam sujeitas a incertezas essenciais, e onde objetos individuais podem manifestar-se em vários lugares ao mesmo tempo. A primeira destas revoluções é hoje designada Teoria da Relatividade e, a segunda, Mecânica Quântica. Aqui vamo-nos preocupar em entender o que deu origem à primeira destas teorias e quais as suas consequências para nosso entendimento do mundo físico.

A marca que o distingue Einstein de outros físicos notáveis está na sua exigência de que as leis físicas devem explicar tudo na natureza de uma forma lógica, coerente e consistente. Isso levou-o a analisar criteriosamente todas as contradições ou insuficiências na estrutura lógica das teorias físicas conhecidas na altura. Quando detetava uma imperfeição lógica, Einstein recusava soluções de compromisso que pudessem explicar as observações ou experiências feitas, e iniciava uma busca de novos princípios que servissem de fundamento a novas teorias que, por sua vez, se revelassem capazes de substituir com vantagem as anteriores. Dito de outro modo, o objetivo principal de Einstein na ciência era pois descobrir aquilo que ele chamava “teorias de princípio”. Ou seja, teorias que permitissem postular regras gerais a que todos os fenómenos físicos deviam satisfazer. Sendo estas teorias verdadeiras, têm então uma aplicação universal.

## **A Relatividade do Movimento**

No seu estudo da física conhecida então, Einstein identificou duas teorias de princípio: as leis do movimento estabelecidas por Galileu e Newton, e as leis da termodinâmica. O princípio básico da primeira é a relatividade do movimento uniforme, ou seja, a ideia de que a velocidade de um corpo em movimento uniforme é impossível de detetar a partir

de experiências feitas no seu referencial próprio (onde o corpo está em repouso). Chamamos a estes sistemas de referência: “referenciais inerciais” (isto é, sistemas de referência com velocidades constantes). Por outras palavras, na Mecânica não existem velocidades absolutas; por princípio, a velocidade é um conceito relativo. Sempre que falamos da velocidade de um objeto devemos mencionar qual é o referencial, ou corpo de referência, em relação ao qual é medida a velocidade. Por exemplo, se um corpo está em repouso na Lua, ele terá uma velocidade em relação à Terra, que é igual à velocidade da Lua em relação à Terra. E terá uma velocidade diferente em relação a qualquer outro planeta do sistema solar. Por outro lado, daqui decorre que não é possível afirmar que um corpo está em repouso sem mencionar o referencial em relação ao qual a sua velocidade é nula, uma vez que o repouso absoluto não existe. No exemplo dado atrás o corpo está em repouso no referencial Lua. Para poder definir um repouso absoluto seria necessário admitir a existência de um espaço absoluto, ao qual poderíamos associar um referencial privilegiado. Vejamos porque razão as noções de espaço e tempo absolutos são introduzidos na física de Isaac Newton (1642-1727). O facto de um objeto poder estar em repouso em relação a um referencial e em movimento em relação a outro, foi considerado por Newton como algo que tornava difícil explicar as causas do movimento. Por exemplo, como poderia Newton invocar a força de atração entre a Terra e o Sol, como sendo a causa do movimento da Terra em torno do Sol, se pudermos admitir um outro ponto de vista, igualmente legítimo, de acordo com o qual a Terra não se move e é o Sol que se move em torno da Terra. Em resumo, se o movimento é relativo qualquer observador pode considerar que todos os movimentos se devem definir em relação a ele. Assim, com o intuito de explicar as causas do movimento, Newton assumiu que deveria atribuir um significado absoluto à posição de um corpo, admitindo desta feita que os corpos se movem ou não em sentido absoluto, em relação a um referencial privilegiado. Este foi o raciocínio que permitiu a Newton assumir que era a Terra que se movia absolutamente e não o Sol. Porém, para Einstein esse espaço absoluto não existe, pois ninguém alguma vez viu ou detetou um espaço absoluto ou um referencial privilegiado. As posições são sempre relativas, e Newton sabia disso; porém, para ele o espaço absoluto tinha um significado teológico e por isso insistia nessa conceção de um espaço absoluto.

Ora bem, quando afirmamos que um objeto se move, queremos com isso dizer que a sua posição muda no tempo. Logo, para tornar esta ideia precisa é necessário saber o que

entendemos por tempo. As pessoas percebem o tempo sempre que há uma mudança. O instante em que um acontecimento tem lugar é medido em relação a outro acontecimento, como seja a leitura do mostrador de um relógio. Em suma, o movimento pode ser definido como a mudança de posição, tendo por base um objeto de referência, durante um certo intervalo de tempo medido no mostrador de um relógio. Vejamos agora, com a ajuda de Einstein, que tal como as posições dos objetos são relativas, também as leituras dos relógios dependem do estado do movimento dos respetivos relógios. Para ver como Einstein chegou a esta conclusão temos que voltar às chamadas “teorias de princípio”; ou seja, às teorias que permitem postular regras gerais a que todos os fenómenos físicos devem satisfazer. Assim, o princípio que Einstein estendeu a toda a física é o seguinte: “as leis da física são as mesmas para todos os observadores não acelerados”. Ou seja, com este postulado Einstein estende o “princípio da relatividade” do movimento uniforme a toda a física e não simplesmente à Mecânica de Galileu e Newton. Mas há um outro postulado introduzido por Einstein, sem o qual não seria possível aplicar o princípio da relatividade a toda a física, nomeadamente às equações de Maxwell, as leis que governam o Campo Eletromagnético. Estou a referir-me ao “princípio da invariância da velocidade da luz no vácuo”,  $c$ , em qualquer sistema de referência inercial. Ou seja, a velocidade da luz no vácuo,  $c$ , é a mesma para todos os observadores qualquer que seja a velocidade com que se deslocam. Em síntese, a descoberta da Teoria da Relatividade Restrita (TRR) em 1905 chegou após uma meditação de 10 anos e vem reconciliar a relatividade do movimento uniforme, já reconhecida na mecânica de Galileu e Newton, com a teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell (1831-1879). E por esta razão é muitas vezes entendida como a cúpula do eletromagnetismo.

Logo no início do seu artigo sobre a Eletrodinâmica dos corpos em movimento [1], que daria origem à TRR, Einstein afirma: “É bem conhecido que a eletrodinâmica de Maxwell – tal como é atualmente entendida – quando aplicada a corpos em movimento, conduz a assimetrias que não parecem inerentes ao fenómeno”. Efetivamente, quando aproximamos um íman de um circuito em repouso, sem fonte de alimentação, surge uma corrente (induzida) durante o tempo em que ocorre a aproximação do íman; e o mesmo acontece quando o íman é afastado do circuito, embora agora a corrente percorra o circuito em sentido contrário; porém, se é o circuito que se aproxima ou afasta do íman, estando este em repouso, também se verifica o aparecimento de uma corrente mas

a sua origem era explicada como sendo devida a um fenómeno diferente: a ação da força magnética, devida ao íman, sobre os eletrões do condutor em movimento dá origem ao aparecimento de uma corrente que percorre o condutor enquanto o condutor permanecer em movimento; ou seja, no primeiro caso, estamos a analisar o fenómeno no referencial da espira condutora, onde os eletrões estão em repouso e, portanto a força magnética sobre os eletrões é nula; no segundo caso, elegemos o referencial do íman, em relação ao qual os eletrões da espira estão em movimento, sendo o fenómeno explicado como sendo o resultado da ação da força magnética do íman sobre os eletrões do condutor em movimento (recordemos que  $\vec{f} = q\vec{v} \times \vec{B}$ , onde  $q$  representa a carga elétrica,  $v$  é a velocidade dessa carga e  $B$  a intensidade do campo magnético do íman). Ora, para Einstein, como o movimento de um corpo é um conceito relativo, os dois fenómenos descritos devem ter uma única interpretação: deve surgir uma corrente induzida no condutor sempre que se verifique variação de fluxo do campo magnético, ou seja, sempre que tenha lugar uma variação do número de linhas de força de campo magnético que atravessa a área limitada pela espira condutora. Não havendo variação de fluxo não há corrente induzida pelo campo magnético.

Como consequência destas considerações, somos levados a entender com Einstein que a ideia de repouso absoluto não tem significado na física. Veremos que com este raciocínio Einstein liberta a física do conceito de éter, o meio imaginado pelos físicos no século XIX para explicar a propagação das perturbações eletromagnéticas através do espaço, e que por esse motivo era visto pelos físicos como um referencial privilegiado, em relação ao qual se poderia definir um movimento absoluto. Recordemos essa ideia tal como foi apresentada por Maxwell: “light consists of the transverse undulations of the same medium which is the cause of electric and magnetic phenomena” ([2] vol.I, p. 500). Por outras palavras, para os físicos do século XIX, as ondas luminosas, tal como os campos elétrico e magnético necessitam de um meio que sirva de suporte. Esse meio, que se supunha preencher todo o Universo, era designado por éter luminífero (= transportador da luz). Para a maioria dos físicos esse meio devia ser absolutamente imóvel, por razões que não vamos aqui analisar. A matéria ordinária, como é o caso de qualquer planeta do sistema solar, devia mover-se através do éter sem o perturbar. A Terra, tal como imaginavam os físicos na altura, devia mover-se através do éter a uma velocidade de 30 km/s, a velocidade do movimento orbital da Terra em torno do Sol. Por conseguinte, deveria haver um vento do éter soprando em sentido oposto. Não era

de esperar que este “vento do éter” fosse detetado diretamente, mas deveria ser possível detetar a influência do éter na luz emitida por fontes terrestres ou celestiais. Embora fosse previsível que esses efeitos deviam ser diminutos, sabia-se que estavam perfeitamente ao alcance experimental através de um estudo de interferências entre a luz proveniente de duas fontes. O resultado negativo dessas experiências, primeiro realizadas por Albert A. Michelson (1852-1931) e mais tarde por Michelson e Edward Morley (1852-1923), não levou imediatamente à exclusão do conceito do éter luminífero, e por isso prosseguiram as tentativas para obter um resultado positivo. Porém, na ausência de um resultado positivo posterior, as experiências de Michelson-Morley acabaram por ser consideradas como um resultado definitivo na demonstração da inexistência do éter. Para Einstein, porém, e independentemente de ele ter tido ou não conhecimento dessas experiências, o éter em repouso absoluto, é um conceito supérfluo, completamente desnecessário. Assim, ao reconhecer não ser possível a deteção do movimento da Terra em relação ao éter, Einstein decide eliminá-lo completamente das suas considerações. E com isso elimina o referencial “privilegiado” onde, segundo H.A. Lorentz (1853-1928) e Henri Poincaré (1854-1912), as equações de Maxwell do eletromagnetismo estavam escritas, ou seja, o referencial onde a velocidade da luz (e das outras ondas eletromagnéticas) tinha um valor conhecido representado por  $c$ . Por consequência, deixando de existir esse referencial absoluto, todo o movimento é relativo quer para as leis da mecânica quer para o eletromagnetismo. Por isso, Einstein afirma que as leis do eletromagnetismo, da ótica e da mecânica são válidas em todos os sistemas de referência inerciais (não acelerados), estabelecendo assim o “princípio da relatividade”, como um princípio geral da física, e elevando-o ao nível de um axioma. Decorre deste princípio que todos os referenciais inerciais são equivalentes e, por conseguinte, nesta lógica não podem existir referenciais absolutos. E percebe-se também porque é que Einstein é levado a introduzir o segundo princípio, também com a categoria de axioma, nomeadamente: “a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor em todos os sistemas de referência inerciais”. Só assim, é possível esperar que as equações de Maxwell, que condensam as leis fundamentais do eletromagnetismo e da ótica, sejam válidas em todos os referenciais de inércia, uma vez que a velocidade da luz no vácuo,  $c$ , aparece explicitamente nessas equações.

## **Do espaço e tempo absolutos ao Espaço-tempo**

Na última parte do século XIX, a coordenação de relógios e a padronização do tempo estavam na ordem do dia das nações, dos estrategos militares, dos grandes empresários, dos astrónomos e dos filósofos. E, é claro, o Departamento de registo de patentes, do Instituto Federal da propriedade intelectual, onde Einstein trabalhava na altura, em Berna na Suíça, era o local adequado para a certificação de patentes sobre a sincronização de relógios. Aliás, na Europa, a Suíça era o centro de produção de equipamentos de precisão e coordenação do tempo. E na altura havia um grande número de patentes e diagramas com relógios ligados por sinais (eletromagnéticos) [3]. E havia também muitas propostas para obtenção de patentes, e vários artigos em revistas técnicas da época sobre relógios ligados por ondas de rádio. Claro que as fábricas e os inventores não estavam preocupados com os “referenciais inerciais” ou com a “física do éter”. Mas a importância da distribuição da simultaneidade de acontecimentos distantes por meios eletromagnéticos era algo importante para muita gente, desde os passageiros e o pessoal dos caminhos-de-ferro aos astrónomos que faziam observações que permitiam calcular a diferença de longitudes entre dois lugares [4].

