

Estudo do protótipo do detector RICH de AMS com fragmentos de um feixe de iões

Luísa Arruda

LIP -Lisboa

Sumário

- ✓ Setup experimental
- ✓ Caracterização do radiador *aerogel*
 - ✓ Reconstrução de β e Z
 - ✓ Uniformidade da telha
- ✓ Radiador NaF
- ✓ Dados com o protótipo do espelho
 - ✓ Reconstrução de β e Z
 - ✓ Avaliação da reflectividade do espelho
- ✓ Conclusões

Test Beam 2003: setup experimental



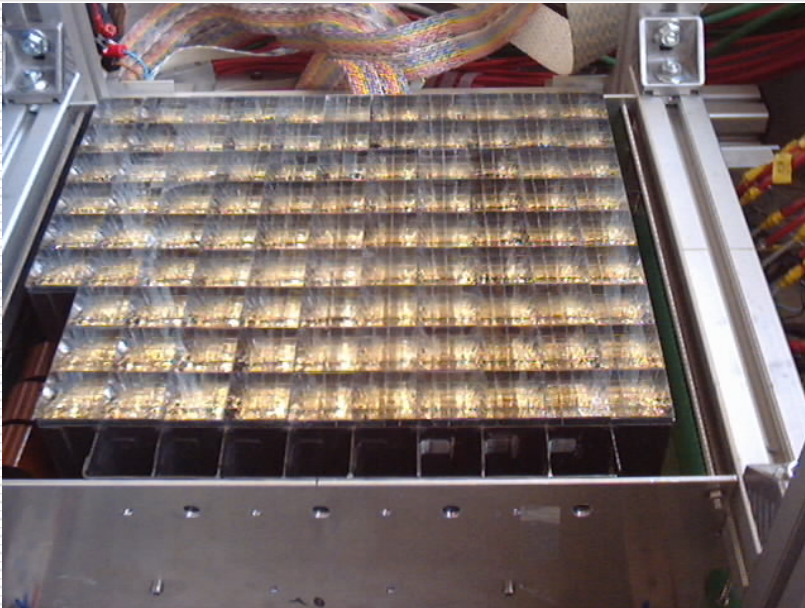
Área experimental H8 no CERN, Outubro 2003

- feixe primário de iões de índio ($Z=49$) com $158 \text{ GeV}/c/n$
- alvo de chumbo
- partículas a atravessarem o RICH: fragmentos iónicos ($Z < 49$)
- selecção do feixe: $A/Z=2, 2.25, 2.35$
 - Protótipo do RICH
 - Protótipos do tracker e do TOF (dados do tracker usados para obtenção do traço e selecção externa de carga)
 - 2 cintiladores orgânicos para trigger e selecção externa de carga

Test Beam 2003: setup experimental

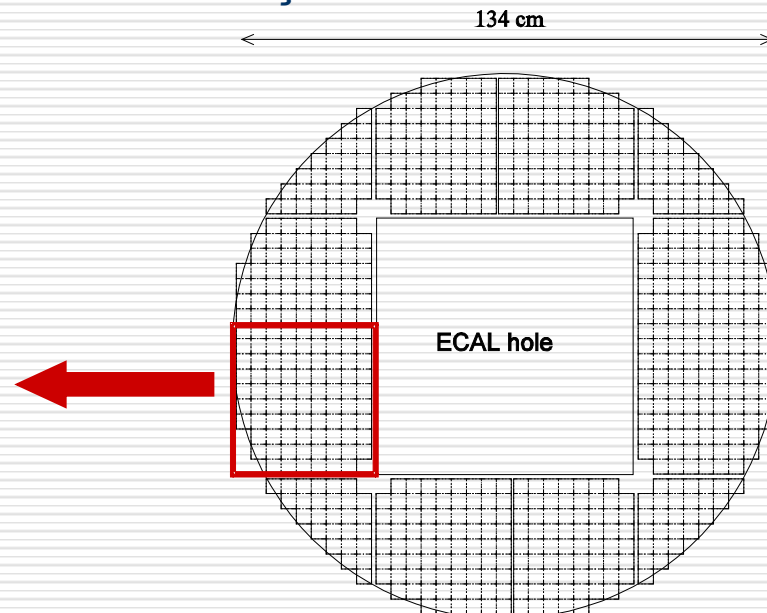
Protótipo do RICH:

- matriz de detecção com 96 PMTs
- radiador: diversas amostras (telhas) de aerogel, NaF
- protótipo do espelho com 1/12 da cobertura azimutal do final



Objectivos:

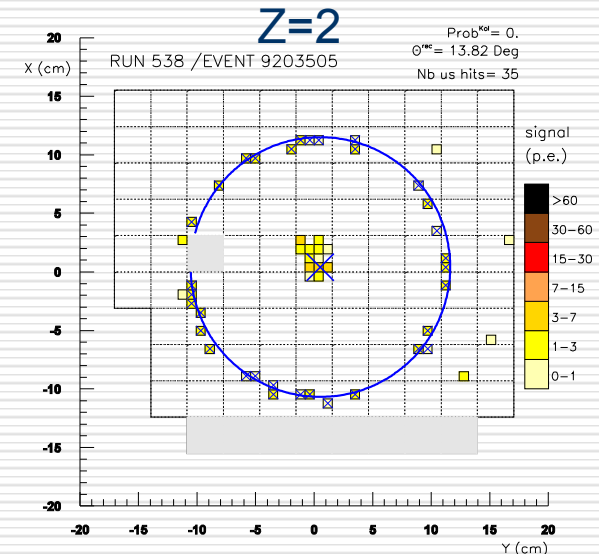
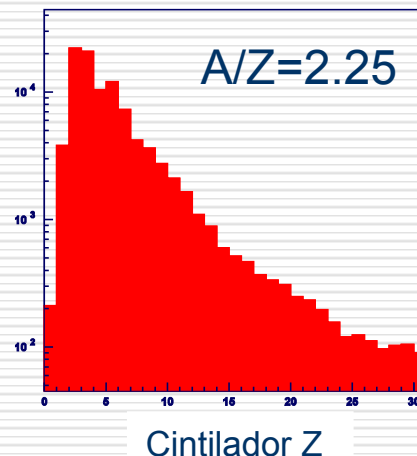
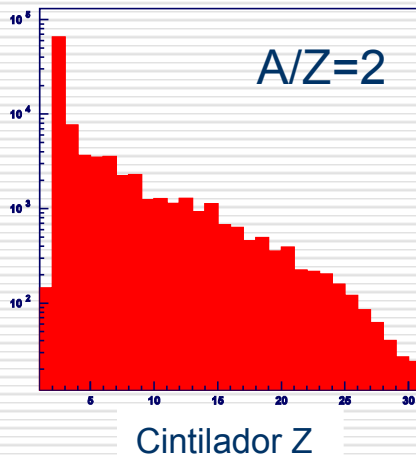
- ✓ testar a electrónica de *front-end* do voo
- ✓ avaliação dos radiadores de aerogel e NaF
- ✓ avaliação da performance do RICH
- ✓ avaliação da reflectividade do espelho



Test Beam 2003: dados analisados

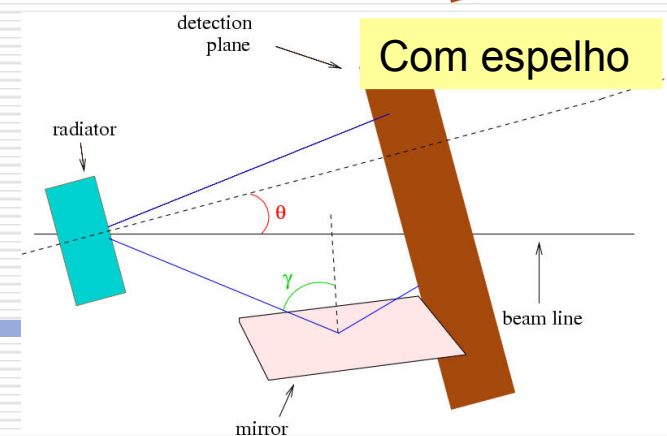
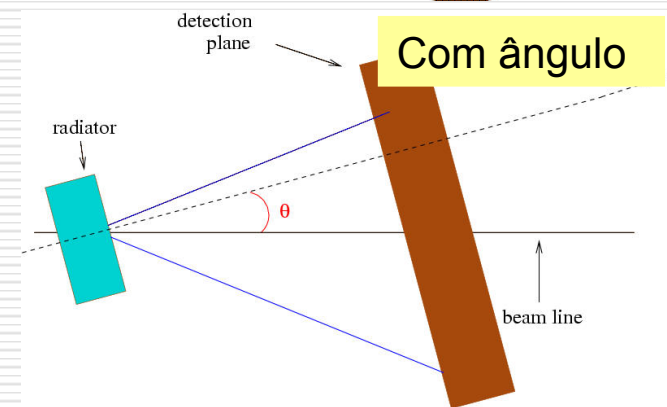
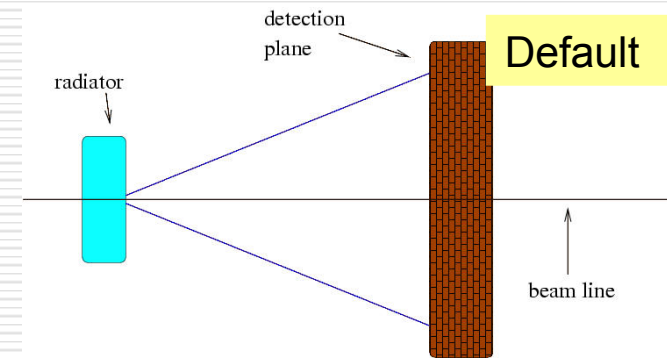
- 11 dias de tomada de dados
- $\sim 10^7$ eventos recolhidos
- diferentes incidências das partículas ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$)
- distância de expansão do radiador à matriz ajustada para ter anéis totalmente contidos
- selecção do feixe: $A/Z = 2, 2.25$

