

## **A deflexão da luz pelo Sol – Revendo seus valores** **(The deflection of light by the Sun – Reviewing its values)**

Valdir Monteiro dos Santos Godoi

[valdir.mgodoi@gmail.com](mailto:valdir.mgodoi@gmail.com)

É fascinante ler “Sonhos de uma Teoria Final”, de Steven Weinberg<sup>[1]</sup>. Do início ao fim voltamos a confirmar como é permanente e incansável a trajetória da Ciência e seus cientistas. A Ciência é como uma grande novela, uma história de detetive, e nada fácil de entender. E não há um fim previsível para esta longa história.

Weinberg nos conta que depois da 1ª guerra mundial os astrônomos sujeitaram a Relatividade Geral a mais um teste experimental, a medida da deflexão dos raios de luz pelo Sol durante o eclipse solar de 1919. Os fótons num raio de luz são defletidos por campos gravitacionais na teoria de Einstein da mesma maneira que um cometa entrando no sistema solar é defletido pelo campo gravitacional do Sol à medida que faz a curva em torno do Sol e volta ao espaço interestelar. É claro que a deflexão da luz é muito menor que a deflexão de um cometa, pois a luz viaja muito mais rapidamente, do mesmo modo que um cometa rápido é menos defletido que um cometa lento.

Segundo a Relatividade Geral, a deflexão de um raio de luz muito próximo do Sol seria de 1'',75. Em 1919 astrônomos britânicos prepararam expedições para observar o eclipse solar em duas localidades do Atlântico: na cidade de Sobral, no Ceará, Brasil, e no Golfo da Guiné, África. Verificaram que a deflexão dos raios de luz de várias estrelas era, dentro das incertezas experimentais, igual ao que Einstein previa<sup>[2]</sup>. Observo que a previsão que Einstein fez em [3] era menos da metade (0'',83) que a feita posteriormente em [2], igual a 1'',7, que também é ligeiramente menor que o valor mencionado acima por Weinberg.

Depois de 1919 os astrônomos foram verificar as predições de Einstein em vários eclipses subseqüentes. Em 1922 ocorreu um eclipse visível na Austrália, em 1929 em Sumatra, em 1936 na antiga União Soviética, em 1947 no Brasil. *Algumas* dessas observações pareciam fornecer resultados que coincidiam com a teoria de Einstein, mas *várias outras* encontraram *sérios desacordos* com as predições de Einstein. E apesar de a expedição de 1919 ter relatado uma incerteza experimental de 10% na deflexão com base na observação de uma dúzia de estrelas e estarem de acordo com a teoria de Einstein em cerca de 10%, muitas das expedições posteriores acharam que era impossível conseguir tal precisão, mesmo se tivessem observado muito mais estrelas.

Weinberg, com sabedoria digna de um grande mestre, diz que é fácil imaginar todas as incertezas que surgem quando se tenta medir a deflexão da luz pelo Sol. Olha-se para uma estrela que aparece no céu perto do disco solar quando o Sol é bloqueado pela Lua. Compara-se a posição da estrela em chapas fotográficas em dois momentos diferentes separados por seis meses. O telescópio pode ter sido focado de maneira

diferente nas duas observações. A chapa fotográfica pode ter dilatado ou encolhido nesse intervalo. E assim por diante. Como em todos os experimentos, há diversas correções necessárias. Os astrônomos (e físicos e cientistas em geral) fazem essas correções da melhor maneira que podem. Mas se alguém conhece a resposta, existe uma tendência natural de continuar fazendo as correções, até que se tenha a resposta “certa”, e então parar de procurar outras correções possíveis. De fato, os astrônomos da expedição de 1919 foram acusados de ser parciais ao jogar fora as informações de uma das chapas fotográficas que estaria em conflito com as predições de Einstein, um resultado que eles atribuíram a uma mudança de foco no telescópio.

Menciono ainda, para nova surpresa, que em “Eddington e Einstein – Verificação Experimental da Teoria da Relatividade Generalizada na Ilha do Príncipe”<sup>[4]</sup>, na página 94, vemos uma média calculada para 18 fotografias, de 6 a 12 estrelas cada, resultando num desvio de  $\alpha = +0'',86$ , que é menos da metade do valor previsto pela Relatividade Geral. Tal média resulta de parcelas que vão de  $0'',00$  (2 valores indicando nenhum desvio) a  $+1'',91$  (um único representante). O segundo maior valor é de apenas  $1'',28$ , com dois representantes no conjunto. Fotografias tiradas em 1919, na expedição a Sobral, Ceará, Brasil.