Quando Einstein estabelece os seus dois princípios, surgem consequências dramáticas inesperadas. Por exemplo, se um comboio passa com velocidade constante numa estação, e duas pessoas nas extremidades do comboio acendem as suas lanternas e apontam-nas para o centro do comboio de modo que uma pessoa sentada na estação veja os sinais luminosos chegarem simultaneamente, podemos perguntar: o que vê um passageiro colocado no centro do comboio e que passa em frente da pessoa sentada na estação no instante em que são enviados os sinais luminosos das extremidades do comboio? Do ponto de vista da pessoa sentada na estação, o passageiro colocado no centro do comboio está em repouso em relação ao comboio e a mover-se em relação à estação à velocidade do comboio, aproximando-se do ponto da estação onde estava a pessoa que acendeu a lanterna na frente do comboio e a afastar-se do ponto da estação onde estava a pessoa que acendeu a lanterna na retaguarda. De modo que para os observadores estacionados na estação, que observam os dois sinais luminosos simultaneamente, não restam dúvidas que o observador no centro do comboio recebe o sinal da frente primeiro e só depois o sinal luminoso proveniente da retaguarda. Obviamente esse observador assume que os dois sinais enviados à mesma velocidade e percorrendo a mesma distância não podiam ter sido enviados simultaneamente. Logo, os

dois sinais luminosos são emitidos simultaneamente no referencial da estação, mas não são simultâneos no referencial do comboio. Assim, Einstein conclui que: “simultaneidade de acontecimentos distantes é um conceito relativo”. Este é o resultado que melhor traduz o que há de mais essencial na relatividade do tempo entre diferentes referenciais inerciais em movimento relativo. Acontecimentos que ocorrem simultaneamente em dois pontos diferentes do espaço, num dado referencial, não serão simultâneos em nenhum outro referencial. Suponhamos que, no exemplo do comboio em movimento, escolhemos o eixo do  $x$  para representar a direção do movimento do comboio; então os diferentes valores de  $x$  representam as diferentes posições do comboio ao passar na estação; podemos agora representar por  $t$  os diferentes instantes referentes às diferentes posições do comboio na estação. Esses diferentes tempos são medidos por relógios em repouso na estação, e previamente sincronizados. Vamos representar por  $t'$  e  $x'$ , respetivamente os tempos dos relógios em repouso no comboio e as coordenadas espaciais no referencial associado ao comboio. De acordo com Einstein os espaços e os tempos nos dois referenciais estão ligados entre si pelas relações seguintes:

$$t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$

onde  $v$  representa a velocidade do comboio em relação à estação, e  $c$  representa a velocidade da luz no vácuo. O valor de  $c$  é o mesmo para todos os observadores que se deslocam com velocidade constante (observadores inerciais). Note que em geral  $v/c < 1$ , pelo que para pequenas velocidades, em comparação com a velocidade da luz,  $t \approx t'$ ,  $x \approx x' + vt$ , tal como se deduz na mecânica clássica de Galileu e Newton. Logo, as fórmulas de transformação das coordenadas de Galileu e Newton estão incluídas nas fórmulas dadas em (1), conhecidas por fórmulas de transformação de Lorentz. Uma observação atenta permite tirar outras conclusões importantes: para velocidades comparáveis com a velocidade da luz (no vácuo) o espaço e o tempo surgem interligados, de modo que o espaço (e o tempo) num referencial dependem dos valores do espaço e do tempo no outro referencial. Por outro lado, facilmente se percebe que dois acontecimentos espacialmente separados (com  $\Delta x \neq 0$ , no referencial da estação) podem ocorrer simultaneamente para quem está na estação, mas não são considerados simultâneos para quem está no comboio:  $\Delta t' \neq 0$ . É claro que também poderíamos



imaginar uma situação inversa. Mas nunca observaremos dois acontecimentos, que ocorrem a uma certa distância um do outro num dado referencial, a serem vistos como sendo simultâneos em dois referenciais distintos. Ou seja, acontecimentos que ocorrem simultaneamente em dois diferentes locais da Terra como, por exemplo, dois aviões cuja partida seja simultânea, um que parte de Lisboa e outro de Londres, dos respectivos aeroportos, não serão vistos como partindo simultaneamente por um observador a viajar numa nave espacial a grande velocidade algures entre Lisboa e Londres. Uma outra consequência importante das fórmulas (1) é que elas satisfazem a expressão invariante:

$$\Delta s^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2 = -c^2 \Delta t'^2 + \Delta x'^2 \quad (2)$$

que traduz a constância da velocidade da luz no vácuo. Esta relação (2), que é como dissemos uma consequência das relações (1), pode aplicar-se a diferentes situações nomeadamente ao caso em que, por exemplo no referencial com coordenadas  $(t, x)$  temos  $\Delta x = 0$ , pelo que a expressão (2) se reduz nesse caso a

$$\Delta s^2 = -c^2 \Delta t^2 = -c^2 \Delta t'^2 + \Delta x'^2 \quad (2')$$

expressão que pode ser escrita como  $c^2 \Delta t^2 = c^2 \Delta t'^2 - \Delta x'^2$ , donde se conclui imediatamente que  $\Delta t < \Delta t'$ ; sendo neste caso fácil obter a relação exata entre estes dois tempos:  $\Delta t = \Delta t' \sqrt{1 - (v/c)^2}$ . A conclusão que se tira deste resultado é simples, e é a seguinte: no referencial onde dois acontecimentos ocorrem no mesmo ponto do espaço (referencial próprio), o intervalo de tempo entre eles, designado “tempo próprio”, é sempre mais curto! Ou seja, o tempo medido no referencial onde os dois acontecimentos ocorrem no mesmo ponto do espaço, é mais curto do que o tempo medido por observadores que observam os acontecimentos ocorrendo em diferentes pontos do espaço. E é por esta razão que se fala em “dilatação do tempo”. Voltando à equação (2), vemos também que não é possível admitirmos simultaneamente, como se afirmou atrás, ter  $\Delta t' = \Delta t = 0$ , pois isso implicaria  $\Delta x = \Delta x' = 0$  e não haveria diferença entre os dois referenciais. Por outro lado, o facto do tempo no referencial próprio ser mais curto do que o tempo medido nos outros referenciais tem consequências na medição dos comprimentos: qualquer objeto observado em movimento é visto como sendo mais curto no sentido do movimento do que quando observado em repouso. Por exemplo, dados dois observadores que se aproximam um do outro, com uma velocidade relativa de  $v = 0,6 c$ , transportando uma barra de um metro

de comprimento, cada um deles verá a barra do outro medir simplesmente 80 cm, de acordo com a expressão que se deduz da equação (2)

$$\Delta\ell = \Delta\ell' \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \quad (3)$$

Este é o conhecido efeito cinemático da “contração dos comprimentos” no sentido do movimento, que deve ser entendido sempre como um contraponto da dilatação do tempo em relação aos referenciais próprios, onde o tempo é mais curto.

Uma vez tendo caracterizado os efeitos cinemáticos da TRR, é a altura de explicar como Einstein procurou estender o princípio da relatividade de modo a incluir observadores acelerados.

### **Do Princípio da Equivalência à Relatividade Geral**

Embora a teoria da relatividade restrita tenha permitido estender a relatividade do movimento às leis do eletromagnetismo, não era compatível com a lei de Newton da gravitação. Segundo esta lei, se a distribuição de matéria mudasse numa certa região do espaço, o campo gravítico correspondente mudaria instantaneamente em qualquer outra parte do universo. Isto implicaria a possibilidade de enviar sinais instantâneos, e exigiria um “tempo absoluto”, em contradição com a teoria da relatividade. Einstein estava consciente deste problema quando, no Outono de 1907, Johannes Stark (1874-1957) lhe pede para contribuir com um artigo de revisão sobre o princípio da relatividade para o seu *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*. Por essa altura, Einstein começava a ficar insatisfeito com a limitação da relatividade aos movimentos inerciais (com velocidade constante) e ansiava por estendê-la aos observadores acelerados. Nessa época, ainda trabalhava na Repartição de Patentes de Berna, quando teve “o pensamento mais feliz” da sua vida, como revelou ao seu colega e amigo Michele Besso. A igualdade entre a massa inercial, responsável pela inércia dos corpos, e a massa gravitacional, que transmite a força da gravidade, só poderia ser uma indicação de uma conexão íntima entre inércia e gravidade. Um astronauta numa nave espacial fechada não é capaz de distinguir se está em repouso num campo gravítico ou se está acelerado no espaço livre. A esta relação entre movimento acelerado e gravidade, Einstein chamou “princípio da equivalência”.

Mais tarde haveria de descrever esse momento portentoso na sua lição na Universidade de Kyoto em 1922: “De repente, um pensamento assaltou-me: se uma pessoa cai em queda livre não sente o seu próprio peso. Fiquei abismado. Este simples pensamento provocou-me uma profunda impressão. Impeliu-me para uma nova teoria da gravitação”.

Com base neste princípio acreditou que seria capaz de construir uma teoria para substituir a teoria da gravidade de Newton, ao mesmo tempo que ligava o problema da gravidade com o problema da generalização da relatividade a todos os observadores. É nesse artigo de 1907 que Einstein publica pela primeira vez as suas reflexões sobre a relação entre o princípio da relatividade e a gravitação. Mas só volta a pensar nestes problemas, em 1911, quando já estava na Universidade alemã de Praga como professor catedrático de física teórica.

Tanto o espaço ordinário (euclidiano) como o espaço-tempo da relatividade restrita são espaços planos. Ao procurar compatibilizar a interação gravítica com as ideias da relatividade restrita, Einstein é levado, ao fim de uma luta intelectual intensa, a renunciar ao espaço-tempo plano. Em linhas muito gerais podemos explicá-la em termos simples do seguinte modo: na presença de um campo gravítico é necessário incluir todos os tipos de movimentos relativos e não só os movimentos uniformes. Como generalizar o princípio da relatividade a todos os observadores colocados num campo gravítico onde estão naturalmente acelerados? Vejamos quais as considerações que orientaram o pensamento de Einstein. A interação gravítica tem uma natureza única entre todas as forças: a queda dos corpos é independente da sua massa ou da sua constituição. Isto sugere que a gravidade não é realmente uma força mas uma propriedade geométrica do espaço, ou melhor, do espaço-tempo como as ideias relativistas exigem. Neste ponto surge a ideia revolucionária de Einstein: os observadores em queda livre num campo gravítico identificam-se com os observadores inerciais da relatividade restrita no que diz respeito às suas observações locais. Mas, ao contrário da relatividade restrita, dois observadores em queda livre não mantêm uma velocidade uniforme entre si devido aos efeitos não locais do campo gravítico. Realmente, dois corpos em queda livre à superfície da Terra não descrevem trajetórias exatamente paralelas, pois essas trajetórias convergem para o centro de massa da Terra, embora, a uma escala local, as trajetórias sejam quase paralelas. Para justificar estas diferenças, face à relatividade restrita, Einstein identifica a gravidade com uma

modificação em relação à geometria euclidiana: a gravitação produz uma “curvatura” no espaço-tempo. E as trajetórias dos corpos em queda livre serão as “geodésicas” deste espaço-tempo curvo. Claro que agora as geodésicas já não são linhas retas, como no espaço plano, mas sim as linhas “mais direitas” que o espaço-tempo curvo admite. Como exemplo, na superfície de uma esfera as geodésicas são os círculos máximos, como os meridianos ou o equador.

Ao voltar a Zurique em 1912, como professor de física teórica na Politécnica de Zurique, Einstein mergulha profundamente no estudo das geometrias dos espaços curvos (riemannianos) com a ajuda do seu antigo colega, e agora diretor da faculdade, Marcel Grossmann (1878-1936). Em 1913, Einstein e Grossmann escrevem um artigo no qual avançam esta ideia simples: o que nós pensamos serem as forças gravíticas não é outra coisa senão a expressão da curvatura do espaço-tempo. Mas as equações que estabeleceram para relacionar a curvatura do espaço-tempo com a massa e a energia que nele existem não permitiam reencontrar as equações do campo gravítico de Newton, como Einstein pretendia, para o caso dos campos fracos e lentamente variáveis. Para Einstein a nova teoria deveria por um lado generalizar a teoria de gravitação de Newton e por outro deveria incorporar, localmente, os postulados da relatividade restrita. Einstein, insatisfeito com o resultado obtido com Grossmann, continua a trabalhar neste problema quando vai para a Universidade de Berlim, em 1914, a convite de Max Planck (1858-1947). E finalmente, durante o mês de novembro de 1915, Einstein apresenta as equações da nova teoria da Relatividade Geral, perante os seus colegas da Academia Prussiana das Ciências de Berlim.

