

# Pêndulo Mundial

Horácio Fernandes

Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Lisboa

Colocar o ensino experimental da física na “rede” empregando os conceitos da Web 2.0 é o objetivo dum projeto do Instituto Superior Técnico (IST) com o apoio da Sociedade Portuguesa de Física e a chancela do Ano de Portugal no Brasil, realizando uma experiência a nível mundial com a participação de várias escolas nas latitudes da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP).

## O projeto

Em 2006, a Agência Espacial Europeia (ESA) assinou com a Federação Russa um contrato para o lançamento a partir da Guiana Francesa (5° N) de foguetões Soyuz. O primeiro lançamento ocorreu em outubro de 2011, permitindo à Soyuz colocar em órbita quase o dobro da carga anteriormente transportada e permitindo poupar 140 milhões de euros por lançamento. Neste exemplo, o lançamento para uma órbita

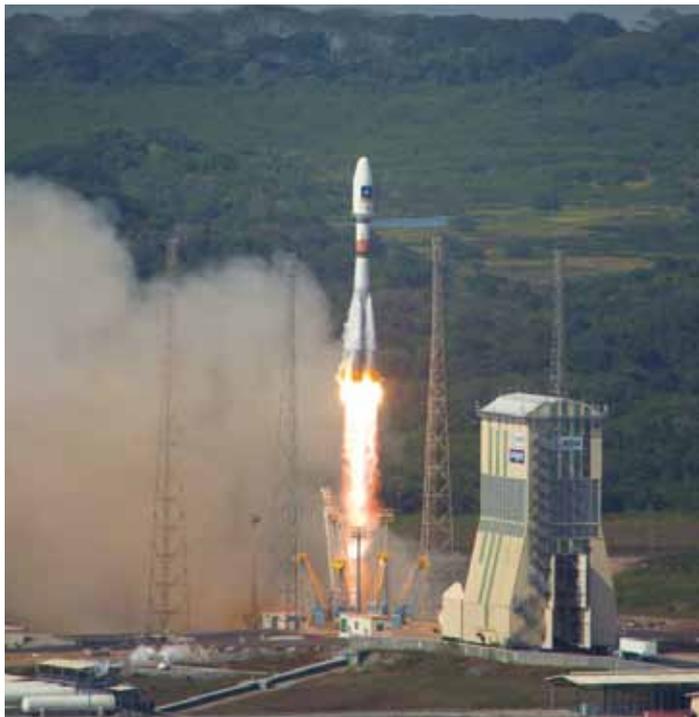


Fig. 1 - Lançamento do foguetão Soyuz na Guiana Francesa (5° a norte do equador). (ESA)

geoestacionária a partir duma latitude no equador permite colocar 3 toneladas (t) em órbita, ao invés das habituais 1,7 t quando o lançamento é efetuado em Baikonur (46° N), no Cazaquistão. Isto deve-se ao facto do peso aparente dos corpos ser gradualmente reduzido desde os polos até o equador, tornando mais fácil, a partir deste, lançar o equipamento para o espaço. Efetivamente sentir-nos-emos mais leves no equador do que nos polos!

É esta diferença de peso sentida pelos corpos em várias latitudes que a experiência do “Pêndulo Mundial” pretende determinar, usando para tal diversos locais em países da CPLP.

O Centro Ciência Viva do Algarve em Faro acolheu a primeira experiência, já acessível a partir do e-lab [1]. Lisboa e Rio de Janeiro, nos seus planetários, e a Universidade de Ilhéus (UESC) serão as próximas cidades a contribuírem para esta constelação de pêndulos controlados remotamente, permitindo efetuar um ajuste dos dados experimentais à equação harmónica estabelecida pela comunidade científica que descreve a variação da gravidade com a latitude.

Hoje em dia, já é comum a existência de grandes experiências científicas mundiais tais como a Organização Europeia da Investigação Nuclear (CERN), o Reator Experimental Termonuclear Internacional (ITER), o Observatório Europeu do Sul (ESO) ou a estação espacial internacional, entre outros. Contudo, o ensino experimental e, em particular, da física, está muito arredado das atividades letivas correntes e sem qualquer prática de cooperação. Este projeto pretende incentivar o ensino experimental e capacitar os alunos para dialogar e cooperar através de redes sociais, criando uma organização informal de professores e discentes ao nível das escolas secundárias da CPLP.

