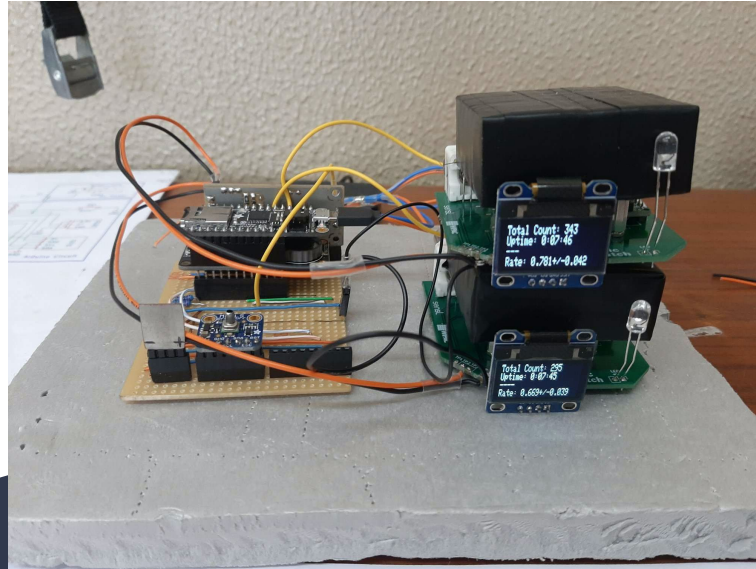


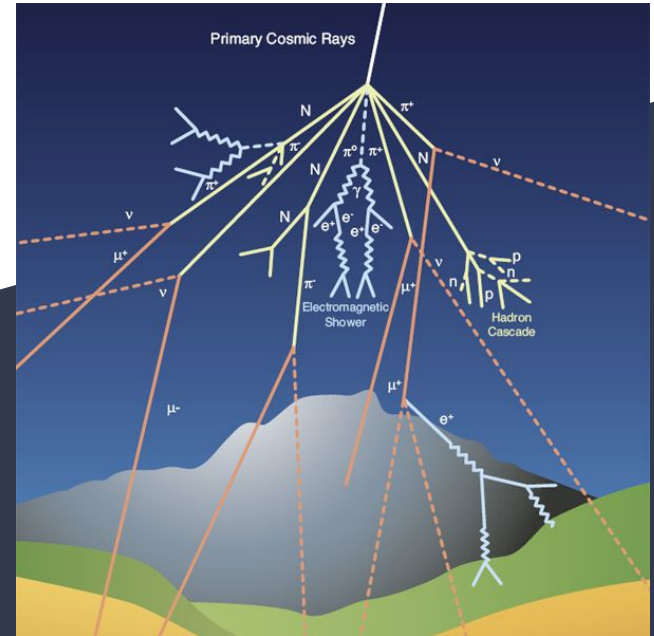
Observação de muões cósmicos



Estagiários: Francisco Casalinho, Joana Mota e Matilde Simões
Orientadores: Alexandre Lindote, Francisco Neves e Filipe Veloso

Muões cósmicos

- Resultado do decaimento de partículas com altas energias vindas do espaço, ao atingirem a atmosfera.

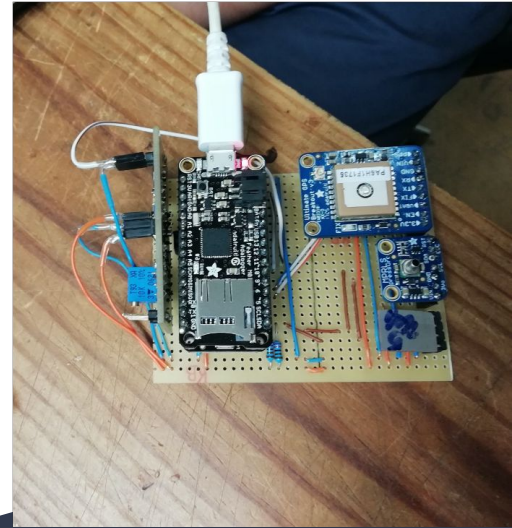


Créditos de imagem: CERN

O detetor

- Placa 5x5x1 (cm) de cintilador de plástico.
- Fotomultiplicador de silício (SiPM).
- Software de Arduino.