Ao descrever o campo gravítico através da curvatura do espaço-tempo, a teoria geral da relatividade transforma o espaço-tempo de um palco passivo, onde os acontecimentos físicos decorrem, num participante ativo na dinâmica do cosmos. A geometria do espaço-tempo curvo substitui assim a força gravítica de Newton. Se o espaço à roda do Sol não é exatamente euclidiano, também é natural que as imagens das estrelas que se encontram na direção do Sol cheguem até nós algo deformadas, como foi observado por Sir Arthur Eddington (1882-1944) em 1919 na ilha do Príncipe, durante um eclipse total do Sol de 29 de Maio. Este efeito ocorre sempre que a luz passa na proximidade de qualquer objeto celeste e é tanto mais importante quanto maior for a curvatura do espaço(-tempo), isto é, quanto mais intenso for o campo gravítico do objeto junto do qual passam os raios luminosos.

Os dez anos seguintes foram anos de recepção, afirmação e sucesso da teoria. Em 1918 surgiram os primeiros dois livros devotados à Teoria da Relatividade Geral (TRG), um em Londres por Eddington, e outro em Berlim por Herman Weyl. A 29 de Maio de 1919, há 94 anos atrás, o encurvamento dos raios luminosos rasando o Sol foi medido na ilha do Príncipe e no Sobral (Brasil) durante um eclipse solar, graças ao zelo de Eddington e do Astrónomo Real britânico Frank Dyson. As previsões da teoria de Einstein foram publicamente confirmadas no famoso encontro da *Royal Society* em Londres a 6 de novembro de 1919. No jornal londrino *The Times* podia ler-se: “Revolução na Ciência/ Nova Teoria do Universo/ Ideias Newtonianas Abandonadas”, como já foi referido no artigo publicado neste e-book “Eddington: de Cambridge à ilha do Príncipe para testar a Teoria da Relatividade”.

Apesar do enorme interesse que a criação da Teoria da Relatividade despertou na comunidade científica e no público em geral, o prémio Nobel da Física de 1921 foi-lhe atribuído em 1922 pelos “seus serviços à Física Teórica e especialmente pela sua descoberta da lei do efeito fotoelétrico”, segundo o Comité Nobel. Como se vê não há nenhuma referência explícita à teoria da relatividade na atribuição do prémio, embora possa estar incluída nos “serviços à Física Teórica”.

Não tinha ainda passado um ano após a construção da sua teoria da relatividade geral e já Einstein estava a tentar modificá-la de modo a aplicá-la ao Universo no seu conjunto. Na sequência dessas diligências, essa primeira solução cosmológica das equações de Einstein é publicada em 1917, em alemão, com o título “Considerações Cosmológicas Resultantes da Teoria Geral da Relatividade”. Mas essa não foi a primeira solução das equações de Einstein. A primeira solução foi obtida por Karl Schwarzschild (1873-1916) um ano antes e aplica-se ao campo gravitacional no exterior de uma massa esférica, sem rotação e sem carga elétrica global. É uma solução exata que descreve com muito boa aproximação objetos astronómicos em rotação lenta como é o caso de muitas estrelas e planetas, incluindo a Terra e o Sol.

No outono de 1916, Einstein e o astrónomo holandês Willem De Sitter (1872-1934) [6] iniciaram um debate sobre a relatividade da inércia após uma visita de Einstein à Holanda. Foi no decurso desse debate que os dois primeiros modelos cosmológicos surgiram. Tanto Einstein como De Sitter concordavam que a relatividade geral, tal como tinha sido construída em 1915, preservava vestígios de espaço e tempo absolutos de Newton, uma vez que as condições fronteira bem como a matéria desempenham um

papel na determinação da geometria do espaço-tempo e portanto nas propriedades inerciais do Universo. Isso não era um problema para De Sitter, mas Einstein queria eliminar estes elementos absolutos postulando valores degenerados para o campo métrico, que descreve a geometria do campo gravítico, no infinito. Em 1917, Einstein pensou ter resolvido o problema com a introdução de um modelo estático, esfericamente simétrico e espacialmente fechado do Universo, evitando a necessidade de condições fronteira no infinito, simplesmente eliminando o infinito [7]. Para construir um modelo estático Einstein foi obrigado a introduzir nas suas equações a famosa “constante cosmológica”,  $\Lambda$ , responsável por uma “força” anti-gravítica capaz de equilibrar a atração da matéria no universo e evitar o seu colapso. Com essa solução das equações, Einstein construía assim um modelo de um universo eterno, que sempre existiu e sempre existiria, que ele suponha já não conter qualquer elemento absoluto. Em concreto, a geometria do espaço-tempo era completamente determinada de modo a satisfazer o que Einstein chamou em 1918 o “princípio de Mach”. Porém em breve De Sitter mostrar-lhe-ia com um contraexemplo que isso não era verdade. Para isso De Sitter construiu um modelo cosmológico alternativo, que satisfazia as equações de Einstein, mas sem matéria e só com a constante cosmológica. Neste universo de De Sitter, embora sem matéria, o espaço-tempo é ainda assim curvo e assume o papel de um espaço absoluto, onde a curvatura não é produzida pela presença da matéria. Neste modelo, era claro que não seria possível assegurar que as massas inerciais de quaisquer partículas teste nele colocadas tivessem origem na existência de massas distantes, pois a solução não continha matéria.

Nesse tempo, tanto o modelo de Einstein como o de De Sitter eram considerados estáticos. E serão estes dois modelos as grandes referências até ao final dos anos 1920's, embora tenham sido publicadas duas soluções cosmológicas pelo matemático russo Aleksander Friedmann (1888-1925), em 1922 e 1924 e uma pelo abade belga Georges Lemaître (1894-1966), físico e padre jesuíta, em 1927, que já previam a existência de um universo em expansão. Porém, estes últimos trabalhos foram publicados em revistas de fraca circulação e só muito mais tarde, depois de 1930, foram conhecidos pela comunidade científica. As primeiras tentativas de descrever o Universo e interpretar as observações astronómicas dos *redshifts* das nebulosas extragaláticas serão feitas em função destes modelos, sendo o universo de De Sitter o que despertou maior interesse entre os astrónomos, mas também um maior debate sobre a sua interpretação. Sobre este

último aspeto, para Einstein a solução de De Sitter era fisicamente inaceitável, na medida em que as propriedades do espaço-tempo não podiam ser determinadas, segundo ele, sem a presença de matéria. Vários outros teóricos discutiram a interpretação do modelo de De Sitter e, em particular, procuraram torná-lo não estático. Foi o caso de Corneliuss Lanczos (1893-1974) em 1922, logo seguido por Hermann Weyl (1855-1955) em 1923, e mais tarde por Howard P. Robertson (1903-1961) em 1928. No entanto, embora na formulação original o modelo tenha sido considerado estático, e vazio de matéria, uma vez colocadas duas partículas (ou dois observadores) neste universo a uma certa distância, descrevendo linhas do universo fundamentais, verificava-se um afastamento acelerado entre essas partículas, que se traduzia na observação de um *redshift*. E foi esta propriedade do modelo de De Sitter que esteve na origem do maior interesse que ele despertou inicialmente nos astrónomos que procuravam uma explicação para os *redshifts* das galáxias distantes.

## **Das descobertas do século XX à física do século XXI**

Em 1994 fui a São Tomé e Príncipe, integrado numa equipa da Fundação Gulbenkian, para comemorar os 75 anos da observação do eclipse de 29 de Maio de 1919. Em São Tomé fiz uma palestra para explicar a importância das observações realizadas no Príncipe pela equipa liderada por *Sir* Arthur Eddington. Tive também a oportunidade de visitar o local onde decorreram as observações, a roça Sundry, na ilha do Príncipe. Na sequência dessa visita a São Tomé e Príncipe, fui convidado a escrever para a revista da F. Gulbenkian, *Colóquio Ciências*, um artigo [8] que intitulei “O Significado da Relatividade no Final do Século”. Nesse artigo, depois de fazer uma introdução à Teoria da Relatividade, restrita e geral, falei do renascimento da teoria nos anos 60 do século passado e do seu desenvolvimento posterior. Vale a pena recordar algumas das afirmações feitas então que não perderam atualidade.

A propósito das descobertas que relançaram a investigação da teoria da relatividade disse na altura o seguinte. A 9 de março de 1960, o corpo editorial do periódico científico *Physical Review Letters* recebe o artigo de Pound e Rebka, intitulado “O Peso Aparente dos Fótons”. O artigo descreve a primeira medida laboratorial bem sucedida da mudança de frequência ou do comprimento de onda da luz por influência do campo gravítico da Terra. Tratava-se de um efeito previsto por Einstein, que se revelou bastante difícil de comprovar, e que só foi descoberto depois da sua morte. Durante

algum tempo, aqueles que duvidavam que a teoria de Einstein fosse melhor que a teoria de Newton da gravitação, invocavam a não comprovação desse efeito, conhecido por “deslocamento gravitacional para o vermelho”, para não aceitarem a teoria da relatividade geral.

Alguns meses mais tarde, no número de junho de 1960 da revista científica *Annals of Physics* surge um artigo assinado pelo físico-matemático inglês Roger Penrose (1931- ) intitulado “Tratamento Spinorial da Relatividade Geral”. Embora com um formalismo matemático pesado, o artigo delineava uma técnica de cálculo extremamente elegante para resolver alguns problemas de relatividade geral. Este foi um dos primeiros passos dados no sentido de tornar mais simples muitos dos morosos e complexos cálculos relativistas. Ainda no ano de 1960 têm início as observações levadas a cabo pelos astrónomos americanos Thomas Matthews e Allan Sandage (1926-2010), com o telescópio de 200 polegadas de Monte Palomar na Califórnia, da fonte de rádio 3C48 (objeto número quarenta e oito do terceiro catálogo de Cambridge de fontes de rádio). Estavam interessados em estudar a radiação visível emitida por esta fonte e, para isso, tiraram uma chapa fotográfica da zona do céu à roda da 3C48. Esperavam encontrar um enxame de galáxias com a localização da fonte de rádio, mas não foi isso que observaram. A análise da chapa fotográfica parecia indicar que o objeto afinal tinha as dimensões de uma estrela, mas não era uma estrela vulgar, pelo menos nada comparável a qualquer estrela conhecida. O seu espectro tinha cores bastante invulgares, e apresentava grandes e rápidas variações de brilho. Era pois uma fonte de rádio, que parecia do tipo “estelar” (apesar das estrelas ordinárias não serem fontes intensas de rádio) mas que pelo tipo e variabilidade do seu espectro não parecia ser exatamente uma estrela. Daí que fosse designada fonte de rádio quase estelar ou *quasar*. Esta foi a primeira identificação segura de um quasar rodeado por uma galáxia com o mesmo desvio para o vermelho. A descoberta dos quasares catapultou a relatividade geral imediatamente para a fronteira da astronomia. Foram entretanto descobertos objetos semelhantes, como o 3C273. E em 1963, Maarten Schmidt (1929- ), do Observatório de Monte Wilson, descobriu que as riscas do espectro de emissão do 3C273 apresentavam um deslocamento de 16 por cento no sentido dos comprimentos de onda mais altos. Para o 3C48 foi medido posteriormente um deslocamento para vermelho ainda maior, da ordem dos 30 por cento.



Em 1929, Edwin Hubble (1889-1953), como discutiremos mais adiante, tinha anunciado que as galáxias distantes se afastam com velocidades de recessão proporcionais às suas distâncias:  $v = Hd$ . Este sistemático deslocamento para o vermelho no espectro das galáxias distantes foi depois interpretado como uma consequência da expansão do Universo, ou seja, o espaço entre os grupos de galáxias cresce com o tempo cósmico, embora os grupos de galáxias mantenham a sua localização e, por conseguinte, mantêm-se em repouso, embora a distância entre as galáxias aumente com o tempo. Neste sentido, os grandes deslocamentos para o vermelho dos espectros dos quasares significam que eles se afastam de nós com grandes velocidades, a cerca de 30 por cento da velocidade da luz no caso do *3C48*, à qual corresponde uma distância da ordem de 6 mil milhões de anos-luz. Estando os quasares tão distantes seria de esperar que fossem objetos com fraco brilho. Mas, pelo contrário, os quasares são objetos extremamente brilhantes, tanto na parte visível como na das ondas de rádio do espectro. Portanto, a sua luminosidade intrínseca deve ser enorme. O *3C48* é cerca de 100 vezes mais luminoso que a nossa galáxia. Qual a origem de uma fonte tão poderosa? Como se explicam as suas rápidas variações de brilho? À escala cósmica, a gravidade é a interação dominante, por isso é provável que a resposta a estas perguntas esteja na existência de campos gravitacionais extraordinariamente intensos, o que pode implicar concentrações imensas de massa, talvez com milhões de vezes a massa solar, confinadas a uma região do espaço que não deve ultrapassar uma hora-luz (aproximadamente igual ao diâmetro da órbita de Júpiter).