Características do feixe		
Secção do feixe	A/Z	β
$\sim 1 \text{ mm}^2$	2	~ 1
$\sim 1 \text{ cm}^2$	2.25	~ 1



Test Beam 2003: dados analisados

Radiadores utilizados		
radiador	n	Espessura(cm)
Aerogel Novosibirsk (CIN103)	1.03	3
Aerogel Matsushita (MEC103)	1.03	3 X 1.1
Aerogel Novosibirsk (CIN105)	1.05	2.5
Fluoreto de Sódio	1.33	0.474



Reconstrução de θ_c

A maximização de uma função de máxima verosimilhança permite obter o melhor candidato para o ângulo θ_c .

$$V(\theta_c) = \prod_{i=1}^{N_{hits}} P_i^{n_{pe_i}} \{r_i(\varphi_i(\theta_c))\} = (1 - b) \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r_i}{\sigma}\right)^2} + \frac{b}{R}$$

$r_i \equiv$ distância mínima ao anel de Cerenkov

$P_i \equiv$ probabilidade do hit i pertencer ao padrão

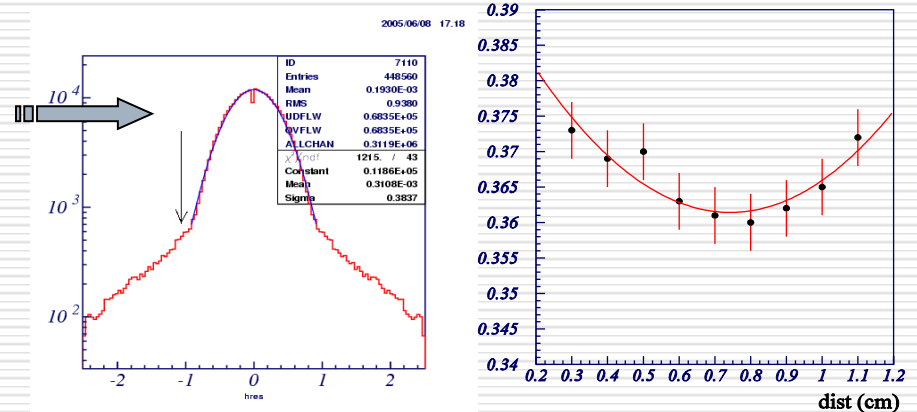
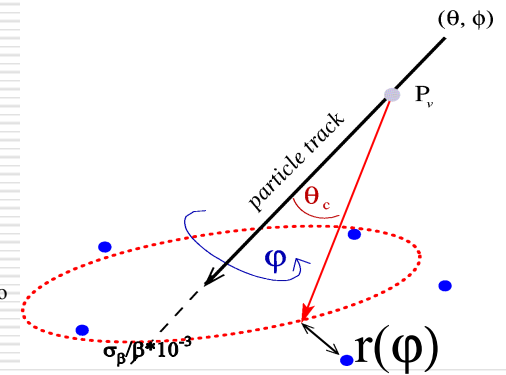
$\sigma \equiv$ sigma dos resíduos extraído da simulação

$b \equiv$ fracção de hits de ruído por evento

$R \equiv$ dimensões activas da matriz

Resolução ($\Delta\beta$)

- ✓ Optimizar a resolução \implies otimizar a separação sinal/ruído (d_{corte})
- ✓ Largura dos resíduos avaliada para um dado radiador AGL03 ($\sigma_{\text{res}} \sim 4\text{mm}$)
- ✓ Estudo da resolução de velocidade com diferentes d_{corte} e com o b estimado para cada d_{corte} .



Reconstrução de Z

O número de fótons de Cerenkov radiados quando uma partícula carregada atravessa um comprimento de radiador ΔL , depende da sua carga Z.

$$N \propto Z^2 \Delta L \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right)$$

A sua detecção na matriz de fotomultiplicadores perto do padrão esperado depende de:

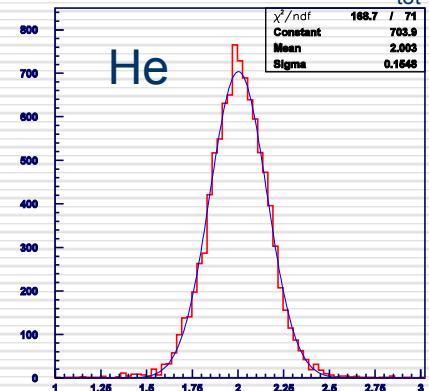
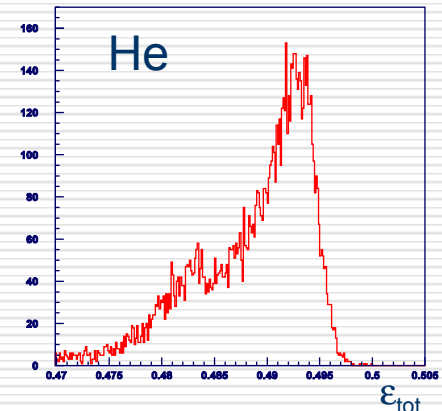
- interacções no radiador (ϵ_{rad})
- aceitação geométrica
- perdas no light guide (ϵ_{lg})
- eficiência quântica dos fotomultiplicadores (ϵ_{PMT})

O número de fótons detectados varia de evento para evento

$$N_{pe} \propto Z^2 \Delta L \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2} \right) \epsilon_{\text{rad}} \epsilon_{\text{geo}} \epsilon_{\text{lg}} \epsilon_{\text{PMT}}$$

$\epsilon_{\text{tot}}(\theta_c, \theta, \phi, P_I)$

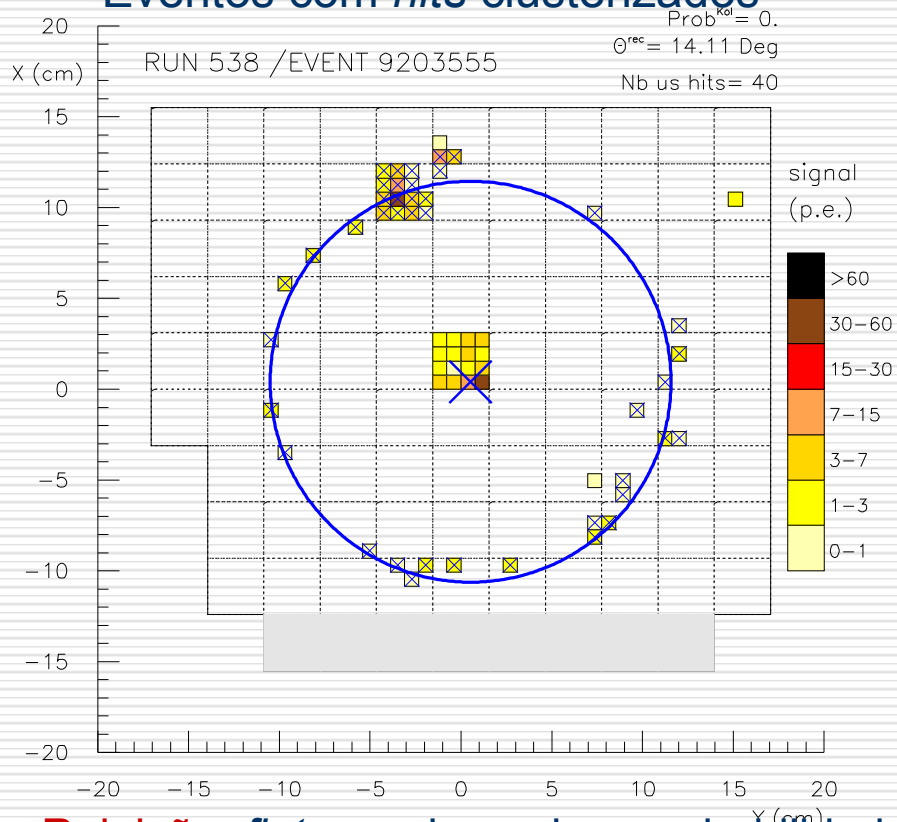
$$\Rightarrow Z^2 \propto \frac{N_{pe}}{\epsilon_{\text{tot}}} \frac{1}{\Delta L} \frac{1}{\sin(\theta_c)}$$