Baseado no projeto Cosmic Watch, do MIT
(<http://www.cosmicwatch.lns.mit.edu/>)



Créditos de imagem: MIT

Objetivo da experiência

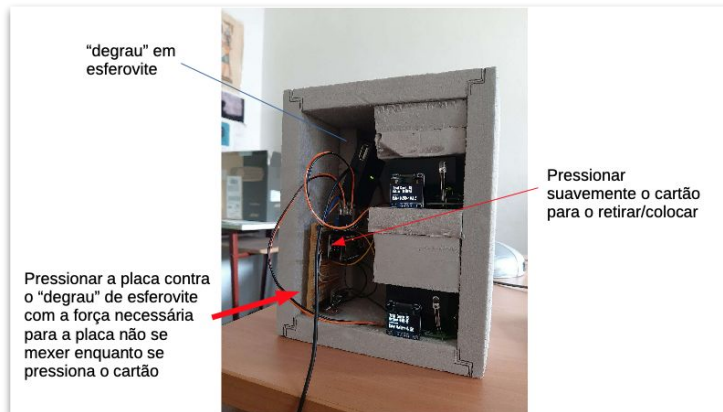
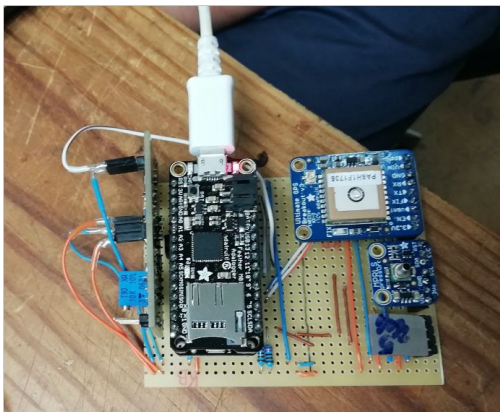
- Medir o fluxo de muões em diversas condições.
- Lançar um balão estratosférico de forma a medir o fluxo de muões a uma altitude de 30 km.



Créditos de imagem: Projeto REXUS/BEXUS

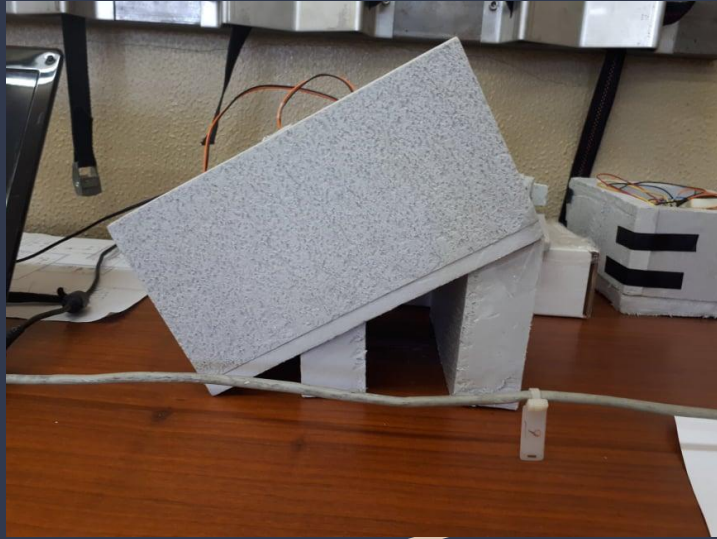
Setup para a aquisição de dados

- Dois detetores alinhados de maneira a formar um telescópio.
- Unidade de coincidências faz as medidas dos sinais de cada detetor, das coincidências, temperatura, pressão, etc.
- Não se utilizou o sistema de GPS.



O que se fez ao longo dos dias

Dia	Duração da aquisição	Piso	Ângulo com a vertical	Separação entre detetores (cm)
22/07/2020	23h30min	4	0°	0
23/07/2020	22h	4	0°	10
24/07/2020	119h30min	-1	0°	10
27/07/2020	23h27min	2	0°	10
28/07/2020	23h50min	4	90°	10
29/07/2020	23h30min	4	60°	10
30/07/2020	24h	4	30°	10
31/07/2020	76h56min	-2	0°	10



