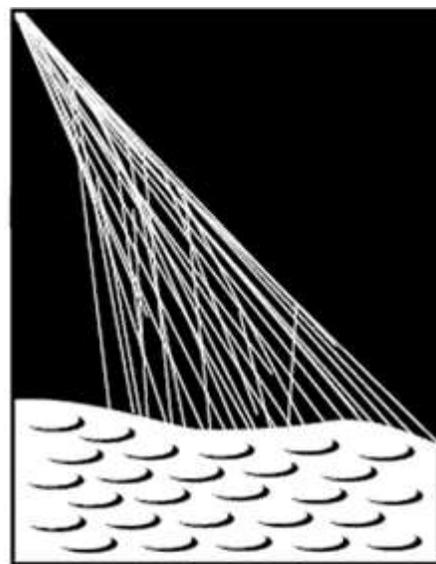


Análise dos dados públicos do observatório Pierre Auger



PIERRE
AUGER
OBSERVATORIO

Estágio de verão LIP 2019

Estagiários:

Pedro Passos

Oswaldo Freitas

Pedro Branco

Orientador:

Raul Sarmiento

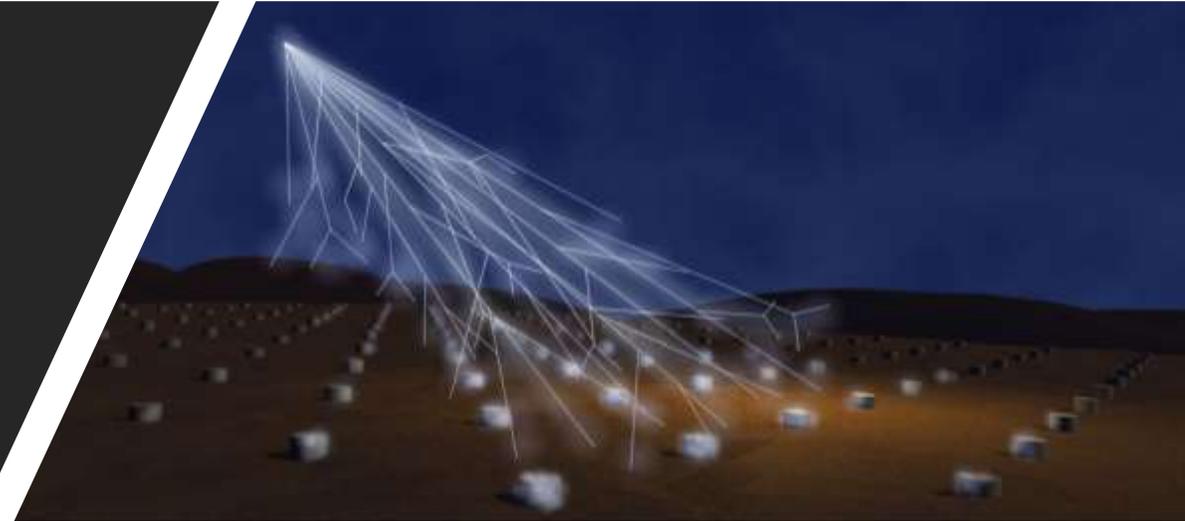
Raios cósmicos

- Partícula primária: partícula a partir da qual se originam todas as outras partículas.
- As partículas cósmicas interagem com as partículas da atmosfera, originando um chuveiro cósmico.
- Os chuveiros cósmicos são formados por: prótons, elétrons, antiprótons, pósitrons, neutrinos, fótons e outros núcleos atômicos.
- As partículas originadas por interações atmosféricas vão ser cada vez menos energéticas.
- O observatório Pierre Auger, dedica-se à detecção e ao estudo das partículas cósmicas.