A descoberta dos quasares deu origem à criação de uma nova área da física. Em dezembro de 1963, em Dallas, Texas, teve lugar o primeiro simpósio sobre esta nova disciplina designada Astrofísica Relativista, poucas semanas após o assassinio do presidente norte-americano John F. Kennedy. Para esta conferência foram convidados astrónomos, físicos e matemáticos, de modo a proporcionar um debate alargado, capaz de reunir as experiências e os conhecimentos diversificados destas três áreas do saber. Segundo o testemunho de alguns dos seus participantes, a atmosfera reinante era de grande nervosismo e excitação. Em parte pelo recente assassinato do presidente John Kennedy, mas em boa medida por que se tratava de uma experiência nova de comunicação entre cientistas de áreas diferentes e porque se vivia então um período de grande euforia científica.

Algum tempo mais tarde, no final do ano de 1967, os astrónomos da Universidade de Cambridge Jocelyn Bell Burnell (1943- ) e Anthony Hewish (1924- ) descobriram um novo tipo de estrela, chamada “pulsar” devido à emissão regular de impulsos de rádio. Pensa-se que os pulsares são estrelas imensamente compactas, tão densas que os seus diâmetros não ultrapassam poucas dezenas de quilómetros, e que podem rodar muitas vezes num segundo. Estas estrelas são tão compactas que os seus átomos são destruídos e reduzidos a um mar de neutrões. A gravidade à superfície de uma tal estrela é tão intensa, que se ela tiver uma massa maior que três massas solares será incapaz de encontrar uma estrutura de equilíbrio, colapsando numa fração de segundo e desaparecendo totalmente do Universo. A explicação deste intrigante fenómeno reside na violenta curvatura do espaço que traduz a crescente intensidade da gravidade numa estrela em colapso. À medida que o raio da estrela se reduz, a curvatura do espaço à superfície da estrela rapidamente se torna suficientemente forte para encurvar os raios luminosos e retê-los em torno da estrela. Quando nem a própria luz consegue escapar ao campo gravítico da estrela esta transforma-se num “buraco negro” no espaço. No interior do buraco negro, a matéria continua a ser inexoravelmente atraída para o centro do buraco: nenhuma força do Universo parece ser capaz de parar este processo de colapso.

Os buracos negros são sem dúvida objetos de estudo fascinantes. Mas foram muito mal compreendidos durante muito tempo. Quando Chandrasekhar desenvolveu em 1931 a sua teoria das estrelas “anãs brancas”, mostrando que estas estrelas não poderiam ter uma massa superior a 1,4 massas solares, encontrou muita oposição por parte de Eddington, que na altura era seu supervisor. Embora a teoria das anãs brancas não se baseie na relatividade geral, depende com certeza da interação gravitacional. Eddington teve a percepção que uma consequência dessa teoria era que as estrelas com grande massa sofreriam um inevitável colapso, com formação de uma “singularidade” do espaço-tempo, isto é, um ponto onde a curvatura se torna infinita e todas as leis físicas são violadas. Eddington considerava isto um absurdo e portanto atrasou muito a aceitação da teoria das anãs brancas.

Em 1939, J.R. Oppenheimer (1904-1967) e H. Snyder (1913-1962) calcularam o colapso de um fluido esfericamente simétrico e sem pressão usando as equações de Einstein da relatividade geral. Na sequência desse trabalho mostraram que não há nada nas equações de Einstein que possa evitar o colapso do fluido e a correspondente

formação do que hoje chamamos um buraco negro. Mas este resultado não teve imediatas consequências no mundo científico; o conceito de buraco negro permaneceu adormecido durante os trinta anos seguintes, pelo menos até à descoberta dos quasares. Há realmente dois factos que contribuíram para a retoma destas ideias. O primeiro, relaciona-se com os quasares e com as dificuldades inerentes à explicação das enormes quantidades de energia emitida por estes objetos. O segundo foi a descoberta em 1963 de uma solução das equações de Einstein por Roy P. Kerr (1934- ). Kerr recorreu a um conjunto de sofisticadas técnicas matemáticas que exploram os princípios de simetria na pesquisa de novas soluções das equações de Einstein. Para explicar os intensos campos gravitacionais responsáveis pela produção de energia, Edwin Salpeter (1924-2008), da Universidade de Cornell, recorreu à ideia de colapso, tal como foi estudado por Oppenheimer e Snyder.

Quando Kerr apresentou a sua comunicação no primeiro simpósio do Texas em Astrofísica Relativista, poucos puderam acompanhá-lo devido à complexidade dos cálculos envolvidos. Mas hoje sabe-se que a solução de Kerr é a única solução para um buraco negro em rotação e a solução obtida por Schwarzschild em 1916, dois meses após a publicação da teoria de Einstein, é simplesmente um caso particular da solução de Kerr quando a estrela que colapsa não está em rotação.

Envolvidos com o problema dos quasares, os astrofísicos relativistas consumiram os dez anos seguintes provando esta e muitas outras características das soluções de Schwarzschild e de Kerr. Por exemplo, sabia-se que a geometria de Schwarzschild apresentava um comportamento patológico junto do chamado raio gravitacional, ou raio de Schwarzschild,  $R=2GM/c^2$ , correspondente às dimensões do buraco negro. E uma situação semelhante, embora mais complexa, ocorria com a geometria de Kerr. Ficou então provado que estes problemas eram causados por uma má escolha de coordenadas. Contudo, isso não alterou o facto da superfície correspondente ao raio gravitacional possuir uma propriedade especial. Foi-lhe dado o nome de “horizonte de acontecimentos” porque essa superfície funciona como uma membrana que deixa passar a informação num só sentido: para um observador exterior, todos os acontecimentos com  $r < R=2GM/c^2$  são completamente inacessíveis. Foi esta característica do horizonte de acontecimentos que levou John Wheeler (1911-2008) a introduzir o termo buraco negro, durante uma conferência realizada em Nova Iorque em 1967. Para um observador que se encontre bastante afastado do horizonte, a única característica

detetável do buraco negro é o seu campo gravítico. Este não se distingue do campo produzido por qualquer outro objeto com a mesma massa e momento angular. Porém, para um observador próximo do horizonte surgem fenómenos muito estranhos. O encurvamento dos raios luminosos pode ser tão grande que a luz pode ficar retida em torno do buraco seguindo uma órbita circular, com um “raio”  $R=3GM/c^2$  no caso do buraco negro de Schwarzschild. Nos buracos negros de Kerr, a rotação dá origem a um arrastamento dos observadores em queda livre em torno do buraco tal que, se estes se encontram próximo do horizonte e seguindo uma órbita equatorial, o arrastamento em torno do buraco torna-se tão forte que nada poderá evitá-lo. Estas e muitas outras características dos buracos negros foram estabelecidas durante um período de intensa pesquisa, entre 1963 e 1974, por um conjunto de relativistas que se tornaram famosos e que assim muito contribuíram para o renascimento da teoria.

Para terminar esta exposição não podemos deixar de referir duas áreas de investigação muito atuais em relatividade: a deteção de ondas gravitacionais e a expansão de um universo dominado pela matéria escura e pela energia escura.

A atribuição do Prémio Nobel da Física de 1993 a Joseph Taylor (1941- ) e Russell Hulse (1950- ) da Universidade de Princeton pela descoberta e estudo do pulsar binário PSR 1913+16 põe finalmente um sinal de aprovação na teoria da relatividade geral. A teoria da relatividade de Einstein revolucionou os nossos conceitos de espaço, de tempo e da descrição do cosmos. No entanto, o prémio Nobel da física nunca tinha sido antes atribuído a um trabalho relacionado de forma tão direta com a relatividade geral. Relembremos que em 1921 Einstein recebeu o prémio Nobel da Física pelo seu trabalho sobre o efeito fotoelétrico e não pela relatividade. Vejamos em que consistiu o estudo realizado por Taylor e Hulse.

Até 1974, o sistema solar era o laboratório por excelência da relatividade geral. Porém, a descoberta do pulsar binário no Verão de 1974 mostrou como certos tipos de sistemas astronómicos distantes podem fornecer laboratórios de precisão para testar a relatividade geral. O sistema estudado por Taylor e Hulse é constituído por um pulsar, com um período de rotação de  $59 \times 10^{-3}$  s e com um período orbital de cerca de 8 horas, em torno de um companheiro que não foi ainda diretamente observado, mas que se crê tratar-se de uma estrela de neutrões “morta”. A inesperada estabilidade do “relógio” do pulsar e a limpidez da órbita permitiram a Hulse e Taylor e seus colaboradores determinar os parâmetros do sistema com grande precisão. O sistema é altamente

relativista, como se deduz do valor da velocidade de rotação e da intensidade do campo gravítico associado, o que permite antever efeitos cinemáticos (como a dilatação do tempo) e efeitos gravíticos (como o deslocamento espectral para o vermelho) significativos. A observação do avanço do periastro (termo correspondente ao periélio) de cerca de 4,2 graus por ano, e os efeitos associados aos tempos de chegada dos impulsos (deslocamento gravitacional para o vermelho, dilatação temporal) podem ser usados, assumindo que a relatividade geral é apropriada para determinar as massas do pulsar e do seu companheiro, sendo o resultado  $m_p \approx 1.441 M_S$  e  $m_c \approx 1.387 M_S$ , onde  $M_S$  é a massa do Sol. Uma das previsões mais importantes da teoria de Einstein, ainda não comprovada em absoluto, é a existência de ondas gravitacionais. Ora, o pulsar binário descoberto em 1974 é o laboratório ideal para testar a existência dessas ondas. Poderá uma massa acelerada radiar ondas gravitacionais, da mesma forma que uma carga elétrica acelerada radia ondas eletromagnéticas? Esta foi a questão à qual Einstein tentou responder. Em 1918, Einstein descobriu soluções das equações da relatividade geral que representavam “ondas da curvatura” do espaço-tempo a propagar-se com a velocidade da luz. A analogia que se pode estabelecer entre as ondas gravitacionais e as ondas eletromagnéticas tem alguma utilidade mas é insuficiente para dar uma ideia precisa deste tipo de ondas. Uma primeira diferença a assinalar: a gravitação é sempre atrativa, pois a massa, ou “carga gravitacional”, tem sempre o mesmo sinal Enquanto que na eletricidade há cargas positivas e cargas negativas, as massas são sempre positivas. Como resultado disto, um “oscilador” gravitacional elementar, constituído por duas massas vibrantes na extremidade de uma mola, não radia o mesmo tipo de ondas que duas cargas elétricas com sinais opostos; no caso das cargas elétricas a radiação eletromagnética resultante é “dipolar”, enquanto que a radiação gravitacional correspondente às duas massas oscilantes é “quadripolar”. Uma complicação adicional é que o gravitão, a partícula transportadora duma onda gravitacional, transporta uma “carga gravitacional” associada à sua energia, enquanto o fóton, a partícula que transporta a interação eletromagnética, não tem carga elétrica. Como resultado, uma onda gravitacional produzida por uma massa acelerada é ela própria fonte de gravitação: o gravitão é um grave ou a gravidade gravita! Em termos técnicos dizemos que a gravidade é “não linear”. Esta não-linearidade introduz dificuldades consideráveis mesmo nas situações aparentemente mais simples, como no cálculo do campo gravítico gerado por duas massas em movimento. Ao contrário do que acontece em eletromagnetismo, o campo produzido por duas massas não é a soma dos campos

produzidos por cada uma das massas isoladamente; temos de ter em conta a gravitação produzida pela interação das duas massas, que varia à medida que elas se movem. Uma terceira diferença a notar tem a ver com as intensidades relativas. Dois prótons colocados a um centímetro de distância ficam sujeitos aos dois tipos de interações: gravitacional e eletromagnética. Porém a gravidade que os atrai é  $10^{37}$  mais fraca que a força eletrostática que os repele. Este é o principal obstáculo à deteção de ondas gravitacionais. Mas felizmente, no caso de um sistema binário de estrelas de neutrões a emitir ondas gravitacionais, a energia gravitacional radiada é suficiente para que os seus efeitos possam ser detetados indiretamente através da perda de energia associada à diminuição do período de revolução orbital. A medida da taxa de decrescimento do período orbital do pulsar binário PSR 1913+16 deu em 1979 a primeira comprovação dos efeitos de amortecimento devidos à radiação gravitacional. Usando os elementos orbitais medidos e dispondo dos valores das massas do sistema, obtidas por aplicação da relatividade geral, a fórmula de Einstein do “momento quadripolar” prevê uma taxa de atenuação do período orbital dada por:  $dP/dt = -(2.40243 \pm 0.00005) \times 10^{-12}$ . E o valor observado foi  $dP/dt_{\text{observado}} = -(2.408 \pm 0.011) \times 10^{-12}$ , está completamente de acordo com a previsão teórica. Estas observações constituem pois uma prova (indireta) da existência de ondas gravitacionais, do seu carácter quadri-polar, bem como da validade da fórmula da relatividade geral obtida por Einstein. Além de verificarem a existência de ondas gravitacionais os pulsares binários permitem a realização de outros testes da relatividade geral para campos fortes, em contraste com os testes para campos fracos realizados no sistema solar. Na verdade, como estes sistemas contêm pelo menos uma, mas talvez duas estrelas de neutrões, dispomos assim de campos gravitacionais fortemente relativistas.