Test Beam 2003: selecção de dados

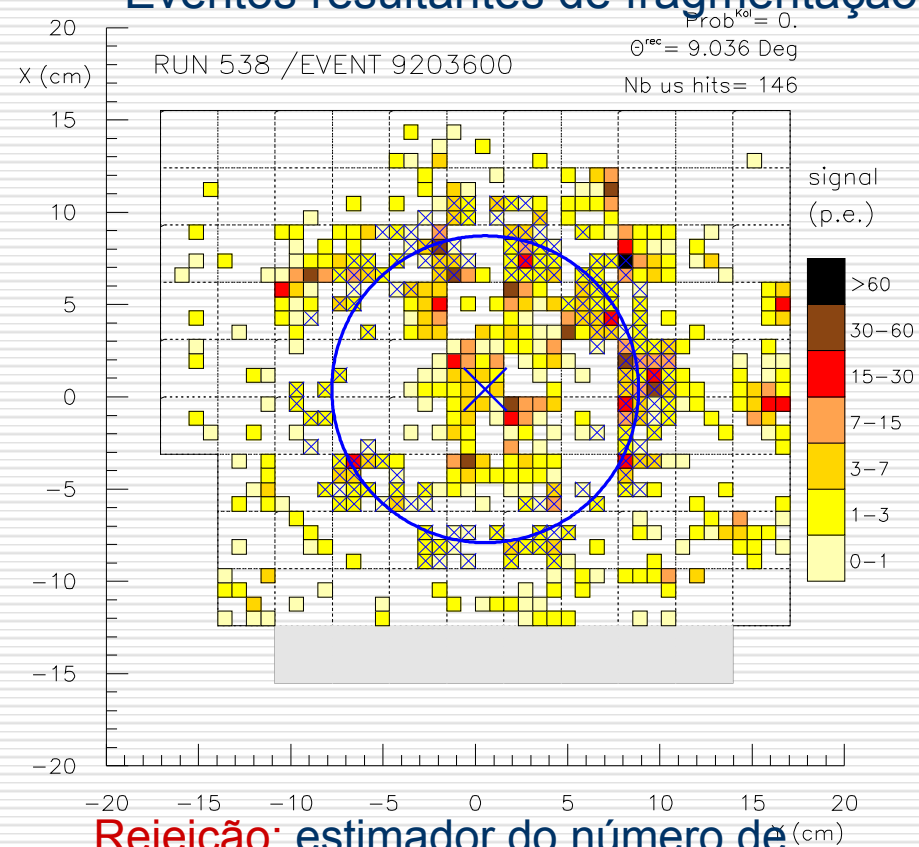
Eventos de background

Eventos com *hits* clusterizados



Rejeição: flatness do anel ou probabilidade de Kolmogorov. Ambas requerem a uniformidade azimutal dos hits

Eventos resultantes de fragmentação



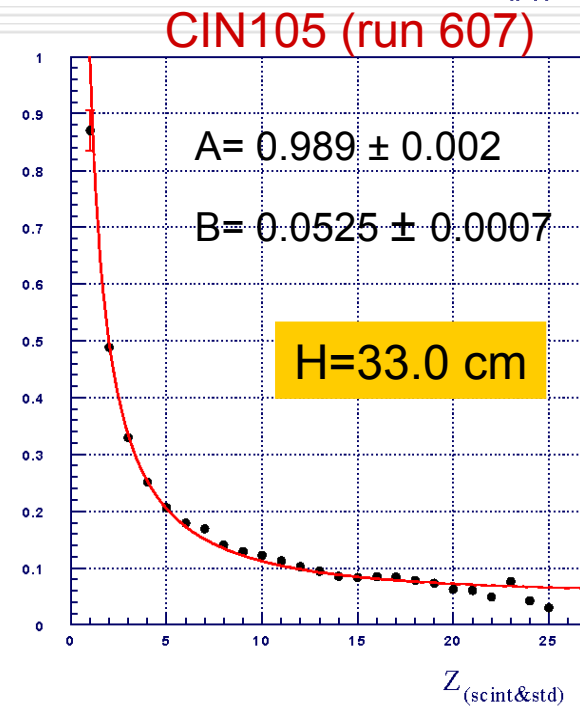
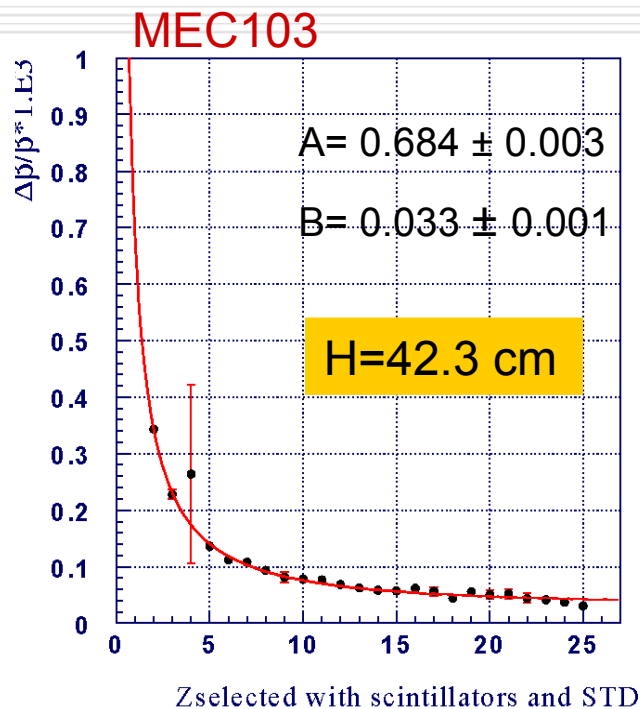
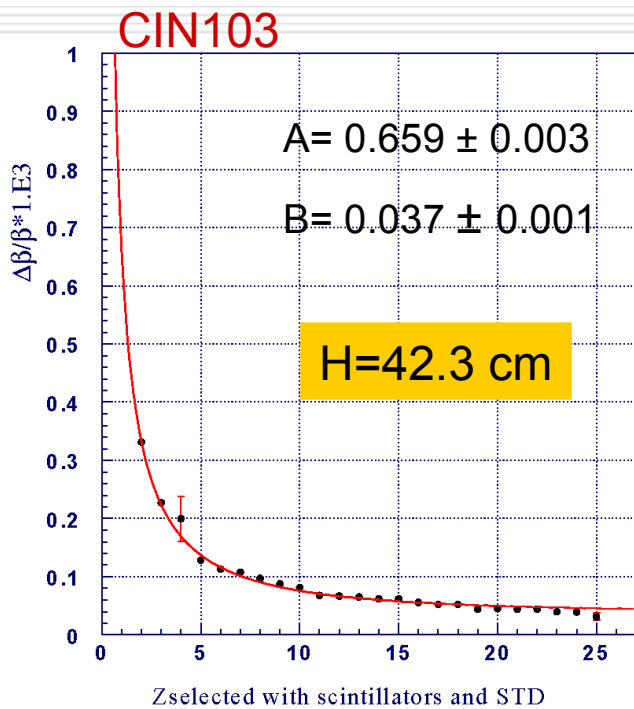
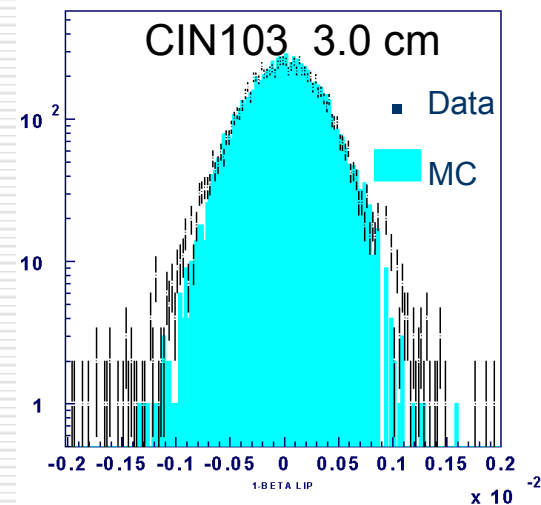
Rejeição: estimador do número de partículas

Resolução β com os radiadores de aerogel

Resolução β para $Z=2$, $H=33.5$ cm			
radiador	CIN103	MEC103	CIN105
$\sigma(\beta) \times 10^3$	0.421 ± 0.003	0.435 ± 0.002	0.481 ± 0.004

Todos os radiadores testados cumprem os requisitos para a medida de β com o RICH !!