Detetor de muões orientado a 60° com a vertical



Detetor de muões orientado a 30° com a vertical

Dados de output

```
rtc;muoncount;d3detection;d1&d2detection;temperature(°C);pressure(hPa);d1;ld1;lld1;lld1;a1;d2;ld2;lld2;lld2;a2;d3;ld3;lld3;lld3
11:21:0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 25.50 ; 1006.14 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 141 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 25.50 ; 1006.25 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 69 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.12 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 73 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:2 ; 0 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.21 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 73 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 180 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:8 ; 0 ; 0 ; 0 ; 25.75 ; 1006.10 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 148 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 180 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:12 ; 1 ; 1 ; 1 ; 25.69 ; 1006.17 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 128 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 21 ; 0 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 1
11:21:14 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.17 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 128 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 65 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:14 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.27 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 157 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 65 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:15 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.14 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 140 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 65 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:18 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.29 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 140 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 140 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:19 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.62 ; 1006.17 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 140 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 88 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:20 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.62 ; 1006.28 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 140 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 83 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:20 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.62 ; 1006.13 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 96 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 83 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:23 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.62 ; 1006.17 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 66 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 83 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:24 ; 1 ; 0 ; 0 ; 25.62 ; 1006.27 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 68 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 83 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:25 ; 2 ; 1 ; 1 ; 25.69 ; 1006.17 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 130 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 21 ; 0 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 1
11:21:26 ; 2 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.25 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 130 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 68 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:26 ; 2 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.18 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 91 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 68 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:27 ; 2 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.22 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 187 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 68 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0
11:21:28 ; 3 ; 1 ; 0 ; 25.69 ; 1006.21 ; 0 ; 1 ; 1 ; 1 ; 187 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 110 ; 0 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 1
11:21:28 ; 3 ; 0 ; 0 ; 25.69 ; 1006.23 ; 0 ; 0 ; 1 ; 1 ; 19 ; 0 ; 0 ; 0 ; 1 ; 110 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 1
```


Orientação dos Muões



Determinação do fluxo de muões

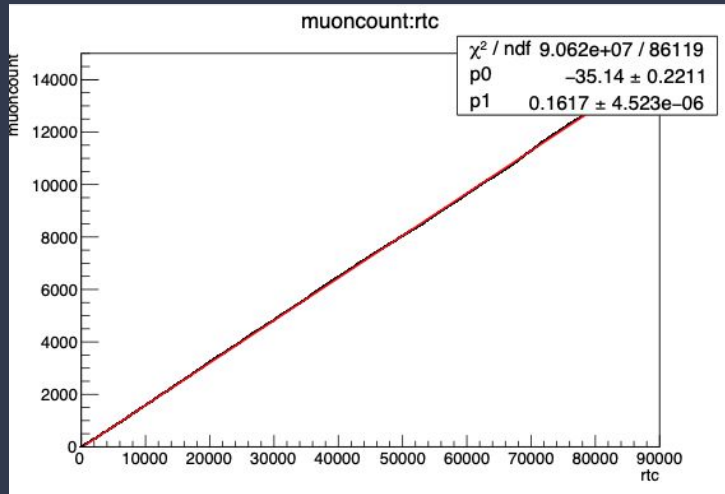


Gráfico da contagem de muões em função do tempo em segundos (22/07/2020). O detetor estava orientado a 0° graus com a vertical.

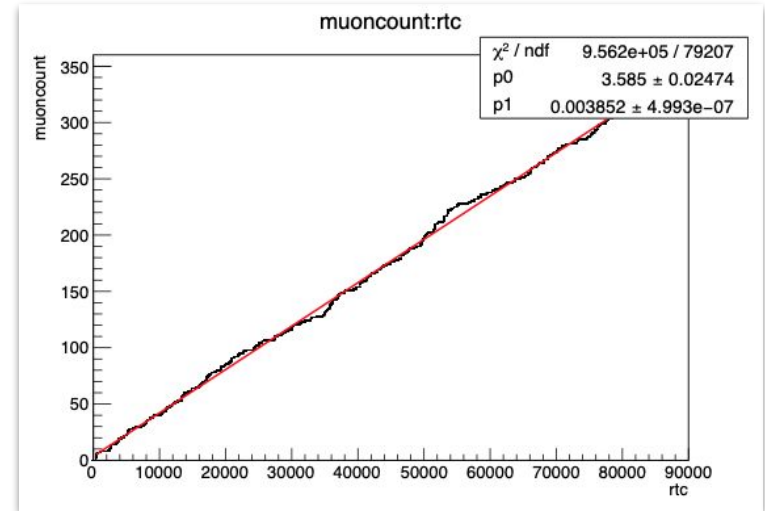


Gráfico da contagem de muões em função do tempo em segundos (28/07/2020). O detetor estava orientado a 90° graus com a vertical.