Finalmente, voltemos à expansão do Universo e ao seu significado para pôr um ponto final nesta exposição sobre a teoria da relatividade e sua contribuição para o avanço da física do século XXI. A expansão do Universo é seguramente uma das maiores descobertas do século XX. É talvez o facto mais relevante descoberto pelo homem acerca das suas origens. Por outro lado, até à identificação da radiação cósmica de fundo no domínio das micro-ondas, por Arno Penzias (1933- ) e Robert Wilson (1936- ) em 1965, o reconhecimento da expansão do Universo, ou seja, a constatação de que a velocidade de recessão das galáxias distantes aumenta linearmente com a distância, foi a observação que mais estimulou o nascimento da cosmologia moderna. Edwin Hubble é

frequentemente identificado como o astrónomo que descobriu a expansão do Universo [9], ao ter mostrado a existência dessa relação linear entre as velocidades de recessão determinadas por Vesto Slipher (1875-1969) e Gustaf Strömberg (1882-1962) e as distâncias obtidas por Hubble e Milton Humason (1891-1972). Porém, Hubble recuou na sua adoção explícita da expansão do universo e chegou mesmo a sugerir que se tratava de uma falsa afirmação acerca do Universo.

A verdadeira história da expansão do Universo não se resume às observações astronómicas; para explicar as observações realizadas por essa plêiade de astrónomos, onde se destacam os nomes de Slipher, Strömberg, Hubble e Humason, foi necessário encontrar um enquadramento teórico adequado. E só depois do aparecimento da teoria da relatividade geral se colocou a questão de descrever cientificamente o cosmos. Quando em 1931, Hubble e Humason confirmam a correlação aproximadamente linear entre os deslocamentos para o vermelho (*redshifts*) e as distâncias às galáxias exteriores, já a cosmologia relativista tinha produzido várias soluções teóricas capazes de explicar as observações astronómicas, mas é compreensível que as primeiras tentativas de explicação se tenham circunscrito à física mais convencional. O primeiro a responder ao desafio foi Fritz Zwicky (1898-1974) do Instituto de Tecnologia da Califórnia. Zwicky, que aceitava a relatividade geral, tentou encontrar uma explicação para os *redshifts* no “arrastamento” gravitacional da luz. Para Zwicky, a teoria da relatividade permite atribuir a um *quantum* de luz de energia  $hf$  uma massa inercial e uma massa gravitacional  $hf/c^2$ . Ao passar junto de uma grande massa, além de ser defletido, transfere momento e energia para essa massa. Nesse processo, o *quantum* de luz muda a sua energia e a sua frequência. Porém, ao confrontar os seus cálculos com os dados de Hubble, Zwicky não ficou convencido com a sua explicação e voltou ao tema em 1933, admitindo agora duas outras possíveis explicações para os *redshifts* observados: a expansão geral do Universo, tal como era sugerida por um modelo cosmológico entretanto proposto por Einstein e De Sitter, publicado pouco antes, e a sua própria explicação baseada na interação entre a radiação das galáxias distantes e a matéria intergaláctica, mas conclui que nenhuma destas explicações é satisfatória. Nesse artigo de 1933, Zwicky refere-se pela primeira vez à probabilidade de existência de *matéria escura*. O universo de Einstein-De Sitter, foi publicado em 1932, e pode ser considerado como uma solução de referência na cosmologia de Big Bang durante grande parte do século XX.

Nos últimos anos, vários autores têm chamado a atenção para alguns equívocos acerca do Big Bang e, em particular, do significado da expansão do Universo, embora sem discutir a questão da autoria da descoberta. Por exemplo, num artigo recente [10] os autores afirmam: “Embora mais de 75 anos tenham passado desde a descoberta de Hubble do Universo em expansão, continua a existir alguma confusão acerca da forma como a expansão deve ser interpretada.” Mas os autores não têm nenhuma dúvida em atribuir a descoberta da expansão do Universo a Hubble, só questionam algumas das interpretações vindas a lume nos últimos anos acerca do significado da expansão do Universo.

Numa publicação recente de J.P. Luminet (1951- ) [11] encontramos uma referência muito clara acerca da prioridade da descoberta da expansão do Universo, bem como uma clara afirmação sobre o significado atual da expansão do Universo, a propósito do artigo de Lemaître de 1927, “Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques”. Luminet diz que:

A grande novidade (deste artigo) era que Lemaître fornecia a primeira interpretação dos redshifts cosmológicos em termos da expansão do espaço, em vez de ser um movimento real das galáxias; ou seja, deve entender-se que o espaço entre as galáxias está constantemente a expandir-se e por conseguinte as separações aparentes entre galáxias crescem.

Nele, Lemaître obtinha uma solução exata das equações de Einstein, num espaço com curvatura positiva e topologia elíptica, densidade de matéria e pressão variáveis no tempo, e  $\Lambda > 0$ . Isto leva-o a um universo com uma expansão continuamente acelerada, com uma constante cosmológica ajustada para que o raio  $R(t)$  do espaço, uma hiper-esfera  $S^3$ , cresça constantemente a partir do valor do raio da hiper-esfera estática de Einstein ( $R_E$ , em  $t = -\infty$ ). Desta forma eliminava a singularidade no passado e resolvia o problema da idade do Universo. Num artigo publicado na revista *Nature* em 1931, Lemaître [12] substitui a singularidade do instante  $t=0$  por um único átomo contendo toda a matéria e energia. Nesse artigo, Lemaître via a evolução cósmica, depois do decaimento do átomo primordial, como o resultado do desequilíbrio entre duas forças cósmicas opostas: a gravitação e a energia escura (para usar uma denominação moderna), que estava materializada na constante cosmológica  $\Lambda$ , e que Lemaître associava com a energia do vácuo. Note-se que mesmo depois de Einstein ter



abandonado a constante cosmológica em 1931, Eddington e Lemaître continuaram a acreditar na sua importância. Durante uma conferência da União Astronômica Internacional em Cambridge (Massachusetts), em 1932, Eddington deu uma lição sobre “O Universo em expansão”, que daria origem a um livro com o mesmo nome [13], em cujo prefácio Eddington chama a  $\Lambda$  a “mão escondida” na história da expansão. Mas Eddington e Lemaître tinham diferentes pontos de vista em relação ao início do universo: Eddington e seus colaboradores insistiam numa expansão a partir de um estado estático instável, enquanto Lemaître favorecia um início explosivo.

Voltando à energia escura e à sua relação com  $\Lambda$ , em 1998 os cosmólogos foram surpreendidos pelas investigações de dois grupos americanos liderados por Saul Perlmutter e Adam Riess, que juntamente com Brian Schmidt receberam mais tarde o Nobel da Física de 2011, por terem mostrado, a partir da observação de Supernovas de tipo Ia, que o Universo está já há algum tempo, aproximadamente há 5 ou 6 milhares de milhões de anos atrás, em expansão acelerada. Essa aceleração implica uma forma de energia que permeia todo o espaço e que representa cerca de 75% da densidade de energia do Universo: note-se que a constante cosmológica está associada a uma forma de energia com características notáveis: a sua densidade de energia tem o mesmo valor para qualquer observador, independentemente da sua posição no espaço e da forma como se move, o que é bastante anormal. Em geral, a energia está associada com a matéria e existe um observador privilegiado, que se move com essa matéria. Mas com  $\Lambda$  é diferente, pois todos os observadores medem o mesmo valor para a densidade de energia associada a este fluido que representa a energia escura do universo. Embora não exista a certeza sobre se a energia escura existe na forma de uma constante cosmológica, toda a evidência que temos neste momento aponta nesse sentido. Num futuro próximo saberemos se esta forma de energia é realmente constante no espaço e no tempo. A questão da origem em natureza da energia escura, é um dos enigmas mais misteriosos e que ocupa hoje muitos físicos teóricos e astrofísicos que procuram desvendar os mistérios do Universo. Na restante densidade de energia contida no Universo, aproximadamente 25%, a matéria usual representa menos de 5%, sendo a maior parte constituída por matéria escura, inicialmente sugerida por Zwicky, e cuja constituição exata também não é conhecida. Há pois muito ainda para investigar e conhecer pelos atuais e futuros físicos e astrofísicos. Aliás, é muito possível que o processo de descoberta e compreensão do Universo seja um caminho sem fim.

## Referências bibliográficas

- [1] Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 322 (10), 891-921.
- [2] Niven, W. D. (Ed.) (1890), *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. 2 Volumes. Cambridge: Cambridge University Press.
- [3] Galison, P. (2005). *Os Relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré*, (pp. 248 e seguintes), Lisboa: Editora Gradiva, Coleção Ciência Aberta.
- [4] Galison, P. (2005). *Os Relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré*, (pp. 185-86), Lisboa: Editora Gradiva, Coleção Ciência Aberta.
- [5] Mota, E., Crawford, P. & Simões, A. (2009). Einstein in Portugal: Eddington's expedition to Principe and the reactions of Portuguese astronomers (1917-1925). *British Journal of History of Science*, 42(2), 245-273.
- [6] Robert Schulmann, Kox, A. J., Janssen, M. & Illy, J. (Eds) (1998). *The Collected papers of Albert Einstein. Vol. 8. The Berlin Years: Correspondence, 1914-1918*. Princeton University Press.
- [7] Einstein, A. et al. (1972). *O princípio da relatividade*, 1ª ed. (pp 225-241). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- [8] Crawford, P. (1995). O Significado da Relatividade no Final do Século, *Colóquio Ciências*, 16, 3-26.
- [9] Hubble, E. (1929). A Relation Between Distance and Radial Velocity. Among Extra-Galactic Nebulae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 15 (3), 168.
- [10] Grøn, Ø. e Elgarøy, Ø. (2007), Is space expanding in Friedmann universe models, *American Journal of Physics.*, 75 (2), 151-157.
- [11] Luminet, J. P. (2011), Editorial note to: George Lemaître, The beginning of the world from the point of view of quantum theory, *General Relativity and Gravitation*, 43 (10), 2911-2928.
- [12] Lemaître, G. (1931), The beginning of the world from the point of view of quantum theory. *Nature*, 127, 706.
- [13] Eddington, A. S. (1933). *The Expanding Universe*. Cambridge. Cambridge University Press.

## O ANO INTERNACIONAL DO PLANETA TERRA EM PORTUGAL<sup>20</sup>

Carlota Simões

Centro de Física Computacional, Departamento de Matemática e Museu da Ciência,

Universidade de Coimbra

[carlota@mat.uc.pt](mailto:carlota@mat.uc.pt)

Resumo: O objectivo do Ano Internacional da Matemática do Planeta Terra (MPT) foi o de incentivar a investigação, a educação, a divulgação e a cooperação em áreas interdisciplinares relacionadas com a Matemática e o Planeta Terra. As instituições portuguesas que foram parceiras internacionais do MPT responderam da melhor forma, desenvolvendo actividades de grande qualidade nas quatro frentes, que tiveram grande impacto no público também graças aos *media partners* do MPT. Talvez a maior conquista da participação de Portugal neste projecto tenha sido a criação de parcerias, não só entre instituições nacionais, mas também com outros países. Contando com a Rádio e Televisão de Portugal como *media partner*, o MPT2013 foi uma oportunidade imperdível para aumentar o reconhecimento público da matemática. No final do ano de 2013, a Comissão Internacional lançou um desafio a todos os organizadores no sentido de dar seguimento ao projecto Matemática do Planeta Terra (MPT), mantendo os objectivos do MPT2013. Neste texto mostramos um pouco do que se fez em Portugal durante 2013 e indicamos caminhos para o que poderá vir a ser o MPT no futuro.

Palavras-chave: matemática, Terra, astronomia.

---

<sup>20</sup> Texto baseado na videoconferência transmitida do Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para a ilha do Príncipe, no dia 9 de novembro de 2013 a propósito do eclipse parcial do Sol que ocorreu naquela região em 3 de novembro de 2013.