Se além destas informações não perdidas ainda havia outras medidas incompatíveis com a teoria de Einstein e que foram jogadas fora, é possível perceber que o fenômeno da deflexão da luz ao passar próximo do Sol está com sua confirmação segundo a Relatividade Geral seriamente comprometida.

A conclusão que tiramos de [4] é que a teoria de Einstein foi razoavelmente verificada na Ilha do Príncipe (um erro experimental de cerca de 25%), porém não foi verificada em Sobral. Mas o resultado que ficou para a história é que as expedições de 1919 comprovaram “mais uma vez” a teoria de Einstein...

Em [5] Bassalo & Caruso nos contam que os resultados da expedição de 1919 foram os seguintes:

Sobral:  $1'',98 \pm 0'',16$

Ilha do Príncipe:  $1'',61 \pm 0'',40$

A média dos valores acima é

$$\bar{\alpha} = 1'',80 \pm 0'',28$$

intervalo que contém o valor de  $1'',75$  da Relatividade, mas esconde muitos valores que não se encaixavam na teoria.

Por exemplo, o valor de  $1'',98$  registrado para Sobral resultou de um tipo específico de objectiva de 4 polegadas, enquanto a objectiva astrográfica de 8 polegadas resultou em valores consideravelmente menores (média de  $0'',86$ ), e foram desprezados para o resultado final.

Terminaremos exibindo uma tabela mais completa de resultados, extraída de Weinberg<sup>[6]</sup>, e nossa conclusão final.

Eclipse	Local	Estrelas	Desvio (")
29/05/1919	Sobral	7	1,98 ± 0,16
"	Príncipe	5	1,61 ± 0,40
21/09/1922	Austrália	11-14	1,77 ± 0,40
"	"	18	1,42 – 2,16
"	"	62-85	1,72 ± 0,15
"	"	145	1,82 ± 0,20
09/05/1929	Sumatra	17-18	2,24 ± 0,10
19/06/1936	URSS	16-29	2,73 ± 0,31
"	Japão	8	1,28 – 2,13
20/05/1947	Brasil	51	2,01 ± 0,27
25/02/1952	Sudão	9-11	1,70 ± 0,10

Tab. 1 – Valores do deslocamento da luz ao passar pelo Sol, de 1919 a 1952.

O valor médio ponderado pelo número de estrelas ( $n_i$ ) é

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i n_i}{\sum n_i} = \frac{700,35}{370} = 1'',89$$

arredondado para dois decimais, que é maior que a média de 1919, e o erro é

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_i n_i}{\sum n_i} = \frac{81,70}{370} = 0'',22$$

ou seja, a média geral com os valores da tabela 1, levando em consideração o erro estimado, está de acordo com os 1'',75 da teoria einsteiniana, mas vários resultados não obedecem a este valor, como os obtidos no Brasil (nas duas ocasiões), Sumatra, URSS e Japão.

Verificaremos os cálculos para a obtenção teórica da deflexão da luz na passagem pelo Sol em próximo artigo.

### Referências Bibliográficas

1. Weinberg, S., *Sonhos de uma Teoria Final*. Rio de Janeiro: ed. Rocco (1996).
2. Einstein, A., *Os Fundamentos da Teoria da Relatividade Geral*, em Textos Fundamentais da Física Moderna, vol. I, O Princípio da Relatividade, trad. Annalen der Physik **49** (1916). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian (1983).
3. Einstein, A., *Sobre a Influência da Gravidade na Propagação da Luz*, em Textos Fundamentais da Física Moderna, vol. I, O Princípio da Relatividade, trad. Annalen der Physik **35** (1911). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian (1983).

4. Nunes dos Santos, A.M. e Auletta, C., *Eddington e Einstein – Verificação Experimental da Teoria da Relatividade Generalizada na Ilha do Príncipe*. Lisboa: ed. Gradiva (1992).
5. Bassalo, J.M.F. e Caruso, F., *Einstein*, p. 72. São Paulo: Ed. Livraria da Física (2013).
6. Weinberg, S., *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*, p. 193. New York: John Wiley & Sons, Inc. (1972).