Coincidências

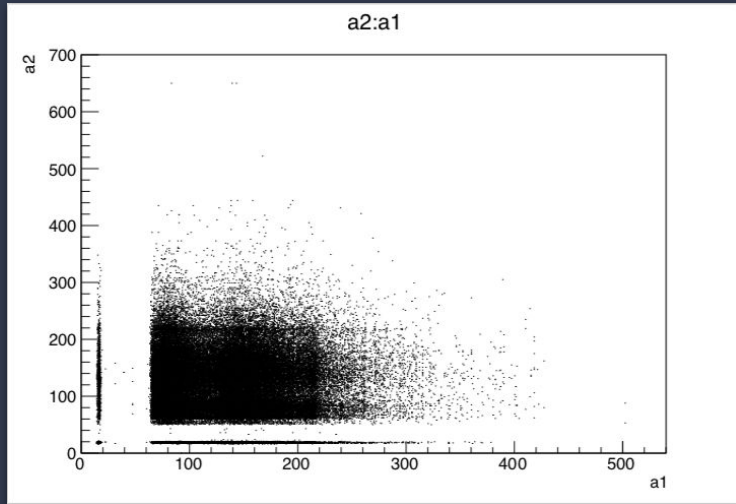


Gráfico da amplitude do 2º detetor em função da amplitude no 1º detetor (dia 23/07/2020). O detetor estava orientado a 0º com a vertical.

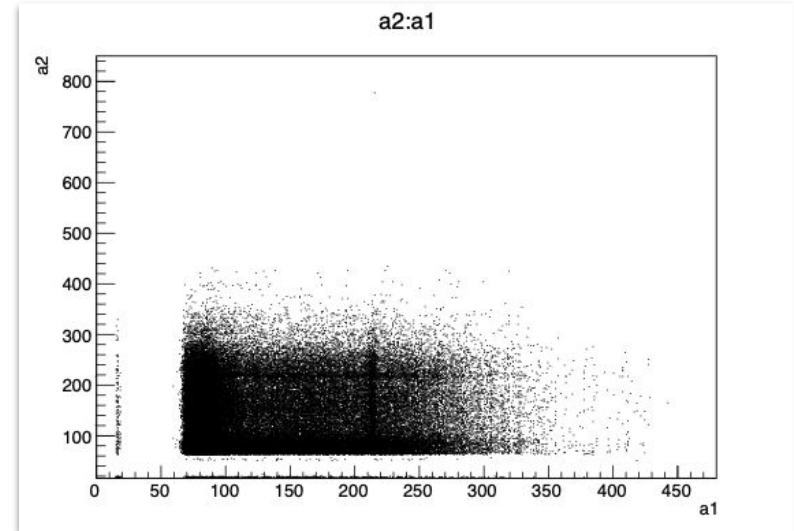


Gráfico da amplitude do 2º detetor em função da amplitude no 1º detetor (dia 28/07/2020). O detetor estava orientado a 90º graus com a vertical.

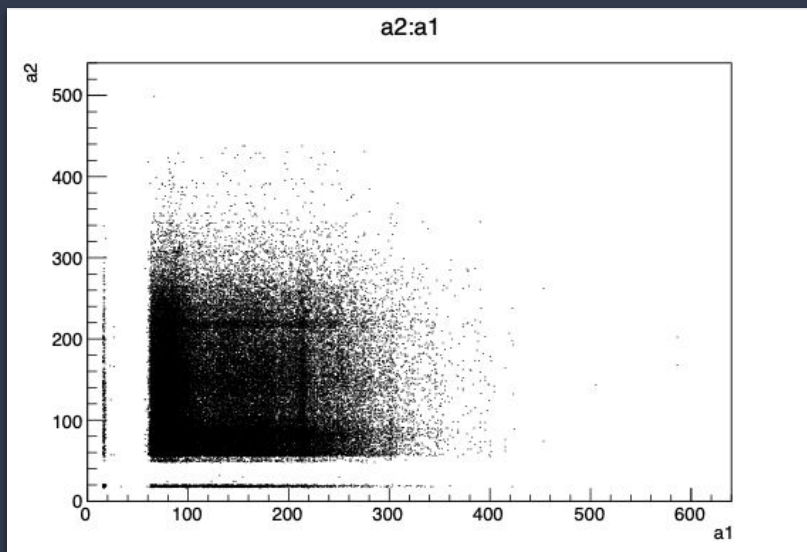


Gráfico da amplitude do 2º detetor em função da amplitude no 1º detetor (dia 29/07/2020). O detetor estava orientado a 60º com a vertical.

