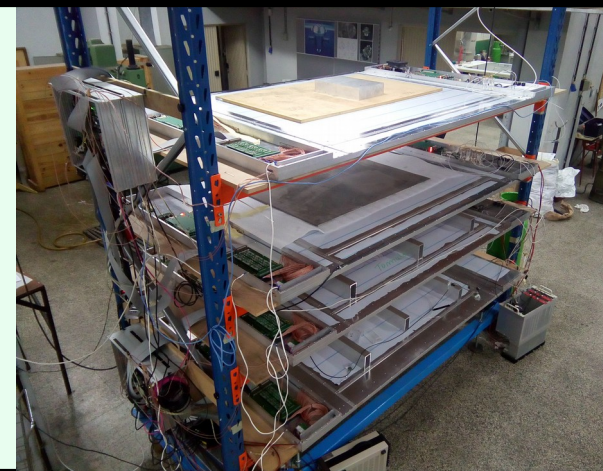
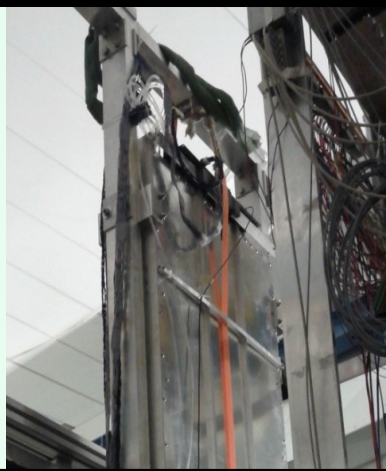
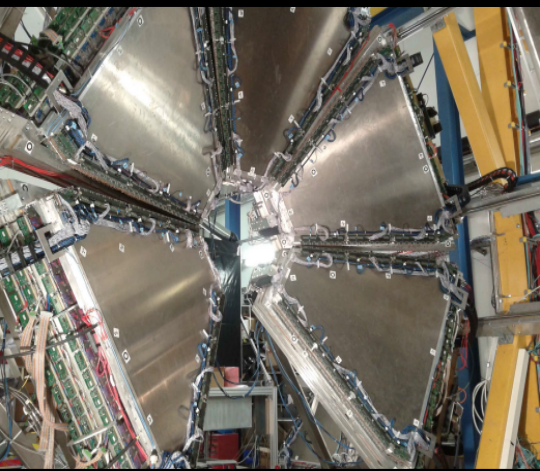


RPC. Detetores versáteis de partículas

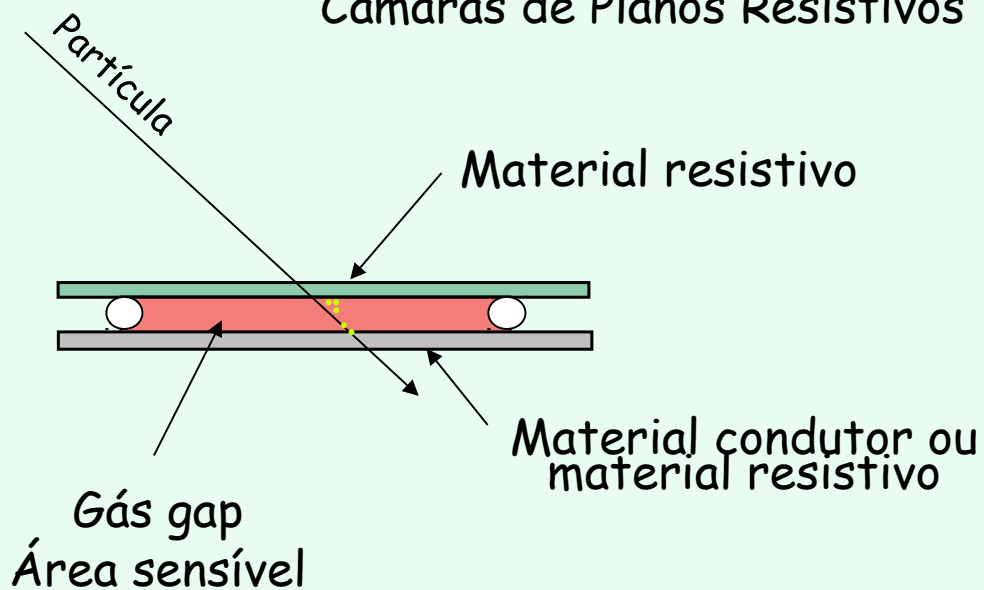
Alberto Blanco

Em nome do grupo RPC R&D do LIP-Coimbra

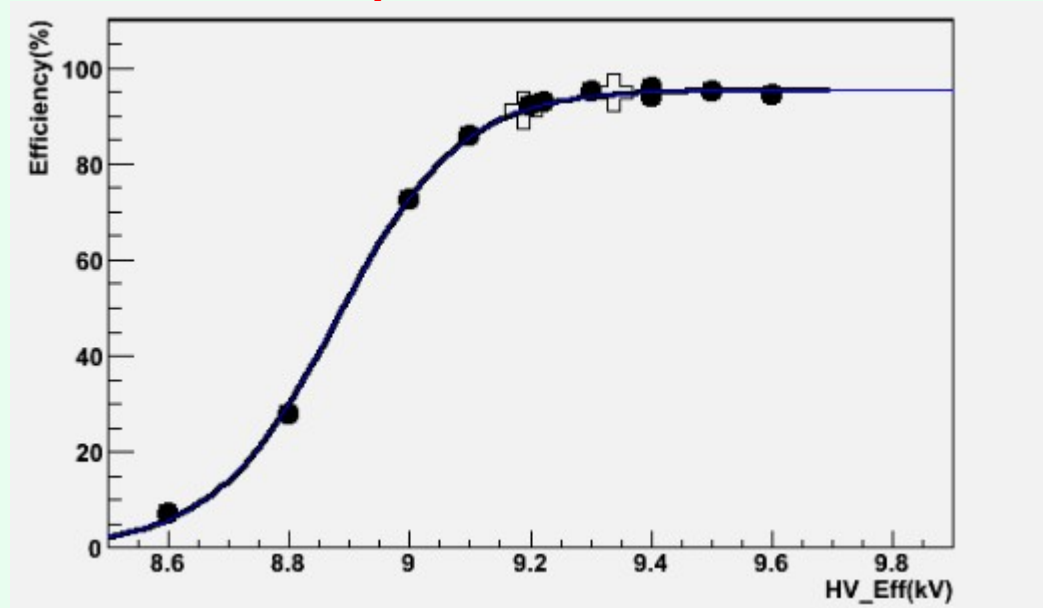


Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.

RPC => Resistive Plate Chambers
Câmaras de Planos Resistivos

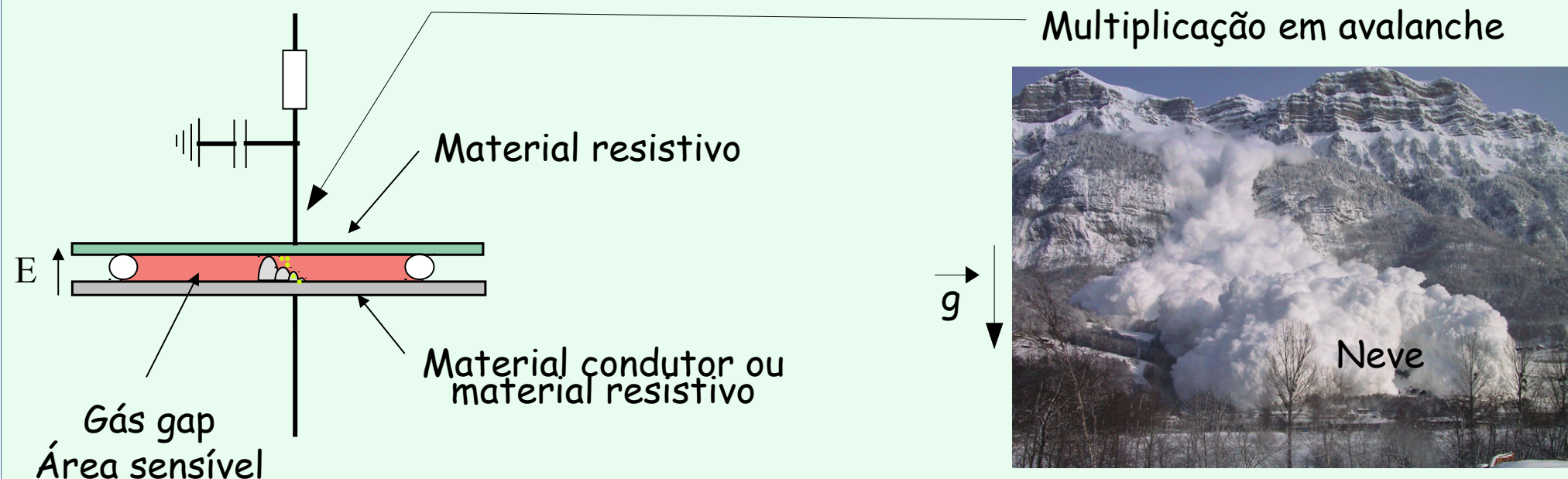


Tipo de **gás e espessura** ~mm
Permitem obter **eficiências próximas a 100%**



Ionização do gás pela partícula incidente.
Ionização primaria

Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.



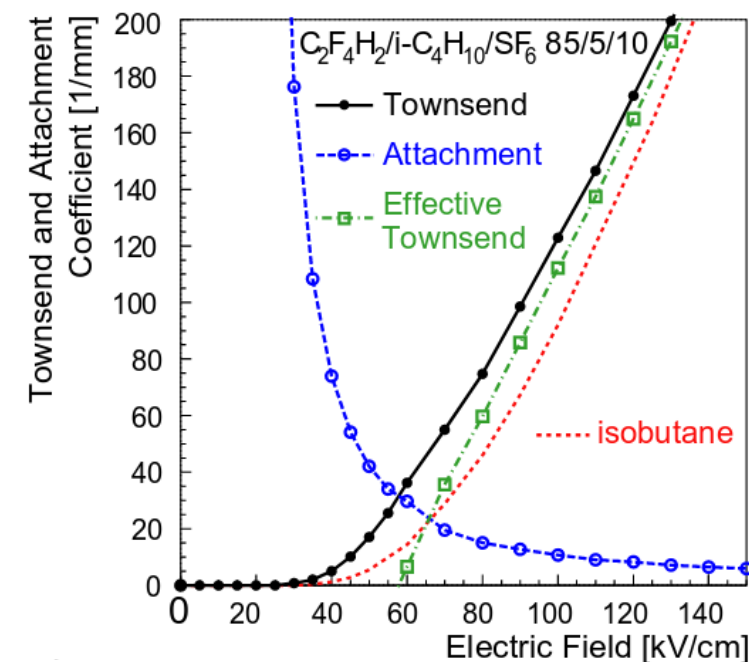
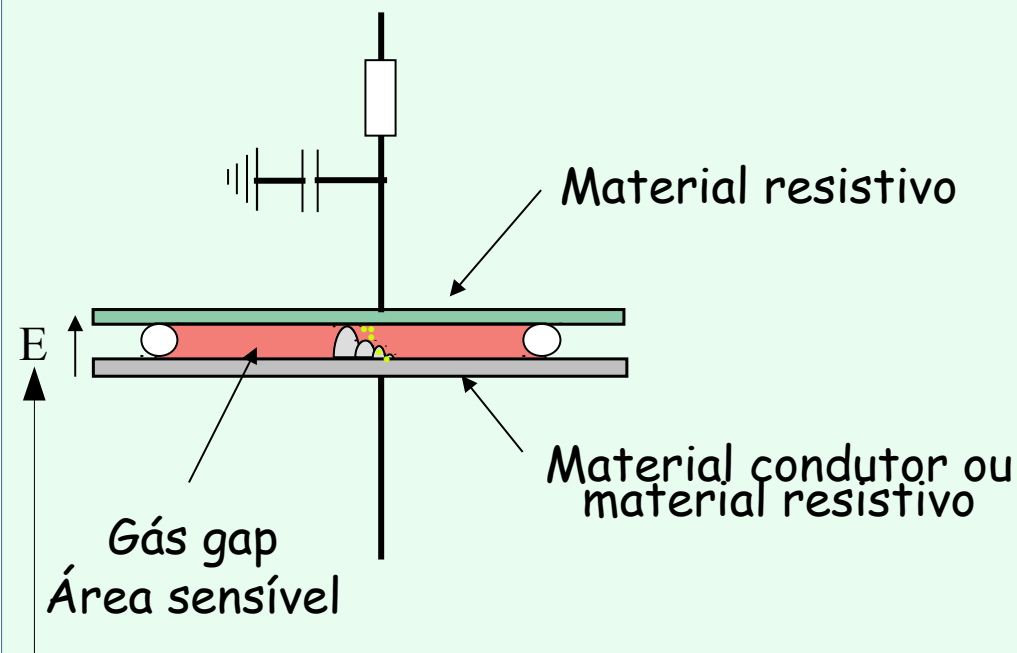
Crescimento exponencial

$$n_e(x, y, z, t) = n_0 e^{\alpha v_e t} \frac{1}{(4\pi D_e t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + (z - v_e t)^2}{4D_e t}\right)$$

