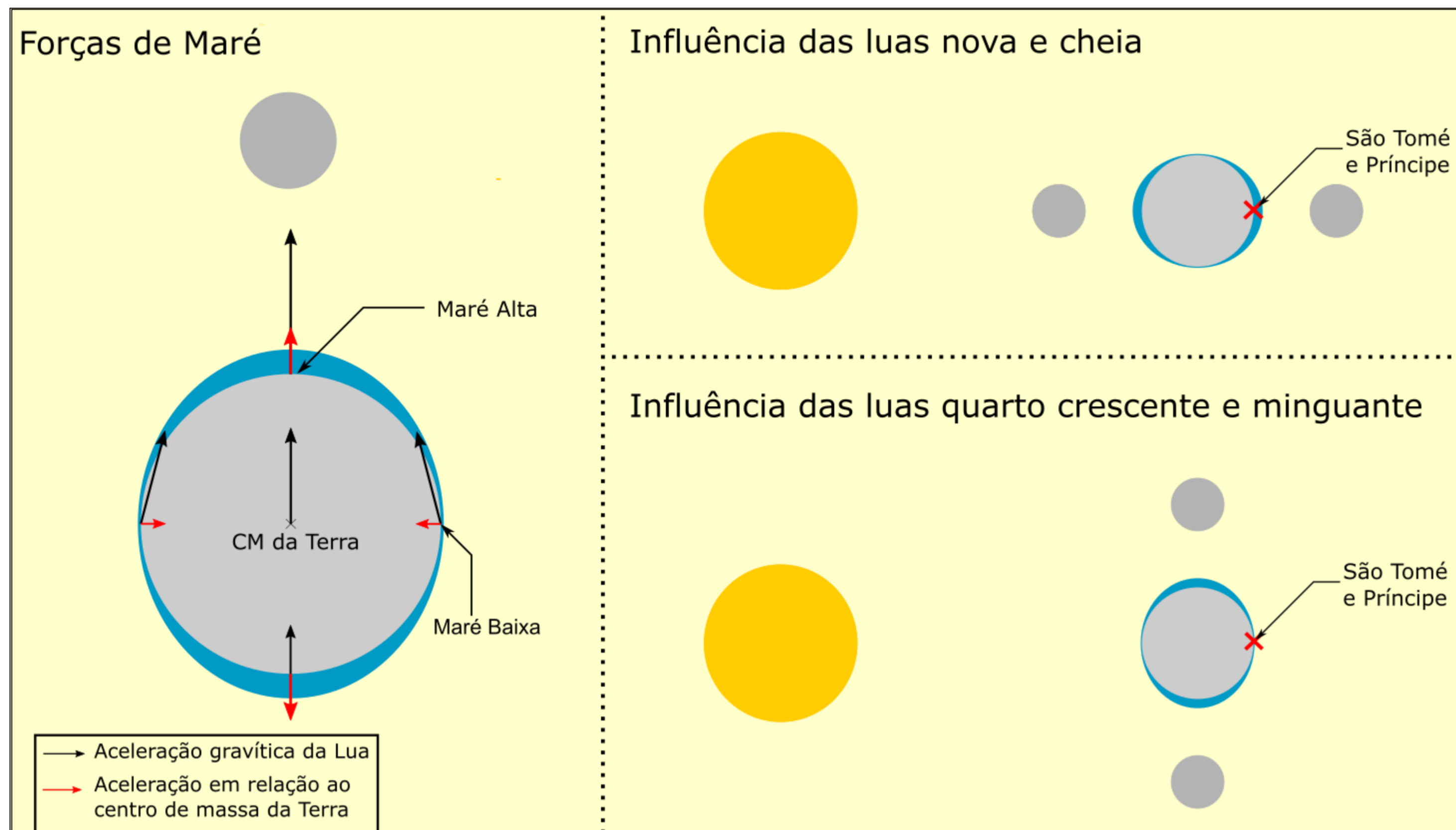


## Introdução

### Fenómeno das Marés

- Resulta da força gravítica exercida por outros corpos celestes e consequente variação local do peso.
- As mais conhecidas são as marés marítimas, mas o existem também marés terrestres (variação da forma do globo) e marés atmosféricas (variação da forma da alta atmosfera).
- A Lua e o Sol são as principais causas das marés na Terra.



Efeitos da Lua nas marés. Na figura da esquerda mostra-se como o gradiente da força gravítica lunar na Terra cria duas regiões de menor gravidade local e duas regiões de maior gravidade local. Na figura da direita mostra-se como as diferentes fases da Lua definem as regiões de maré alta e baixa.

