

# Identificação e correção de jatos de quarks $b$ no LHCb

Gabriel Rebello – Física UFRJ

Orientador: Prof. Murilo Rangel

Bolsista pelo CNPq – Jovens Talentos



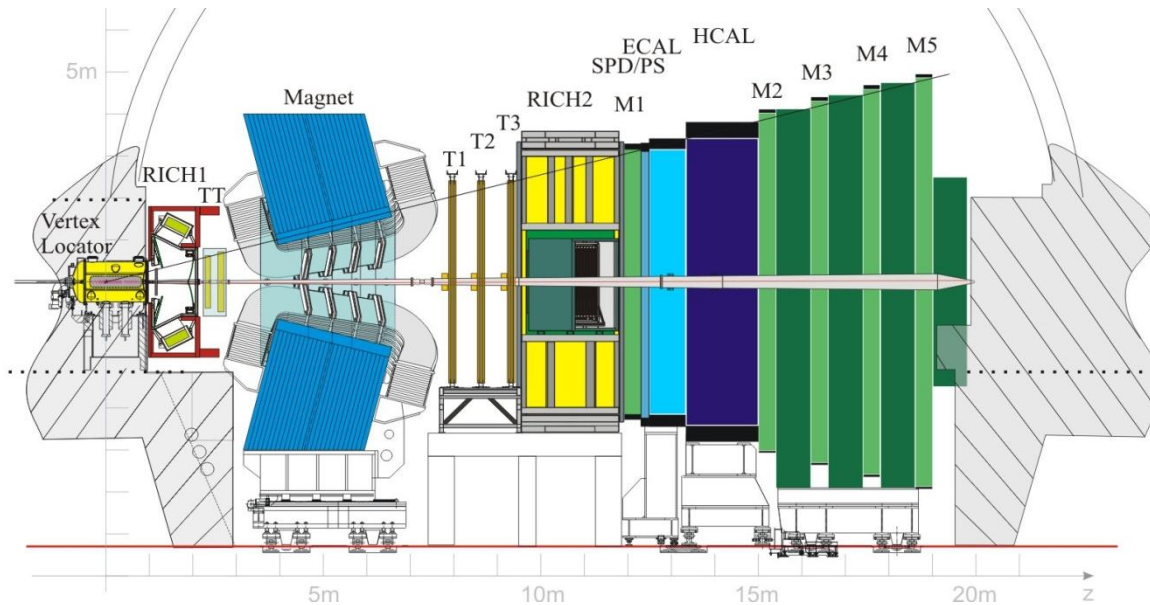
# Large Hadron Collider

- 27km de circunferência
- 7 TeV/feixe
- Colide feixes de prótons
- Busca por **física nova**
- Estudo do **Modelo Padrão**



# O experimento LHCb

- Hádrons pesados (D e B)
- Por que a natureza privilegia a *matéria*?



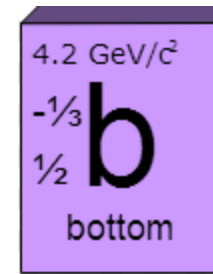
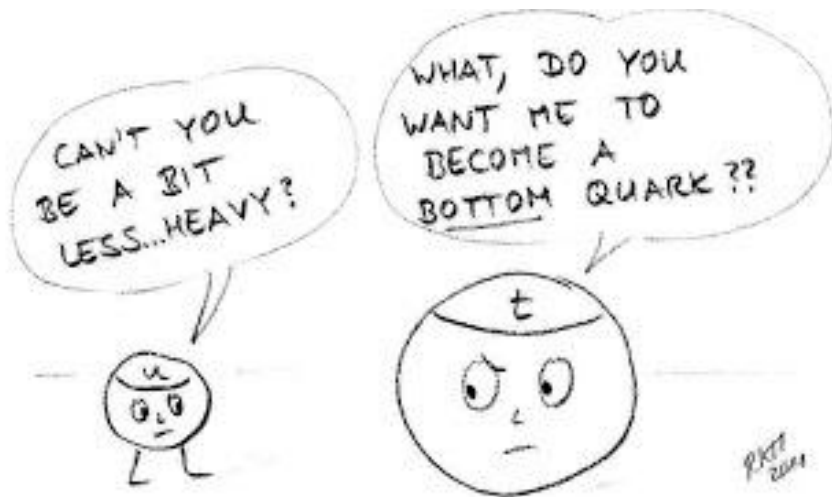
# Quarks