$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{A}{Z}\right)^2 + B^2}$$



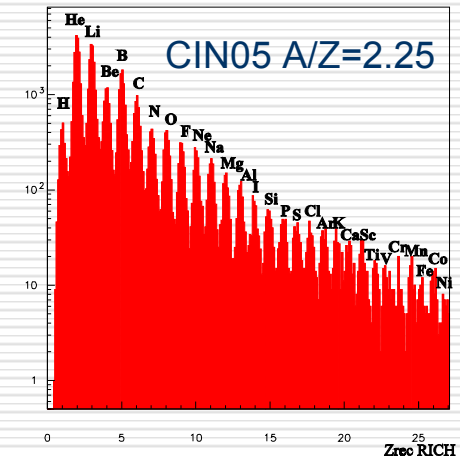
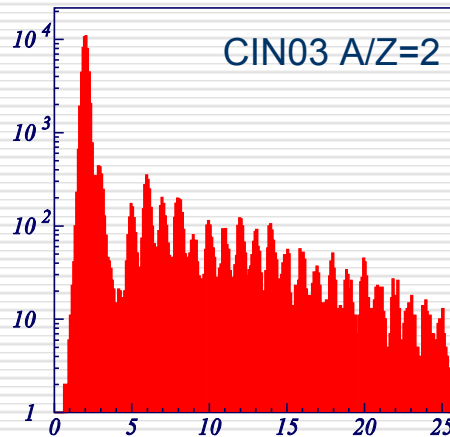
Resolução em Z com os radiadores de aerogel

$$\sigma(Z) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1 + \sigma_{pe}^2}{N_0} + \left(\frac{\Delta N}{N}\right)_{syst}^2} Z^2$$

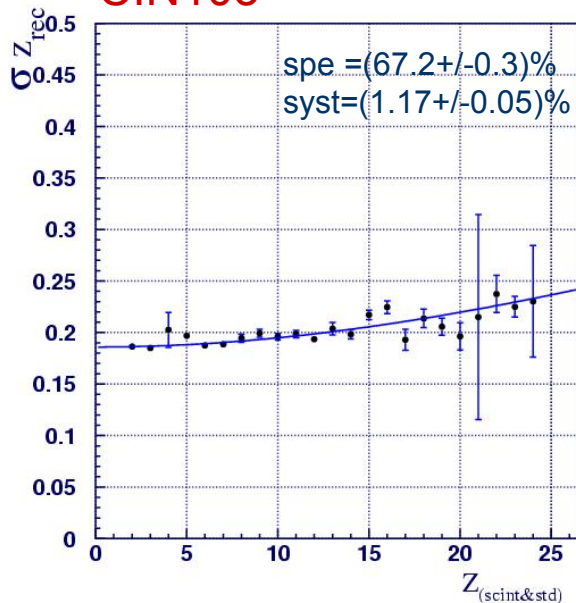
σ_{pe} resolução s.p.e.

N_0 light yield para Z=1

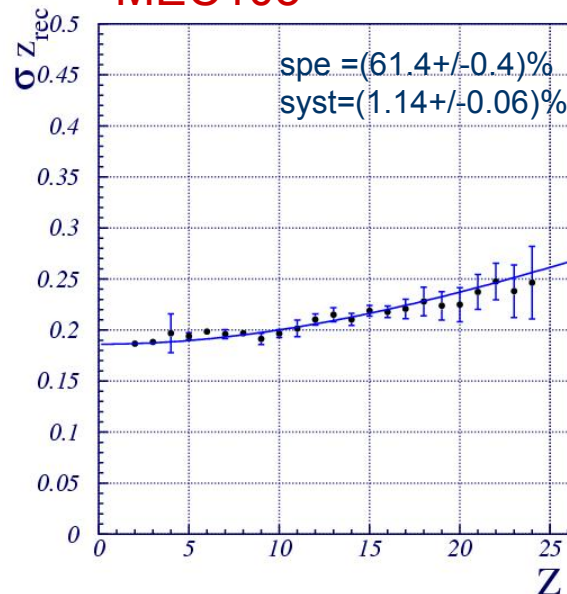
$\Delta N/N * Z^2$ erro sistemático



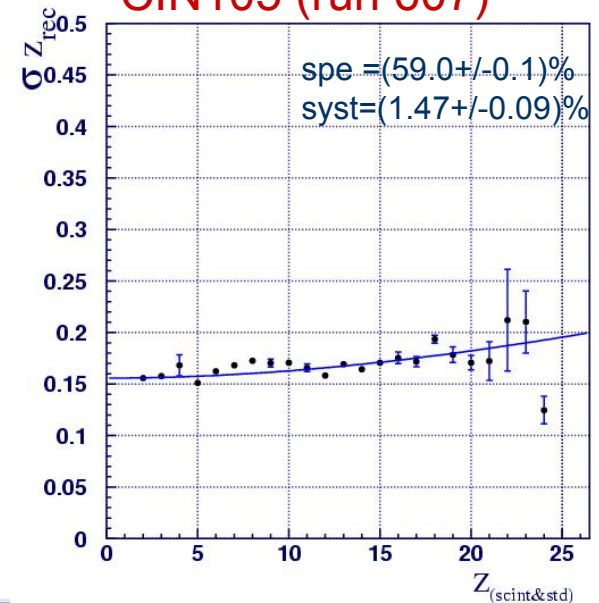
CIN103



MEC103



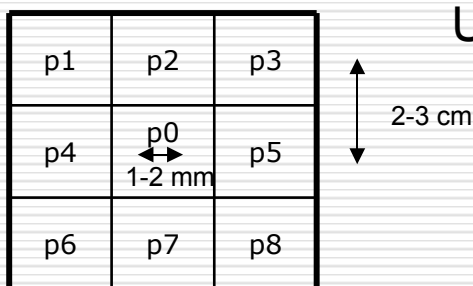
CIN105 (run 607)



Uniformidade da telha de aerogel: *photon yield*

A uniformidade do radiador é estimada com base no *photon yield* para $Z=2$ e usando o traço do STD.

A larga escala (~2-3 cm) comparação de dados de diferentes runs de *scan*



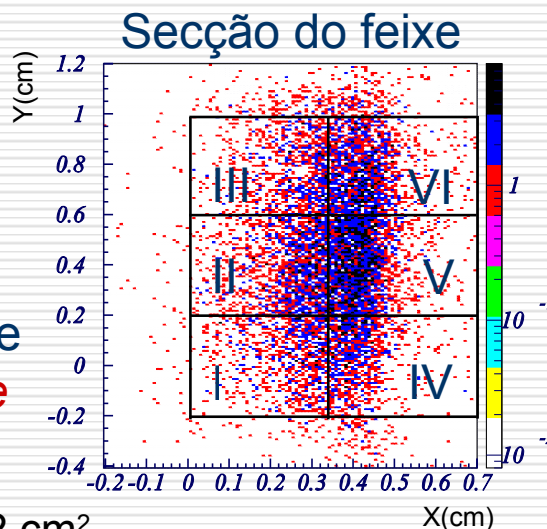
Uniformidade do *photon yield* %

CIN103	0.5 ± 0.1
MEC103	0.6 ± 0.1
CIN105	Telha de reduzidas dimensões

A pequena escala (~1 mm)

Estudo da uniformidade com dados de um *wide beam*

Secção do feixe ~ 0.7×1.2 cm²



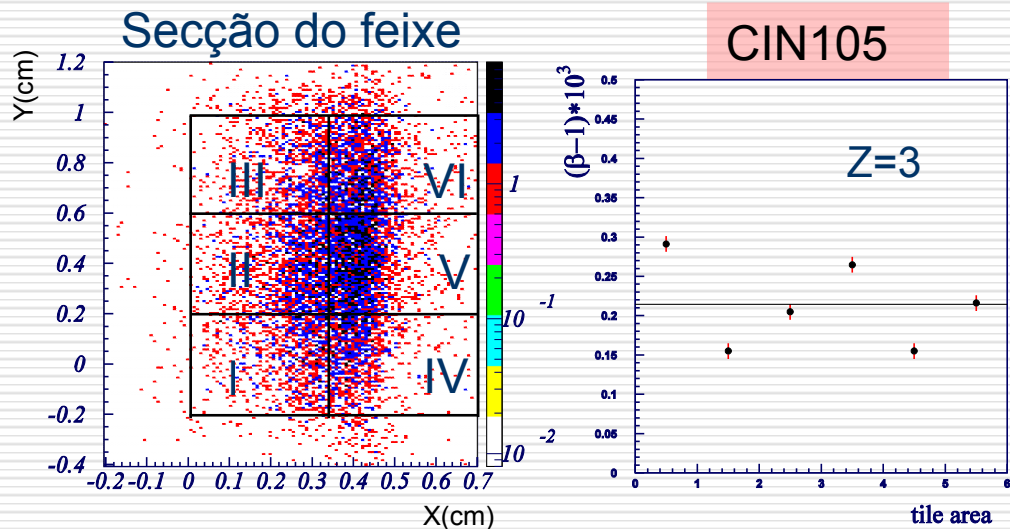
CIN105	0.6 ± 0.1
--------	---------------

Todos os radiadores mostram uma uniformidade ao nível <1%

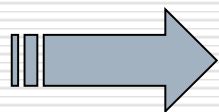
Uniformidade da telha de aerogel: índice de refração

Da relação $\Delta\beta/\beta = \Delta n/n$

Temos uma estimativa directa da uniformidade do índice de refração com base no valor médio de β reconstruído



Radiador	$\Delta n \times 10^3$ <i>Wide beam</i>
CIN105	0.06 ± 0.02

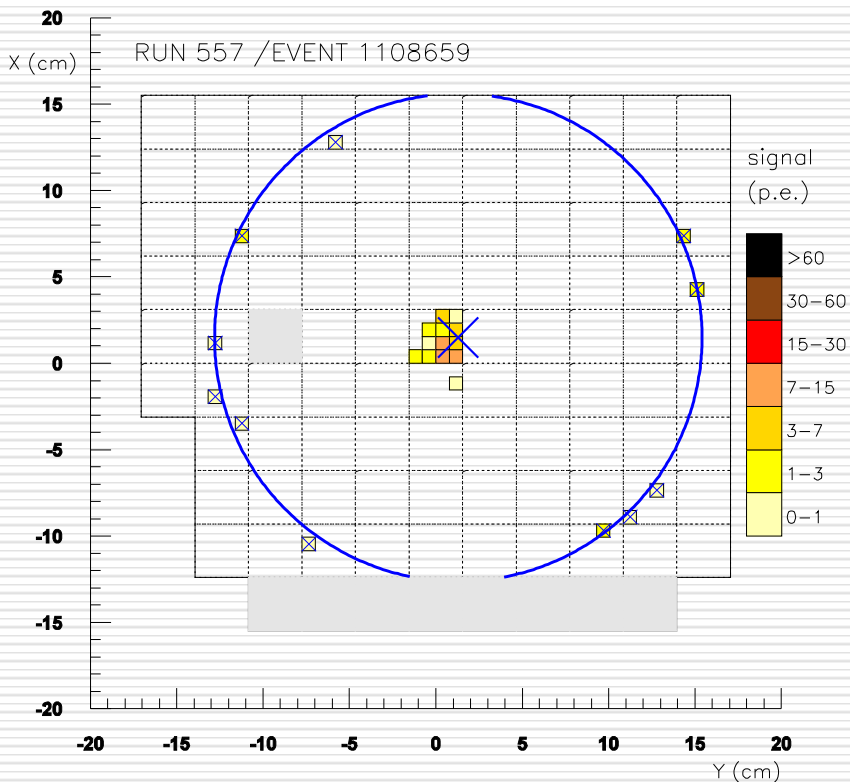


O radiador CIN105 mostra não uniformidades negligíveis no índice de refração

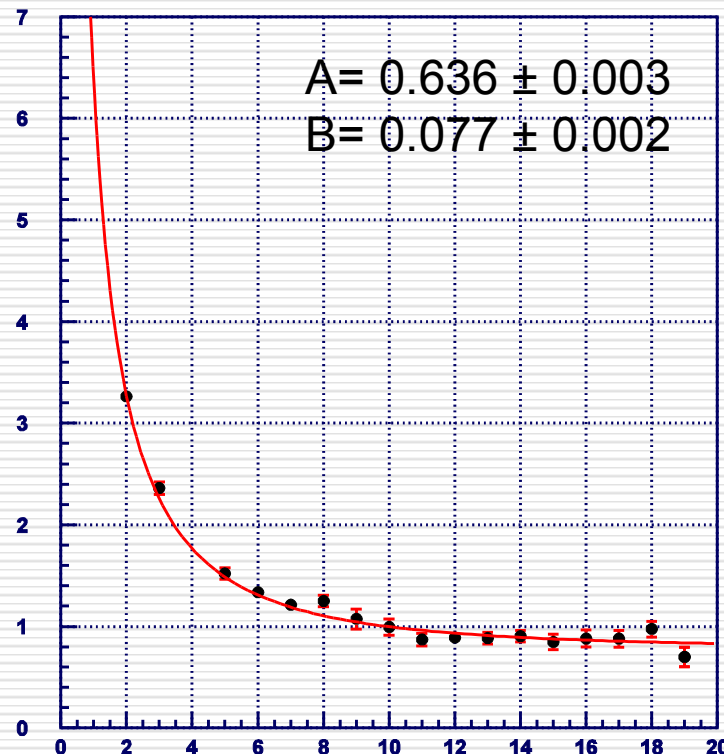
Resolução β com o radiador de NaF

NaF run 557 $\theta=0^\circ$

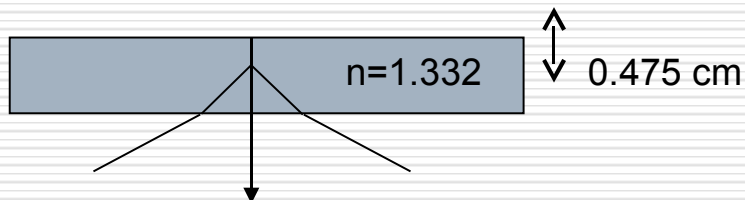
$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{A}{Z}\right)^2 + B^2}$$



$\Delta\beta/\beta * 1.E3$

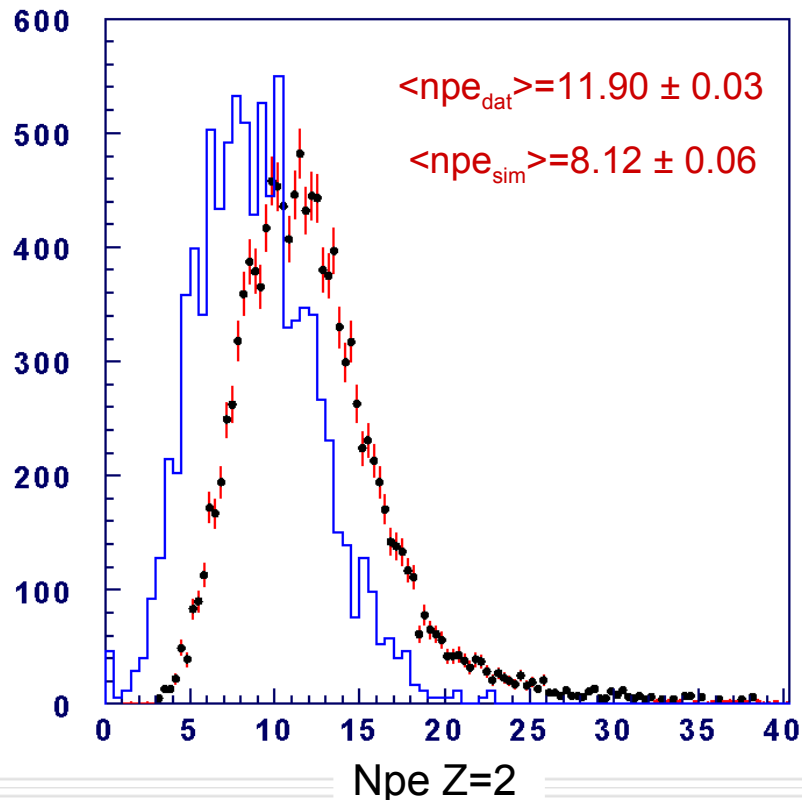


Z cintil & STD

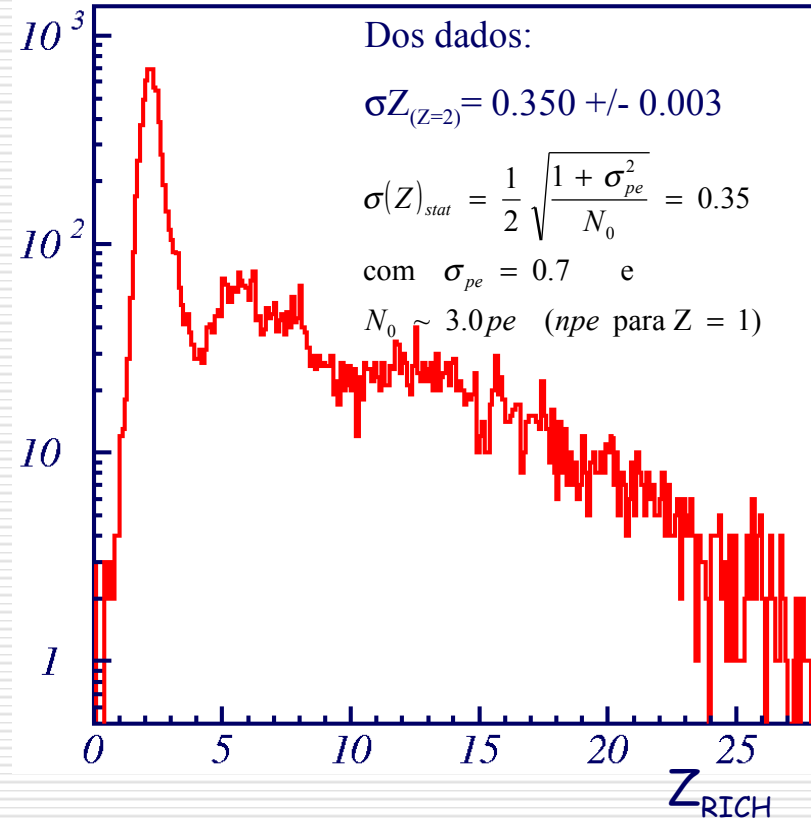


Reconstrução de Z com o radiador de NaF

NaF run 557 $\theta=0^\circ$ $\theta_\gamma \sim 62^\circ$



Dados mostram um excesso de 47% de luz colectada em relação ao MC

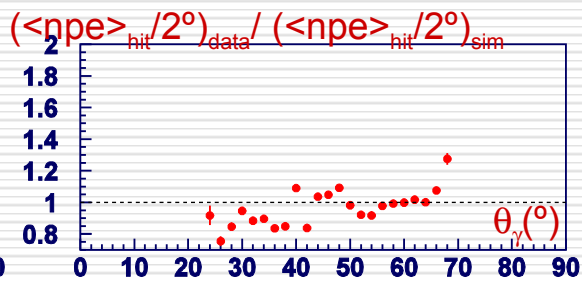
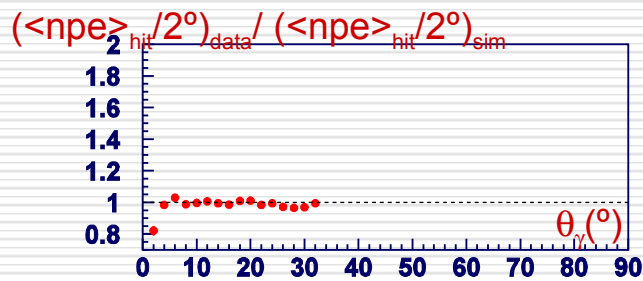
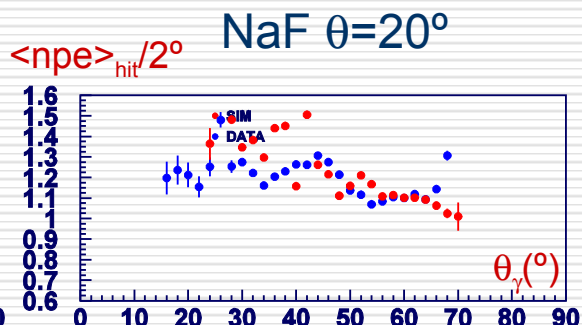
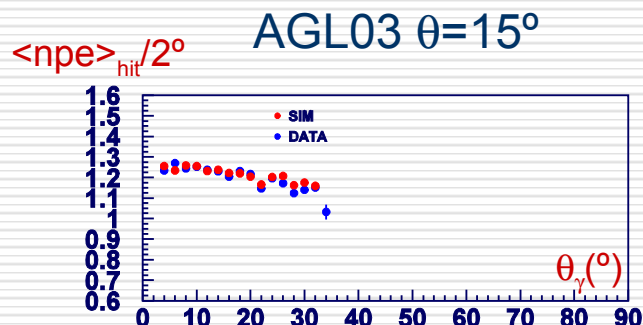
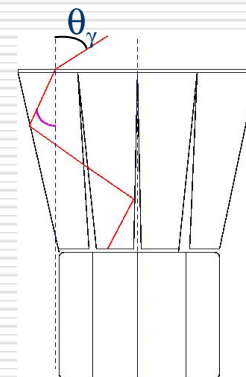


Eficiência de detecção no NaF: eficiência LG

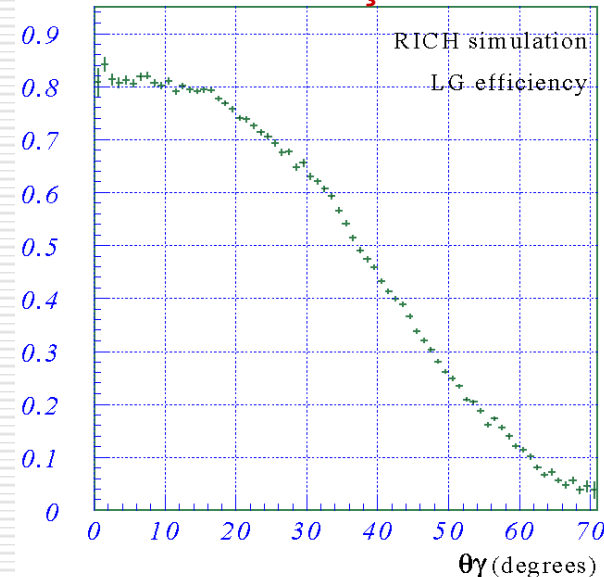
Os *light guides* estão a colectar fótons a um grande ângulo (62°)

Com o aerogel só se obtem ângulos de incidência de fótons até 30° (inclinação das partículas de 15°).

Os runs de NaF permitem estudar a eficiência de detecção na região angular de incidência dos 30° - 70°



Eficiência dos LG do RICH usada na simulação

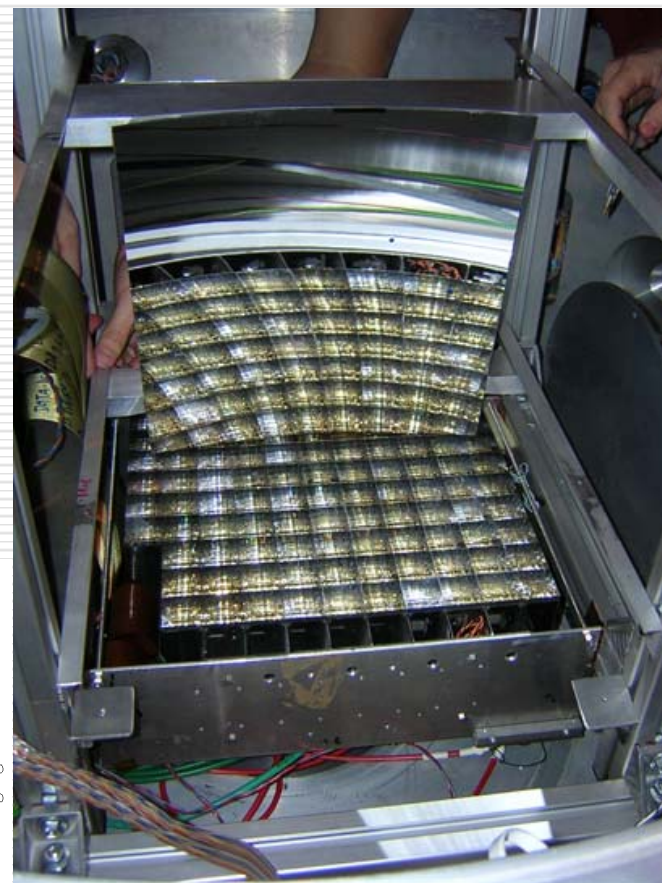
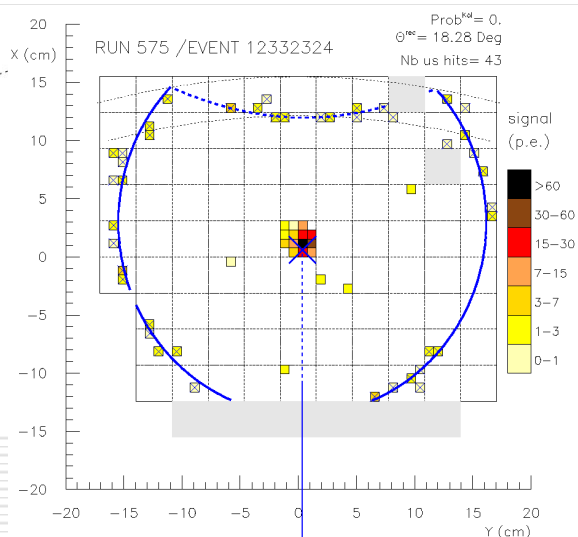
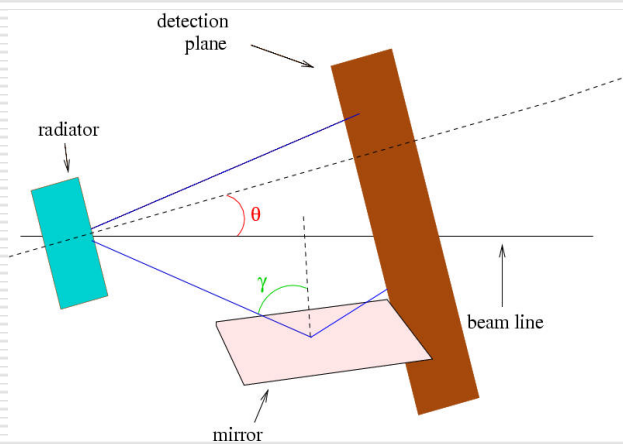


Estudo de compreensão da eficiência de LG observada nos dados a decorrer...

Dados com o protótipo do espelho

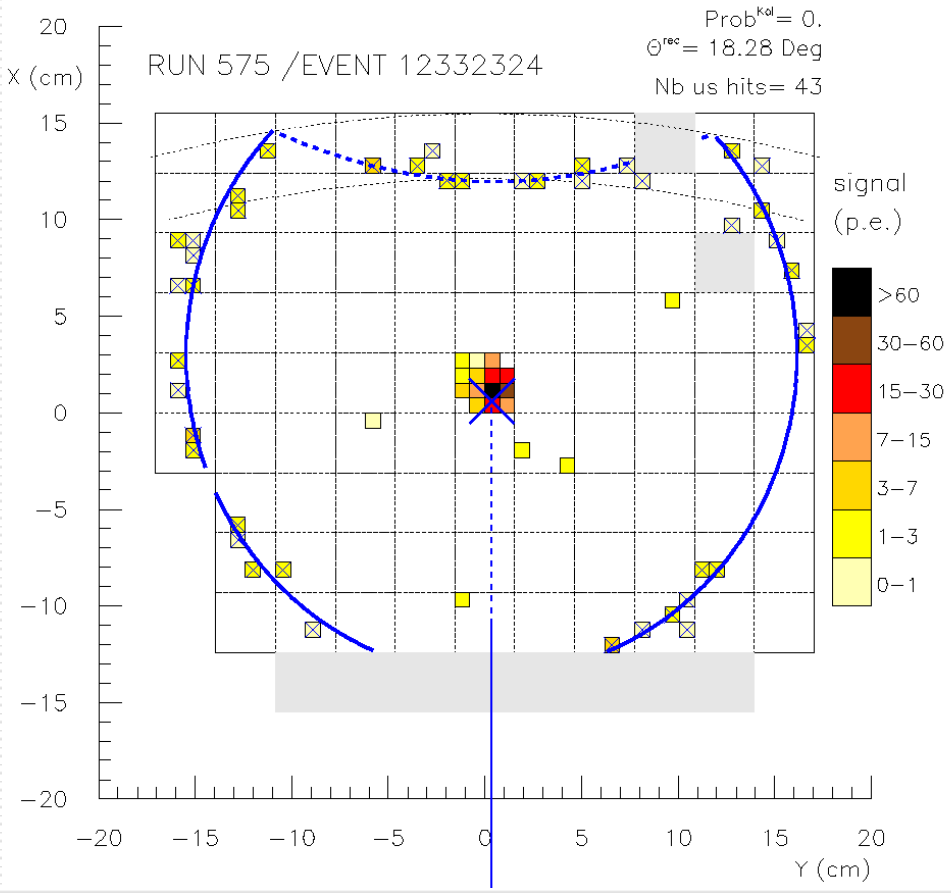
- Segmento de espelho com 1/12 da cobertura azimutal total
- Dados tomados com diferentes combinações de parâmetros:
 - índice de refração do radiador (1.03, 1.05)
 - ângulo entre o detector e a direcção do feixe ($0^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 20^\circ$)
 - Distância de expansão (42.3, 38.0 cm)

Evento Z=2

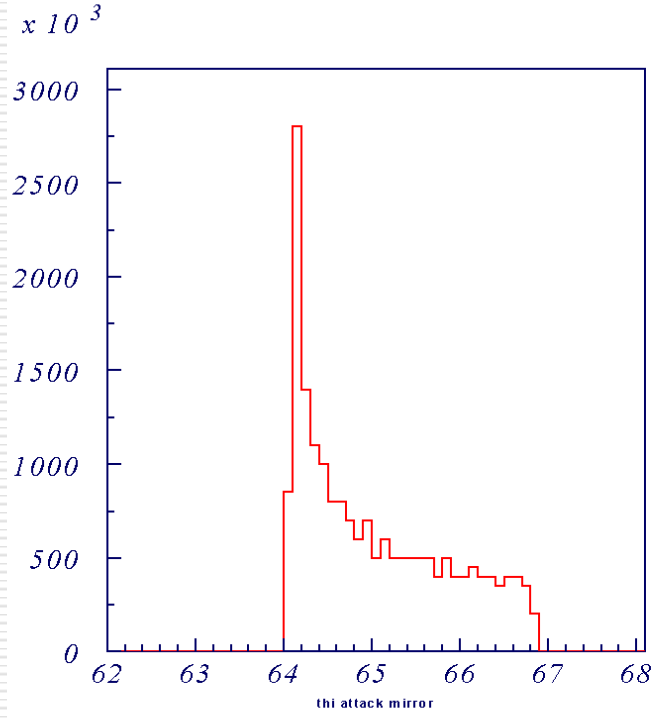


Reflectividade do espelho avaliada com um run AGL105 ($\theta=15^\circ$)

Evento Z=2



Distribuição do ângulo de incidência do fóton no espelho (em relação à normal à superfície do espelho)

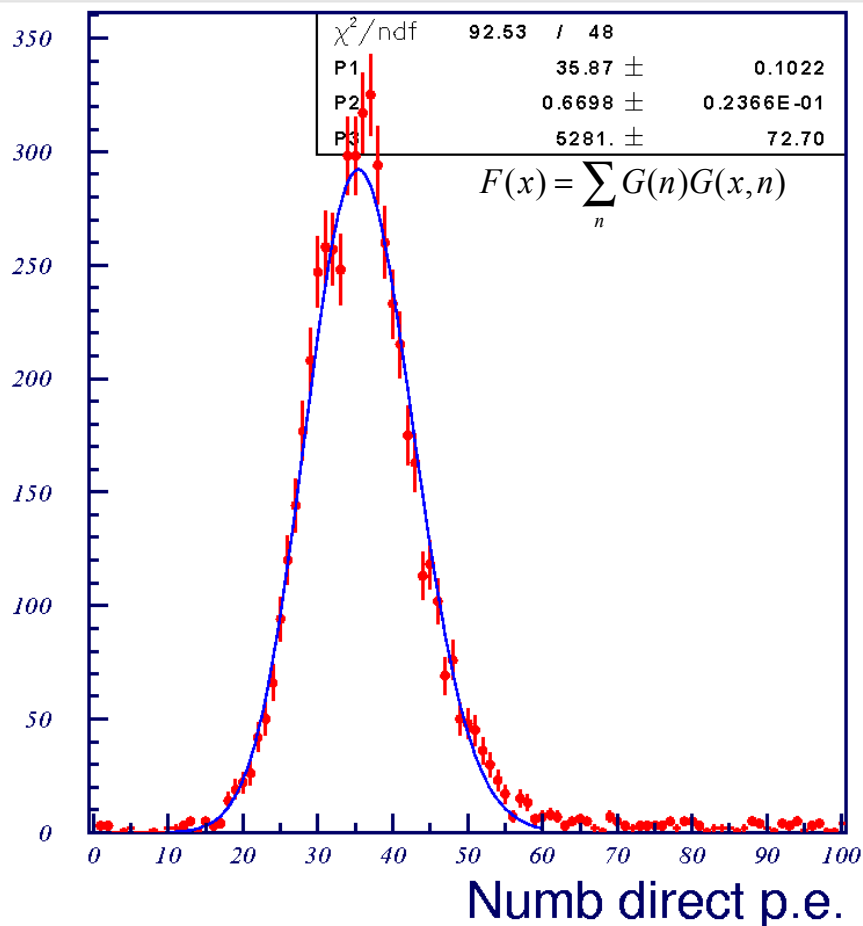


$$\epsilon_{mir} = \frac{N_{pe}^{ref} \epsilon_{geo}^{dir} \epsilon_{lg}^{dir}}{N_{pe}^{dir} \epsilon_{geo}^{ref} \epsilon_{lg}^{ref}}$$

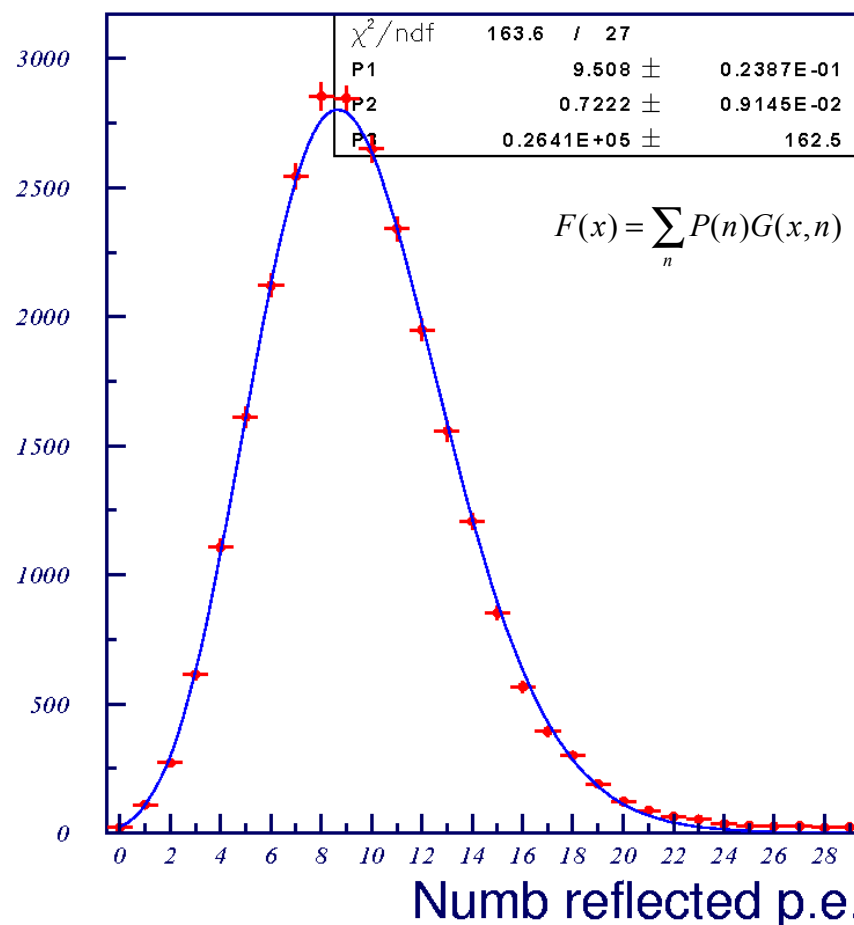
Avaliação do número de fotoelectrões

Seleccção de eventos de hélio (Z=2)

