

1919-2019: um século de Lentes Gravitacionais

Carlos Herdeiro¹

¹Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Entre as muitas efemérides científicas que se celebram em 2019 destaca-se o centenário da observação da deflexão da luz pelo Sol. Este efeito corresponde ao segundo teste clássico da Relatividade Geral, sendo o primeiro a explicação do avanço anómalo do periélio de Mercúrio. No entanto, foi na verdade a primeira confirmação de uma previsão da teoria. E não foi apenas bem sucedida; foi um autêntico fenómeno e fez de Albert Einstein uma celebridade mundial.

Apesar de a previsão teórica (final) ser de Novembro de 1915, a confirmação observacional apenas foi possível em 1919, em virtude da primeira Guerra Mundial que dificultava a organização de uma expedição para medir o efeito. Em Março de 1917, o astrónomo real britânico, Sir Frank Watson Dyson, salientou a excelência da configuração das estrelas do eclipse que iria ocorrer a 29 de Maio de 1919, para o propósito de medir a deflexão prevista pela teoria de Einstein. Formaram-se duas expedições inglesas, destinadas a dois pontos geográficos na faixa de totalidade do eclipse: uma a Sobral no Brasil, chefiada por Andrew Crommelin do observatório de Greenwich e outra à ilha do Príncipe, no arquipélago de São Tomé e Príncipe, na altura território Português, chefiada por Arthur Eddington de Cambridge.

O objetivo das expedições foi medir a deflexão da luz prevista pela Relatividade Geral: $1,75^\circ$ para um raio de luz tangente ao Sol. As observações teriam de ser feitas durante um eclipse total, altura em que seria possível ver estrelas muito próximas do Sol. Fotografias do campo de estrelas seriam tiradas durante o eclipse e comparadas com fotografias do mesmo campo de estrelas quando o Sol não estava presente, determinando-se o deslocamento angular de cada estrela.

Os resultados foram apresentados a 6 de Novembro de 1919, numa reunião conjunta da *Royal Society* e da *Royal Astronomical Society*. Como Abraham Pais relata na biografia científica de Einstein “Subtil é o senhor”, Dyson, assistido por Crommelin e Eddington afirmou, sob o retrato de Newton, “Após um estudo cuidadoso das placas estou preparado para afirmar que elas confirmam a previsão de Einstein”.

Este anúncio capturou a atenção de um mundo desgastado pela Grande Guerra - ver, por exemplo, as parangonas do *New York Times* de 10 de Novembro de 1919, figura anexa.

**LIGHTS ALL ASKEW
IN THE HEAVENS**

**Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.**

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

**Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.**

A BOOK FOR 12 WISE MEN

**No More in All the World Could
Comprehend It, Said Einstein When
His Daring Publishers Accepted It.**

Artigo no *New York Times* de 10 de Novembro de 1919 sobre a medição da deflexão da trajetória da luz pelo Sol e a confirmação da Teoria de Einstein.

Dar protagonismo à confirmação de uma previsão (extraordinária!) de um cientista alemão, pacifista, por uma equipa britânica, poderia ter o efeito de ajudar a cicatrizar feridas bélicas. Foi no contexto desta confirmação que Einstein, rendido à teoria da Relatividade

Geral, pela sua elegância e consistência interna, terá comentado que “teria pena do Todo Poderoso se os resultados não tivessem concordado com a teoria”. Um retrato curioso, ainda que parcialmente romançado, sobre a relação entre Einstein e Eddington, as suas personalidades, a teoria do primeiro e a expedição do segundo é dado no filme da BBC e HBO “Einstein e Eddington” de 2008.

Na verdade as observações de 1919 não evitavam possíveis erros sistemáticos. Várias expedições semelhantes ocorreram nas décadas seguintes, mas padecendo de problemas semelhantes. Por volta de 1960 apenas era consensual que o valor da deflexão seria certamente mais do que $0,83''$, metade do valor de Einstein. Este é o valor “newtoniano”, obtido por Soldner em 1801. Atribuindo-se uma massa às partículas de luz, a teoria newtoniana também prevê uma deflexão (que é independente da massa escolhida). Este valor foi re-publicado por Lénard em 1921, um conhecido Nazi, para desacreditar “a ciência judaica” de Einstein. O assunto não estava esclarecido e apenas depois de 1960 foi o valor de Einstein foi confirmado com exatidão.

A deflexão da luz de uma fonte longínqua devido à distorção do espaço-tempo causado por massas entre o observador e a fonte é o que se denomina por “efeito de lente gravitacional”. O efeito medido em 1919 é um efeito “fraco” de lente gravitacional. Deflexões extremas da trajetória da luz ocorrem, por exemplo, perto de buracos negros, que são lentes gravitacionais fortes. Curiosamente, espera-se que este ano, 2019, surgiram as primeiras imagens de uma experiência para medir este efeito forte de lente gravitacional, por uma colaboração internacional denominada “Event Horizon Telescope”. Estas imagens são um versão rudimentar (mas real!) da espetacular visualização do buraco negro ficcional “Gargantua”, do filme “Interstellar”. O efeito de lente gravitacional tem múltiplas aplicações em astrofísica e cosmologia, por exemplo, para estimar a matéria escura do Universo.