	I	II	III		
mass →	2.4 MeV/c <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0	? GeV/c <sup>2</sup>
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
name →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon	<b>H</b> Higgs boson
	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
Quarks	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon	
	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson	
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	$\pm 1$	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
Leptons	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> W boson	
					Gauge bosons

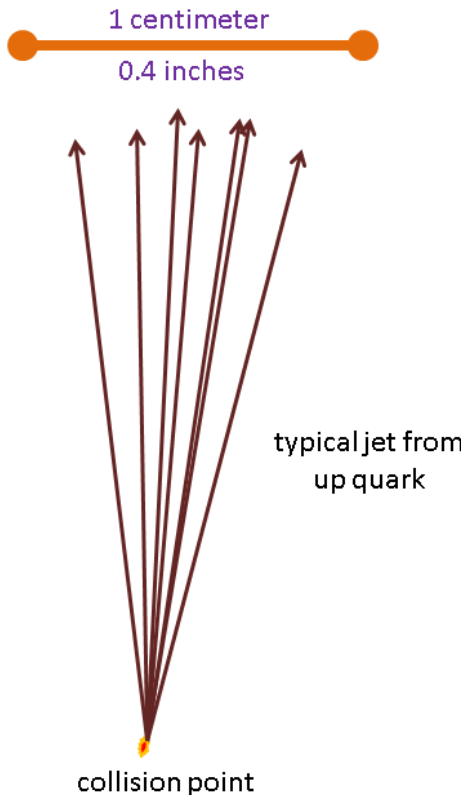
- **Partículas elementares**
- **Constituem a *matéria***
- **Seis tipos: Up, Down, Charm, Strange, Top, *Bottom*.**

# O quark b

- Descoberto em 1977 no **Fermilab**
- Massa de aprox.  **$4.2\text{GeV}/c^2$**
- Fácil identificação experimentalmente



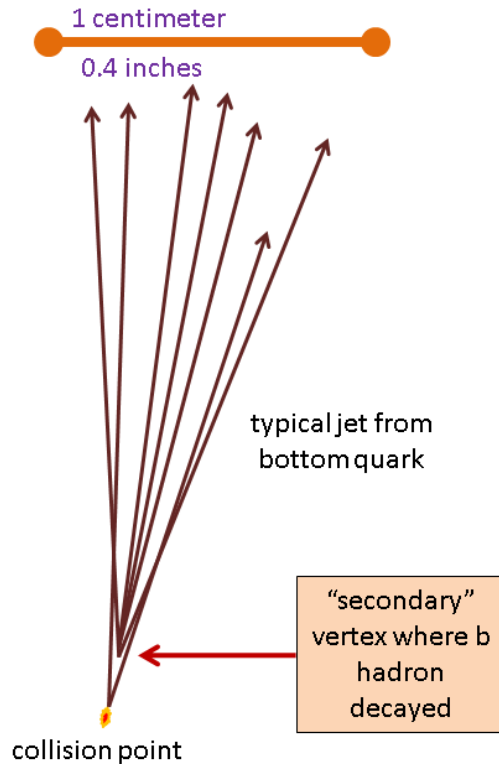
# Jatos



- Quarks e glúons não podem existir livres na natureza pois possuem **cor**
- Processo de **hadronização**
- “Sprays” (jatos)