Multiplicação da ionização primaria

Estágios de verão

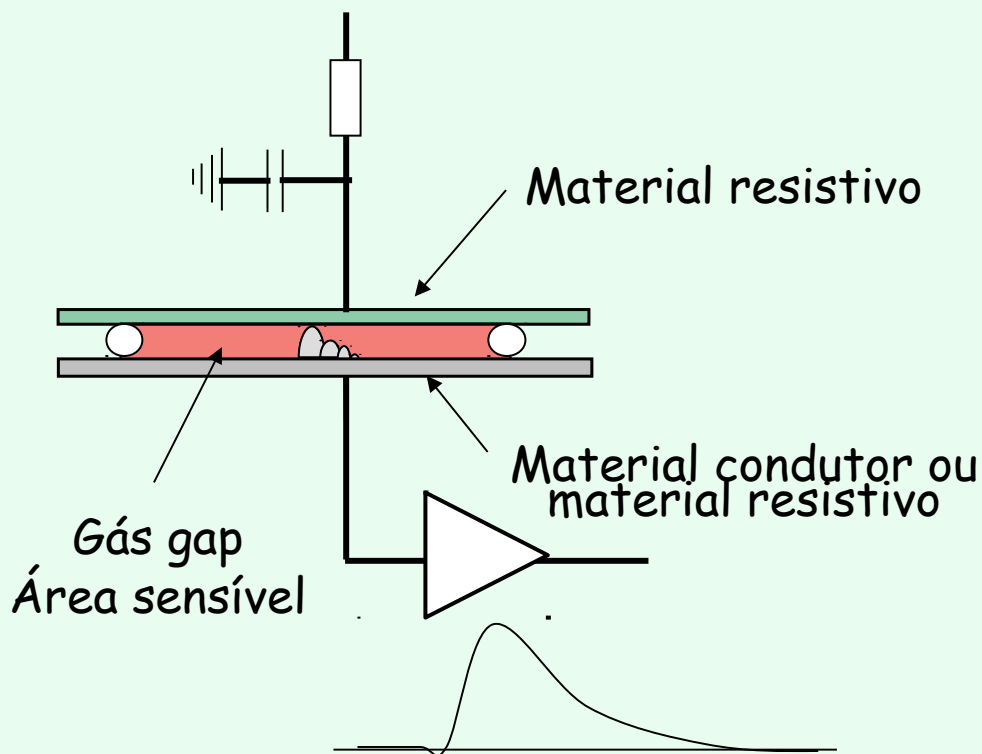
Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.



Campos elétricos muito elevados
=> sinal muito rápida => muito boa
Resolução em tempo < 1 ns

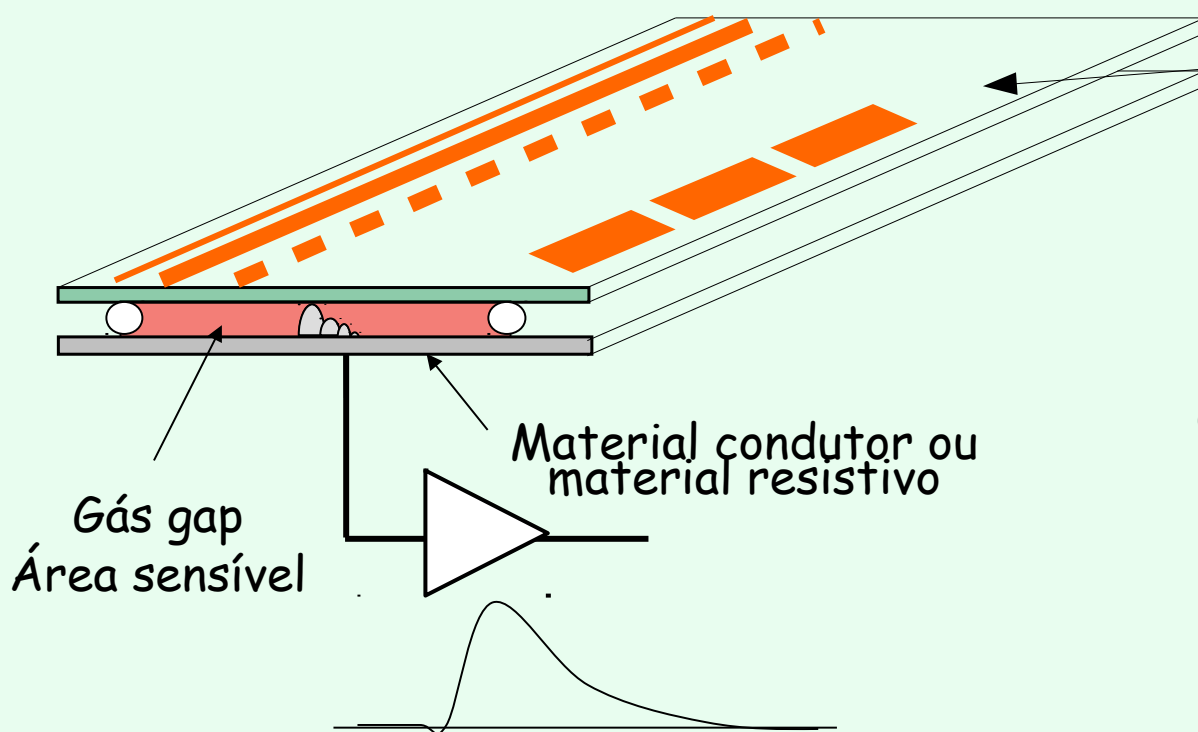
Multiplicação da ionização primaria

Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.



Movimento de cargas => **indução de sinal**
Pulso de corrente

Detetores RPC. Funcionamento básico. Formação de sinal.



- Strips

- Pads

Diferentes formas e tamanhos

Estruturas feitas com tecnologia
de fabrico de circuitos electrónicos

=> tamanhos diminutos =>

resolução espacial < 1 mm

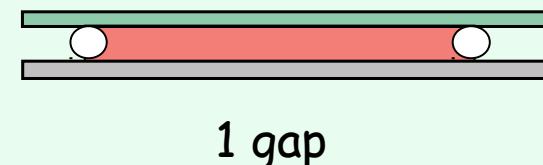
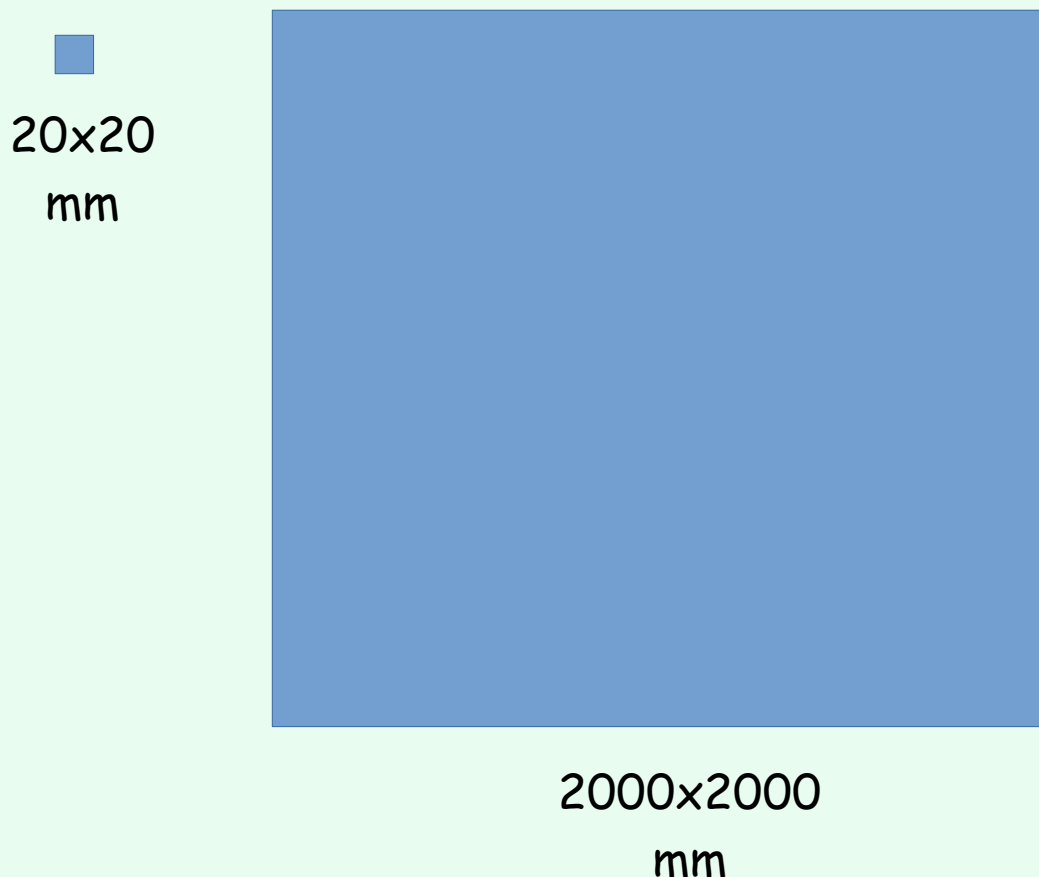
Diferentes **estratégias na leitura** dos sinais induzidos

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS

Detetores RPC. Funcionamento básico.



1 gap



2 gap



3 gap

Diferentes geometrias (tamanhos, formas) e configurações possíveis.

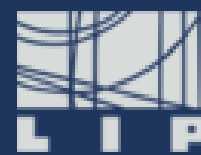
Materiais banais (vidro de janela, alumínio, aço, plástico,)

Detetores RPC. Características.