## Introdução

O Ano Internacional da Matemática do Planeta Terra (MPT2013) nasceu de um desafio lançado por Christiane Rousseau, na Índia, durante o Congresso Internacional de Matemática em 2010, com o objectivo de desenvolver actividades que mostrem como a matemática desempenha um papel central em questões relacionadas com o Planeta Terra<sup>21</sup>. As actividades do MPT2013 em Portugal<sup>22</sup>, de cariz nacional e alargadas à CPLP, foram coordenadas por um Comité Executivo onde estavam representados a Comissão Nacional da UNESCO/Ministério dos Negócios Estrangeiros, o Ministério da Educação e Ciência, a Fundação para a Ciência e Tecnologia, a Agência Ciência Viva, o Centro Internacional de Matemática, a Sociedade Portuguesa de Matemática, a Associação de Professores de Matemática, a Associação LUDUS, o Museu da Ciência da Universidade de Coimbra e o Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa e contou ainda com representantes na Madeira, nos Açores e em São Tomé e Príncipe. Para além das instituições representadas no comité executivo, da Comissão de Entidades Representadas<sup>23</sup> faziam parte várias dezenas de instituições nacionais que também desenvolveram actividades no âmbito do MPT2013, entre as quais centros de ciência, museus, departamentos de matemática, centros de investigação e escolas de todo o país. Contando com a Rádio e Televisão de Portugal como *media partner*, o MPT2013 foi uma oportunidade imperdível para aumentar o reconhecimento público da matemática. No final do ano de 2013, a Comissão Internacional lançou um desafio a todos os organizadores no sentido de dar seguimento ao projecto Matemática do Planeta Terra (MPT), mantendo os objectivos do MPT2013. De acordo com Irina Bokova, Directora Geral da UNESCO,

a iniciativa MPT vai ao encontro do trabalho da UNESCO no sentido de promover as ciências e a educação em ciência, especialmente através do Programa Internacional para as Ciências Básicas. A Matemática faz avançar a investigação fundamental e tem um papel importante na nossa vida diária. [...] Com este espírito, recomendamos vivamente prolongar este programa para além de 2013.

---

<sup>21</sup> Site oficial internacional: [www.mpe2013.org](http://www.mpe2013.org).

<sup>22</sup> Site oficial nacional: [www.mpt2013.pt](http://www.mpt2013.pt).

<sup>23</sup> A lista completa pode ser consultada no site oficial nacional.

Neste texto, que não pretende ser exaustivo, mostramos um pouco do que se fez em Portugal durante 2013 e indicamos caminhos para o que poderá vir a ser o MPT no futuro.

## Programa Científico

O projecto MPT começou por ser um desafio proposto à comunidade científica. Em Portugal, o Centro Internacional de Matemática (CIM) respondeu de forma exemplar a este desafio, organizando as conferências internacionais *Mathematics of Energy and Climate Change* em Março, e *Dynamics, Games and Science* em Setembro<sup>24</sup>. No seguimento destas conferências, uma nova série de publicações, *CIM Series in Mathematical Sciences* (CIM-MS), será publicada pela Springer-Verlag. Os dois primeiros volumes da série CIM incluirão os trabalhos apresentados nas duas conferências organizadas pelo CIM no âmbito do MPT2013.<sup>25</sup>



Figura 1 - Entrega da medalha CIM a J. A. Perdigão Dias da Silva durante a conferência internacional *Mathematics of Energy and Climate Change*.

## Exposições

Qualquer um de nós pode conhecer matemática dos nossos avós visitando a exposição permanente *Jogos Matemáticos através dos Tempos*, no Museu Nacional de História

<sup>24</sup> A programação completa encontra-se em <http://www.mat.uc.pt/mpt2013/programacao.html>.

<sup>25</sup> <http://tinyurl.com/qbobx73>.

Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa, ou requisitando a exposição *Medir o Tempo, Medir o Mundo, Medir o Mar* da Sociedade Portuguesa de Matemática ou a exposição *Problemas com Conta, Peso e Medida* da Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Castelo Branco<sup>26</sup>. Podemos também encontrar relações entre *Matemática e a Natureza* requisitando a exposição com o mesmo nome reformulada pela Associação de Professores de Matemática no âmbito do Ano Internacional da Matemática do Planeta Terra, e que aborda quatro temas principais, a dizer: o Reino Animal, o Reino Vegetal, os Mapas e a Curiosidade. E ao longo de 2013 foram várias as exposições que abriram portas ao grande público.

IMAGINARY – MATEMÁTICA E NATUREZA foi uma exposição sobre a matemática e as formas que encontramos na natureza, e uma oportunidade para aprender conceitos básicos sobre geometria e álgebra de forma lúdica e apelativa. Através de um conjunto de 12 imagens de formas geométricas, desenhadas em computador por matemáticos e artistas, IMAGINARY convidava o visitante a descobrir as equações matemáticas que estão na sua origem e a reinventá-las através de *software* interactivo. As imagens eram confrontadas com colecções de conchas, minerais e modelos de cristais de formas geométricas do Museu da Ciência da Universidade de Coimbra, e ainda modelos matemáticos centenários do Departamento de Matemática da FCTUC.<sup>27</sup>



Figura 2 - Exposição IMAGINARY – Matemática e Natureza em Coimbra

<sup>26</sup> O sítio oficial do MPT2013 disponibiliza informações acerca de diversos recursos didácticos, incluindo uma longa lista de exposições requisitáveis pertencentes a diversas instituições nacionais.

<sup>27</sup> Site oficial: <http://tinyurl.com/lswyckw>.

*Simões*

FORMAS E FÓRMULAS, ainda em exibição durante 2014, é uma exposição que mostra como imagens e conceitos da Geometria e da Álgebra interactuam e se completam, ligando fórmulas matemáticas com modelos geométricos, com objectos de uso comum e com formas de arquitectura. Também esta exposição pretende exibir lado a lado objectos produzidos através de tecnologia do Séc. XXI e modelos centenários pertencentes ao espólio do Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa.<sup>28</sup>



Figura 3 - Exposição Formas e Fórmulas em Lisboa

360° CIÊNCIA DESCOBERTA - Felizes os que visitaram a exposição temporária 360° na Fundação Calouste Gulbenkian, aberta ao público de Março a Junho de 2013, e que literalmente tratou os nossos avós pelos seus nomes: uma parede repleta de nomes homenageava centenas de portugueses dos Séculos XV e XVI, heróis anónimos que protagonizaram aquele extraordinário período da história, quantos deles especialistas em matemática do planeta Terra.

### **Bons Raios te Meçam**

Este projecto consiste na reprodução de uma experiência realizada pela primeira vez há mais de dois milénios, por Eratóstenes (276 a.C. - 194 a.C.). Analisando a sombra de

---

<sup>28</sup> Site oficial: <http://cmf.fc.ul.pt/~formas-formulas/pt/>.

objectos em dois lugares diferentes, ao meio dia solar, Eratóstenes foi o primeiro a apresentar um valor para o raio da Terra, mostrando ser possível medir o raio da Terra usando os raios solares. Durante 2013, esta experiência foi realizada durante os solstícios e equinócios em diversos locais de Portugal Continental, Açores e Madeira, mas também na ilha do Príncipe. A experiência voltará a ser repetida em diversas ocasiões durante 2014<sup>29</sup>.



Figura 4 - Bons raios te meçam, no Solstício de Inverno de 2013

## Matemática Urbana

Os padrões regulares que encontramos na calçada portuguesa tradicional, em calcário e basalto, são passíveis de uma catalogação matemática, havendo um número limitado de padrões regulares para passeios (sete) e para praças (dezassete). No âmbito do MPT tem vindo a ser feito o levantamento de padrões matemáticos das calçadas em diversas ilhas dos Açores, existindo já roteiros para as ilhas do Pico e da Terceira e para as cidades de Angra do Heroísmo, de Ponta Delgada e da Horta. Para a cidade de Lisboa já existia o roteiro *Simetria Passo a Passo*, mas o levantamento está a ser actualizado e estão a ser preparados passeios pela cidade com o objectivo de dar a conhecer este magnífico património. O objectivo seguinte é fazer aparecer novos padrões em novas calçadas, de

---

<sup>29</sup> As medições e os resultados obtidos no dia 21 de Junho podem ser consultados no site oficial. A inscrição na actividade a decorrer em datas futuras é feita também no mesmo site.



modo a completar a lista de padrões matemáticos: em várias cidades dos Açores, pretende-se completar a lista dos sete padrões em passeios; em Lisboa, onde já existem os sete padrões possíveis em passeios, o objectivo é completar todas as dezassete possíveis simetrias no plano em praças da cidade que estejam por calçetar, ou em espaços que estejam a ser recuperados<sup>30</sup>. Este projecto é muito bem vindo em 2014, o Ano Internacional da Cristalografia.

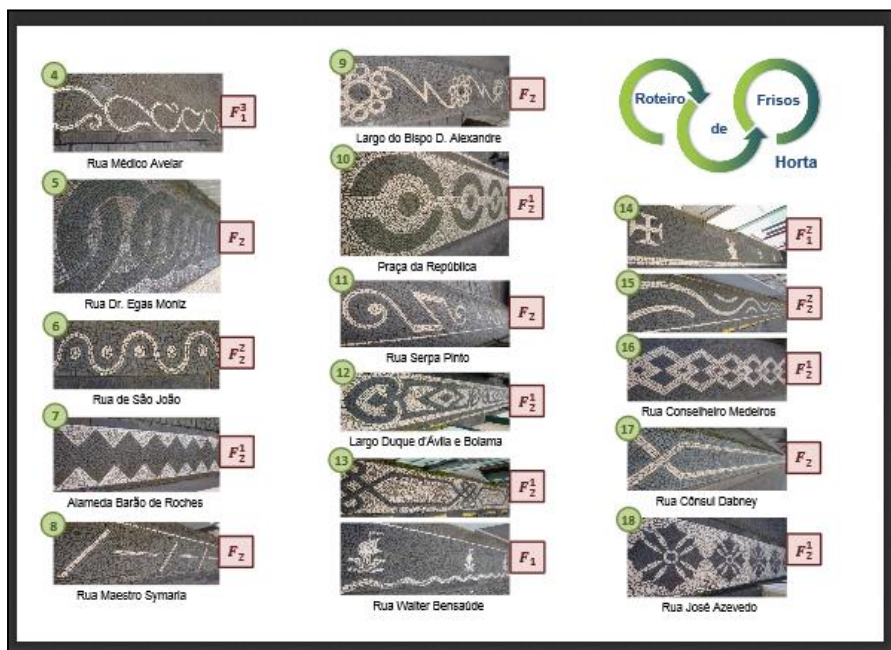


Figura 5 - Roteiro de frisos da cidade da Horta

## A Matemática dos Nossos Avós

Este é um projecto aberto a todas as instituições que a ele se queiram associar, que surge no âmbito do MPT2013, e que consiste na recolha e divulgação pelo grande público de conhecimento histórico, popular ou tradicional relacionado com matemática. Este saber encontra-se nos métodos tradicionais de contar ou medir, nas formas geométricas que se encontram nos bordados ou na calçada portuguesa, nos jogos medievais, mas também no conhecimento de astronomia e geografia que tinham os sábios gregos da antiguidade ou os navegadores portugueses dos Séculos XV e XVI. Este projecto é uma ótima forma de divulgar e promover a História da Matemática junto do grande público, o que tem vindo a acontecer sob a forma de exposições, actividades, palestras, livros e artigos

<sup>30</sup> Matemática Urbana é o nome escolhido para o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido pelo MPT2013 no sentido de motivar o público para a matemática que se encontra nas nossas cidades, seja nos padrões das calçadas, nos painéis de azulejos ou mesmo nas varandas em ferro forjado das varandas.

em jornais. A lista que se segue é uma pequena mostra do que tem vindo a ser feito neste contexto.

**ARITMÉTICA MEDIEVAL** - Os tratados de aritmética publicados em Portugal no século XVI tinham como objectivo principal responder às necessidades de formação profissional no mundo mercantil. Apesar do tempo que nos separa desses tratados, os enunciados dos problemas são ainda hoje muito apelativos, como pudemos comprovar ao organizar palestras com esta temática junto do grande público<sup>31</sup>.

**MATEMÁTICA DOS DESCOBRIMENTOS** - Os instrumentos usados em navegação no tempo dos descobrimentos permitiam determinar posições em Terra a partir das posições dos astros. O cálculo da latitude era feito com a ajuda de um astrolábio, mas para a determinação da longitude faltava um instrumento que permitisse medir o tempo com rigor em alto mar, o que só surgiu no Séc. XVIII: o cronómetro de Harrison. Ao dar a conhecer os procedimentos matemáticos e os instrumentos utilizados ao longo dos tempos para o cálculo da posição, o MPT2013 tem vindo a divulgar também o património científico de diversos museus do nosso país.

## **Livros**

À medida que o tempo for passando, de iniciativas como o MPT2013 restará o que ficar escrito. Das exposições *Matemática e Natureza* de Coimbra e *Formas e Fórmulas* de Lisboa restarão os catálogos ([4] e [5]). Em 2012, a Gradiva publicou uma colectânea de textos relacionando a matemática com a literatura e o conhecimento popular [1] que tem servido de inspiração para actividades no âmbito da matemática dos nossos avós. Ainda em 2013, será publicado *O Livro de Jogos de Afonso X, o Sábio* [6], um avô nobilíssimo de todos nós, e um debate acerca de uma questão ainda em aberto na área dos descobrimentos [2].