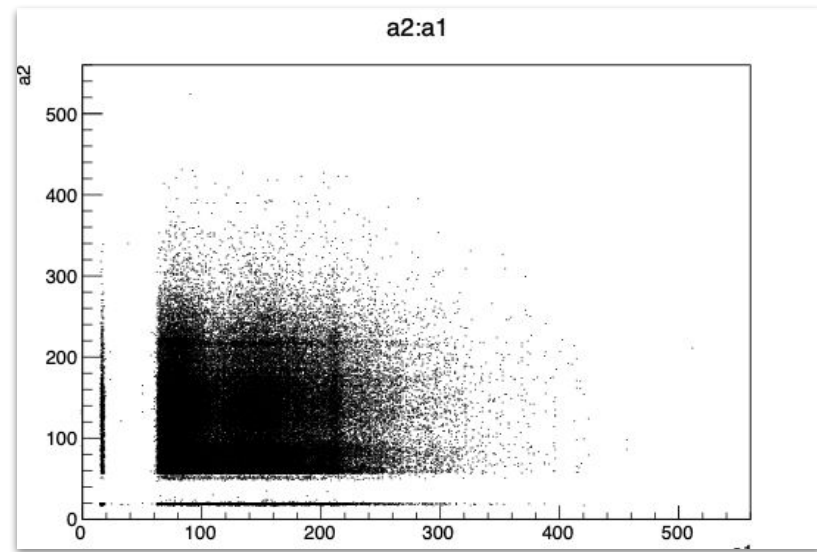


Gráfico da amplitude do 2º detetor em função da amplitude no 1º detetor (dia 30/07/2020). O detetor estava orientado a 30º com a vertical.

Em ambos os gráficos, a contagem do tempo inicia-se às 11h21min

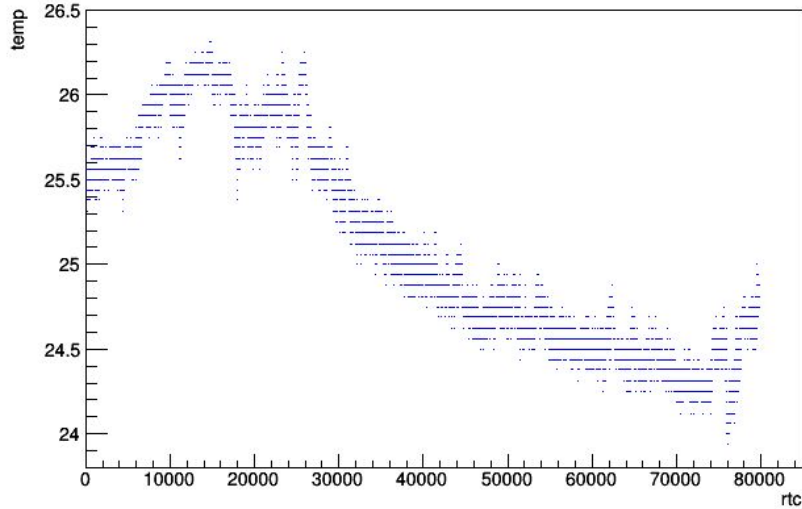


Gráfico da temperatura (°C) em função do tempo (s) (dia 23/07/2020).

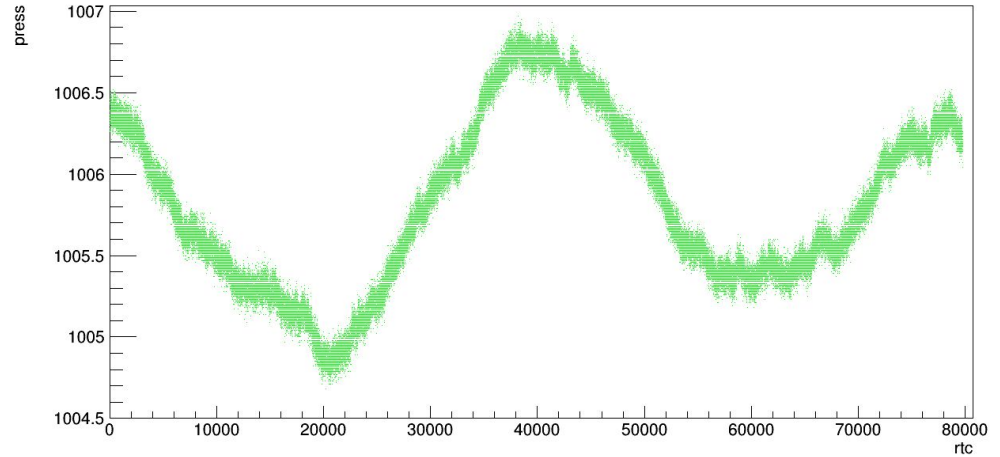


Gráfico da pressão (hPa) em função do tempo (s) (dia 23/07/2020).

Análise de dados

A curva esperada é da seguinte forma:

$$y = a * \cos(\pi(bx + c)/360)^2 + d$$

Neste caso, temos como parâmetros:

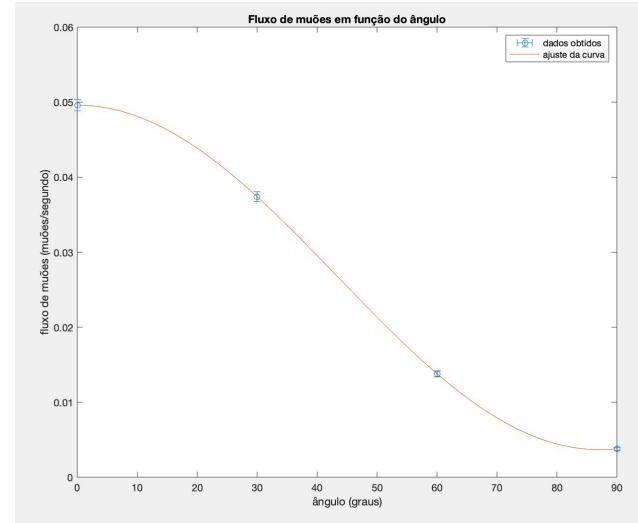
$a = 0.0459233$ muões/seg

$b = 2.06479$

$c = 0.107831$

$d = 0.00367676$ muões/seg

Usou-se o fit no gnuplot para obter o gráfico apresentado.

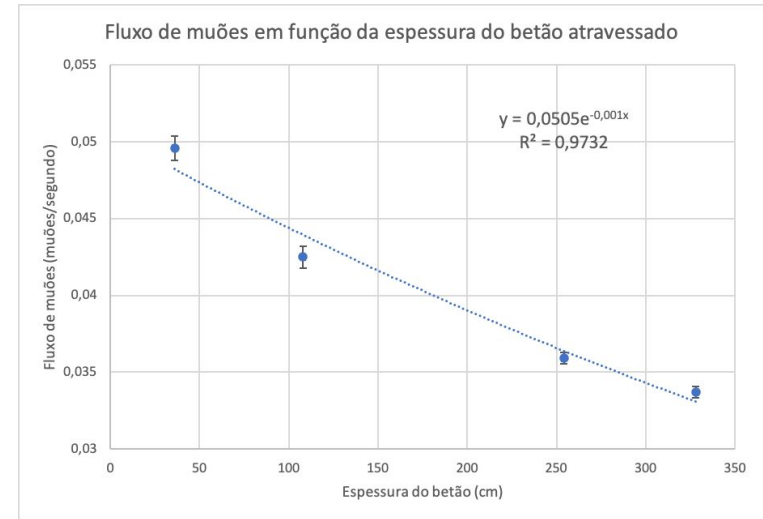


Ângulo com a vertical (graus)	Fluxo de muões (muões/segundo)
0	0.0496 ± 0.0008
30	0.0374 ± 0.0066
60	0.0138 ± 0.0004
90	0.0038 ± 0.0002

Análise de dados

A curva esperada é exponencial. Neste caso, com equação:

$$y = 0.0505 * e^{(-0,001x)}$$



Piso	Espeçura de betão (cm)	Fluxo de muões (muões/seg)
4º andar	36	0.0496±0,0008
2º andar	108	0.0425±0,0007
Cave (-1)	254	0.0359±0,0004
Subcave (-2)	328	0.0337±0,0003

Conclusão



- O setup funcionou como esperado e os dados recolhidos dentro do edifício mostram o comportamento esperado;
- A pandemia atrasou a análise dos dados bem como a montagem do setup;
- Pensamos que o detetor esteja pronto para o seu lançamento dentro do balão, após a instalação do código do GPS.

Agradecimentos:

- Alexandre Lindote
- Francisco Neves
- Filipe Neves

Bibliografia

1. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172010000400012&script=sci_arttext
2. <http://www.cosmicwatch.lns.mit.edu/detector#how>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=qyWntI87HoQ>