- Boa **eficiência de deteção** $\sim 100\%$
 - Boa **resolução em tempo** $< 1\text{ ns}$
 - Boa **resolução em posição** $< 1\text{ mm}$
- **Grandes e pequenas áreas**
- **Construído com matérias banais**

Excelentes prestações e capacidade de adaptação

Estágios de verão



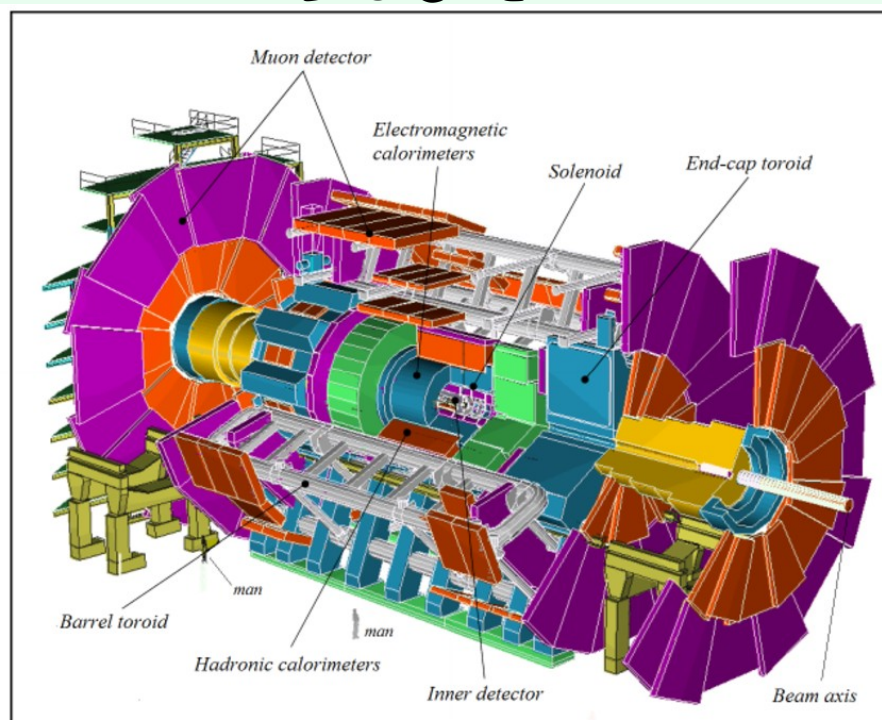
LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

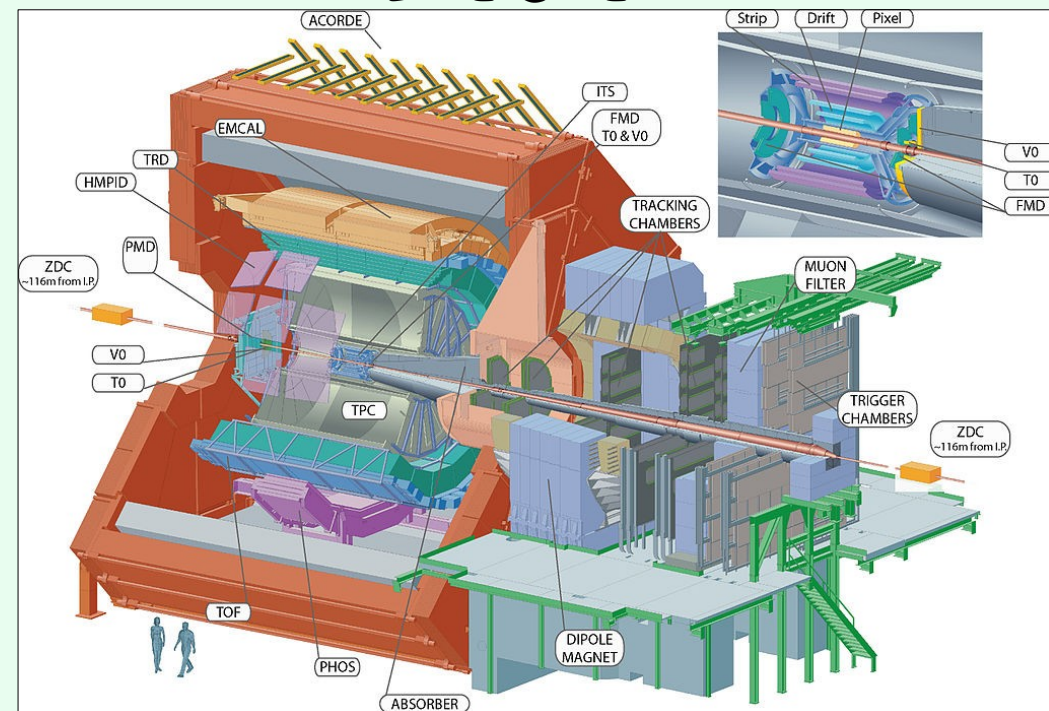
Alta eficiência, excelente resolução em tempo, relação custo/área ótima.

ATLAS @ CERN



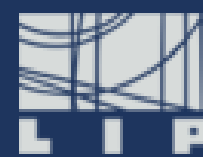
RPC de trigger

ALICE @ CERN



RPC medida de tempo

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

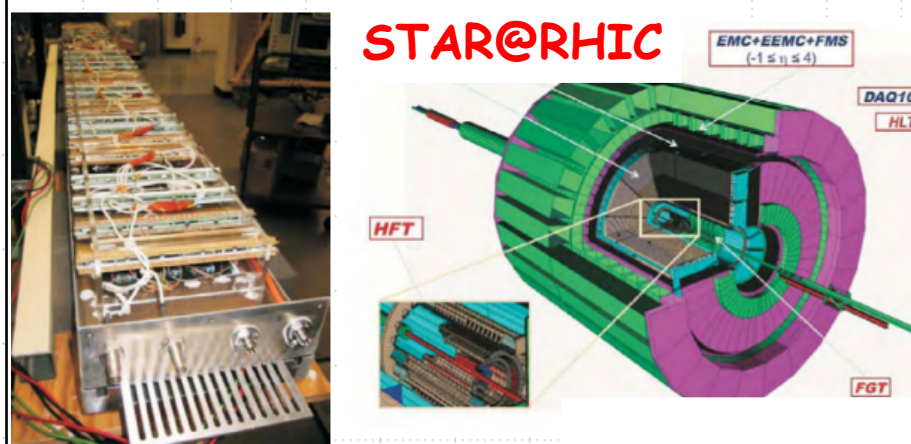
FOPI@GSI



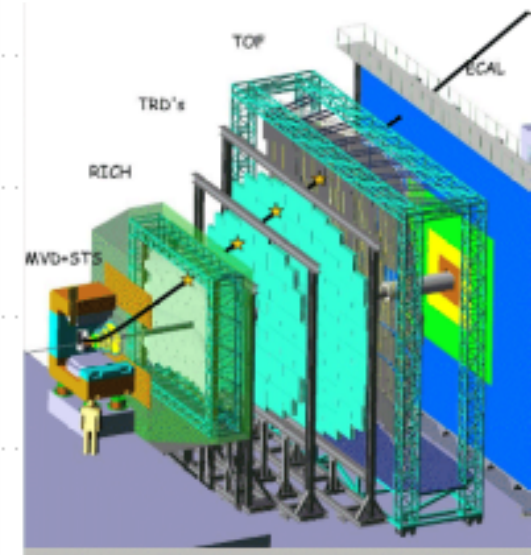
TOF endcap@BESIII



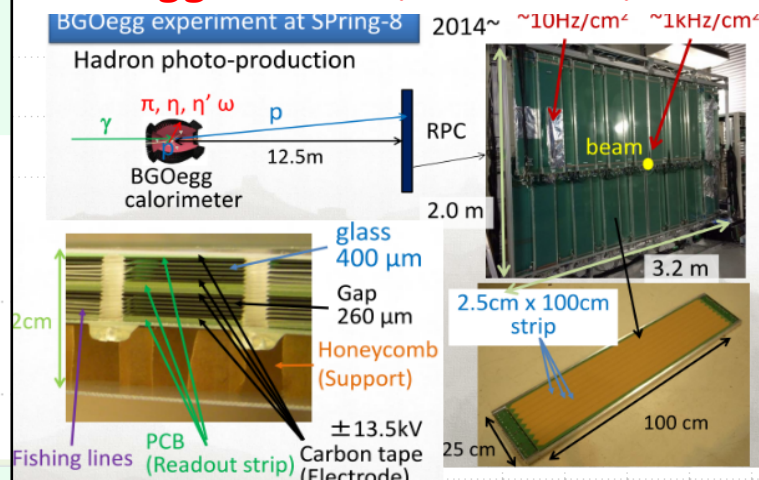
STAR@RHIC



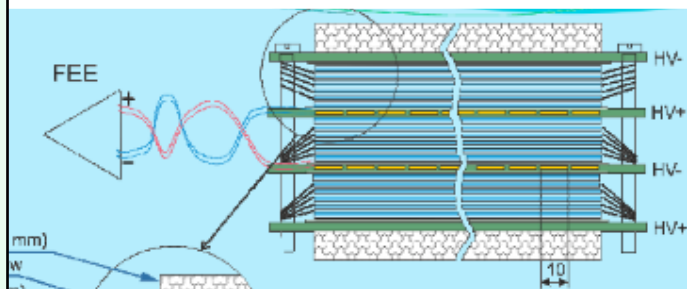
CBM@FAIR



BGOegg@LEP2 (SPRING8)



NICA@JINR



Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



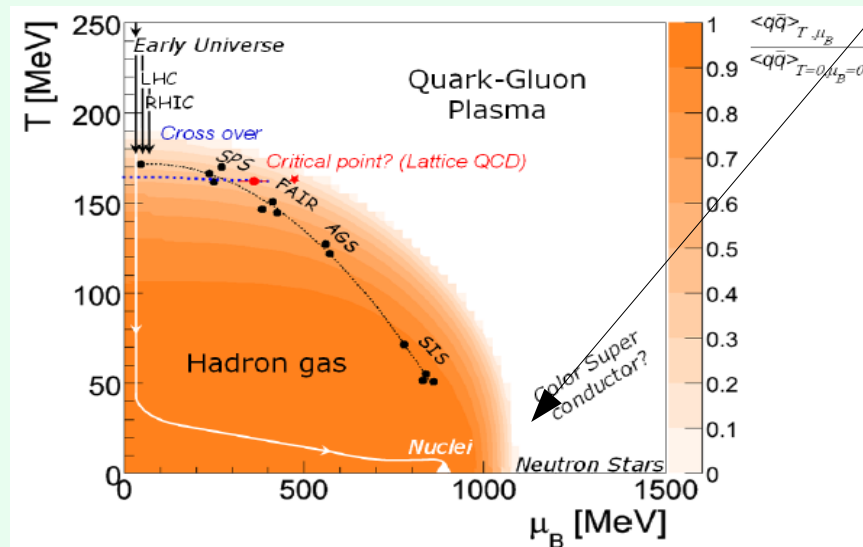
Made in LIP

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

HADES High Acceptance DiElectron Spectrometer @ GSI Frankfurt

Estudo das propriedades da matéria nuclear densa e fria.



Parte do **espectro pouco conhecido**,
Cria o ambiente existente nas **colisões**
de estrelas de neutrões

Colaboração internacional de 19 institutos
de 10 países Europeus

Chipre, Republica Checa, França, Alemanha, Itália, Polónia,
Portugal, Rússia, Eslovaca, Espanha.



Estágios de verão

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

HADES High **A**cceptance **Di**Electron **S**pectrometer @ GSI Frankfurt

$$\Delta t = L \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) = \frac{L}{c} \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right)$$
$$= \frac{L}{pc^2} (E_1 - E_2) = \frac{L}{pc^2} \left(\sqrt{p^2 c^2 + m_1^2 c^4} - \sqrt{p^2 c^2 + m_2^2 c^4} \right)$$

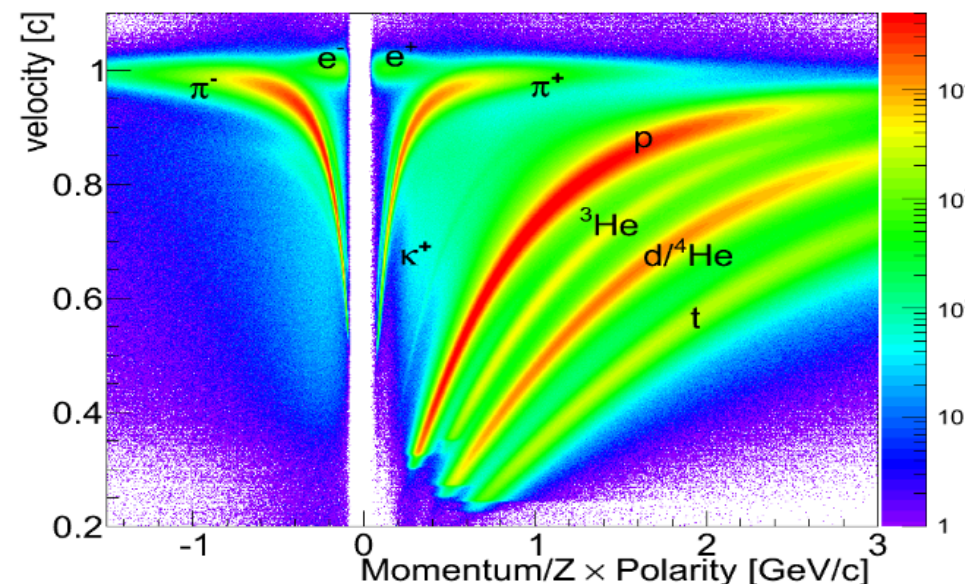
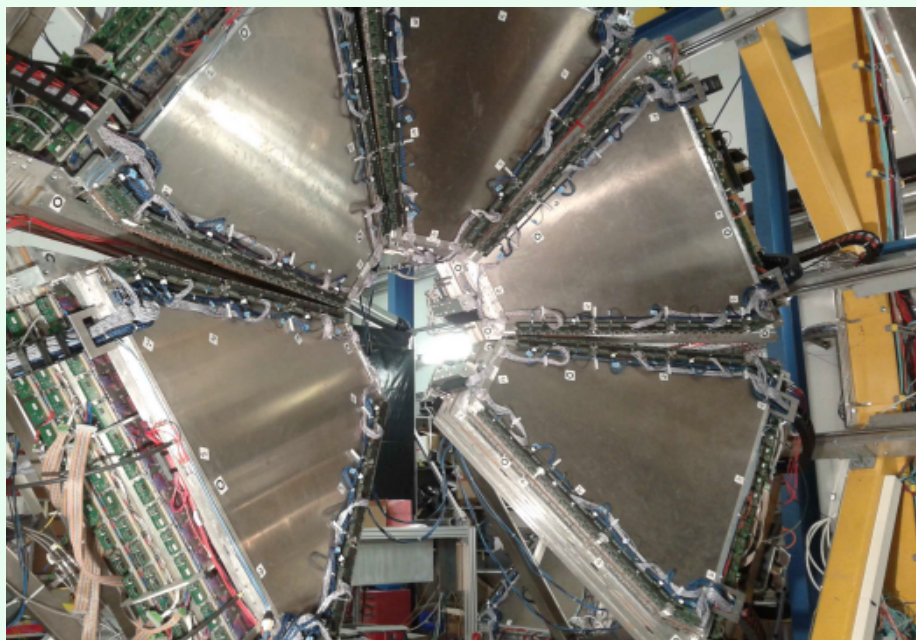
Relativistic particles, $E \simeq pc \gg m_i c^2$:

$$\Delta t \approx \frac{L}{pc^2} \left[\left(pc + \frac{m_1^2 c^4}{2pc} \right) - \left(pc + \frac{m_2^2 c^4}{2pc} \right) \right]$$

$$\Delta t = \frac{Lc}{2p^2} (m_1^2 - m_2^2)$$



Identificação de partículas
medindo o tempo de voo



Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



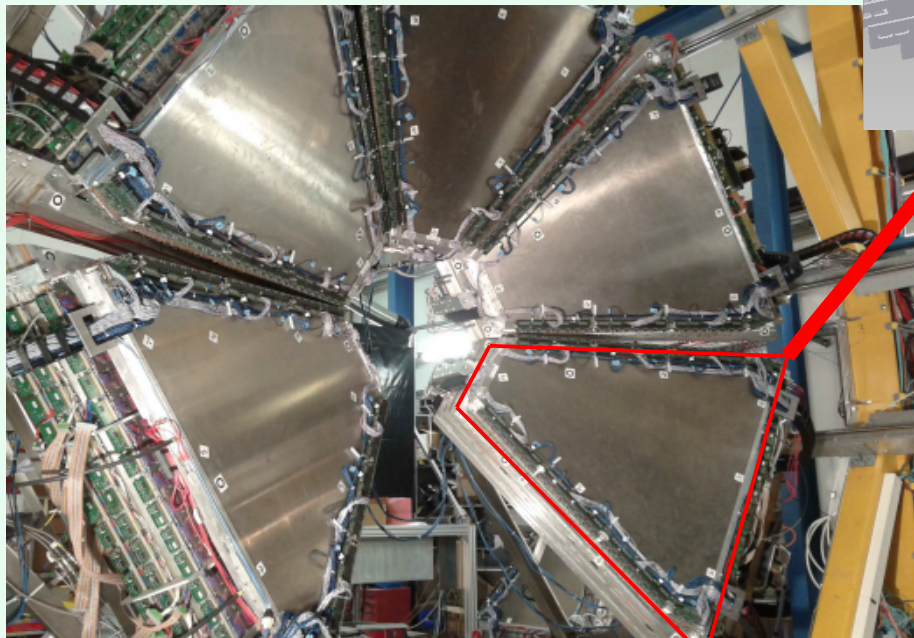
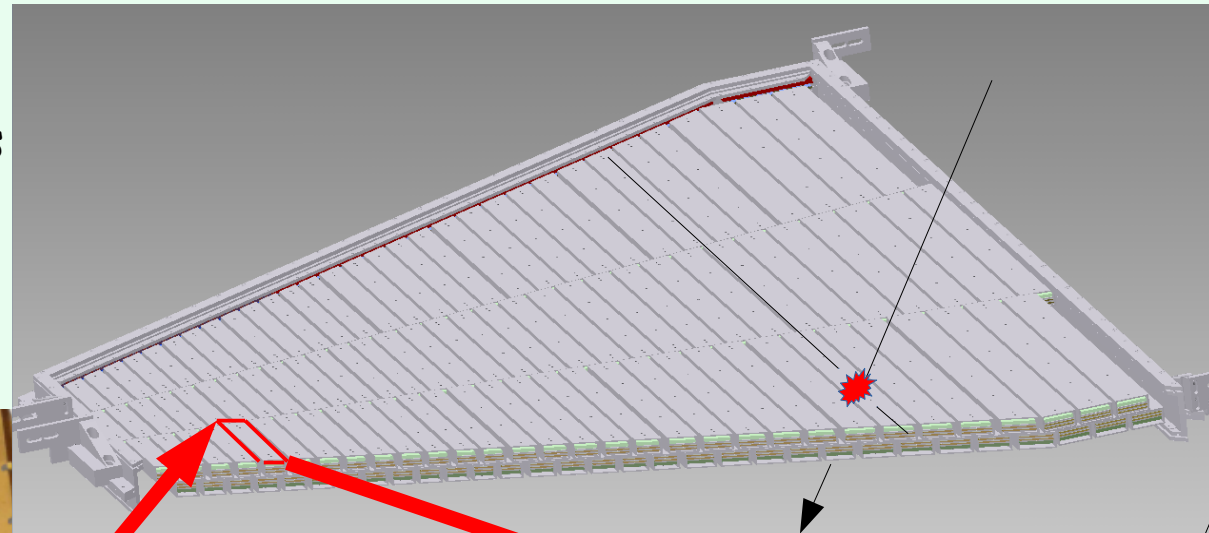
Made in LIP

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

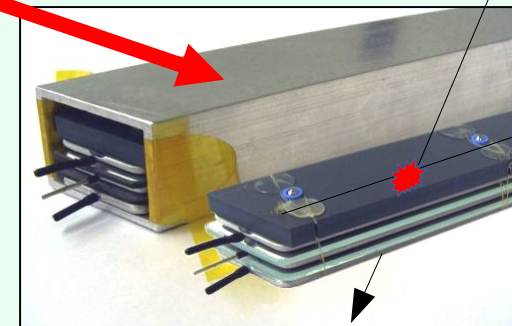
HADES High **A**cceptance **DiE**lectron **S**pectrometer @ GSI Frankfurt

Excelente **resolução em tempo** 60 ps
e **alta eficiência** > 90%



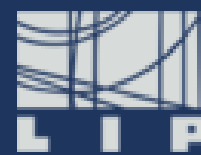
- **RPCs individuais**. Nunca antes
feito !!! **Alta performance** em
ambientes de **muitas partículas**.

- 1200 RPCs, 8 m²



Pode-se ver um sector no 4 andar

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



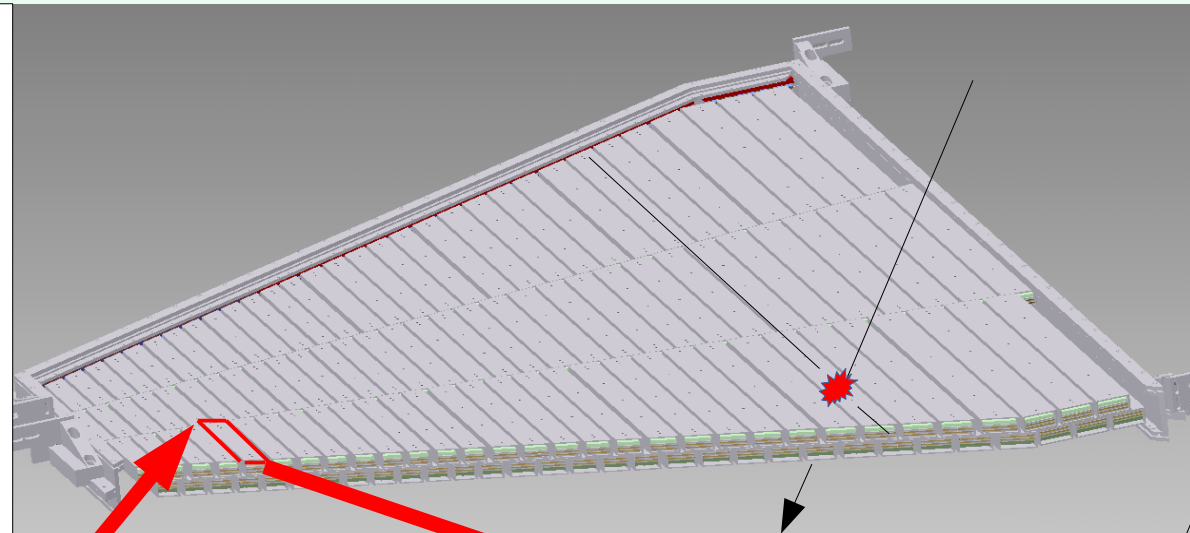
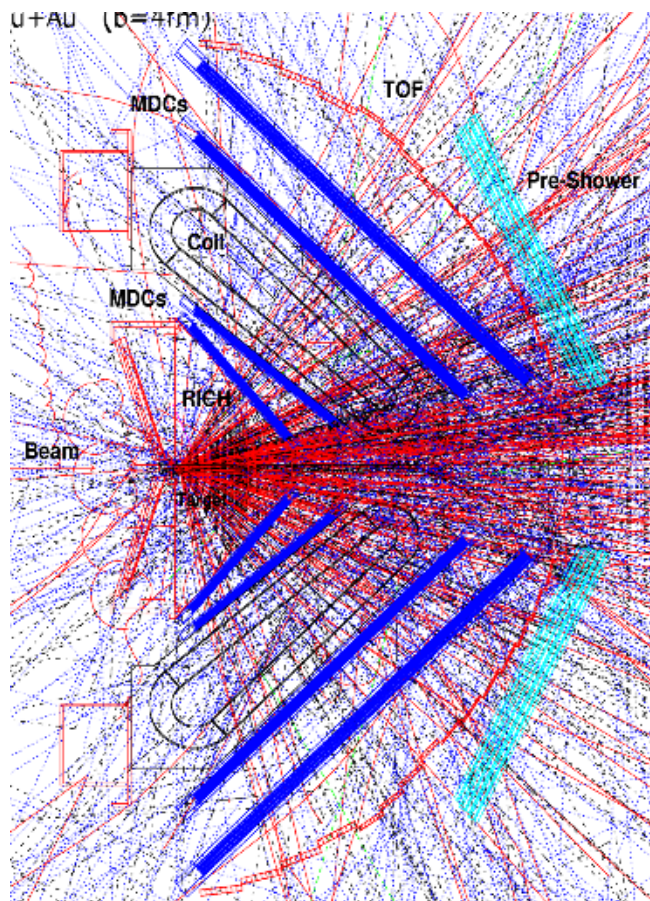
Made in LIP

Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

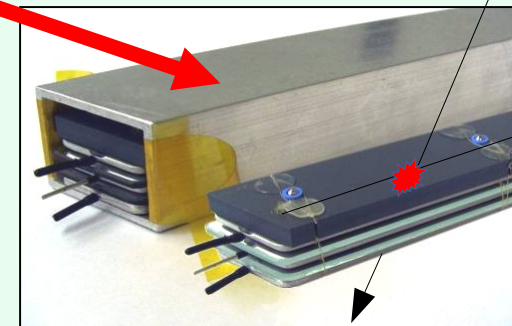
HADES High **A**cceptance **D**iElectron **S**pectrometer @ GSI Frankfurt

Ilustração de Colisão Au+Au



- **RPCs individuais**. Nunca antes feito !!! **Alta performance** em ambientes de **muitas partículas**.

- 1200 RPCs, 8 m²



Pode-se ver um sector no 4 andar

Estágios de verão

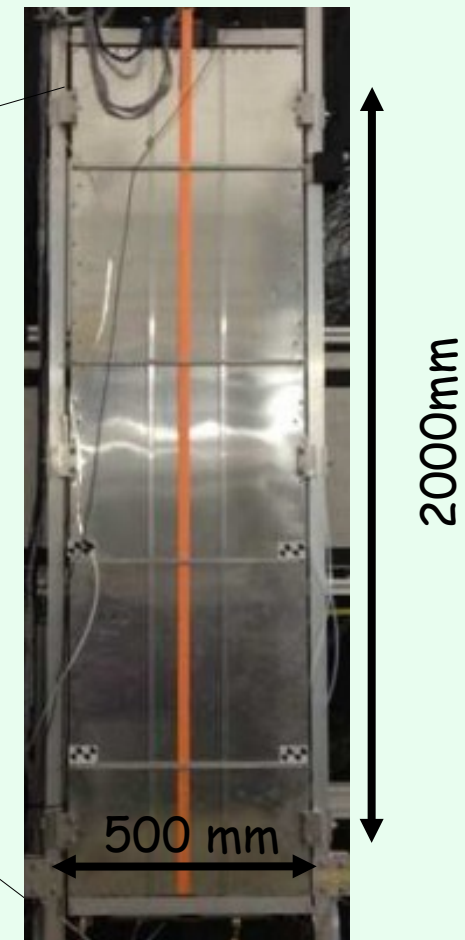
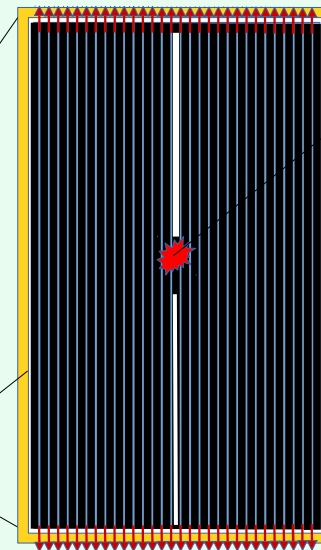
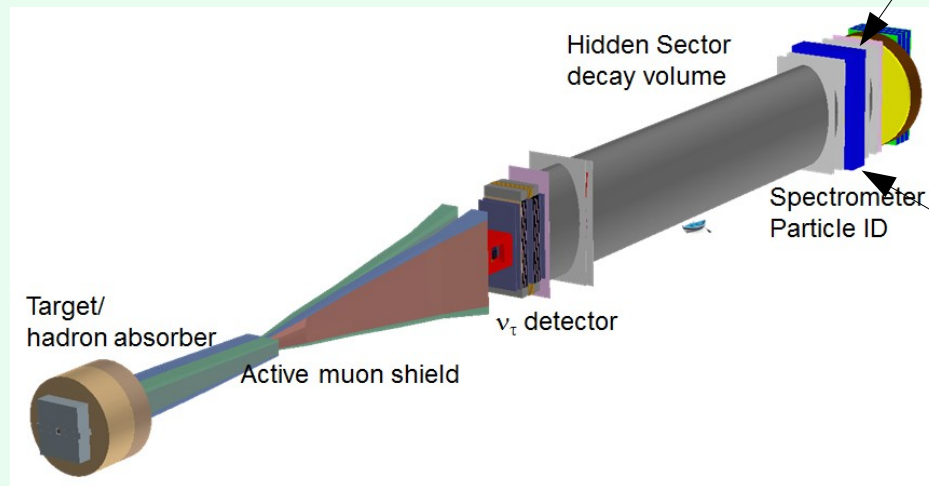
Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

SHIP Search HIden **P**articles @ CERN

Experimento de descoberta a **procura de nova física além do MP** na região dos GeV

- **Strips** em RPCs de **2 m²**
- **Resolução em tempo**
em grande área a **baixo custo**



Pode-se ver um prototipo na cave

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

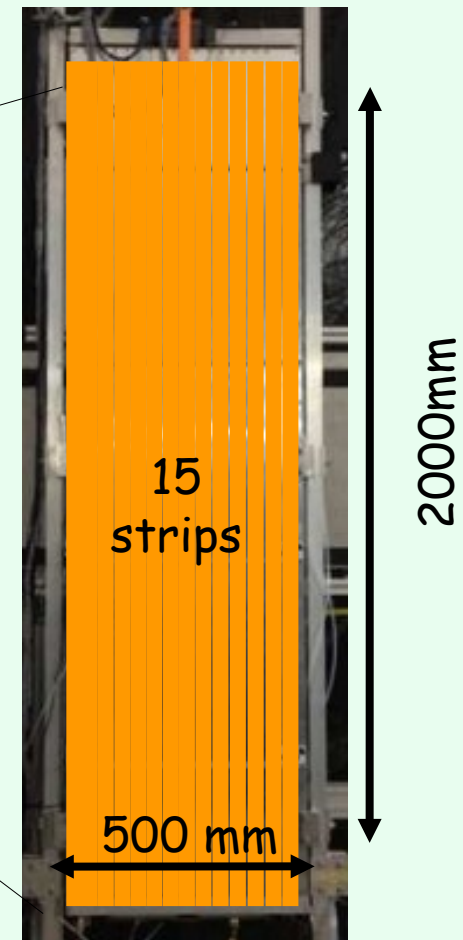
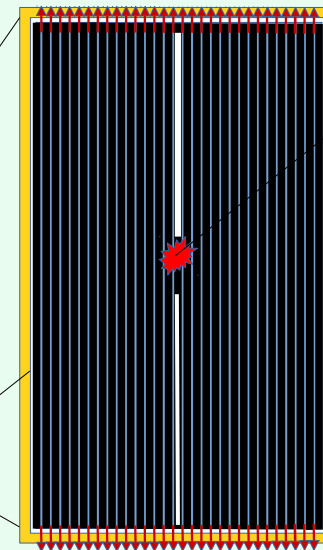
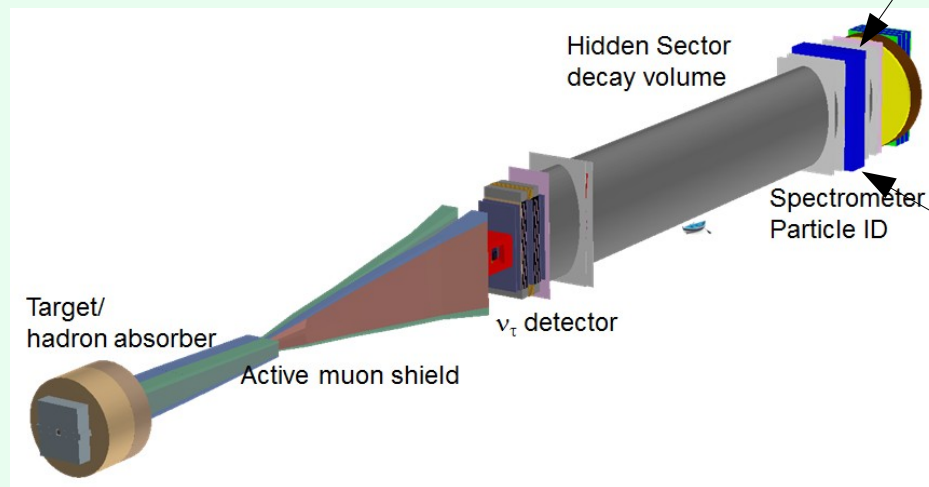
Detetores RPC.

Experimentos de física de altas energias.

SHIP Search HIden **P**articles @ CERN

Experimento de descoberta a **procura de nova física além do MP** na região dos GeV

- **Strips** em RPCs de **2 m²**
- **Resolução em tempo**
em grande área a **baixo custo**



Pode-se ver um prototipo na cave

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

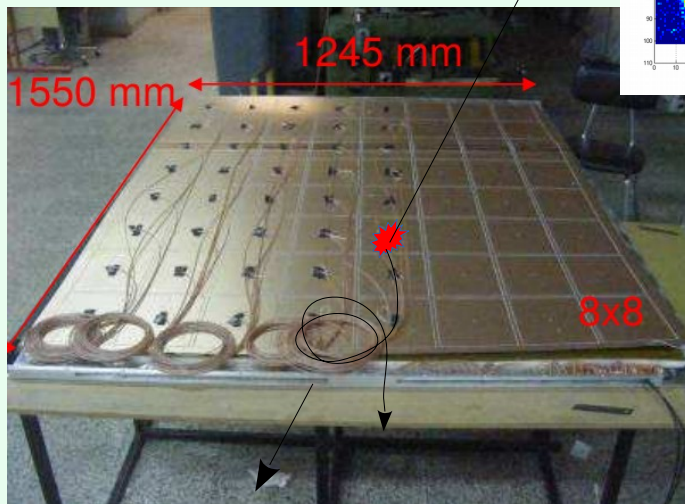
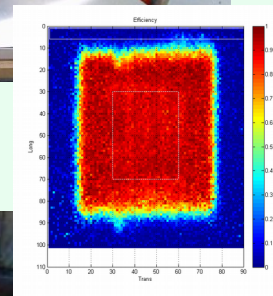
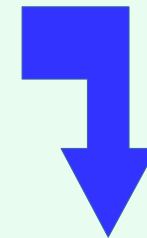
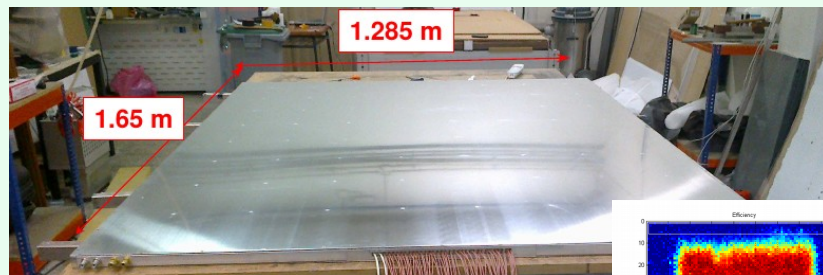
Detetores RPC.

Deteção de raios cósmicos (RC): experimento AUGER.

Alta eficiência, relação custo/área ótima, segmentação, robustez.

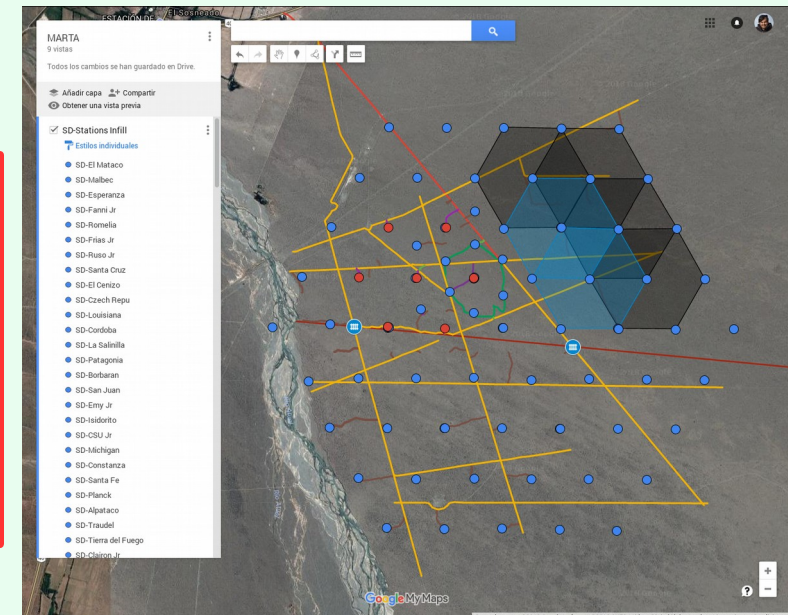
@ ARGENTINA

Estudo dos RC de alta energia medindo as cascatas de secundários produzidas na atmosfera.

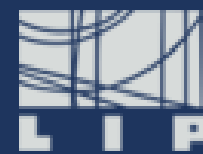


- Baixa manutenção
- Operação isolada
- Baixo custo
- Resistente
- Nunca antes feito!!!

Pode-se ver estes detetores na cave



Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS

Detetores RPC.

Deteção de raios cósmicos (RC): experimento TRAGALDABAS

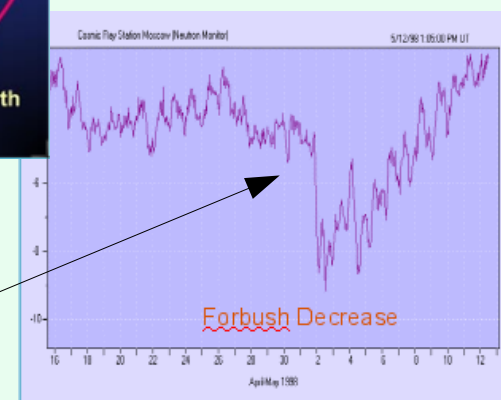
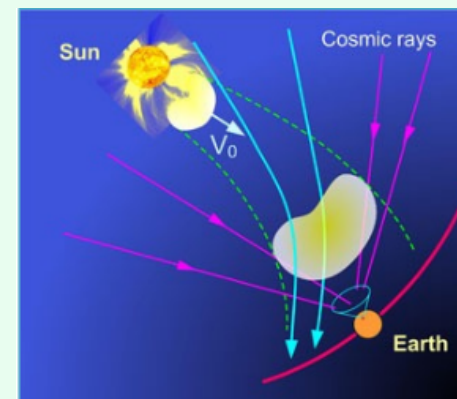
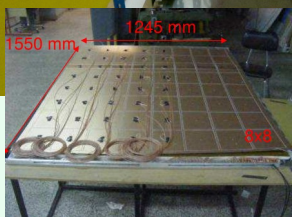
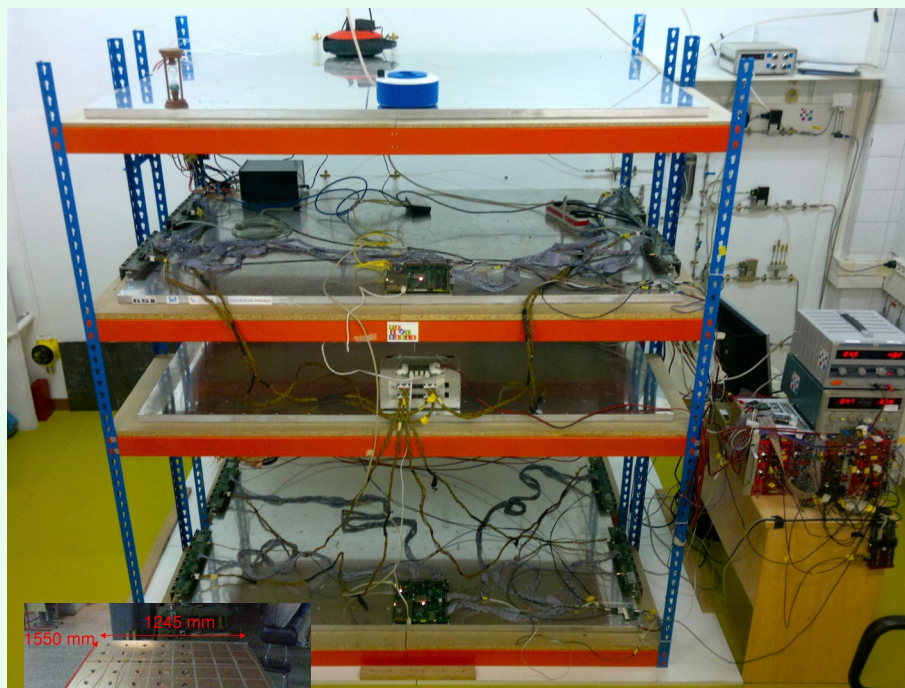
Alta eficiência, relação custo/área ótima, alta resolução temporal

@ ESPANHA

Telescópio de RC: medir com precisão o **fluxo de raios cósmicos** para estudos relacionados com a **atividade solar**.

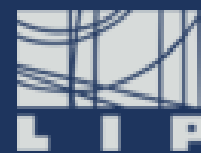


Made in LIP



Alta sensibilidade ao fluxo de raios cósmicos modulado pela atividade solar

Estágios de verão



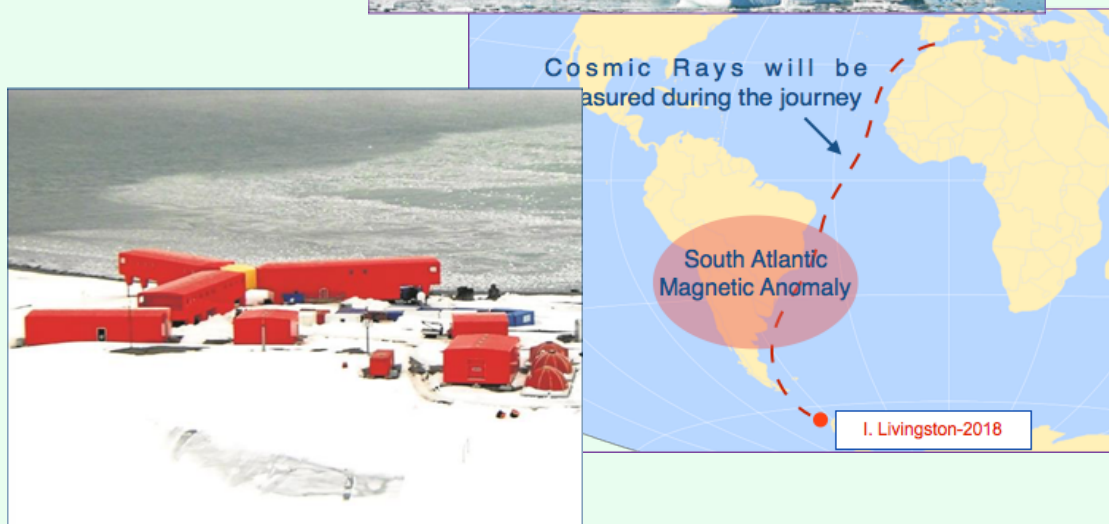
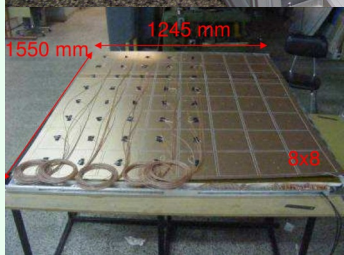
LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS

Detetores RPC.

Deteção de raios cósmicos (RC): experimento TRISTAN.

Alta eficiência, relação custo/área ótima, alta resolução temporal

Telescópio de RC: medir com precisão o **fluxo de raios cósmicos** para estudos relacionados com a **atividade solar a longo da mesma longitude e no Polo Sul**



Pode-se ver estes detetores na cave

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

Detetores RPC.

Medida simultânea da posição 2D e tempo.

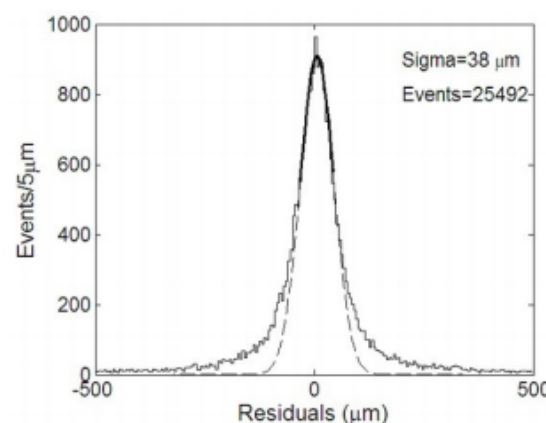
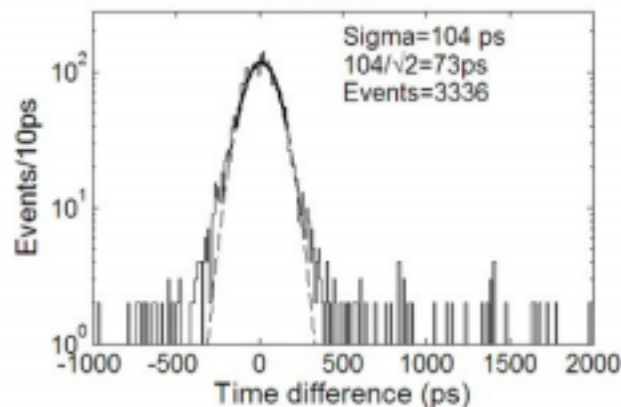
Desenvolver uma RPC capaz de medir **simultaneamente**
tempo (< 100 ps) e a **posição 2D (< 1 mm)**.

Aplicações:

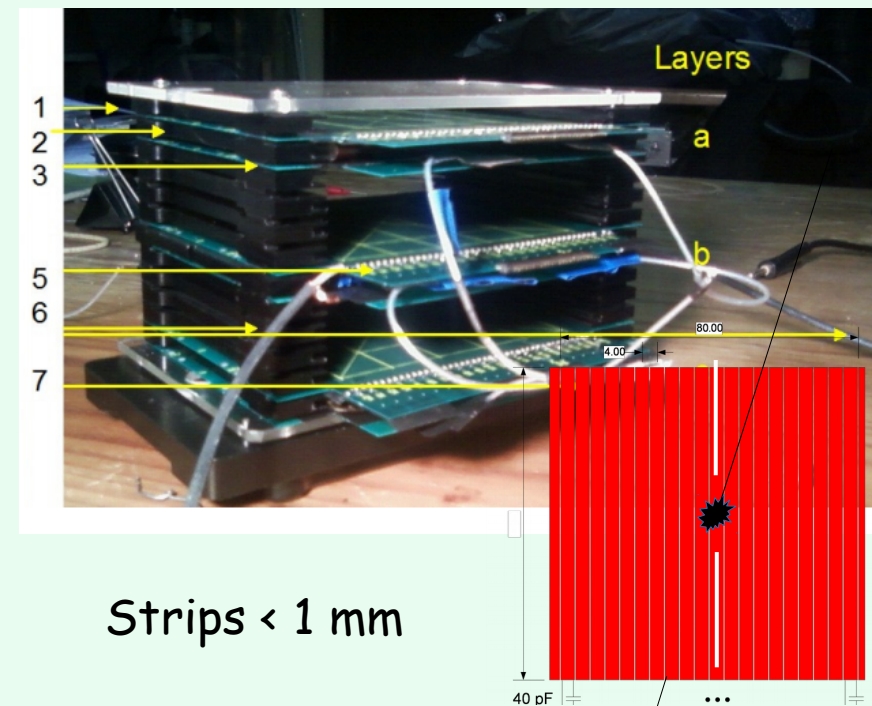
- Identificação de partículas em Experimentos de Física de altas energias. => medição do simultânea do momento e velocidade
- Tomografia de muões.
- PET

Nunca antes feito !!!

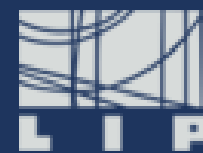
Resolução tempo ~ 77 ps σ , posição ~ 38 μ m σ



80 x 80 mm²



Estágios de verão

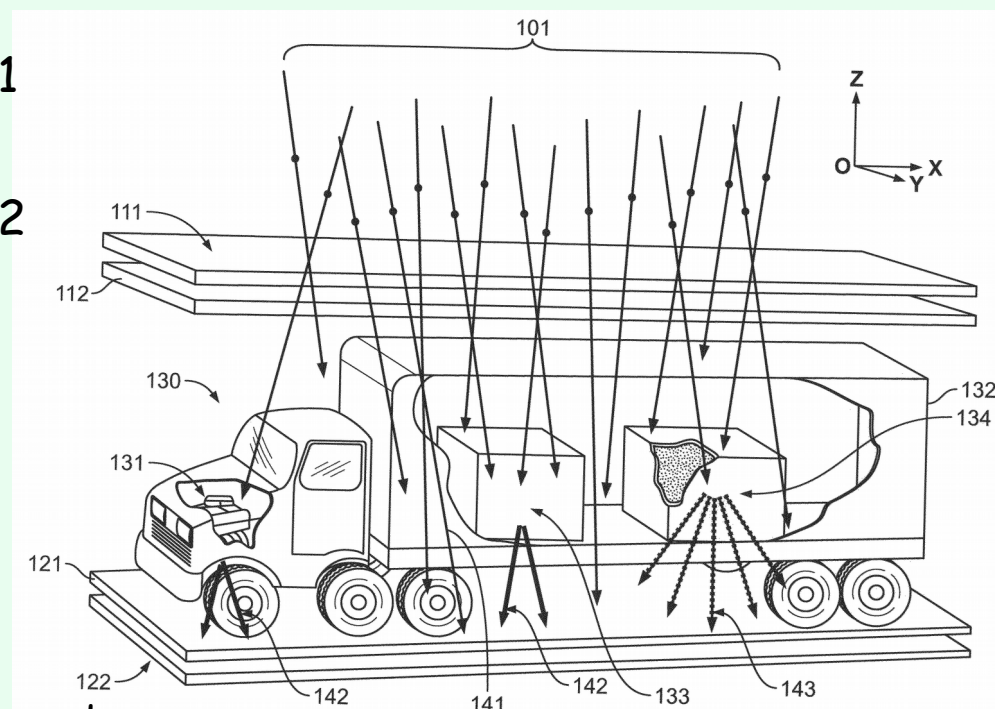
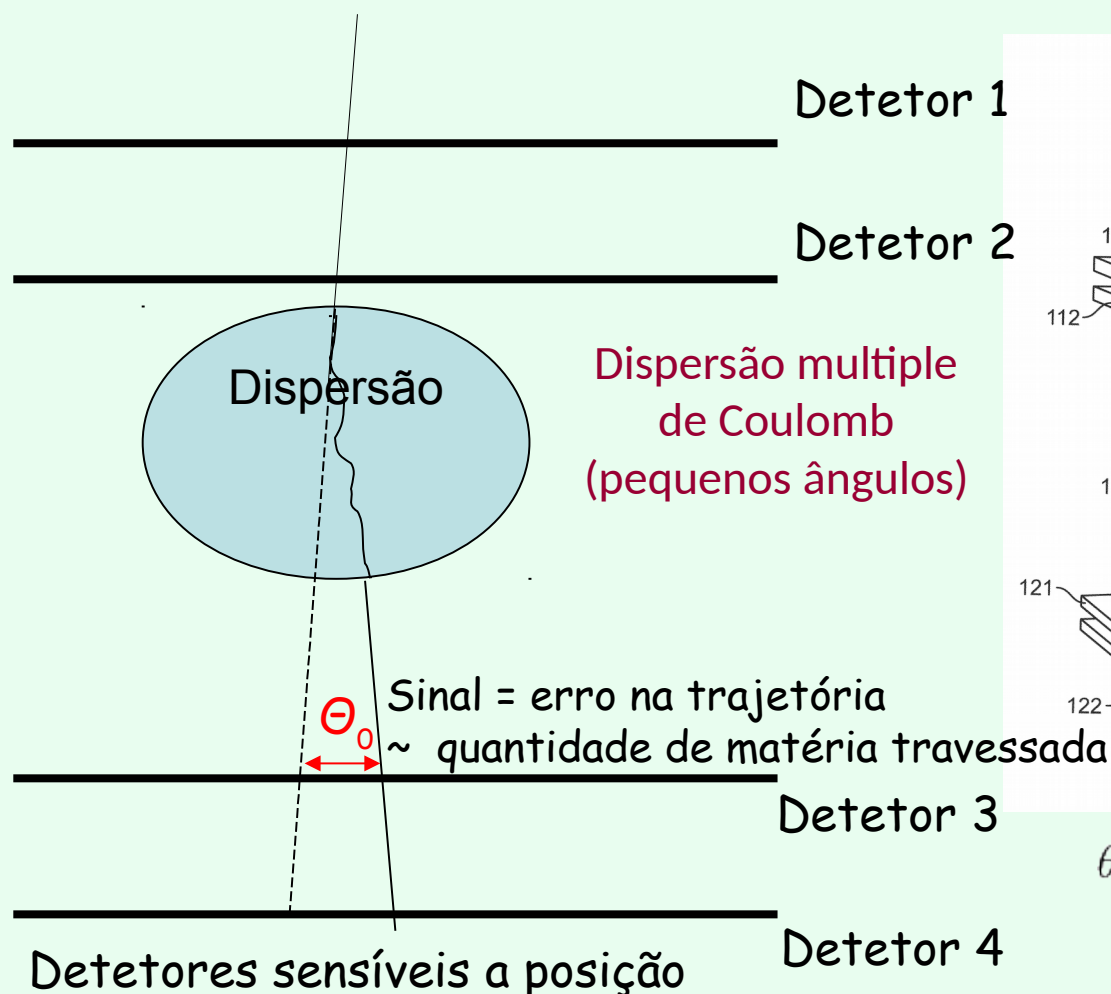


Detetores RPC.

Tomografia de muões.

Aplicar o conceito em **áreas maiores => tomografia muónica de grandes objetos.**

Inspeção de contentores de carga a procura de contrabando de material nuclear.



$$\theta_0 = \frac{14.1 \text{ MeV}}{\rho \beta} \sqrt{\frac{l}{X_0}}$$

p: momento
 β : velocidade
 X_0 : comprimento rad.
 l: espessura material

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



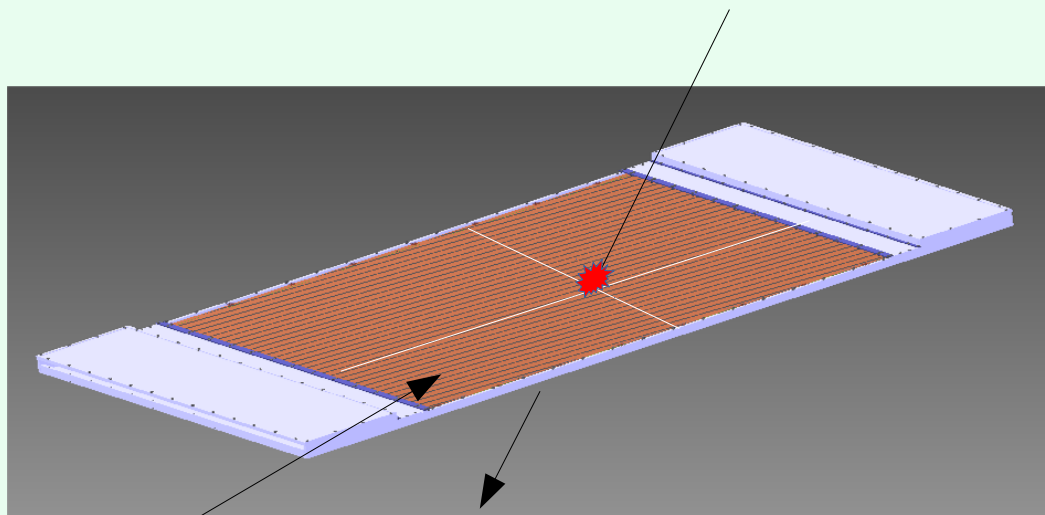
Made in LIP

Detetores RPC.

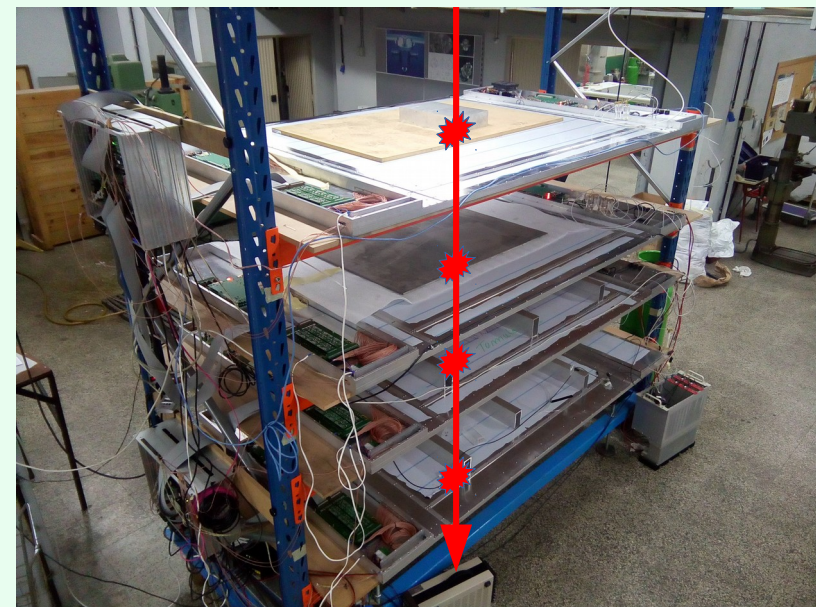
Tomografia de muões.

Alta eficiência, relação custo/área ótima, alta resolução espacial e temporal

Inspeção de contentores de carga a procura de contrabando de material nuclear.



- Leitura em 2D strips, 2 mm
- Resolução posição $\sim 2-3 \text{ mm } \sigma$
- Resolução tempo $\sim 150 \text{ ps } \sigma$
- Área $\sim 2 \text{ m}^2$

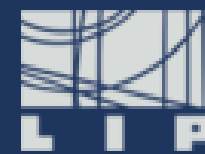


Telescópio de 4 planos

Estágios de verão

Detetores RPC.

Tomografia de muões.



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

Inspeção de contentores de carga a procura de contrabando de material nuclear.



Estação 1, 2x RPC



Contentor carga

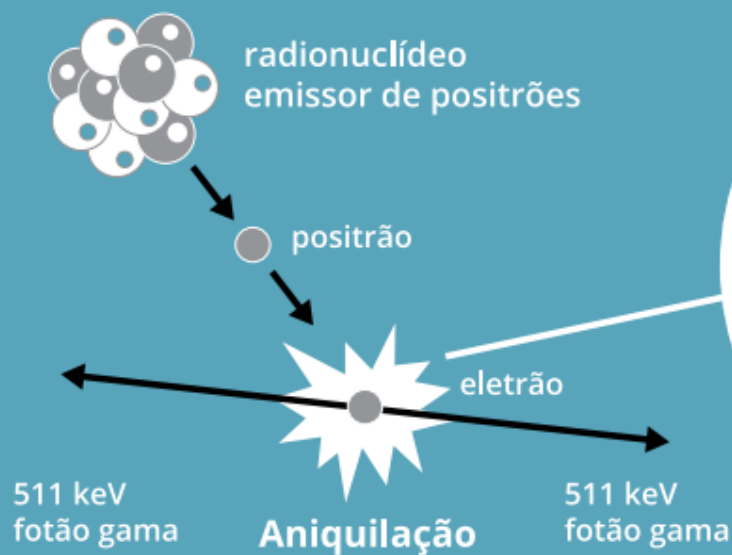
Estação 2, 2x RPC

Estágios de verão

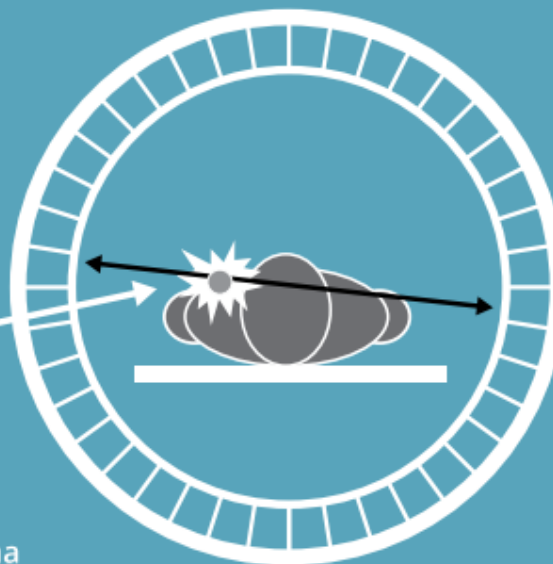
Detetores RPC.

Positron Emission Tomography. PET

Emissão de positrões
e aniquilação positrão-eletrão



Scanner de PET



Detetores de fótons gama



Imagem PET abdominal revelando um
tumor no fígado

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



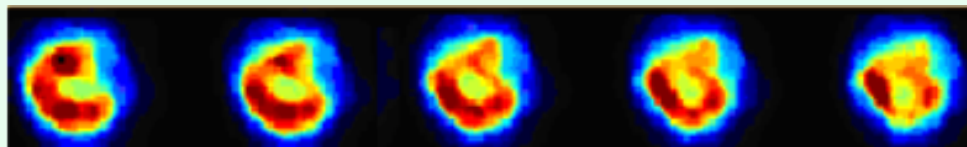
Made in LIP

Detetores RPC.

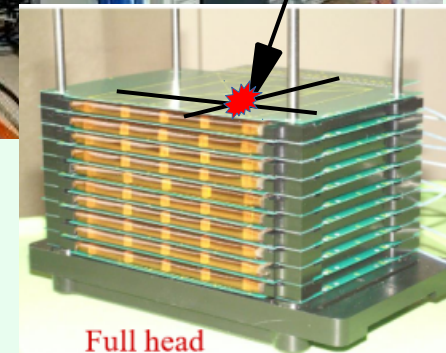
Positron Emission Tomography. PET

Relação custo/área ótima, alta resolução espacial e temporal

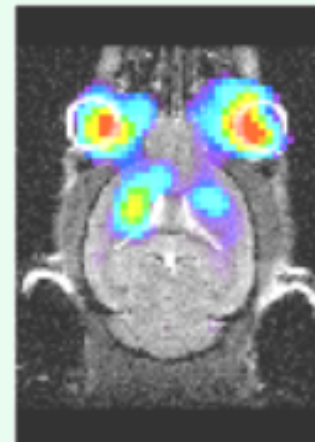
Scanner PET desenvolvido pelo
LIP, no ICNAS, UC.



Coração de um rato. Aproximadamente 10 mm



Full head



Juntamente com
imagem estrutural

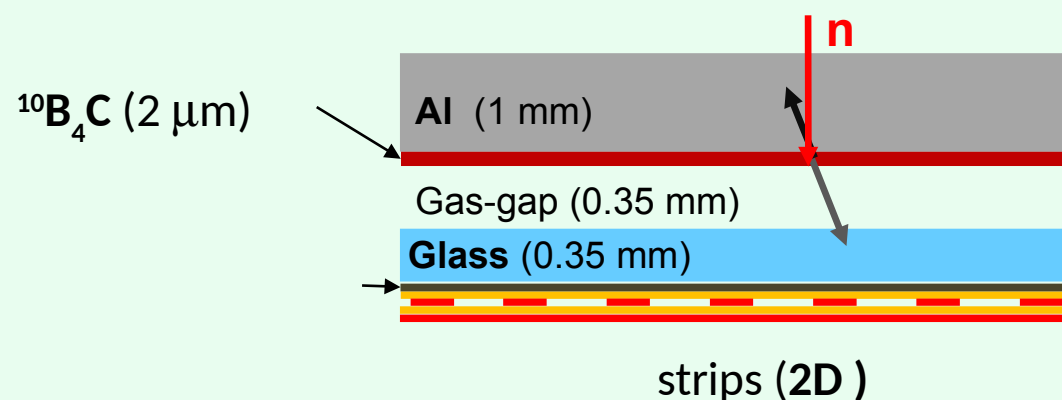
Cabeça de um rato

0,170 mm σ resolução posição
Nunca antes feito !!!

Estágios de verão

Detetores RPC.

Detetores de neutrões baseados em ^{10}B



Pode vir a **substituir** uma tecnologia estabelecida ^3He mas inviável devido ao custo.

Estágios de verão



LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E
FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS



Made in LIP

Detetores RPC.

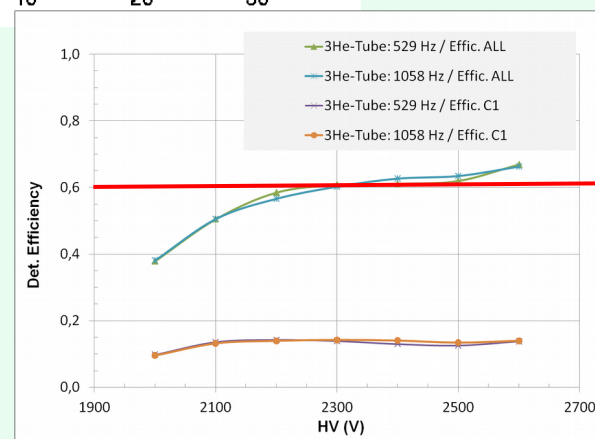
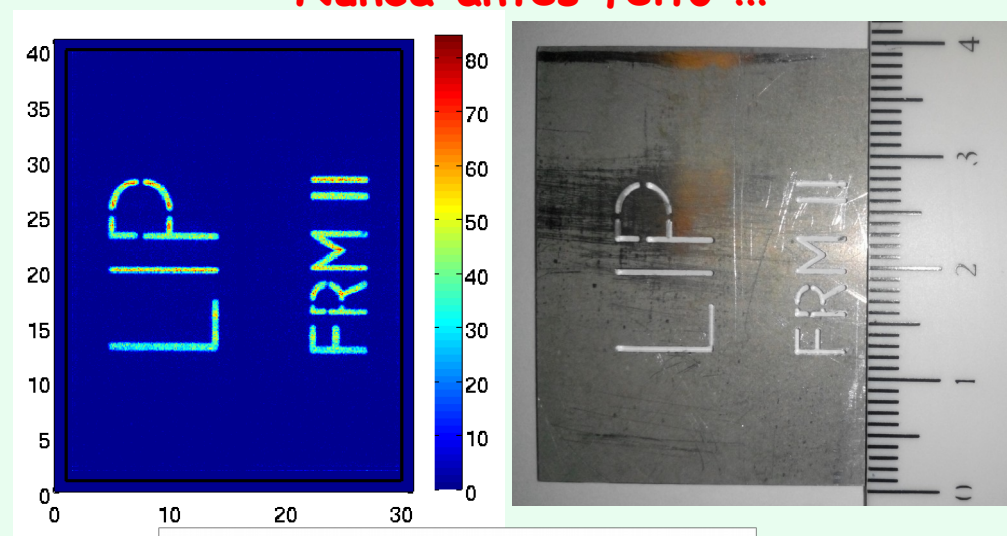
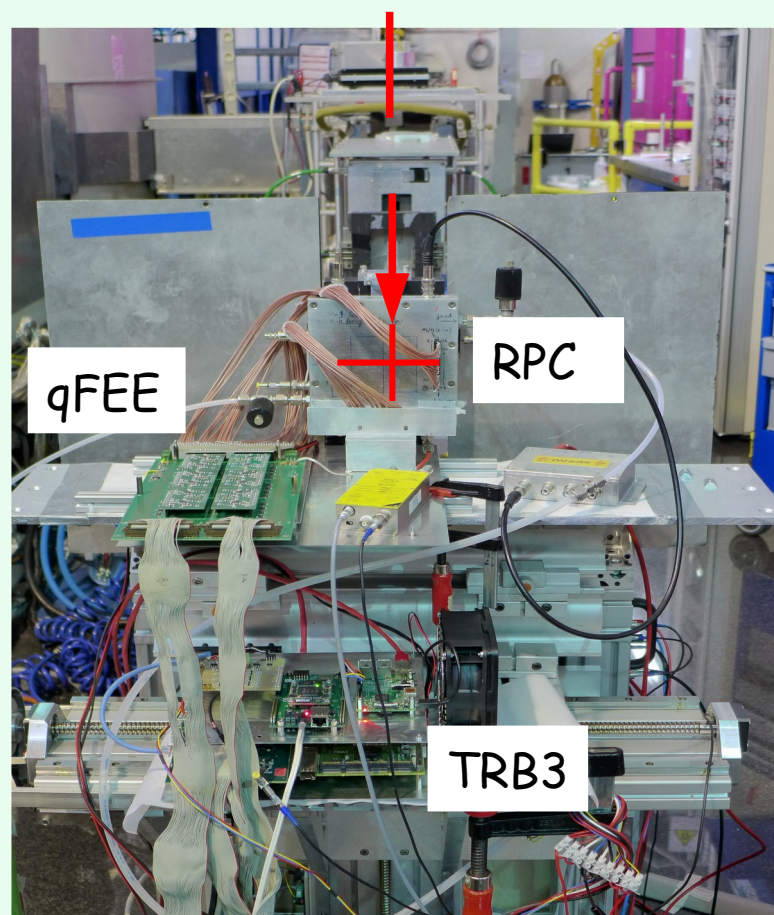
Detetores de neutrões baseados em ^{10}B

Relação custo/área ótima, alta resolução espacial e eficiência

0.100 mm σ resolução posição

Nunca antes feito !!!

neutrão



60%
Eficiência de detecção