O objetivo final é cartografar para várias latitudes o valor da força local que nos mantém firmes na

## A CPLP como “provedor de latitude”

A CPLP cruza latitudes desde o equador a quase metade do globo terrestre, funcionando como um provedor de latitude. Usando um pêndulo especialmente desenhado para o efeito com o apoio do Centro de Formação Profissional da Indústria Metalúrgica (CENFIM), várias escolas e universidades no seio da CPLP irão cooperar entre si, construindo e operando um conjunto de experiências locais que estarão conectadas em rede. Esta iniciativa obteve a chancela do Ano de Portugal no Brasil.

PORTUGAL  
BRASIL  
AGORA



superfície da Terra, permitindo aos alunos efetuarem um estudo gravimétrico local, mas permitindo-lhes igualmente aceder a outras experiências remotamente através da internet. Ou seja, cada escola poderá instalar um pêndulo local mas também aceder a outras partes do globo para caracterizar a aceleração da gravidade através dos laboratórios remotos desenvolvidos no IST. Por outro lado, os valores determinados nessa escola serão tabelados no *Google Spreadsheet* e instantaneamente publicados *online*, com a discussão efetuada no fórum “Física e Química em rede” [2].

## Aproximações ao modelo experimental

A descrição gravimétrica experimental do nosso globo terrestre obtém-se, como em muitos outros campos da física, através do ajuste duma função harmónica esférica cujos termos são calculados experimentalmente, principalmente com o recurso ao conhecimento exato da rota de satélites.

Nem sempre foi assim. Antes da era espacial, os pêndulos eram os principais agentes da determinação gravimétrica. Aliás ainda o são para a determinação local e estudo do subsolo, onde podem ajudar à descoberta de minério, quer seja sólido, líquido ou gasoso (cavidades ocas).

No entanto, a didática encontrada num pêndulo é imensa [3]. Usado para determinar a gravidade em função da latitude, permite explicar logo de início a importância do movimento circular uniforme e o efeito da aceleração centrípeta.

Mas cedo nos apercebemos, à medida que aumentamos a exatidão do nosso instrumento, de que não existe um ajuste preciso com a teoria, sendo necessário olhar com mais cuidado para a Terra e perceber que esta é um elipsóide cujo raio é menor nos pólos e incrementando por essa via a aceleração da gravidade sentida, compensando em parte o efeito da aceleração centrípeta.

Como se sabe, existem três fatores principais para a modificação da aceleração gravítica na superfície da Terra:

I. A Terra não é uma esfera perfeita, sendo um elipsóide com raio equatorial (6 378 137 m) cerca de 21 km maior que o raio polar (6 356 752 m), produzindo um aumento da gravidade em direção aos polos (menor raio);

II. A Terra está em rotação, com a aceleração centrífuga oposta à aceleração da gravidade sendo nula nos polos e tendo seu valor máximo no equador. Portanto, este efeito produz um aumento de  $g$  em direção ao polo;

III. A Terra não é uniforme: há uma concentração maior de massa no equador, o que faz com que o valor de  $g$  aumente para latitudes baixas.

No gráfico seguinte (Fig. 3), representamos essas contribuições aplicadas sucessivamente sobre a “gravidade padrão”, representada a verde.

A partir desse valor, soma-se a contribuição devido à diferença dos semi-rais, obtendo-se a linha azul, após o que se adiciona a componente centrípeta resultando a característica a laranja. A gravidade final exata resulta da contribuição derradeira dada pela distribuição de massa.