- Pretende-se verificar a variação local da gravidade através da variação do período de um pêndulo e verificar o período sinódico da Lua.
- Na tabela comparam-se os valores de várias grandezas relevantes por forma a determinar as que são mensuráveis com o presente aparato experimental

| Grandeza   | Valor Absoluto ( $m s^{-2}$ ) | Varição ( $m s^{-2}$ )   |
|--|-------------------------------|--------------------------|
| Erro sistemático da dilatação do fio ( $4\pi^2/T^2 \Delta L$ )   | $\sim 2 \cdot 10^{-3}$        | -                        |
| Erro da medida ( $4\pi^2/T^2 \Delta L + 8\pi^2 L/T^3 \Delta T$ ) | $\sim 2.5 \cdot 10^{-3}$      | -                        |
| Erro estatístico (160 amostras)                                  | $\sim 0.1 \cdot 10^{-3}$      | -                        |
| Aceleração centrífuga rotação Terra-Sol                          | $\sim 6 \cdot 10^{-3}$        | $\sim 0.2 \cdot 10^{-3}$ |
| Aceleração centrífuga rotação da Terra                           | $\sim 30 \cdot 10^{-3}$       | $\sim 0$                 |
| Efeito geóide (achatamento dos polos)                            | $\sim 0.1$                    | $\sim 0$                 |
| Varição distância Terra-Lua                                      | -                             | $\sim 3 \cdot 10^{-6}$   |
| Gradiente força gravítica lua                                    | -                             | $\sim 1 \cdot 10^{-6}$   |
| Gradiente força gravítica sol                                    | -                             | $\sim 0.8 \cdot 10^{-6}$ |



Visita do Presidente da República e do Ministro dos Negócios Estrangeiros português às instalações que albergam o pêndulo da Escola Portuguesa de São Tomé e Príncipe.

## Montagem Experimental

Para as medições foi utilizado um dos pêndulos da experiência Pêndulo Mundial do laboratório remoto e-lab, do Instituto Superior Técnico. Localizado na Escola Portuguesa de São Tomé e Príncipe, o pêndulo tem um comprimento ao centro de massa de 2756.5 +/- 0.5mm, a 27C, e uma massa de 2kg +/- 75g. O sistema de medição do período é constituído por um microcontrolador, laser e fotogate.

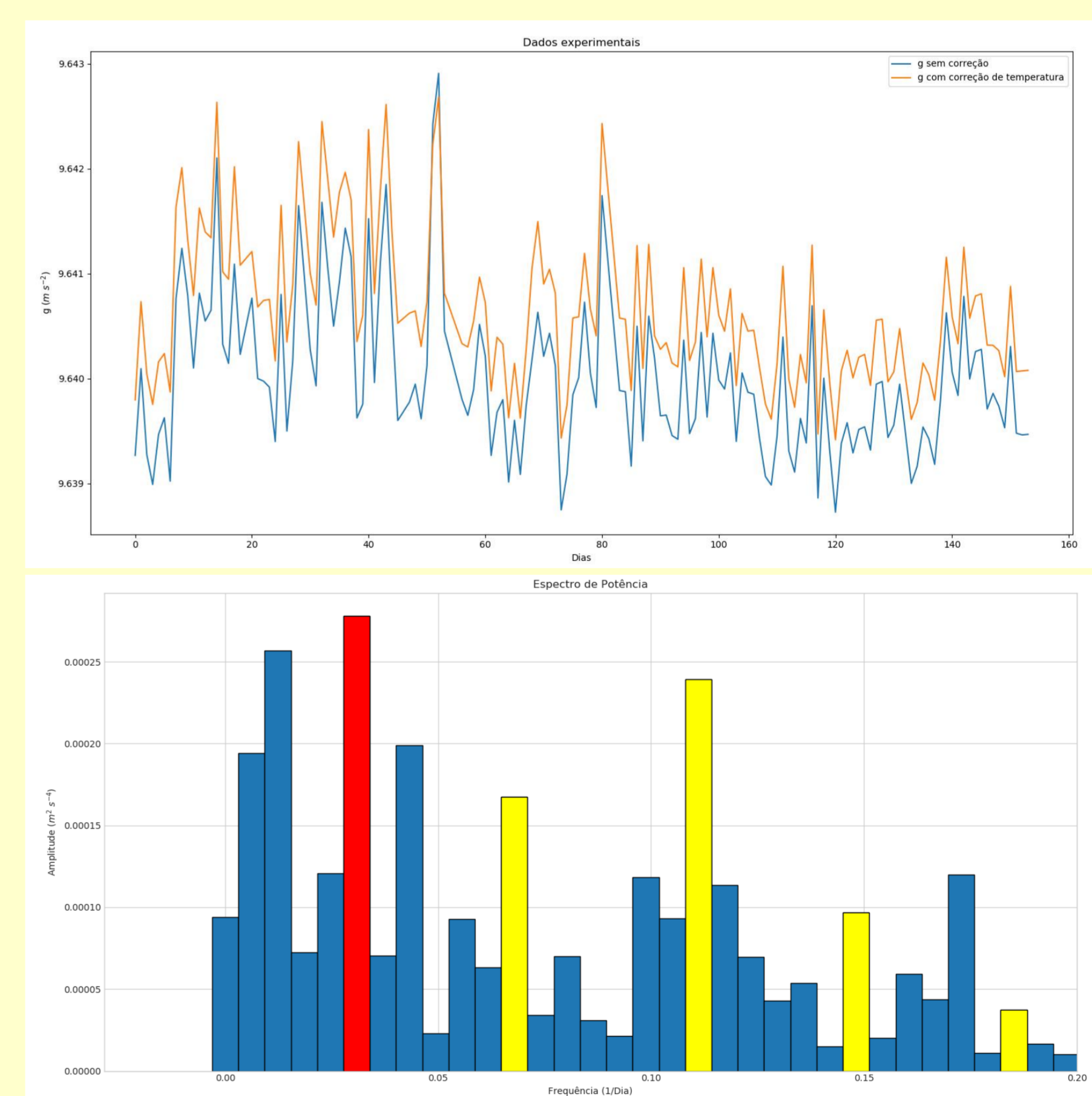
O pêndulo, bem como as restantes experiências da plataforma, podem ser utilizados de forma livre em [elab.ist.utl.pt](http://elab.ist.utl.pt).