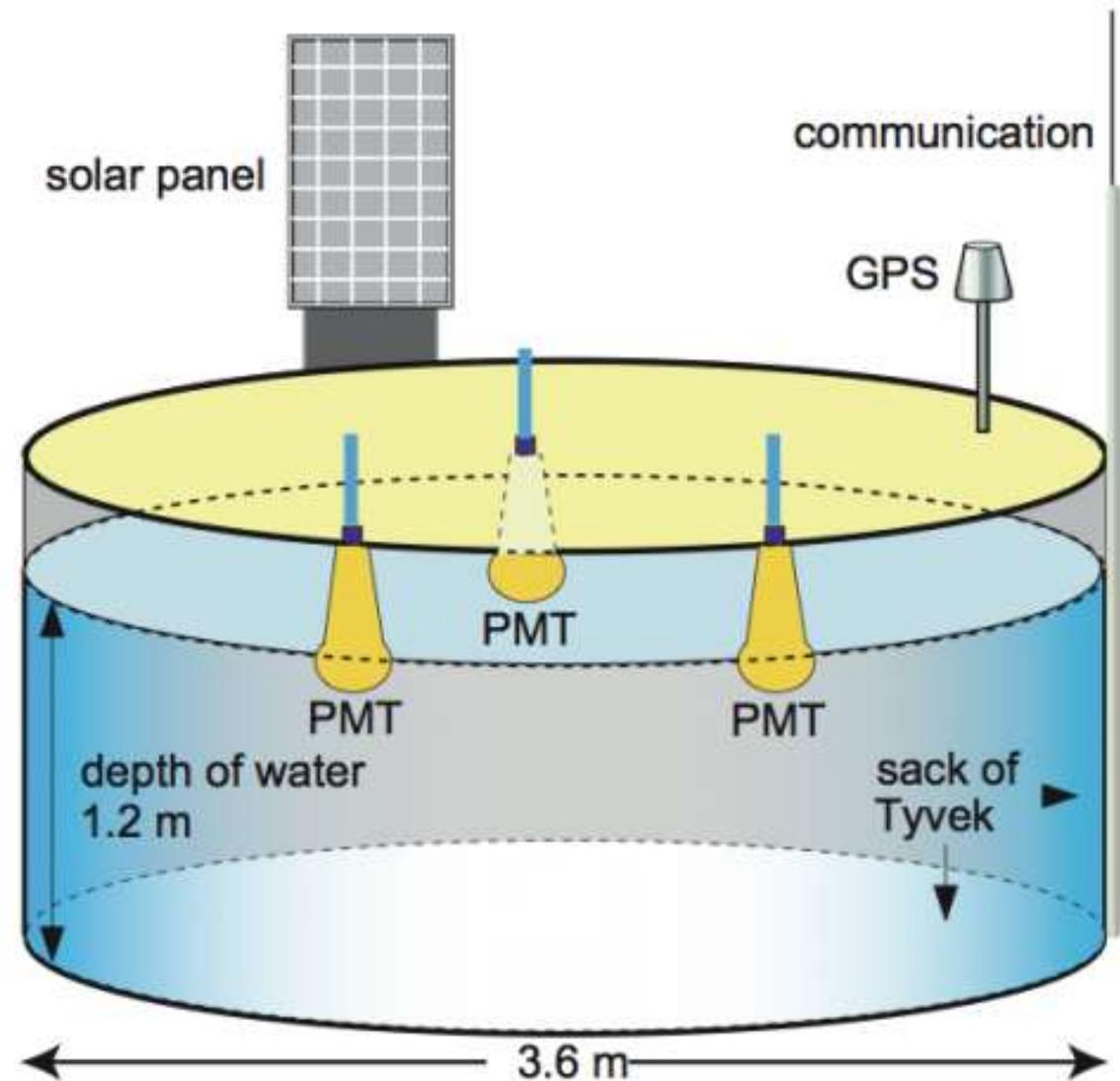
Observatório Pierre Auger

- Estuda e detecta as partículas provenientes do cosmos.
- Objetivo principal foi verificar se existe uma supressão no fluxo a energias mais elevadas.
- Estudar os raios cósmicos de energias extremas ($> 10^{18}$ eV).
- Constituído por detectores de superfície e detectores de fluorescência.



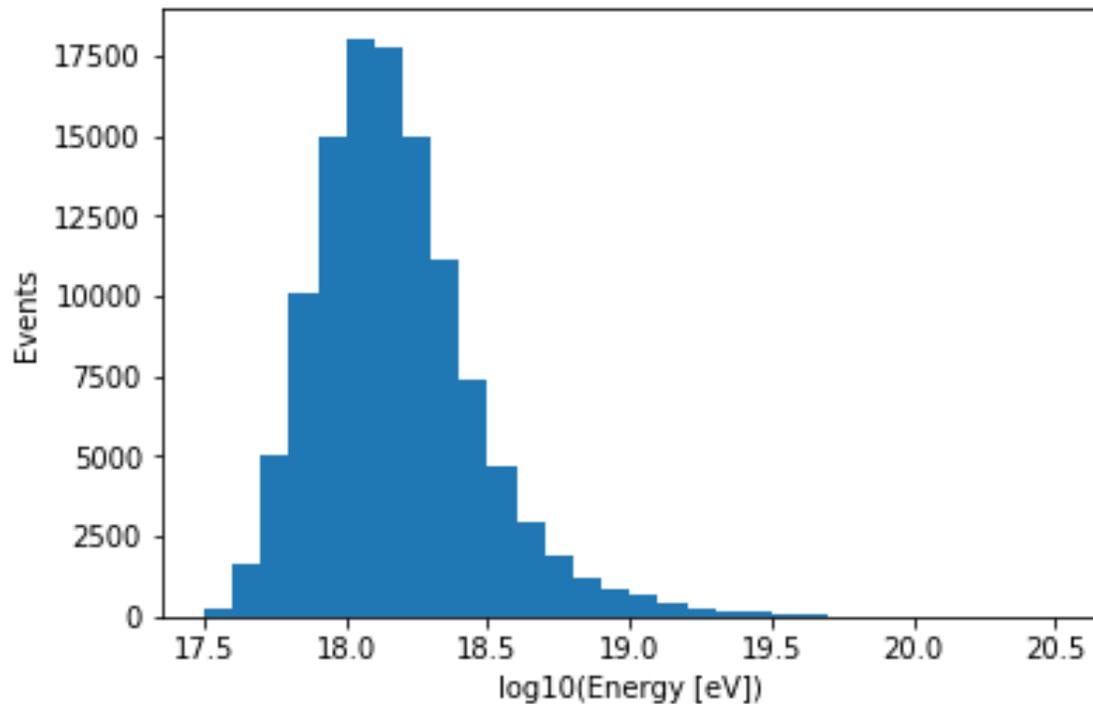
Detetores de superfície

- 1661 tanques de Cherenkov, espaçados de 1.5 km (e 750 m) em rede triangular.
- Luz de Cherenkov é recolhida por 3 fotomultiplicadores.
- Mede as componentes muónicas e eletromagnéticas em simultâneo.
- Dados analisados para ângulos zenitais entre 0° e 60° .



1º objetivo: elaborar e analizar o espectro de energia.

Energia dos eventos



- O número de eventos corresponde a 10% dos dados adquiridos pelo observatório.
- Para energias elevadas observa-se uma diminuição dos eventos, atingindo estes valores mínimos.
- O número de eventos é máximo para valores do logaritmo da energia entre 18 e 18.4

Cálculo da exposição

Para o cálculo da exposição foi necessário determinar o valor de 3 componentes:

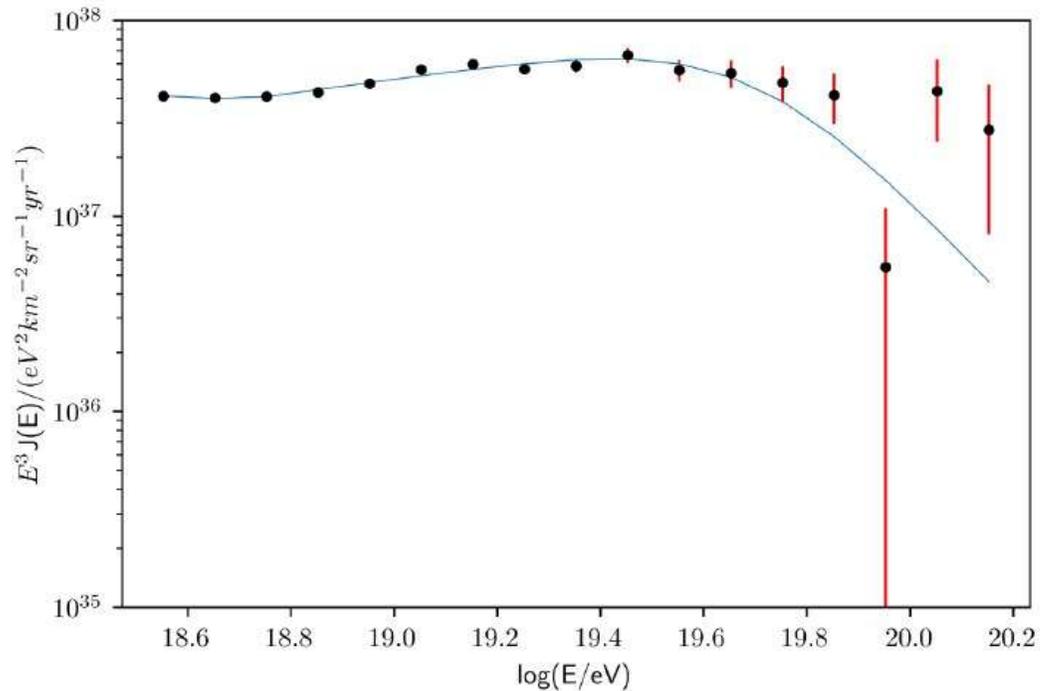
- Área = Área total do observatório (3000 km²)
- Ângulo sólido = $\int_0^{\frac{\pi}{3}} 2\pi \sin \theta \cos \theta d\theta = \frac{3}{4} \pi$ sr
- Tempo de exposição = 2018 - 2004 (14 anos)

Exposição (calculado) = 76340.70 km²*sr*ano

Exposição (valor real) = 57583.57 km²*sr*ano

O valor da exposição vai ser necessário para normalizar o fluxo.

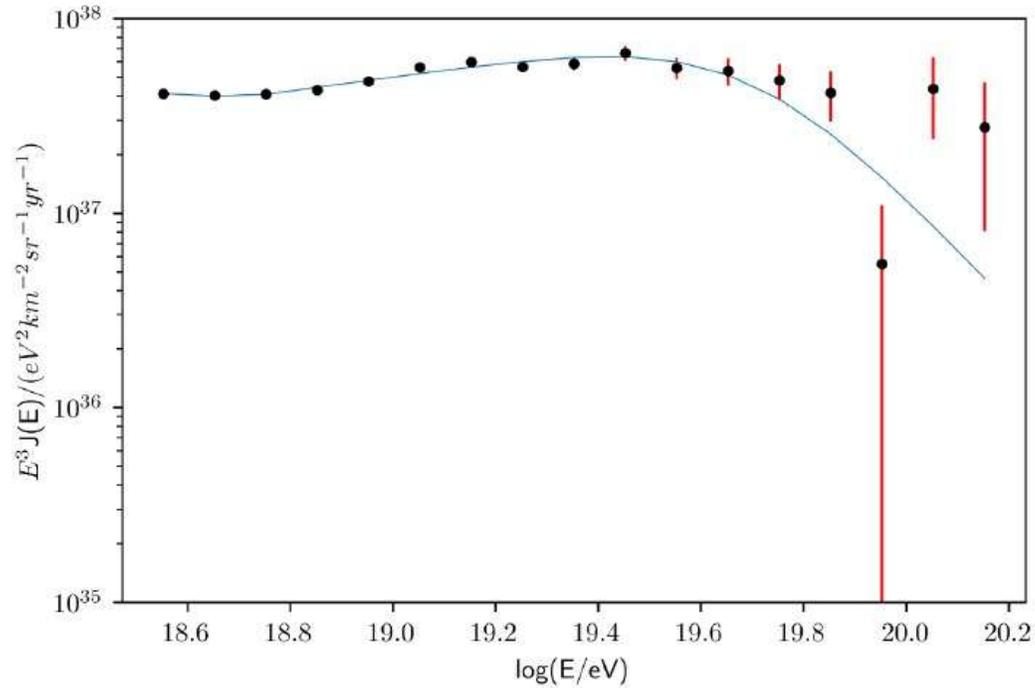
Espetro de energia



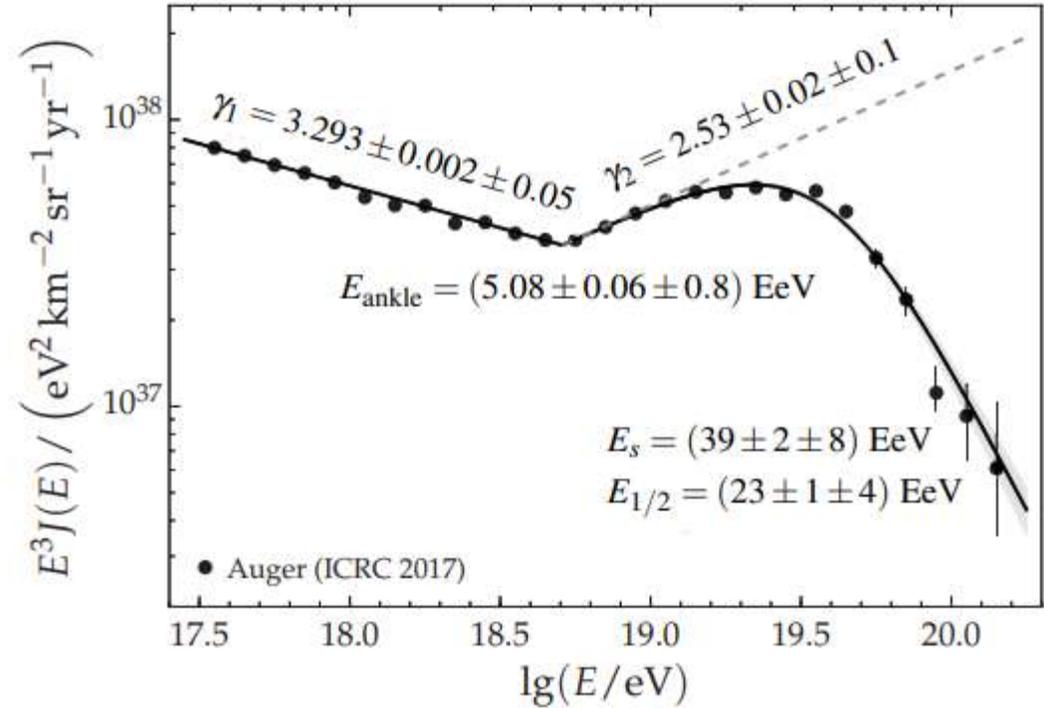
O fluxo é dado pelo número de eventos sobre a exposição. Normalizado à área, ao ângulo sólido, ao ano e ao E^3 .

$$J_{\text{unf}}(E) = \begin{cases} J_0 \left(\frac{E}{E_{\text{ankle}}} \right)^{-\gamma_1}, & E \leq E_{\text{ankle}} \\ J_0 \left(\frac{E}{E_{\text{ankle}}} \right)^{-\gamma_2} \left[1 + \left(\frac{E_{\text{ankle}}}{E_s} \right)^{\nu\gamma} \right] \left[1 + \left(\frac{E}{E_s} \right)^{\nu\gamma} \right]^{-1}, & E > E_{\text{ankle}} \end{cases}$$

10% Vs 100%



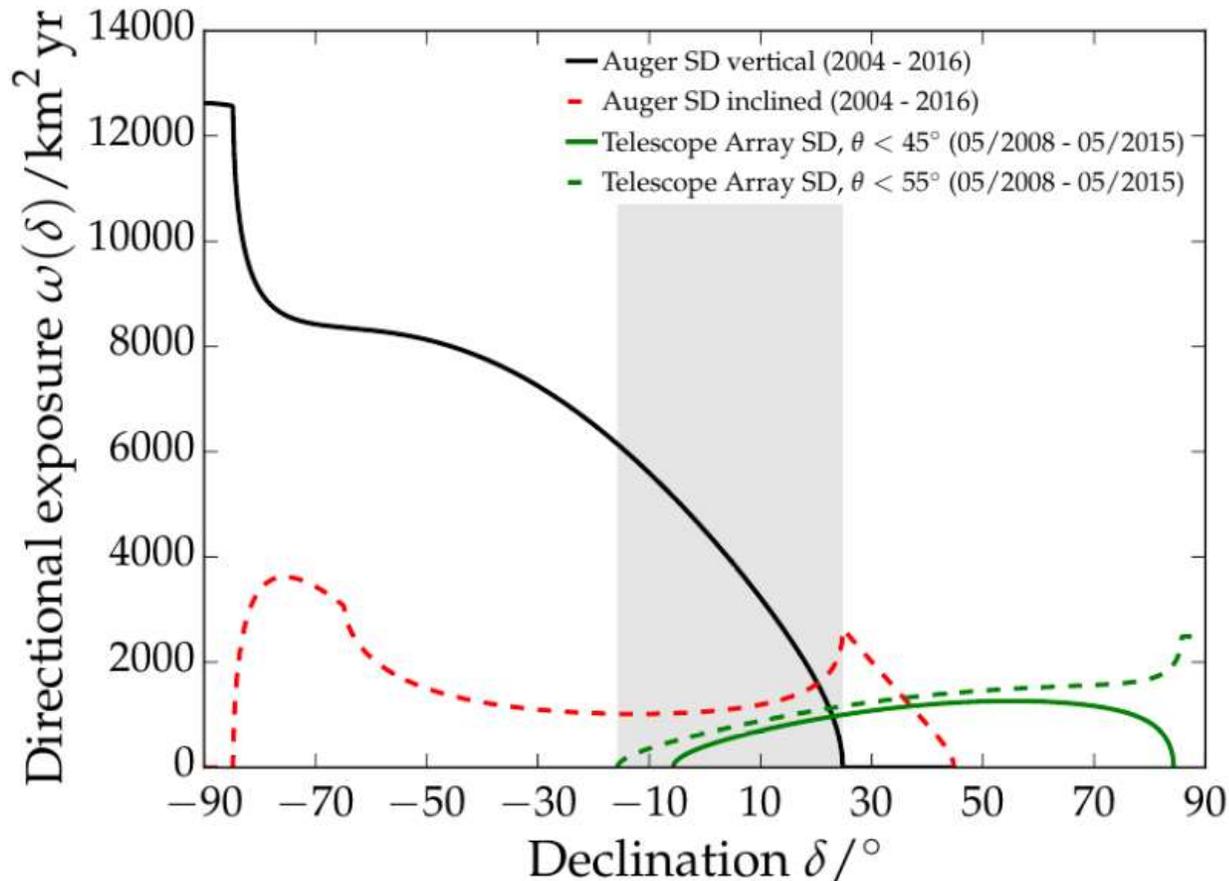
10% de dados



100% de dados

2º objetivo: Observar as anisotropias dos raios cósmicos a largas escalas.

Exposição em bandas de declinação



$$\omega(\delta) \propto \cos a_0 \cos \delta \sin \alpha_m + \alpha_m \sin a_0 \sin \delta$$

$$\alpha_m = \begin{cases} 0 & \text{se } \xi > 1 \\ \pi & \text{se } \xi < -1 \\ \cos^{-1} \xi & \text{caso contrário} \end{cases}$$

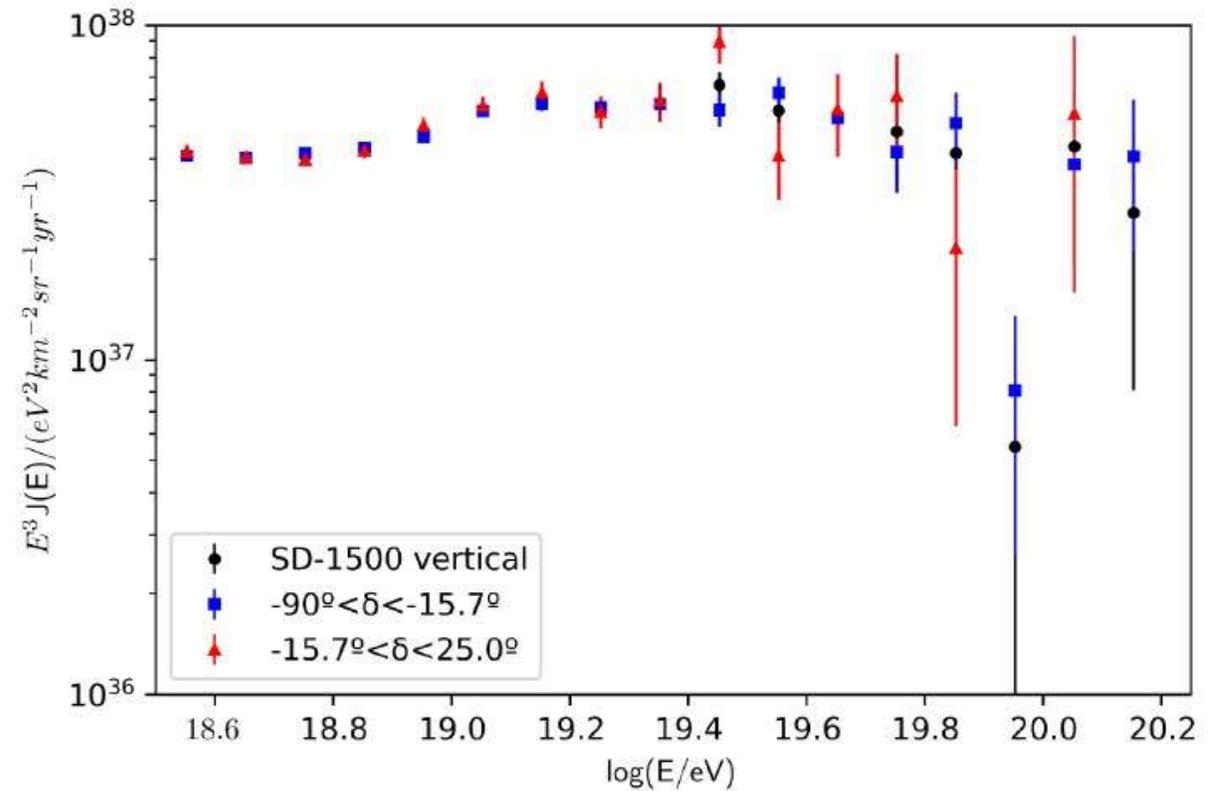
$$\xi = \frac{\cos \theta_m - \sin a_0 \sin \delta}{\cos a_0 \cos \delta}$$

A exposição é calculada por:

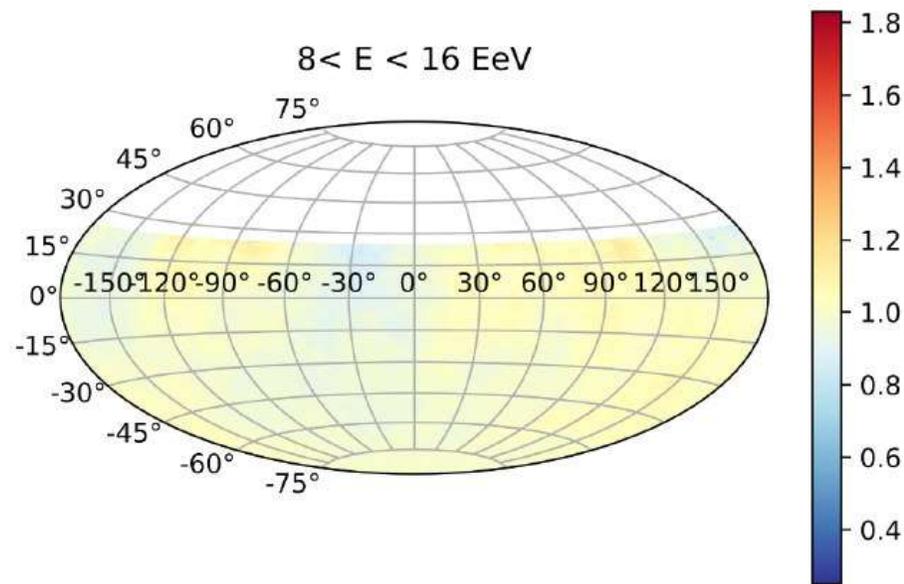
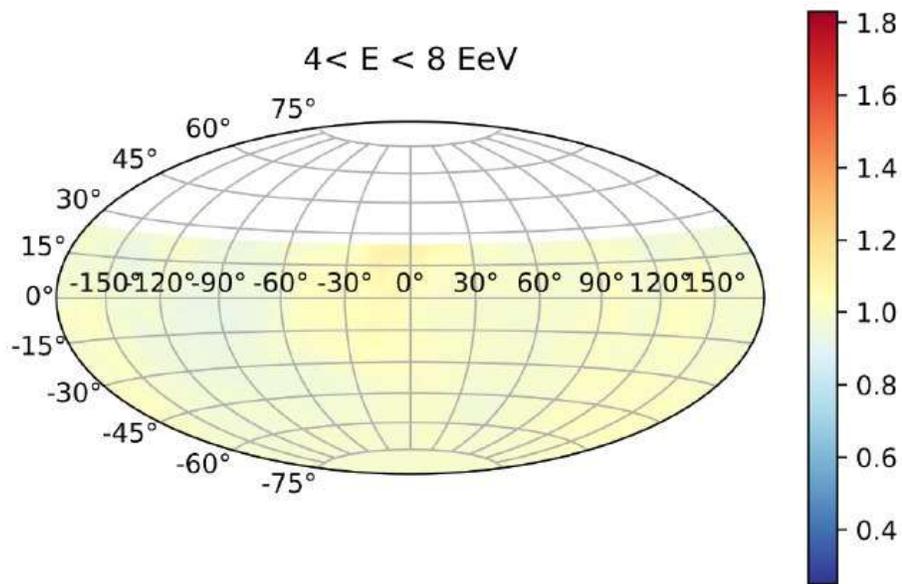
$$\varepsilon_{\text{total}} = 2\pi \int \cos \delta \cdot \varepsilon(\delta) \cdot d\delta$$

Espectro em bandas de declinação

- A divisão do espectro nestas banda de declinação permite comprar com os dados da experiência TA.
- O fluxo de energia não parece depender da região do céu.

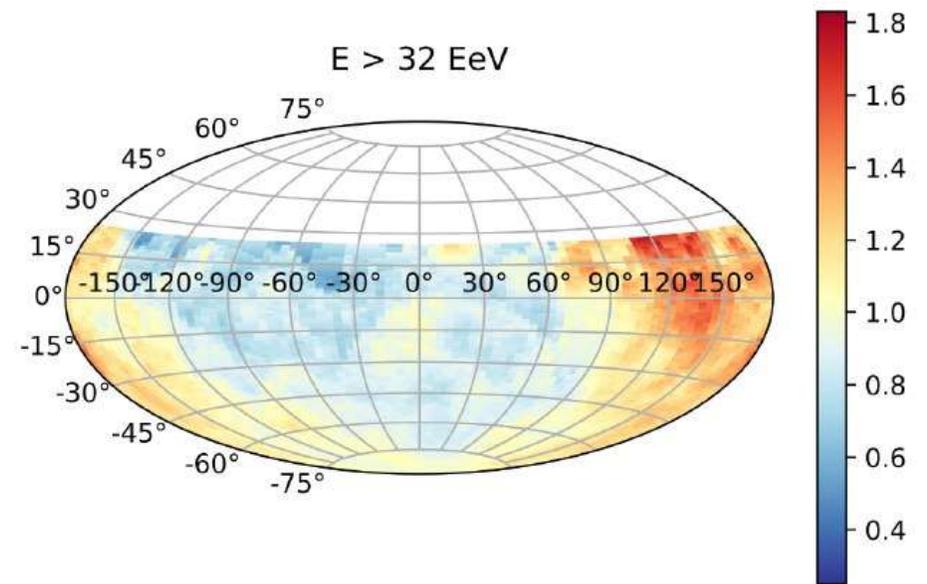
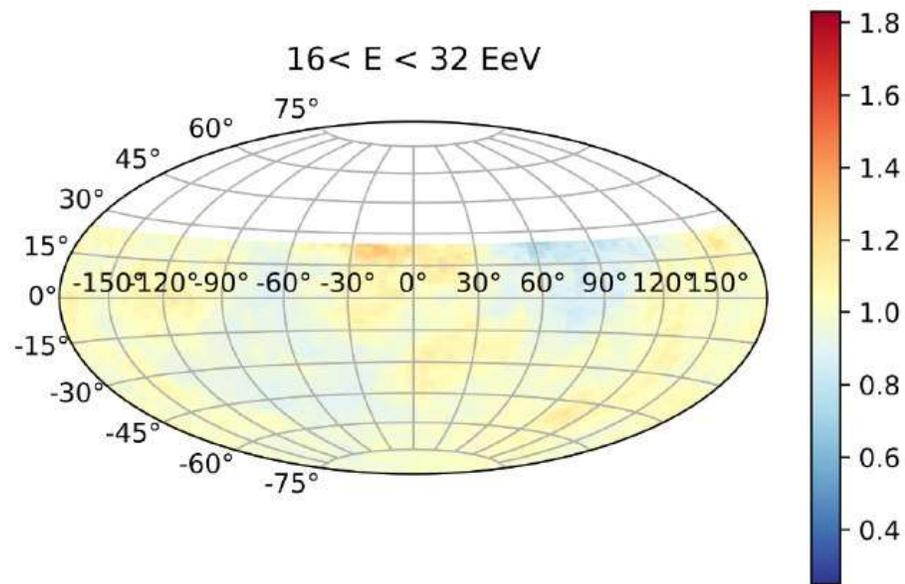


Mapas do céu em coordenadas equatoriais



Centro galáctico: ra:-94 dec:-29

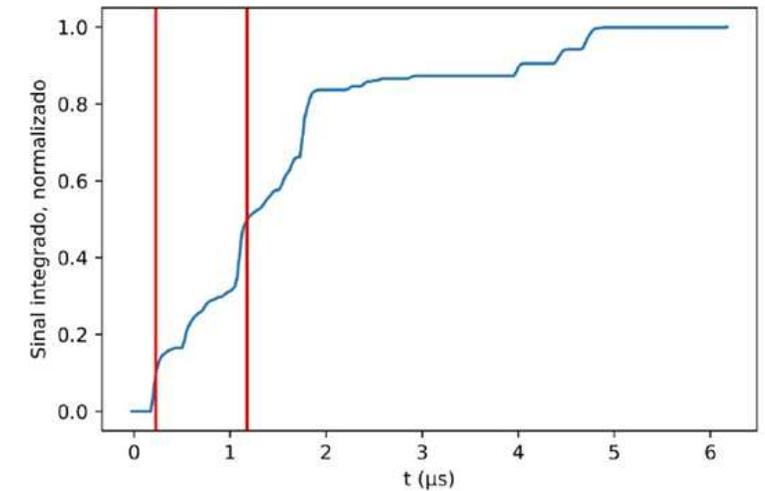
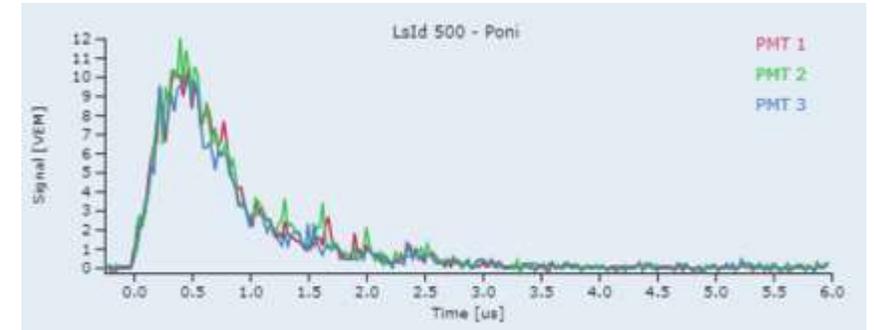
Mapas do céu em coordenadas equatoriais



3º objetivo: Análise da massa da partícula primária.

Risetime

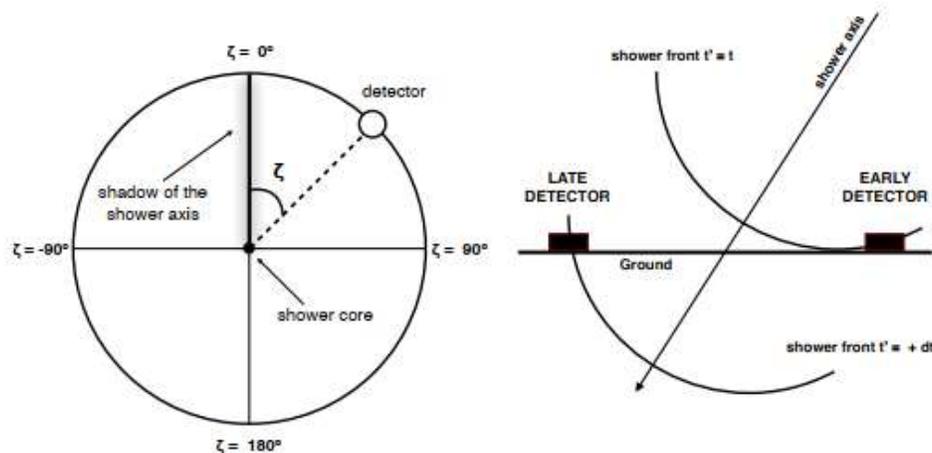
- O parâmetro $t_{1/2}$ é chamado “risetime”.
- É este o tempo utilizado para estudos da composição mássica dos chuveiros.
- É definido como o tempo necessário para o sinal integrado subir de 10% para 50% do seu valor total.



Correção da assimetria azimutal

- O “risetime” é uma função que varia com o ângulo azimutal no solo, ζ , onde:

$$\text{tg}(\zeta) = \frac{y \cos \phi - x \sin \phi}{x \cos \phi + y \sin \phi}$$



Origens da assimetria:

- As partículas que chegam mais tarde ao detector atravessam um caminho mais longo na atmosfera.
- Efeitos geométricos: detectores mais tardios registam mais muões próximos do eixo do chuveiro.

Correção azimutal para detetores a 1500 m

Correção do “risetime” para detetores espaçados entre si em 1500 m:

$$t_{1/2}^{\text{corrigido}} = t_{1/2}^{\text{medido}} - g(r, \theta) \cos(\zeta)$$

$$g(r, \theta) = m(\theta)r^2$$

$$m = (a \sec \theta + b \sec^3 \theta + c) \sqrt{\sec \theta - 1}$$

Com:

$$a = (-3.9 \pm 2.3) \times 10^{-5} \text{ ns} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$b = (-1.9 \pm 0.4) \times 10^{-5} \text{ ns} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$c = (-2.0 \pm 0.2) \times 10^{-4} \text{ ns} \cdot \text{m}^{-2}$$

Parâmetro $\langle \Delta s \rangle$

- Combina os valores do “risetime” numa única observável que caracteriza todo o evento.
- É possível calibrar $X_{\text{máx}}$ com $\langle \Delta s \rangle$ visto que ambos são sensíveis à massa.

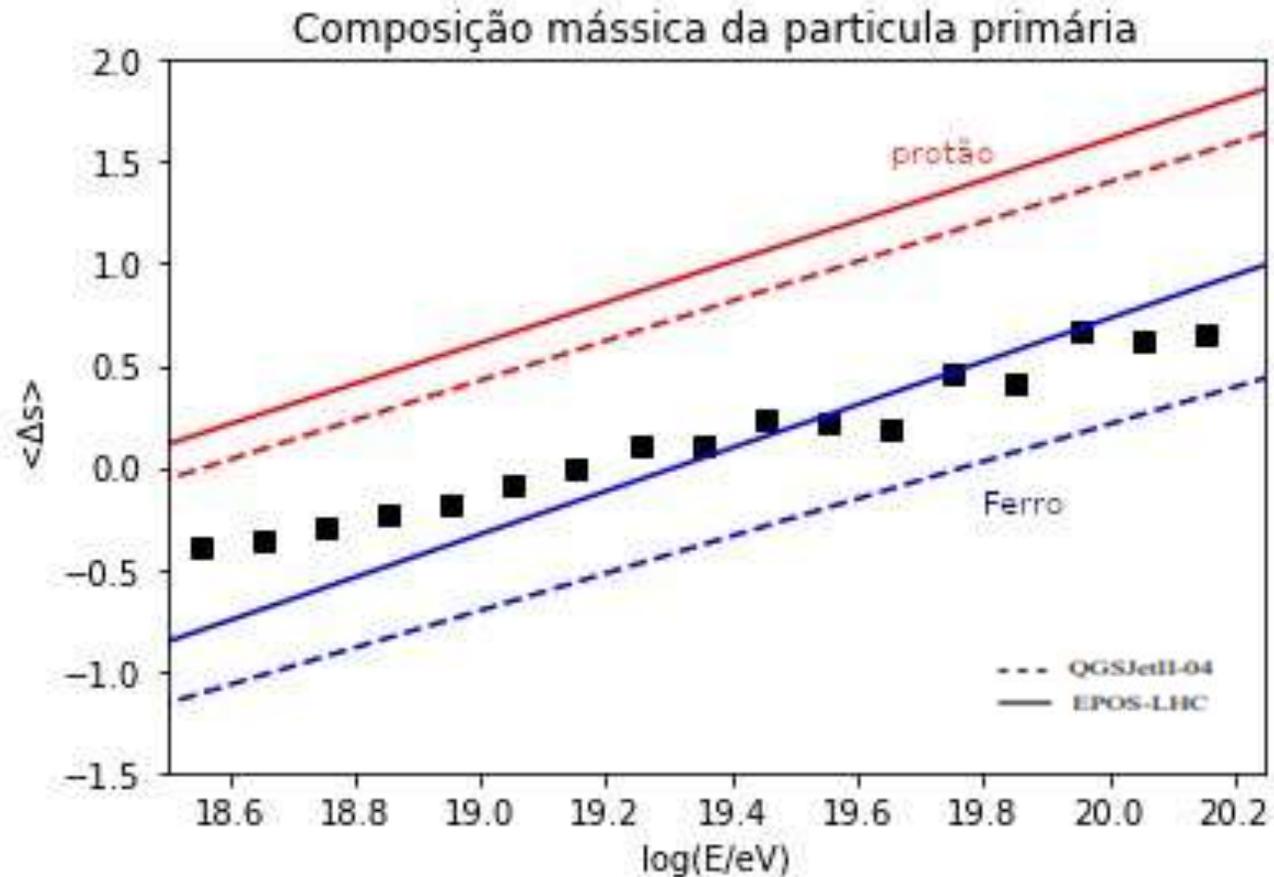
$$\Delta s = \frac{t_{1/2} - t_{1/2}^{\text{bench}}(r, \theta)}{\sigma_{1/2}}$$