# Jatos $b$

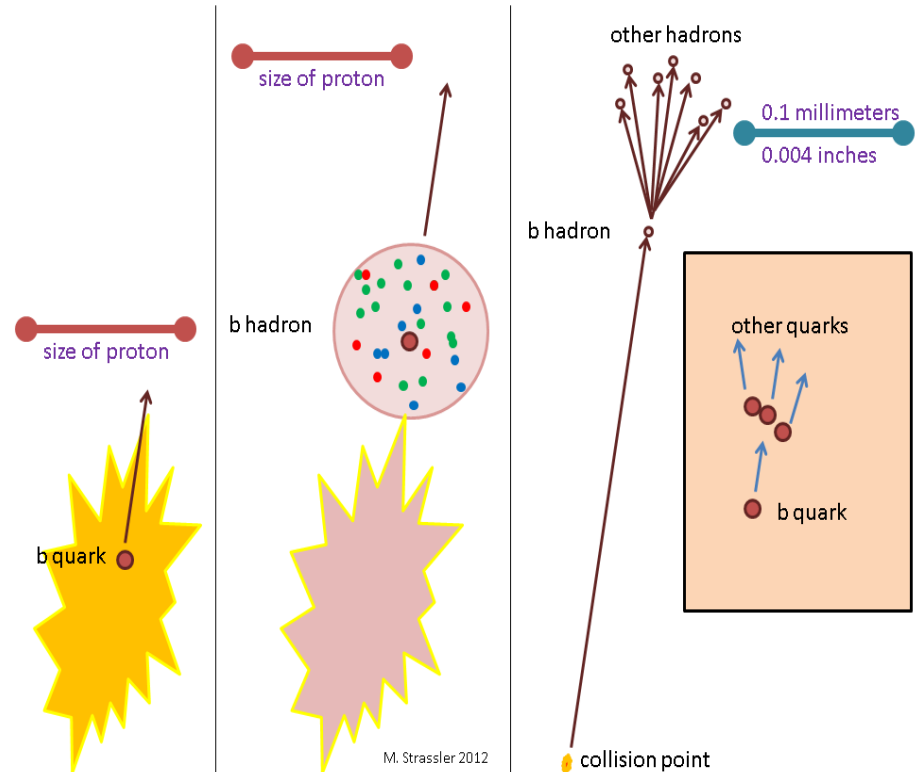


M. Strassler 2012

- Hádrons B possuem alta massa e longo tempo de vida
- Seus jatos tipicamente possuem **vértice secundário**

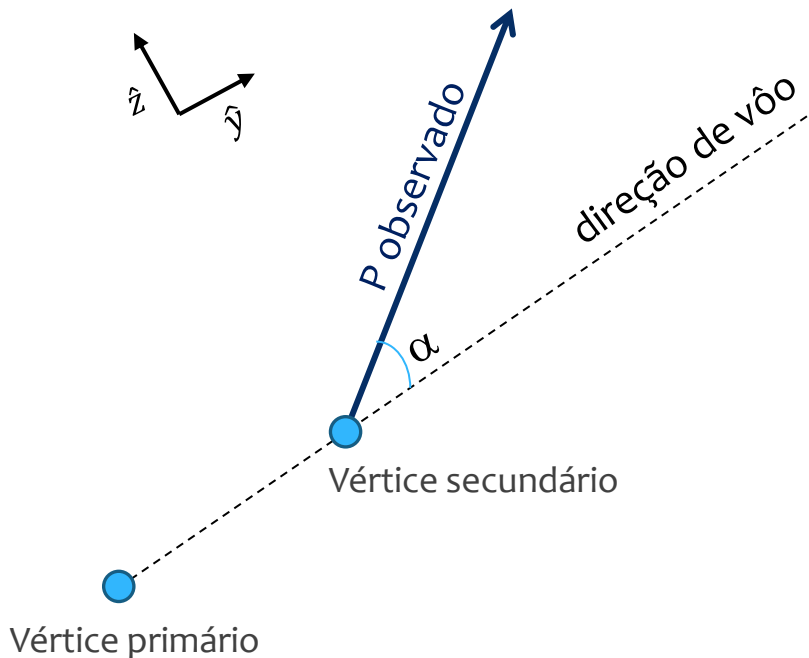
# Reconstrução de jatos

- Sinal no detector
- Extrapolação das trajetórias
- Vértice secundário
- **B-tagging**