Sem reflectão

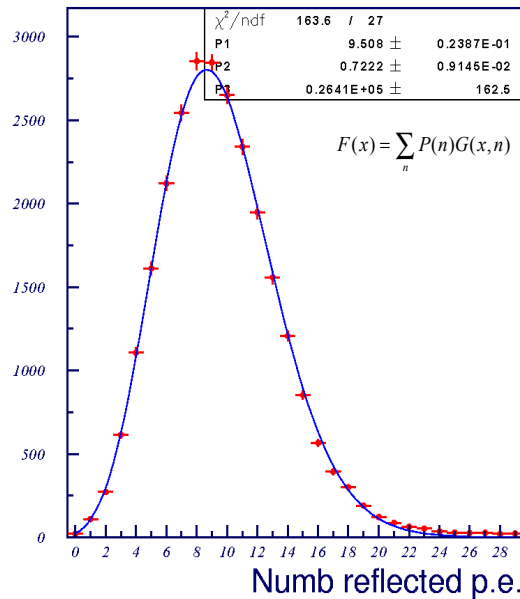


Com reflectão



Fotões directos: $\langle N_{pe} \rangle = 35.9 \pm 0.1$ Fotões reflectidos: $\langle N_{pe} \rangle = 9.508 \pm 0.02$

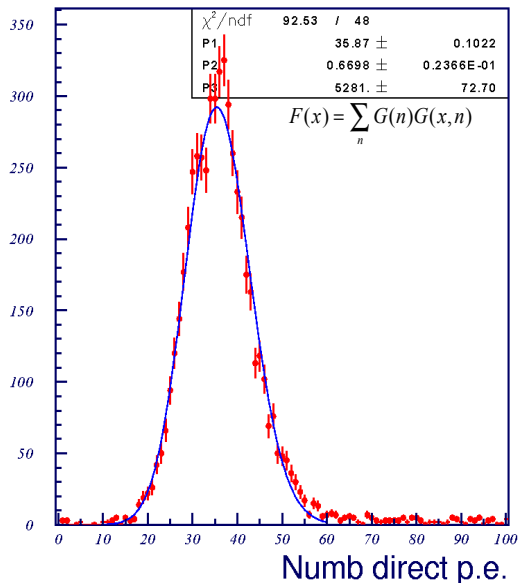
Avaliação do npe: método de fit



A distribuição do npe para o troço reflectido depende:

- lei estatística (Poisson, Gaussiana)
- amplificação do PMT
- distribuição das velocidades das partículas (fixas neste caso)

$$F(x) = \sum_n P(n)G(x, n) = \sum_n \frac{e^\mu \mu^n}{n!} \frac{1}{\sqrt{n\sigma_{pe}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-n}{\sqrt{n\sigma_{pe}}} \right)^2}$$



A distribuição do npe para o troço directo pode ser fitada por:

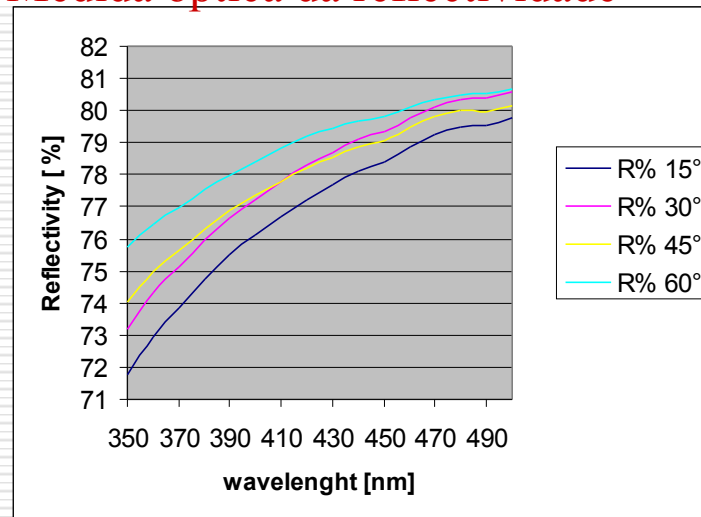
$$F(x) = \sum_n G(n)G(x, n) = \sum_n \frac{1}{\sqrt{\mu}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{n-\mu}{\sqrt{\mu}} \right)^2} \frac{1}{\sqrt{n\sigma_{pe}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-n}{\sqrt{n\sigma_{pe}}} \right)^2}$$

Reflectividade do espelho avaliada com um run AGL105 ($\theta=15^\circ$)

Eventos He

	Directo	Reflectido
N_{pe}	35.9 \pm 0.1	9.51 \pm 0.02
ϵ_{LG}	0.7067 \pm 0.2E ⁻⁴	0.7709 \pm 0.3E ⁻⁴
ϵ_{geo}	0.6254 \pm 0.7E ⁻⁴	0.205 \pm 0.2E ⁻⁴

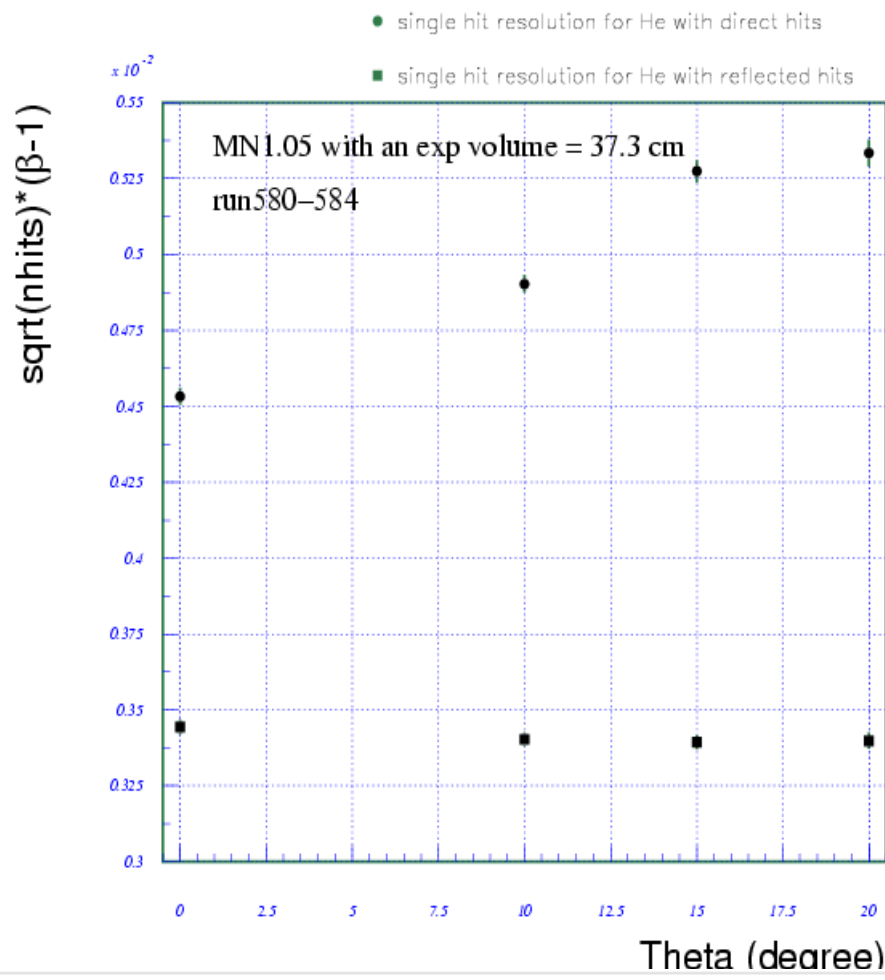
Medida óptica da reflectividade



Espelho com revestimento de SiO

Reflectividade ~ (75.1 \pm 0.2) %

Reflectividade do espelho avaliada com um run AGL105 ($\theta=15^\circ$)



Conclusões

- ✓ Os resultados do TB03 permitiram caracterizar os radiadores de aerogel e estudar a performance do radiador de NaF.
- ✓ Aerogel:
 - ✓ Os radiadores CIN103, CIN105 e MEC103 foram testados e satisfazem os requerimentos do AMS-RICH no que respeita às medidas de β e Z.
 - ✓ estudos de uniformidade:
 - ✓ Uniformidade do aerogel no *photon yield* está assegurada ao nível de 1%
 - ✓ Uniformidade do aerogel no índice de refração $\Delta n < 10^{-4}$
- ✓ NaF:
 - ✓ Resolução de β segue o esperado.
 - ✓ Discrepância sinal dados/MC em estudo
- ✓ Espelho:
 - ✓ Medidas de β e Z não apresentam degradação.
 - ✓ Medida da reflectividade possível com os dados. Os resultados estão de acordo com a medida óptica do fabricante.