As expedições de 1919 serão celebradas de várias formas no seu centenário. Em particular destacam-se as iniciativas para celebrar a presença de Eddington na roça Sundry, na ilha do Príncipe, onde as observações de Maio de 1919 foram feitas (esundry.org), às quais a Sociedade Portuguesa de Física se associa.

Será que as Aprendizagens Essenciais podem contribuir para a melhoria da qualidade das aprendizagens dos alunos?

Carlos Portela¹

¹Escola Secundária Dr. Joaquim de Carvalho, Figueira da Foz

As *Aprendizagens Essenciais* (AE) de Físico-Química (7.º, 8.º e 9.º), de Física e Química A (10.º e 11.º), de Física (12.º) e de Química (12.º) [1] foram elaboradas pela Direção-Geral de Educação (DGE) em parceria com equipas de professores indicados pela Sociedade Portuguesa de Física (SPF) e pela Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), durante os anos letivos 2016/17 e 2017/18.

As equipas incluíram professores do 3.º ciclo do ensino básico (3.º CEB), do ensino secundário e do ensino superior que trabalharam de forma integrada, tendo havido sugestões para a componente de química da parte da equipa da SPF e sugestões para a componente de física por parte da equipa da SPQ, uma vez que os professores de ambas as equipas tinham experiência de ensino das duas componentes dos programas, física e química.

No sentido de estabelecer ligações entre os programas de diferentes disciplinas, a DGE promoveu reuniões que envolveram, para além das equipas da SPF e da SPQ, equipas das seguintes associações: Associação Nacional de Professores de Informática (ANPRI), Associação Profissional de Educadores de Infância (APEI), Associação de Professores de Matemática (APM), Associação Portuguesa de Professores de Biologia e Geologia (APPBG) e Associação Portuguesa de Telemática Educativa (Educom-APTE). Deste trabalho de articulação entre diferentes áreas do saber resultaram algumas das ligações interdisciplinares que integram as AE.

Balço do trabalho realizado

As AE são “documentos de orientação curricular base na planificação, realização e avaliação do ensino e da aprendizagem, conducentes ao desenvolvimento das competências inscritas no Perfil dos Alunos à saída da escolaridade obrigatória (PA)” [2].

A elaboração das AE baseou-se na identificação das aprendizagens estruturantes nos documentos curriculares em vigor (orientações curriculares e metas curriculares no ensino básico; programas e metas curriculares no ensino secundário), tendo em vista um ensino mais prático que coloque o aluno no centro das aprendizagens, que facilite o desenvolvimento de aprendizagens mais profundas, em que

se desenvolvam competências que requeiram mais tempo (realização de trabalhos que envolvem pesquisa, análise, raciocínios demonstrativos, avaliação, argumentação, metacognição, etc.) e que permita uma efetiva diferenciação pedagógica na sala de aula.

Assim, as AE salientam as ideias estruturantes (*big ideas*) das metas curriculares e do programa, e na sua redação integram não só o conjunto de conhecimentos a adquirir, mas também as capacidades e as atitudes a desenvolver, mantendo os domínios e os subdomínios estabelecidos pelas metas curriculares e pelo programa.

Documentos curriculares em vigor e o papel das Aprendizagens Essenciais (AE)

No 3.º CEB, as *Orientações Curriculares para o 3.º Ciclo do Básico: Ciências Físicas e Naturais* [3] são o documento de referência para as disciplinas de Ciências Físico-Químicas e de Ciências Naturais, e as *Metas Curriculares do 3.º Ciclo do Ensino Básico: Ciências Físico-Químicas* [4] (em vigor a partir do ano letivo 2014/2015), estabelecem o essencial das aprendizagens que os alunos devem alcançar na disciplina de Físico-Química, podendo os professores ir além do que está indicado nesses documentos.

No ensino secundário, na disciplina de Física e Química A (10.º e 11.º), o *Programa de Física e Química A* [5], que inclui as Metas Curriculares (em vigor a partir do ano letivo 2015/16), e na disciplina de Física (12.º), o *Programa de Física, 12.º ano* [6] e as *Metas curriculares de Física, 12.º ano* [7], são os documentos de referência. As Metas identificam as aprendizagens essenciais a realizar pelos alunos, realçando o que dos programas deve ser objeto primordial de ensino.

As AE identificam os conhecimentos, capacidades e atitudes estruturantes, baseando-se no programa e metas em vigor, tendo sido formuladas de modo a: