

Observing cosmic-ray extensive air showers with a silicon imaging detector

Lucas Orfei



Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC)

O maior **detector de imageamento de silicone** acima de uma altitude de 4200 m.

É capaz de observar **estrelas distantes, galáxias** e outros **objetos interestelares**.

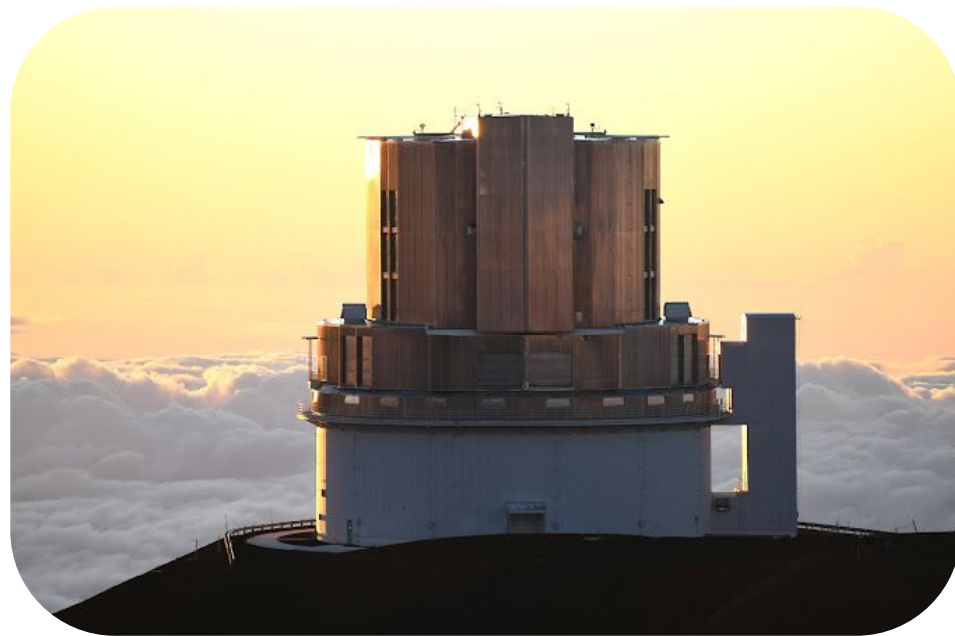


Fig. 1 - Telescópio Subaru, localizado no Havaí.

Funcionamento do HSC

Composto de **112 Dispositivos de Carga Acoplada (DCA)**.

Cada DCA possui uma **dimensão** de 4176×2048 pixels e uma **superfície de silicone**.

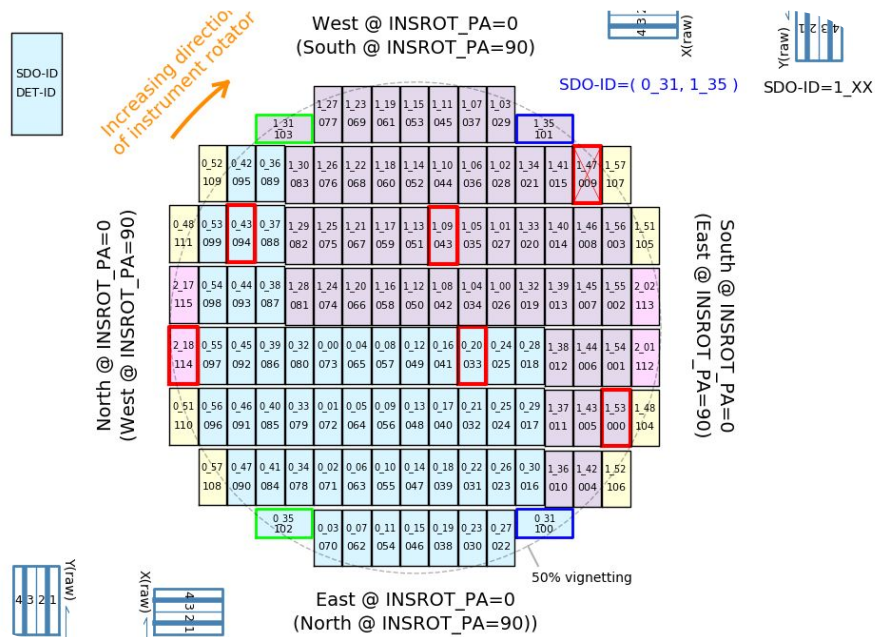


Fig. 2 - Configuração do HSC.

Funcionamento do HSC

Mas, não existem somente **fótons** chegando nos dispositivos, também há **outras partículas** que são tratadas como **ruídos**.

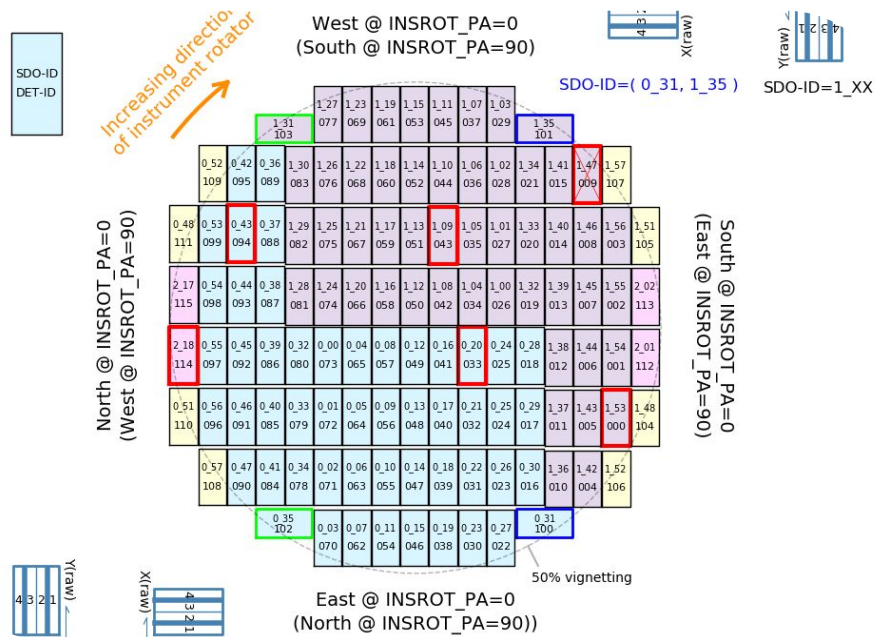


Fig. 2 - Configuração do HSC.

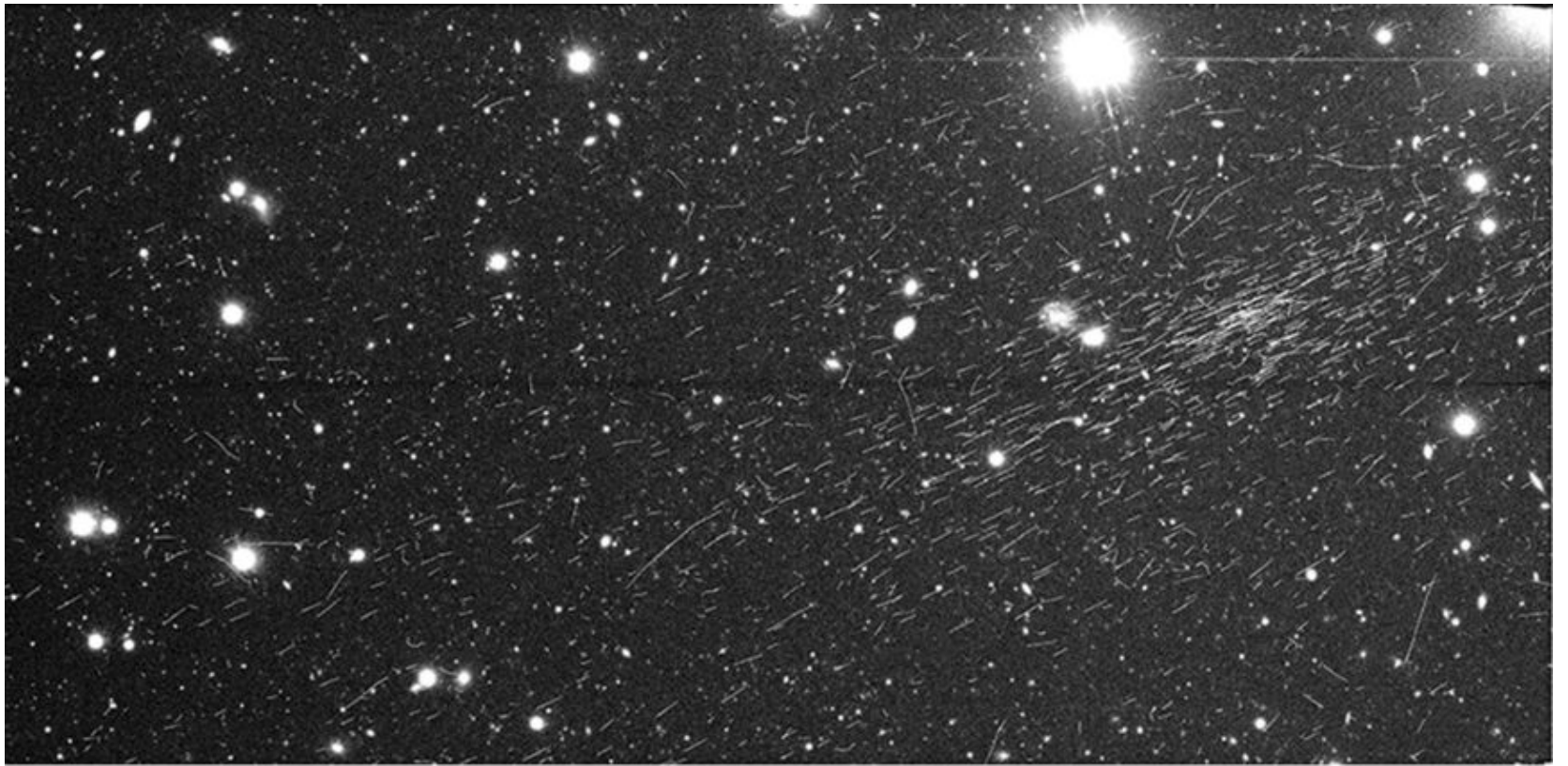


Fig. 3 - Um chuva atmosférico extenso registrado por um DCA.

Modelagem

Foi feito um modelo para estimar a **taxa de partículas secundárias** que poderiam deixar **rastros**.

O modelo levou em consideração o **ângulo de elevação** (ψ_{tel}), **ângulo azimutal** (ϕ_{tel}) e o **nível de brilho do céu** (B_{sky}).

$$N_{\text{model}} = c_0 + c_1(1 + \sin^2(\psi_{\text{tel}}))/2 + c_2 \sin(\phi_{\text{tel}}) + c_3 B_{\text{sky}}$$

Modelagem

Com dados coletados de 2014 a 2020, foram encontrados os parâmetros c_0 , c_1 , c_2 e c_3 .

| Filter | Material | c_0 | c_1 | c_2 | c_3 | σ |
|--------|----------|----------|-----------|--------|-------------|----------|
| HSC-g | Silica | 1587±61 | 17939±69 | 235±8 | 0.185±0.027 | 329 |
| HSC-r | B270 | 3006±134 | 17600±146 | 289±14 | 0.141±0.027 | 341 |
| HSC-r2 | Silica | 1012±84 | 18437±96 | 169±11 | 0.208±0.014 | 336 |
| HSC-i | B270 | 8648±287 | 17819±285 | 249±28 | 0.271±0.023 | 506 |
| HSC-i2 | B270 | 6480±105 | 19608±109 | 272±12 | 0.485±0.009 | 512 |
| HSC-z | Silica | 2865±88 | 21749±92 | 272±10 | 0.494±0.009 | 448 |
| HSC-y | Silica | 6409±126 | 18614±133 | 261±14 | 0.375±0.005 | 652 |

Fig. 4 - Resultado da parametrização do modelo.

Resultados

| Visit | Date | UT | Filter | ψ_{tel} | ϕ_{tel} | B_{sky} | N_{track} | N_{model} | N_{excess} |
|--------|------------|----------|--------|---------------------|---------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 034298 | 2015-07-14 | 09:17:32 | HSC-g | 54.2 | 138.9 | 413 | 24745 | 16685 | 8060 |
| 034480 | 2015-07-14 | 13:28:20 | HSC-g | 72.7 | 1.4 | 423 | 28276 | 18760 | 9516 |
| 034814 | 2015-07-15 | 14:47:34 | HSC-r | 64.7 | 45.5 | 1559 | 35124 | 19424 | 15700 |
| 039340 | 2015-10-06 | 14:08:04 | HSC-y | 43.3 | 63.4 | 6209 | 36354 | 22328 | 14026 |
| 069450 | 2016-04-15 | 10:55:54 | HSC-y | 55.5 | 54.3 | 7843 | 38513 | 24810 | 13703 |
| 073808 | 2016-06-11 | 09:42:43 | HSC-i2 | 59.0 | 57.1 | 2880 | 99476 | 25113 | 74363 |
| 146672 | 2018-04-22 | 09:42:33 | HSC-r2 | 63.2 | 50.7 | 2845 | 32509 | 18302 | 14207 |
| 161642 | 2019-01-07 | 15:31:21 | HSC-g | 57.4 | 55.0 | 358 | 40683 | 17182 | 23500 |
| 162680 | 2019-01-11 | 05:20:15 | HSC-z | 66.0 | 37.0 | 1874 | 33089 | 23908 | 9181 |
| 163754 | 2019-02-02 | 15:35:37 | HSC-g | 51.7 | 68.7 | 367 | 23441 | 16365 | 7076 |
| 190348 | 2019-11-01 | 10:00:11 | HSC-g | 60.7 | 61.1 | 418 | 26593 | 17657 | 8936 |
| 202364 | 2020-01-03 | 12:39:19 | HSC-g | 51.1 | -67.2 | 396 | 24279 | 15839 | 8440 |
| 203690 | 2020-01-20 | 14:27:54 | HSC-r2 | 67.3 | -48.5 | 1017 | 27180 | 18166 | 9014 |

Fig. 5 - Possíveis eventos de chuviscos atmosféricos, possuem N em excesso.

Resultados

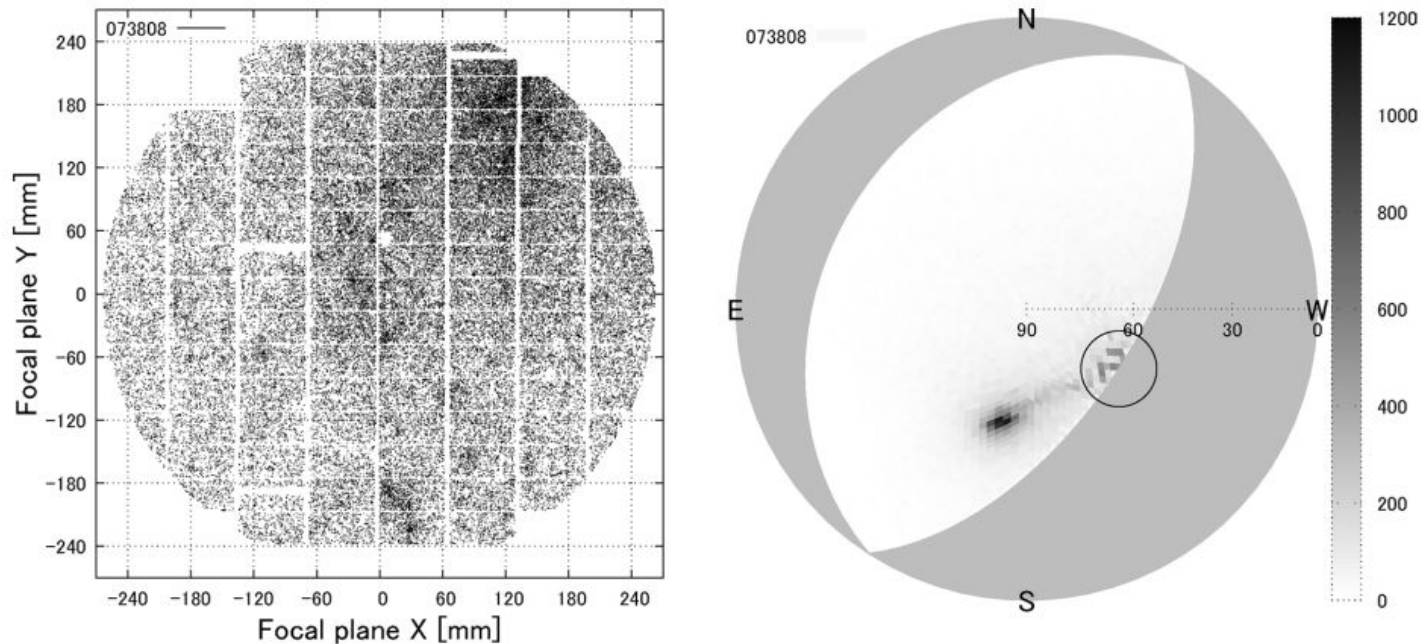


Fig. 6 - Direção de chegada para um evento.

Resultados

Seria possível descobrir a energia do primário através de uma **distribuição lateral** e da **densidade de partículas medida**.

Com arrays na superfície, como **cintiladores**, haveria mais informações sobre os chuveiros e mais possibilidades para as **reconstruções** deles.

Radiography using cosmic-ray electromagnetic showers and its application in hydrology



Radiografia

Os múons, pelo seu caráter **penetrante**, são usados para investigar **sítios arqueológicos, depósitos de minerais, vulcões, etc.**

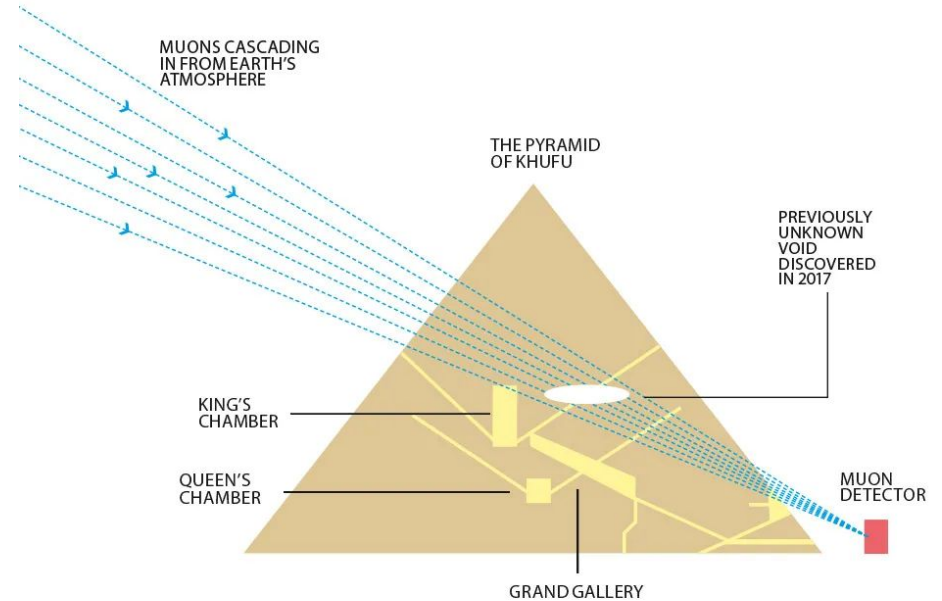


Fig. 7 - Esquema do interior da Pirâmide de Khufu.

Radiografia

Os **neutrinos** podem ser usados para estudar estruturas **mais profundas**, como o **núcleo da Terra**.

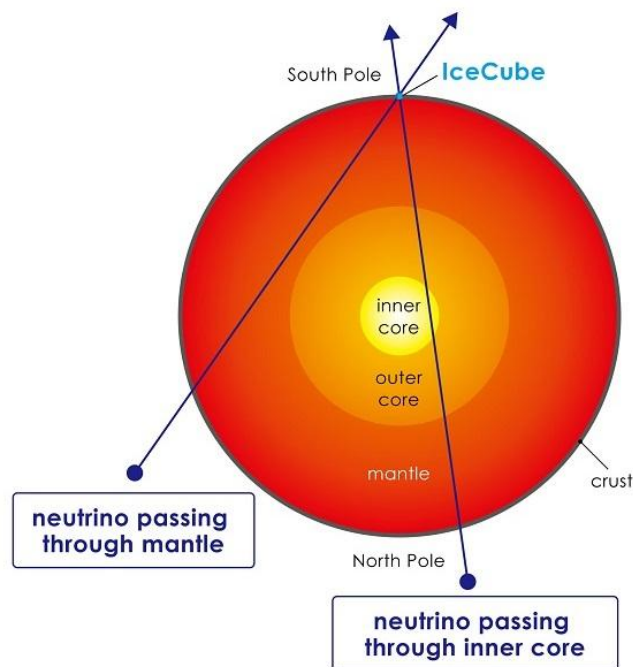


Fig. 8 - Neutrinos atravessando o núcleo da Terra.

Radiografia

Os **nêutrons** podem ser usados para monitorar a **profundidade da neve**.

No entanto, não há uma **aplicação geocientífica** para as partículas da **componente eletromagnética** dos chuviros.

Partículas Eletromagnéticas

As partículas do chuveiro EM são **dominantes** para **energias menores**.

Podem ser usadas para estudar **flutuações de massa** perto da **superfície** por conta da sua **perda de energia** ser **10 vezes maior** que a do **múon**.

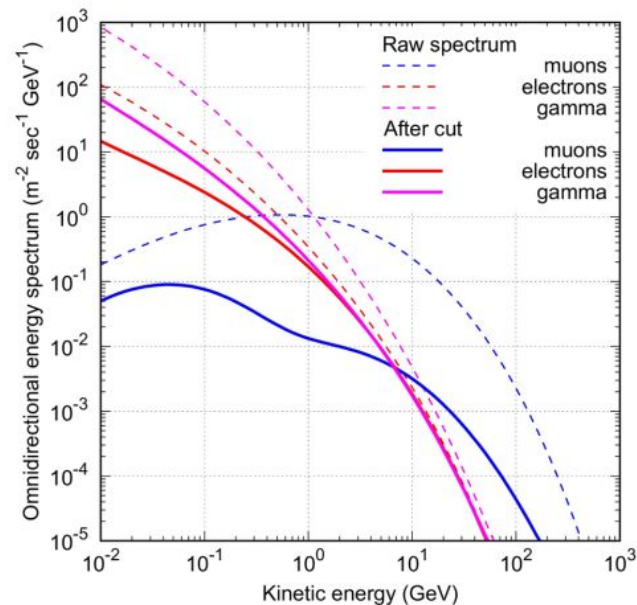


Fig. 9 - Espectro de energia de partículas secundárias na superfície da Terra.

Partículas Eletromagnéticas

Monitorar a **variação temporal** do **fluxo** dessas partículas em **detectores** em baixo do solo pode revelar informações sobre a **variação de massa do solo**.

Este estudo envolve o monitoramento da **umidade do solo**.

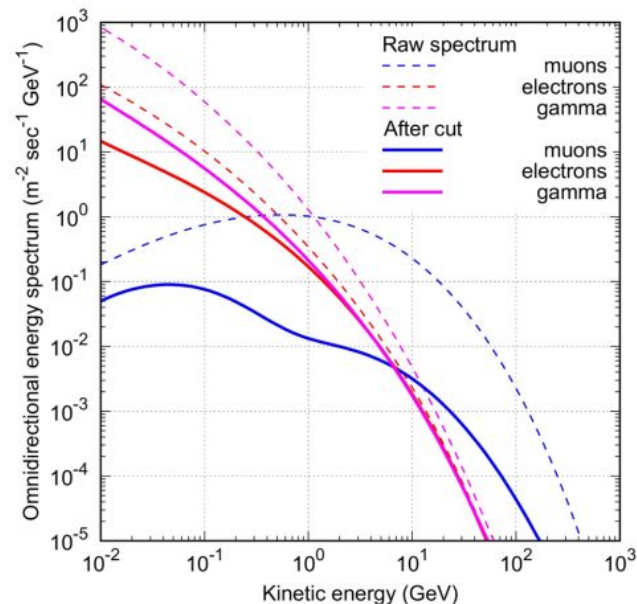


Fig. 9 - Espectro de energia de partículas secundárias na superfície da Terra.

Detector

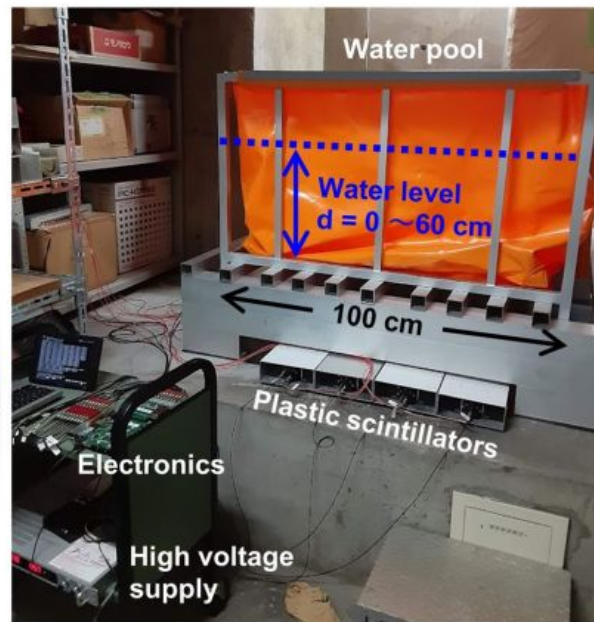
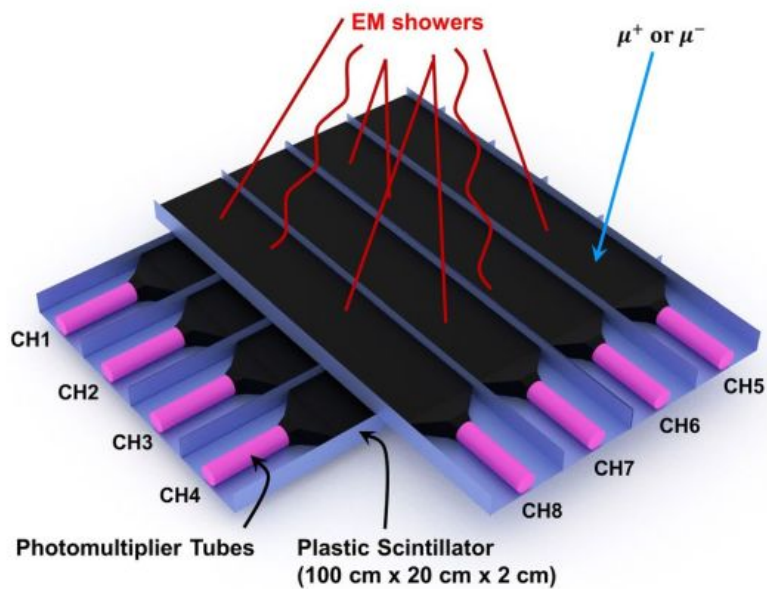


Fig. 10 - Detector e um sistema de calibração.

Resultados - Calibração

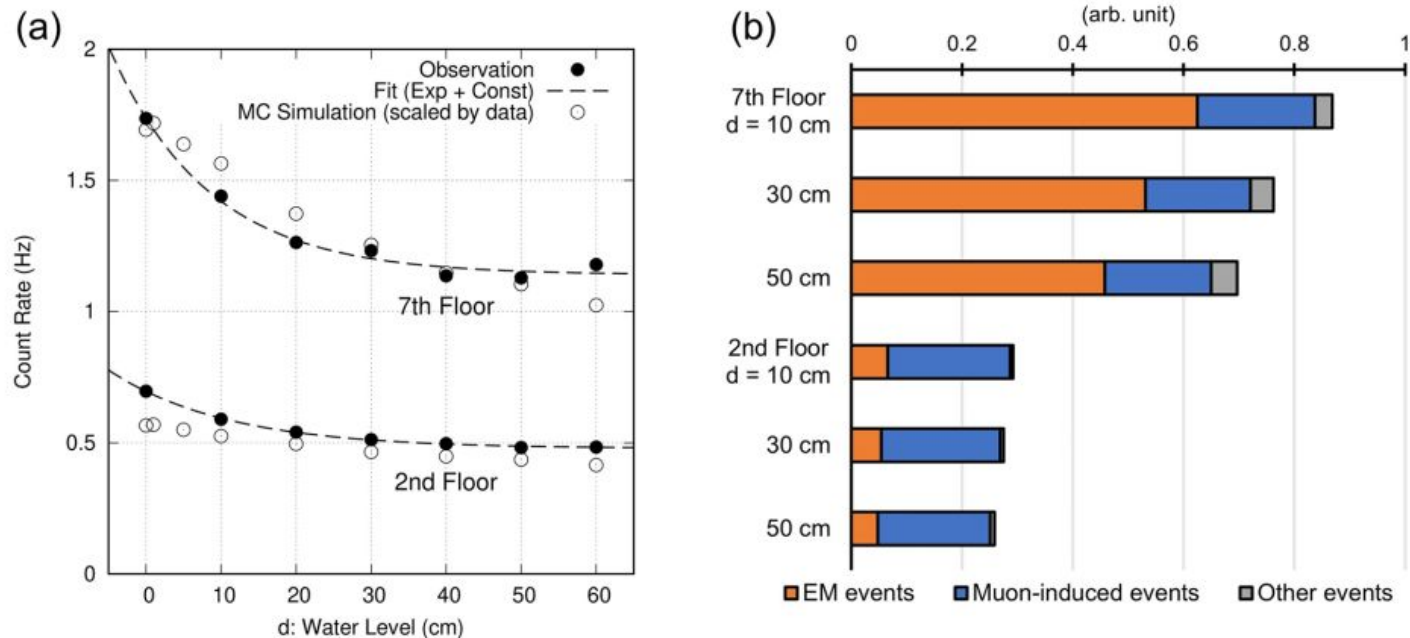
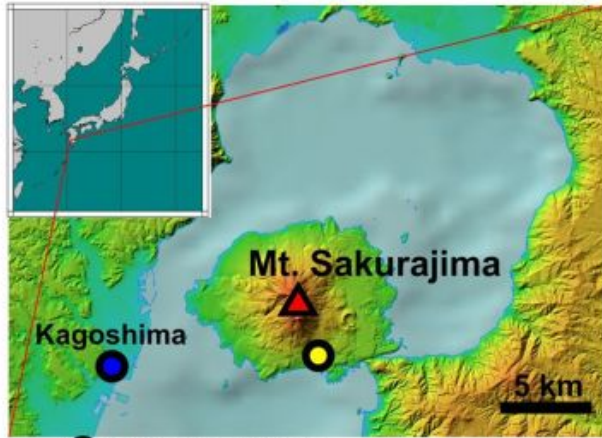


Fig. 11 - Resultados da calibração.

Resultados - Medida de Campo



- Arimura Vault
- JMA meteorological station

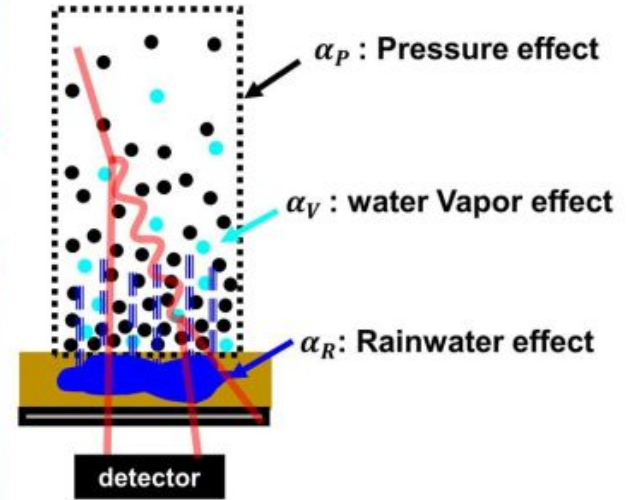
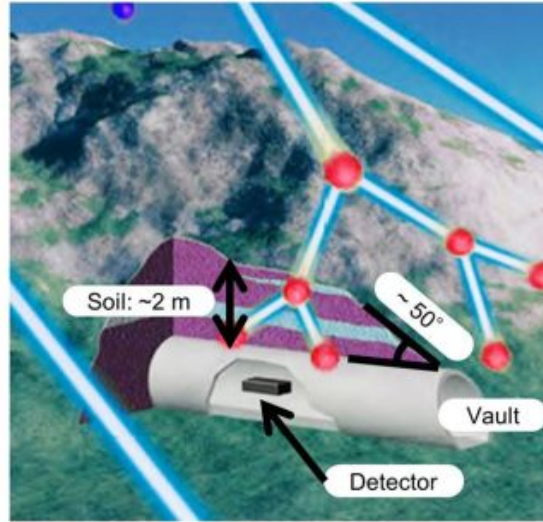


Fig. 12 - Medidas em Kagoshima.

Resultados - Medida de Campo

As medidas entre **2014 e 2019**. No total de **960 dias**.

Os **efeitos atmosféricos** devem ser levados em consideração para calcular a **variação de umidade** no solo após uma **chuva**.

Resultados - Medida de Campo

Sendo assim, fizeram um **modelo de regressão** que leva em consideração a **pressão atmosférica** e a **pressão de água de vapor**.

Primeiro, com medidas de 48 horas com **zero mm de precipitação**.

$$\frac{\Delta N}{\langle N \rangle} = \alpha_P \Delta P + \alpha_V \Delta V;$$

Resultados - Medida de Campo

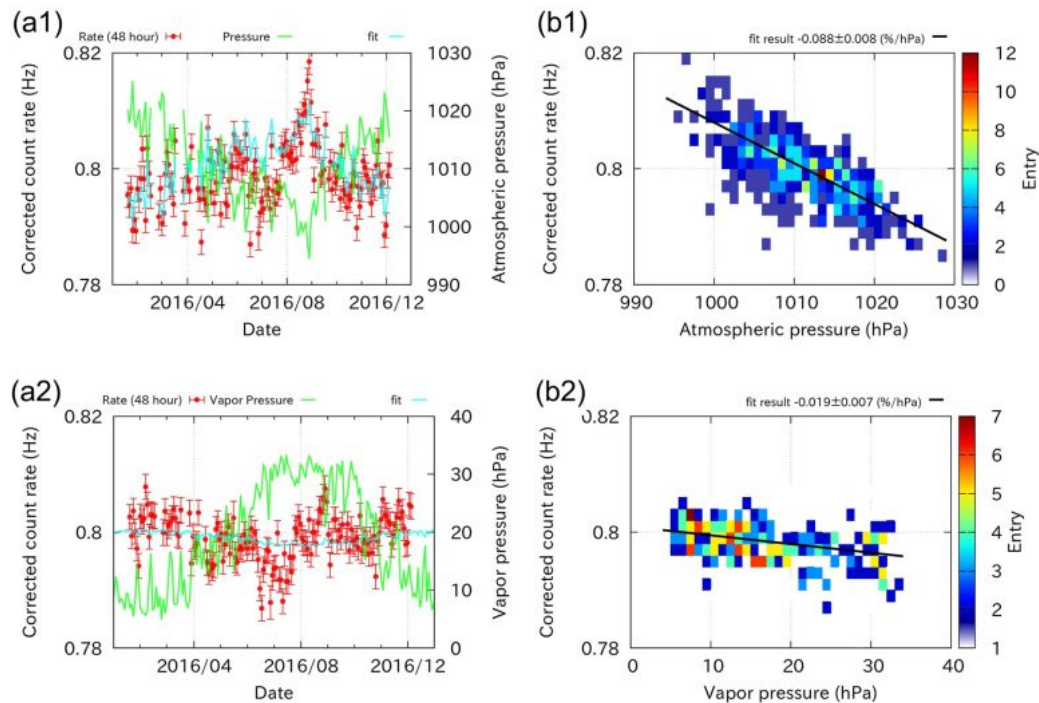


Fig. 13 - Medidas de campo e correções atmosféricas.

Resultados - Medida de Campo

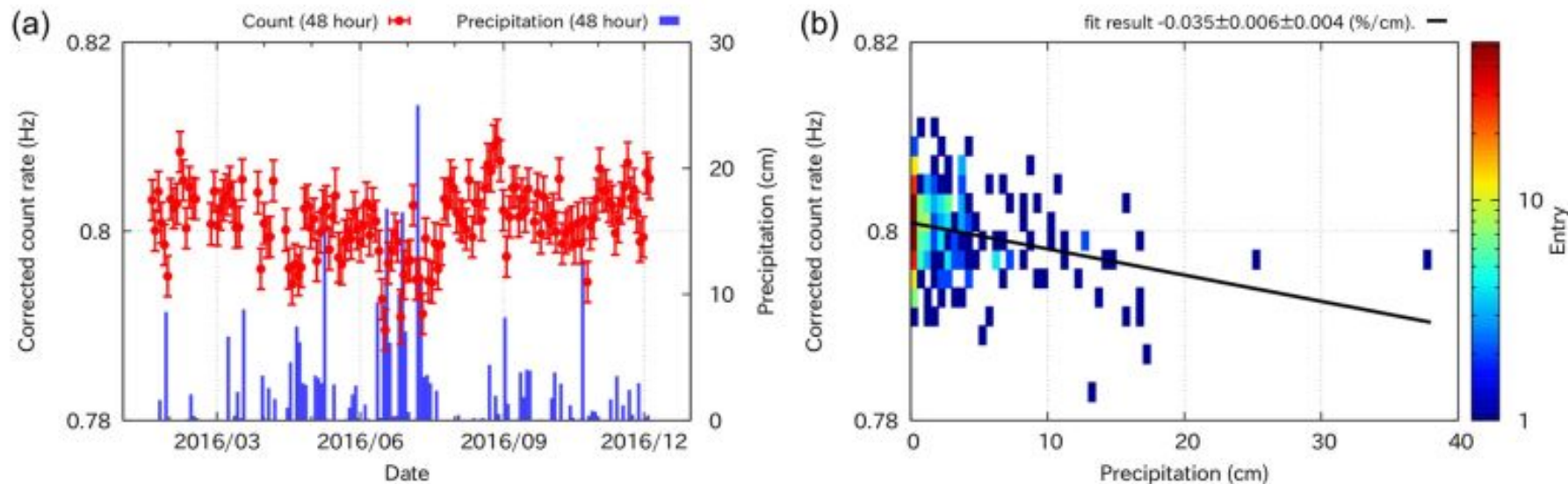


Fig. 14 - Diminuição da contagem por conta das chuvas.

Resultados - Medida de Campo

O estudo revelou **efeitos atmosféricos** significativos na **taxa de partículas** eletromagnéticas.

Os parâmetros encontrados podem ser **úteis** para futuras pesquisas que envolvam **água no subsolo**.