E para regressar ao presente, nada melhor que a leitura dos dezassete magníficos textos que nos mostram como a Matemática do Planeta Terra é “incontornável para enfrentar os problemas climáticos, demográficos, ecológicos, económicos, energéticos, sociais, ou tecnológicos contemporâneos” [3].

---

<sup>31</sup> No site oficial do MPT2013, encontra-se o programa completo de palestras no âmbito d'A Matemática dos nossos avós.

## Einstein e a Ilha do Príncipe

No dia 29 de Maio de 1919, ocorreu um eclipse total do Sol, visível na ilha do Príncipe. A sua observação e o estudo dos resultados obtidos permitiram a confirmação da Teoria da Relatividade Geral de Einstein. A ocorrência de um novo eclipse total durante o ano de 2013, visível da ilha do Príncipe, é uma serendipidade que o MPT2013 não podia deixar de aproveitar. A teoria da relatividade é já do tempo dos nossos avós, mas no dia 3 de Novembro de 2013 houve novo eclipse no velho local, para recordar o feito histórico de 1919 e promover a matemática - do planeta Terra, do satélite Lua e da estrela Sol - que validou a teoria da relatividade. Foi este o tema principal do evento ECLIPSE 2013 – História e Ciência no Príncipe, um evento que se realizou na ilha do Príncipe, com dois objectivos principais: por um lado promover e divulgar a Ciência; por outro reafirmar o legado científico da ilha do Príncipe na História das ciências. Destinado a toda a sociedade civil, foi de extrema importância para a comunidade científica, para professores e para alunos.



Figura 6 - Trilha da Ciência, ilha do Príncipe, 29 de Maio de 2013

## Conclusão

O Ano Internacional da Matemática do Planeta Terra foi uma ótima oportunidade para estabelecer pontes entre a comunidade científica, educadores e população em geral. Projectos como Bons Raios te Meçam e ECLIPSE 2013 – História e Ciência no

Príncipe tiveram ainda a particularidade de estabelecer contactos e relações entre diversos países de língua oficial portuguesa. Cabe agora ao MPT e a todas as instituições envolvidas aproveitar da melhor maneira contactos, parcerias e ideias que nasceram e frutificaram durante o Ano Internacional da Matemática do Planeta Terra.

### Referências bibliográficas

- [1] Guimarães, A. P. & Araújo, A. (org.) (2012). *Contas × Contos × Cantos e que +, Cumplicidades entre Literatura e Matemática*. Lisboa: Gradiva.
- [2] Simões, C. & Domingues, F. C. (coord.) (2013). *Portugueses na Austrália*. Coimbra: Imprensa da Universidade.
- [3] Costa, F. P., Pinto, J. T. & Buescu, J. (ed.) (2013). *Matemática do Planeta Terra*. Lisboa: IST Press.
- [4] Formas e Fórmulas (2013). Catálogo de Exposição. Lisboa: Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa.
- [5] IMAGINARY - Matemática e Natureza (2012) Catálogo de Exposição. Coimbra: Museu da Ciência da Universidade de Coimbra.
- [6] Silva, J. N. (2013). *O Livro de Jogos de Afonso X, o Sábio*. Lisboa: Associação Ludus, Apenas Livros, Lda.

Nota: Por opção da autora este artigo não segue as regras do novo acordo ortográfico.

# **ASTRONOMIA, UMA PODEROSA FERRAMENTA PARA CONSTRUIR O FUTURO!!**

Rosa Doran

NUCLIO – Núcleo Interativo de Astronomia

[rosa.doran@nuclio.pt](mailto:rosa.doran@nuclio.pt)

Resumo: O legado de uma geração são as gerações que vêm a seguir. Construir uma consciência global acerca da importância da vida neste planeta e a magia da ciência que explica a causa das coisas é uma tarefa da maior importância. A Astronomia, como uma ferramenta para o ensino das ciências, é uma ferramenta com muitas facetas e que abre a possibilidade de explorarmos diversos domínios do saber, desde os confins do Universo até uma pequena pétala de uma flor e os seus principais constituintes. Ajudar os professores a adquirir as competências necessárias e o conhecimento inerente a esta caminhada é a missão do *Galileo Teacher Training Program*, um legado do Ano Internacional da Astronomia que deu origem a um movimento mundial de colaboração e partilha na área do ensino da astronomia.

Palavras-chave: Astronomia, formação para professores, cidadania global, tecnologia digital para o ensino

Abstract: The legacy of a generation is the generations coming next. Building global awareness about the importance of life in this planet and the magic of the science that explains how this can happen is a task of uttermost importance. Astronomy, as a tool for the science teaching is a multi-layered tool and opens the exploration to several different domains ranging from the exploration of our Universe to a small petal of a flower and its main constituents. Empower teachers with knowledge and tools to walk this road is the mission of the *Galileo Teacher Training Program*, a legacy of the International Year of Astronomy that gave birth to a global movement of collaboration and sharing in the field of astronomy education.

Keywords: Astronomy, teacher training, global citizenship awareness, ICT for education

## **Astronomia, uma ferramenta para desenvolvimento sustentável**

Astronomia – palavra de origem grega que significa a lei das estrelas - astron (ἄστρον) + nomos (νόμος). No dicionário português - Ciência que estuda a posição, os movimentos e a constituição dos corpos celestes. Nas mãos dos cientistas que dedicam a sua vida a esta tão importante ciência – a fonte de conhecimento que por vezes nos deixa ver pedacinhos da nossa origem e nos faz refletir sobre quem somos e o que estamos aqui a fazer. Todos os seres humanos deviam ser astrónomos, não necessariamente profissionais dedicados à investigação, mas sim membros de uma espécie que ainda tem tanto que aprender sobre a sua própria origem e que desesperadamente tenta controlar o seu futuro.

Compreender as leis da natureza, as leis que regem o nosso Universo, a diversidade de espécies e soluções que a harmonia das constantes fundamentais nos apresenta, pode ser um dia a nossa salvação. O desenvolvimento sustentável é muito mais do que preservar o planeta Terra. Aliás, que fique bem claro, o planeta Terra nunca esteve ameaçado, o que se destrói a passos largos são as condições para estarmos cá. Uma espécie, que se quer inteligente, preocupa-se com o seu futuro, aprende com os erros do passado e questiona-se sobre o seu futuro. O “saber” da astronomia é o saber da nossa própria essência, é conhecer de onde viemos e o que é necessário fazer para que cá continuemos por muito mais tempo. Preocupar-se com o “saber” da Astronomia é muito mais do que saber o nome das constelações, é preocupar-se com o saber fundamental acerca da nossa origem e ter consciência acerca do que realmente são os valores pelos quais devemos lutar. Desenvolvimento sustentável só acontecerá no dia em que esta espécie que se diz racional perceber que a Astronomia estuda as estrelas, o berço de onde surgiu tudo o que somos “nós”... agregados de poeira das estrelas.

## Astronomia, uma ciência que engloba muitas ciências



Figura 1 – O trilho da ciência em Príncipe recheado de Astronomia

A astronomia, pela sua multidisciplinaridade, é uma ferramenta fabulosa para o ensino. Desde a trigonometria das distâncias astronómicas, da geologia dos meteoritos, da biologia nas fossas abissais até à matéria-prima dos nossos alimentos, uma multitude de conteúdos e conceitos podem ser ensinados recorrendo-se à astronomia. Permite promover uma aprendizagem significativa, contextualizada, centrada no aluno e em muitas ocasiões com oportunidade de fazer investigação científica que pode mesmo ser comparada à investigação que se faz nos grandes centros de investigação [1].

A exploração espacial, essencial para o avanço do nosso conhecimento sobre o Universo que nos rodeia e as nossas origens, promove o desenvolvimento industrial e a capacitação de mão de obra qualificada em muitas áreas desde a engenharia, geologia, física, química até às artes e leis. A necessidade de ultrapassarmos importantes barreiras que surgem quando pequenos seres de um minúsculo planeta pretendem explorar o cosmos leva ao desenvolvimento de tecnologia de ponta, que resolve os desafios impostos pela necessidade de saber mais e ao mesmo tempo traduz-se em tecnologia à disposição do cidadão. Avanços tecnológicos que aumentam o conforto nas nossas casas, ampliam os nossos sentidos, salvam vidas e muito mais.

Nas artes, a astronomia é desde sempre uma importante fonte de inspiração, que nos faz conscientes da nossa pequenez, mas ao mesmo tempo da grandiosidade que é a vida.

Um saber que nos faz humildes e ao mesmo tempo grandiosos. Humildes por saber a nossa posição neste imenso Universo, grandiosos pela capacidade de ver mais longe, de atingir o inatingível. É assim o ser humano, fruto do milagre da vida, que por enquanto é única, mas vislumbrada milhares de milhões de vezes em cada pedacinho do céu.

## Professores Pioneiros



Figura 2 – Parceiros do *Galileo Teacher Training Program* em São Tomé e Príncipe

Preparar as futuras gerações é uma missão importante, senão mesmo a mais importante. Cabe ao professor imaginar o que será o futuro e colocar nas mãos dos pequenos aprendizes as ferramentas necessárias para que eles possam abraçar o futuro com confiança e determinação. Pede-se aos educadores, vezes sem conta, que sejam pioneiros, inovadores, desbravadores de território. Pede-se aos professores que sejam timoneiros, amigos, tutores e videntes. Este esforço, nem sempre reconhecido, deve ser apoiado, semeado e acarinhado.

A missão do *Galileo Teacher Training Program* (GTTP) é apoiar os docentes nesta difícil jornada. Este programa, que nasceu durante o Ano Internacional da Astronomia 2009 [2], tem hoje representantes em cerca de 100 países e já chegou a mais de 20 000 professores. O objetivo deste movimento é criar uma rede de suporte que apoie a caminhada dos professores garantindo sempre a existência das ferramentas necessárias para a localização do saber. Esse suporte é garantido de várias formas: formações presenciais, formações online, redes sociais, etc.

A preocupação do GTTP é garantir que jovens em todo o mundo tenham oportunidades iguais, que o estudante numa escola em Portugal, com o seu tablet na mão, saiba o valor



*Doran*

do património mundial que é a natureza, que saiba a sua importância e respeite o seu equilíbrio. É garantir também que um jovem no Príncipe, uma ilha paradisíaca pela sua natureza, pela sua gente e pelos seus sabores, tenha o direito de aprender os mesmos conteúdos que o seu congénere em Portugal.

Este trabalho desenvolve-se já há vários anos e vem conseguindo angariar voluntários um pouco por todo o mundo. A receita [3] vai sendo repetida, adaptada e melhorada. A esperança é que os professores que vão sendo alcançados passem a ser eles próprios veículos de mais suporte para outros que ainda estão no caminho.

## **Estudantes do mundo**

Os objetivos de aprendizagem das novas gerações devem conter, de forma estruturante, os pilares da educação definidos pela UNESCO como fundamentais para a construção do saber: aprender a aprender, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser.

Num recente relatório da Comissão Europeia encontramos ainda uma série de indicações relativas às competências necessárias aos cidadãos da União Europeia e sugestões de como estas competências devem ser avaliadas pelos estados membros. Trata-se de um importante documento, escrito à luz dos novos desafios que encontrarão as novas gerações e das competências que se desejam para uma União Europeia livre e capaz [4]. Abaixo segue-se um breve resumo deste importante documento, que enriquece os pilares já estabelecidos pela UNESCO. Competências mais importantes:

- **Ler, escrever, falar e ouvir** – língua materna e línguas estrangeiras.
- Capacidade de resolver operações matemáticas básicas, resolução de problemas, pensamento crítico, iniciativa e criatividade.
- **Aprender a aprender**: atitudes face à aprendizagem, organização e gestão das atividades, reflexão sobre as aprendizagens e autoavaliação.
- Competências cívicas e sociais;
- **Competências digitais**: comunicar de forma responsável e segura, comunicação e colaborações *online*, capacidade de reflexão sobre processos e resultados (incluindo qualidade e fiabilidade de conteúdos e processos).
- Iniciativa e empreendedorismo; consciência cultural e capacidade de expressão.

Para que estes objetivos sejam atingidos, o papel do professor é fundamental devendo garantir [5]: uma organização processual adequada; propor tarefas que estejam de acordo com as competências e conhecimentos que se querem construir/transmitir; definir adequadamente as suas estratégias; criar um mecanismo eficiente de *feedback*; criar, em sala de aula, um clima adequado para a comunicação entre aluno/professor e entre os alunos. Para os alunos também há um número importante de responsabilidades que devem ser assumidas (e essa responsabilidade DEVE ser exigida): participar ativamente nos processos de aprendizagem e avaliação; desenvolver as tarefas que lhe são propostas; utilizar o *feedback* fornecido pelo professor para melhorar a sua aprendizagem; autoavaliar o seu trabalho e organizar o seu processo de aprendizagem.