É interessante notar que, por mera coincidência, estes três

### Correções sucessivas à aceleração da gravidade

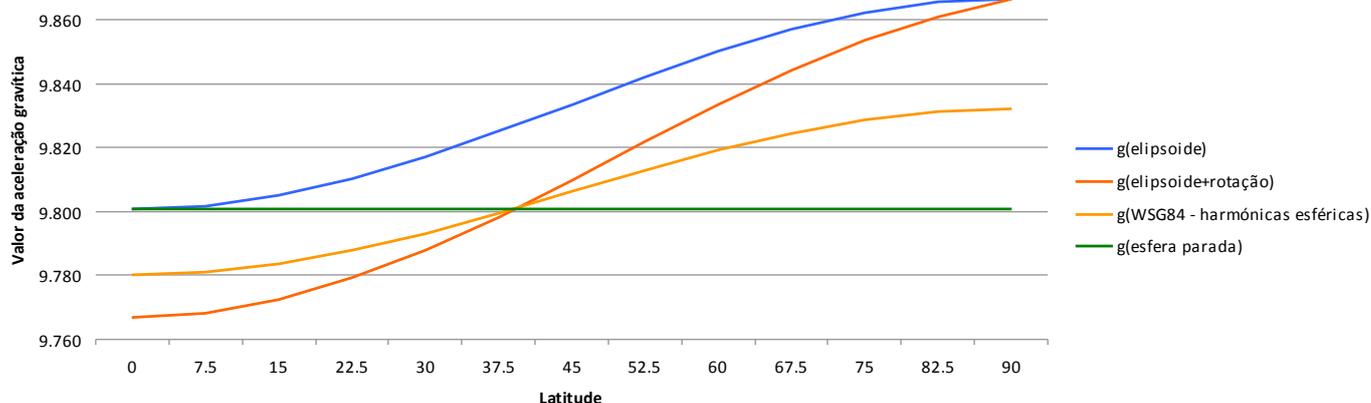


Fig. 3 - As várias contribuições da aceleração gravítica adiciona progressivamente para o valor esperado em função da latitude do lugar.

valores anulam-se na latitude aproximada de Lisboa, cujo valor da gravidade normal é muito próximo da Terra esférica e parada!

Mas os estudos proporcionados por um pêndulo destes não se ficam por aqui. É claro que temporalmente existem fatores importantes que modificam estes valores, nomeadamente o alinhamento celeste dos nossos principais “vizinhas gravíticos”, pelo que se poderá efetuar o estudo das perturbações causadas por corpos celestes como a Lua e/ou o Sol.

Com efeito, usando uma medida em modo diferencial teremos sensibilidade suficiente para detetar a influência destes corpos mais próximos da Terra, já que introduzem uma variação da ordem dos milésimos de  $m/s^2$ , efetuando medições quando estes astros estão alinhados com a Terra, em fases de lua nova ou cheia e na meia-noite e meio-dia solares.

Deste modo, esta experiência possibilita efetuar estudos de geofísica muito interessantes [3], permitindo introduzir conceitos de tratamento de erros experimentais para além de toda a riqueza da física-matemática do movimento harmónico (e amortecido) do pêndulo.

Outros Laboratórios Controlados Remotamente (*Remote Controlled Laboratories*, RCL) disponibilizam em latitudes acima de Lisboa pêndulos semelhantes [5,6].

O Instituto Superior Técnico, com a chancela do Ano de Portugal no Brasil, pretende assim contribuir para a motivação do ensino da física experimental, uma das bases principais da sua oferta educativa em engenharia e física, esperando motivar, atrair e formar cada vez mais alunos do espaço da lusofonia.



### Horácio Fernandes

é professor do departamento de física do IST e investigador no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, onde coordena a atividade do tokamak ISTTOK. Em 1999 criou o e-lab, laboratório remoto do IST, com acesso livre. Mantém igualmente uma regular participação em divulgação científica. É atualmente membro do “Technical Advisor Panel” da agência europeia para o ITER (F4E) e investigador coordenador duma atividade de pesquisa da IAEA.

### Referências

1. [www.e-lab.ist.eu](http://www.e-lab.ist.eu), 18/7/2013
2. <http://fqnosecundario.ning.com/>, 18/6/2013
3. Robert A. Nelson, M. G. Olson, “The pendulum – Rich physics from a simple system”, *American Journal of Physics* 54, 112 (1986).
4. Colin Gauld, “Pendulums in the Physics Education Literature: A Bibliography”, em “The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives”, Springer (2004).
5. S. Grober, M. Vetter, B. Eckert e H.-J. Jodl, “World pendulum—a distributed remotely controlled laboratory (RCL) to measure the Earth’s gravitational acceleration depending on geographical latitude”, *European Journal of Physics* 28, 603 (2007).
6. <http://rcl-munich.informatik.unibw-muenchen.de>, 18/6/2013