- Valor médio:

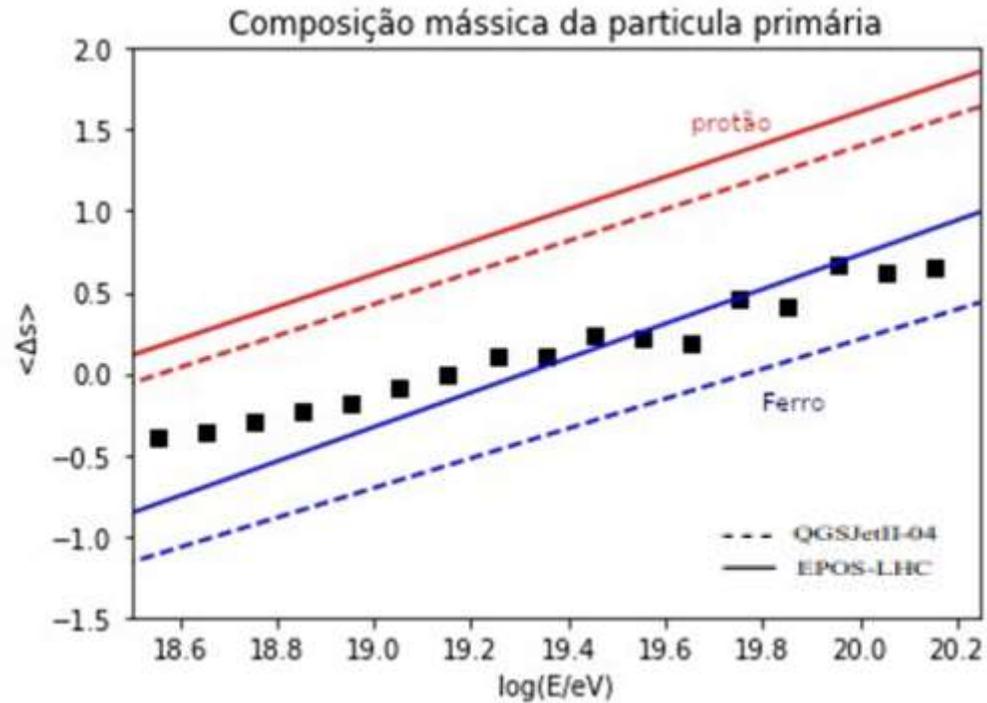
$$\langle \Delta s \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta s_i$$

Massa da partícula primária

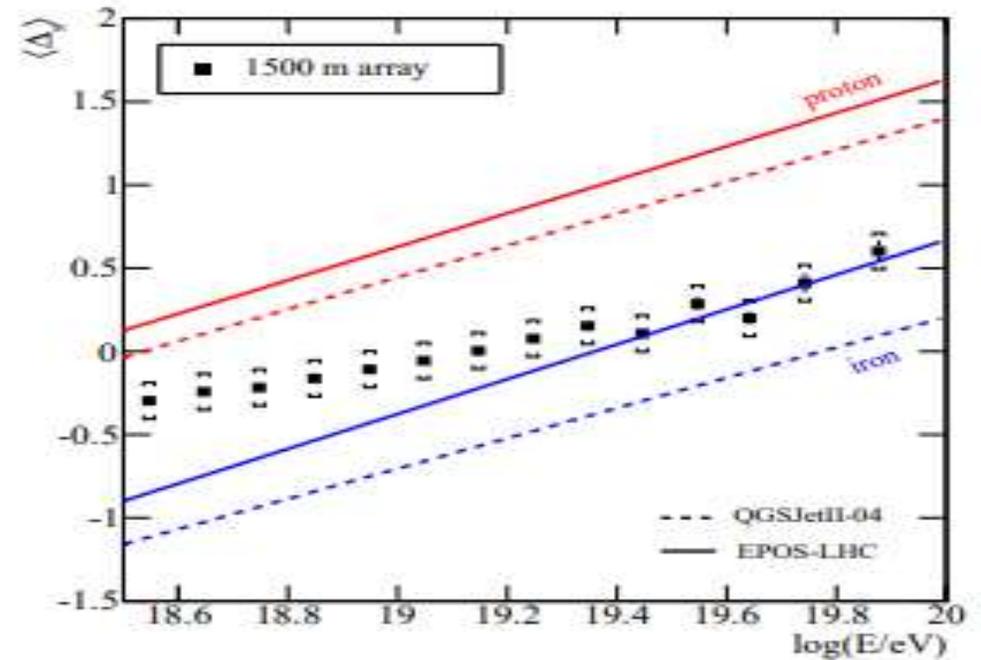
- $\langle \Delta s \rangle$ é sensível à massa.
- Para energias baixas não há clareza na constituição da partícula primária.
- Para energias mais elevadas, a partícula primária comporta-se como um núcleo de ferro.



10% Vs 100%



10% de dados



100% de dados

Conclusão

Com 10% dos dados públicos do observatório foi possível verificar resultados previamente obtidos com 100% dos dados;

Tentativa de relacionar a direção de chegada dos raios cósmicos com a composição mássica do primário;

O código desenvolvido será utilizado numa Masterclass do LIP.

A TLAS

Auger ✓ Win!

Cou

Luis

2,8

Alexandra

Leonardo

7.

Leandro

Henrique

5.

Bo

(