## Procedimento

- A experiência foi executada de forma diária, à meia-noite solar (23h32), no período de 12 de Março a 20 de Agosto de 2018.
- Em cada execução, foi recolhido o período de 160 oscilações consecutivas e a temperatura ambiente.
- A aceleração gravítica foi determinada utilizando a seguinte relação entre gravidade (g), comprimento do pêndulo (L) e período (T):
$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$$
- É necessário considerar a variação do comprimento do fio devido à variação da temperatura local, tendo sido utilizada a constante de expansão térmica do cabo,  $1,7 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ .

## Análise de Dados e Conclusões

- Um teste de aleatoriedade D'Agostino-Pearson omnibus K2 resultou num valor P = 0,13%, sendo improvável que as flutuações detectadas decorram exclusivamente da incerteza da medida
- Os dados foram filtrados utilizando um filtro passa-alto com frequência de corte de  $0.011 \text{ dia}^{-1}$  (T=90 dias), já que os 162 dias de aquisição não permitem estudar com detalhe as contribuições de período muito longo.
- O cálculo do espectro de potência do sinal já permite evidenciar, ao fim de 4 ciclos lunares, o período sinódico da Lua esperado de 29 dias.
- A estimativa inicial do erro experimental e da amplitude do sinal indicavam que não deveria ser possível observar este fenómeno. Ainda assim, utilização de métodos como o cálculo do espectro de potência permitiram a separação do sinal do ruído, evidenciando a sua presença nos dados recolhidos.



Dados recolhidos, com e sem correção da expansão térmica do fio, na figura em cima e espectro de potência do sinal filtrado, na figura em baixo. A vermelho está assinalada a componente espectral correspondente ao período lunar, 29 dias, e a amarelo as suas harmónicas, com períodos aproximados de 14,5 (29/2), 9,6 (29/3), 7,25 (29/4) e 5,8 (29/5) dias, respectivamente.

- É necessário proceder à recolha de mais dados experimentais por forma a aumentar a precisão dos resultados, o que possibilitará igualmente o estudo das variações com período longo como seja a variação da distância Terra-Lua ( $\sim 150$  dias).

### Referências:

- e-lab, Pêndulo Mundial, url: [http://groups.ist.utl.pt/wwwelab/wiki/index.php?title=P%C3%AAndulo\\_Mundial](http://groups.ist.utl.pt/wwwelab/wiki/index.php?title=P%C3%AAndulo_Mundial)
- Instituto Hidrográfico, Marés Vivas, Marés Mortas e Marés Vivas Equinociais, Marinha Portuguesa, url: <http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php>
- Espenak F., Eclipses and the Moon's Orbit, NASA, url: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/moonorbit.html>
- HORIZONS, NASA JPL, url: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>
- D'Agostino, R. B. (1971), "An omnibus test of normality for moderate and large sample size", Biometrika, 58, 341-348
- D'Agostino, R. and Pearson, E. S. (1973), "Tests for departure from normality", Biometrika, 60, 613-622