A maior parte das competências são transdisciplinares, o que pode ser problemático a nível de avaliação. Isso requer que o planeamento das aprendizagens, seja concebido de forma a promover altos índices de transferência aos contextos do dia-a-dia fora das aulas. A vida não é departamentalizada, dividida em várias disciplinas e áreas do saber. Ensinar a aprender, ser, estar ou fazer requer ensinar a aplicar aprendizagens de forma multidisciplinar. Tão ou mais importante que a enumeração das competências acima é a forma como avaliamos a efetividade da sua transmissão e a capacidade dos aprendizes.

### **Países de língua oficial portuguesa com oportunidades iguais.**

Como se mede o sucesso de um projeto como o GTTP? Talvez pelo número de professores que conseguimos atingir, talvez pelo número de estudantes que, pelas mãos desses talentosos professores, conseguem ir muito mais além. Para os coordenadores do GTTP, o sucesso mede-se pelos obstáculos ultrapassados, pelas barreiras derrubadas e pelas oportunidades partilhadas. Com o intuito de garantir iguais oportunidades a todos, a organização coordenadora do GTTP, em parceria com importantes parceiros dos países de língua oficial portuguesa, vai embarcar num grande desafio, a criação de um Centro de Excelência em Astronomia para a Língua Portuguesa. Esta oportunidade surge no âmbito da implementação do plano estratégico da União Astronómica Internacional [6] para os próximos 10 anos e que prevê a criação de centros regionais e idiomáticos.

O *Portuguese Language Expertise Center (PLEC)* teve um primeiro importante momento no Príncipe, no âmbito das celebrações do Eclipse em 2013. As primeiras pedras desta importante iniciativa foram lançadas e neste momento preparam-se as

*Doran*

bases para esta ambiciosa empreitada. Estarão envolvidos nesta iniciativa todos os países de língua oficial portuguesa: Angola, Brasil, Cabo Verde, Moçambique, Portugal, São Tomé e Príncipe e Timor Leste e ainda Goa e Macau.

A missão do PLEC será vasta, mas nas alíneas fundamentais estão entre outros objetivos:

- Garantir que professores e estudantes de todos os países representados têm oportunidades semelhantes de ensino e aprendizagem. Localizar e adaptar recursos e boas práticas às realidades locais,
- Criar sinergias entre as universidades de cada país, possibilitando o crescimento do número de investigadores dedicados às ciências da Terra e do Espaço,
- Criar sinergias entre as empresas prestadoras de serviço e a indústria que serve o mundo da exploração espacial e promover a capacitação do potencial humano existente em cada país.

Esta iniciativa está a dar apenas os primeiros passos, mas começou com apoios importantes, vontades manifestas e personalidades determinadas. O Príncipe ficará certamente na história por ter sido o local em que se lançou a primeira pedra desta iniciativa que irá certamente mudar, promover mudanças significativas para muitos e abrir muitas oportunidades.

## Conclusão



Figura 3 – Palmeira em leque, parte da flora de São Tomé e Príncipe

Os momentos passados no Príncipe durante o Eclipse em 2013, as aprendizagens que se fizeram, as partilhas de saber que tiveram lugar, o exemplo de empenho e determinação lá encontrado marcaram profundamente todos os que tiveram a possibilidade de lá estar. Fica o desejo de que as sementes plantadas floresçam rapidamente e que sejam necessárias muitas celebrações pelos sucessos que estão no caminho. O *Galileo Teacher Training Program*, espera poder contar com o apoio das diferentes entidades lá representadas e poder proporcionar às escolas, professores e estudantes recursos ricos e experiências além fronteiras. Mas acima de tudo que professores e estudantes do Príncipe possam partilhar com o mundo a beleza do seu país e a percepção tão arraigada em todos da importância de preservar o nosso património natural.

## Referências bibliográficas

[1] O Asteróide 2011 BG16 terá nome Português !!! in Portal do Astrónomo, 14-02-2011

<http://www.portaldoastronomo.org/noticia.php?id=769>

[2] Galileo Teacher Training Program - [www.galileoteachers.org](http://www.galileoteachers.org)

[3] Doran, R. et al (2010) Europlanet Best Practice Guide – Outreach activities aimed at schools and teachers (Disponível Online:

[http://www.europlanet-eu.org/images/stories/best\\_practice\\_guide\\_schools.pdf](http://www.europlanet-eu.org/images/stories/best_practice_guide_schools.pdf) )

*Doran*

[4] European Commission (2012) Rethinking Education: Investing in skills for better socio-economic outcomes-

(Disponível Online: [http://ec.europa.eu/education/news/rethinking/sw371\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/education/news/rethinking/sw371_en.pdf))

[5] Fernandes, D. (2008). Avaliação das aprendizagens: Desafios às teorias, Práticas e Políticas. Texto Editores.

[6] International Astronomical Union, Astronomy for the Developing World: Strategic Plan 2010–2020;

(Disponível Online: [http://iau.org/static/education/strategicplan\\_091001.pdf](http://iau.org/static/education/strategicplan_091001.pdf).)

## BREVE DOCUMENTÁRIO FOTOGRÁFICO DO EVENTO ECLIPSE 2013: HISTÓRIA E CIÊNCIA NO PRÍNCIPE



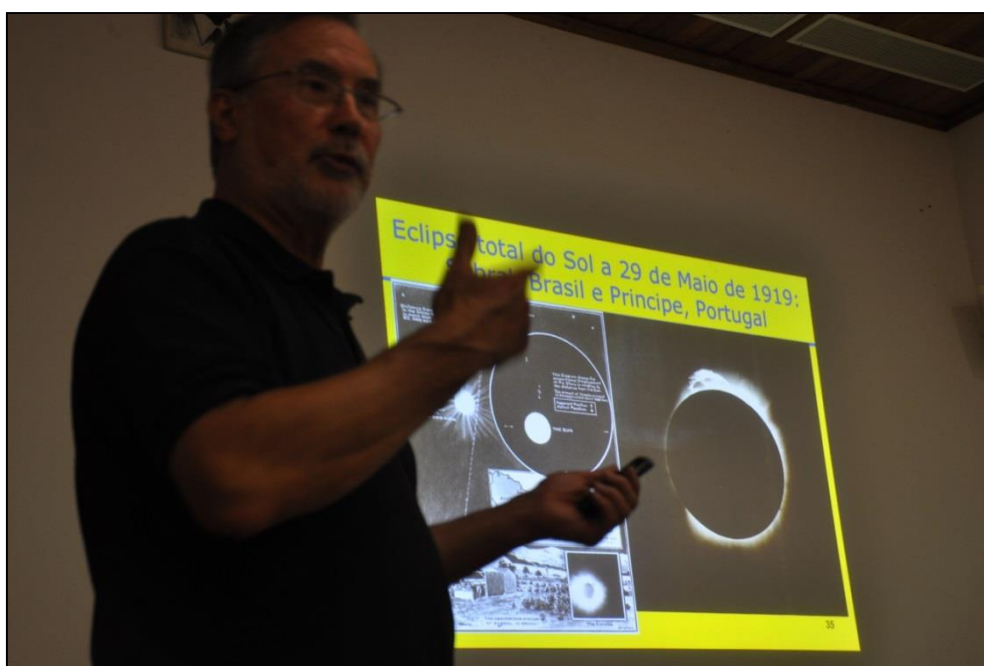
Videoconferência *A física do muito pequeno*, dinamizada por João Carvalho no Centro Cultural do Príncipe.



Sessão de esclarecimento sobre o eclipse solar para alunos da Escola Santo António II, localizada na cidade de Santo António.



Sessão de abertura do evento Eclipse 2013: História e Ciência no Príncipe com Ricardo Gafeira, representante da Comissão organizadora do Eclipse 2013, Luís Cruz, representante da HBD, Francisco Pina Gil, representante do Governo da Região Autónoma do Príncipe e Joana Latas, representante da Matemática do Planeta Terra (da esquerda para a direita), que decorreu no Centro Cultural do Príncipe.



Paulo Crawford na Conferência *Eddington: de Cambridge à ilha do Príncipe para testar a teoria de Einstein*



Primeira sessão da Mostra de Revistas Científicas com o Presidente da Região Autónoma do Príncipe, José Cassandra.

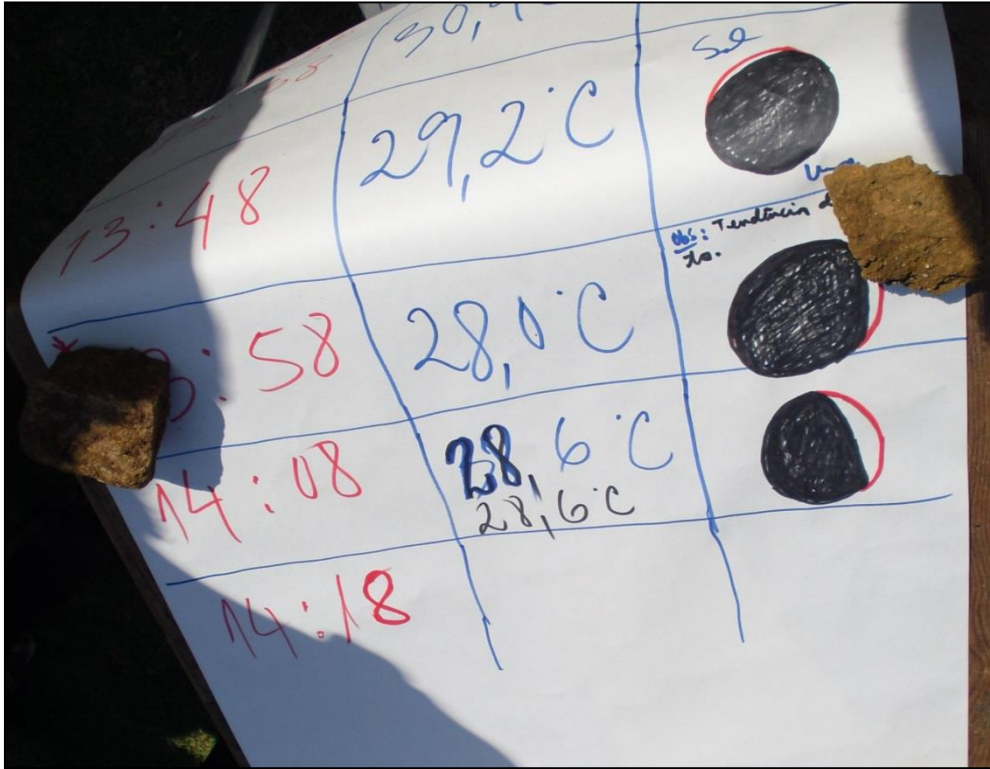


Sessão de esclarecimento sobre o eclipse solar para alunos da Escola da Sundy. Observação do Sol através de um telescópio equipado com um filtro solar.





Atividade prática sobre as fases do eclipse solar parcial realizada por alunos da Escola Santo António II sob orientação de professores da mesma escola, que decorreu durante o eclipse solar parcial, no dia 3 de novembro.



Atividade prática sobre o registo da temperatura em diferentes fases do eclipse solar parcial, que decorreu durante o eclipse solar parcial, realizada na Roça Sundry.



Observação do eclipse solar parcial na praça Marcelo da Veiga, localizada na capital de Santo António.



Observação do eclipse solar parcial na Roça Sundy.



Estação número cinco do “Trilho da Ciência”. Simulação da distorção espaço-tempo.



Estação final do “Trilho da Ciência” na Sundy, junto à placa comemorativa dos 90 anos da expedição de Eddington, em 1919, à ilha do Príncipe.



Oradores das sessões “À conversa com...”, que decorreram no Centro Cultural Português do Príncipe. Oradores: Cláudio Paulo, Ricardo Gafeira, Rogério Ferreira, Rosa Doran, Manuel Penhor e Francesca Orlandi (da esquerda para a direita, de cima para baixo).



Oradores das sessões “Mostra de Revistas Científicas”, que decorreram no Centro Cultural Português do Príncipe. Oradores: José Cassandra, Francisco Pina Gil, Ricardo Gafeira, José Menezes, Plácida Lopes e Silvestre Umbelina (da esquerda para a direita, de cima para baixo).



Vista para a baía de Santo António, do Forte da Ponta da Mina da ilha do Príncipe. Ao fundo o Pico Papagaio.



Parte dos elementos da Comissão Organizadora e convidados participantes do Eclipse 2013.

Atrás, Rita Alves, Manuel Penhor, Rosa Doran, Lúcio Carvalho, Joana Latas, Paulo Crawford e Luís Cruz. À frente, Cláudio Paulo, José Moreira, Luís Cardoso e Ricardo Gafeira, (da esquerda para a direita).

## CRÉDITOS DAS FOTOGRAFIAS

Duarte Villas

Lúcio Carvalho

Luís Cardoso

Luís Cruz

Ricardo Gafeira

Rosa Doran