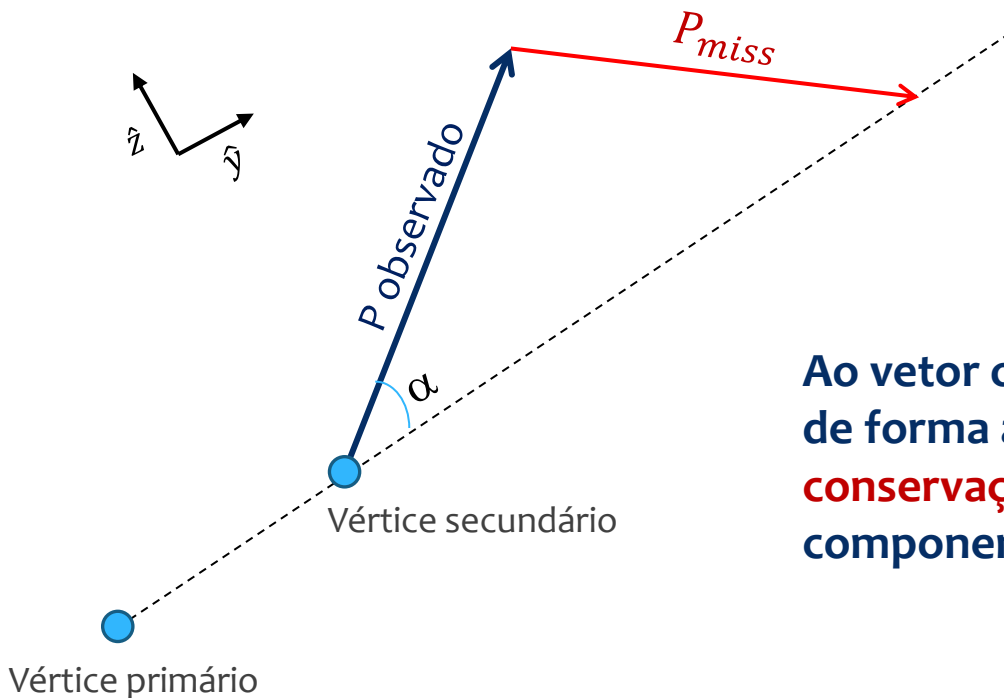


# Algoritmo de correção



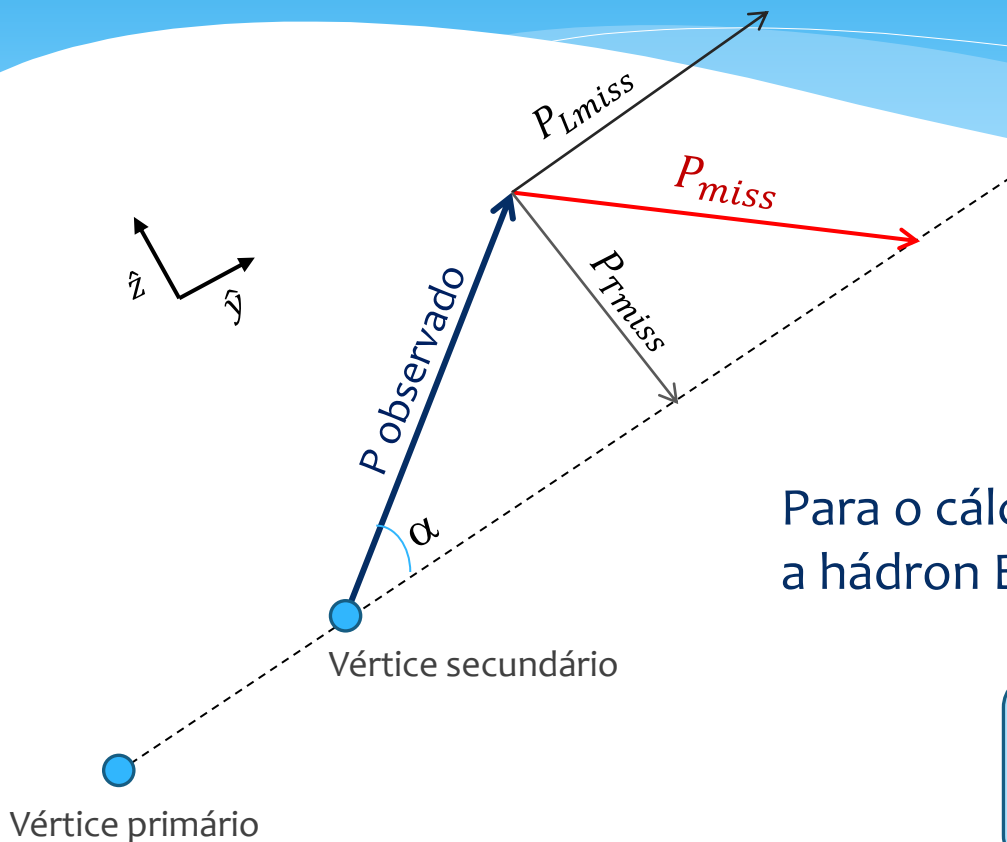
Nem sempre o momento total do candidato a hadron B observado coincide com a **direção de vôo** da colisão. Para a realização da correção da massa do **hádron B**, é utilizado um método simples que consiste de uma **soma vetorial**.

# Algoritmo de correção



Ao vetor observado, adiciona-se um  $P_{\text{miss}}$  de forma a alinhar o P final para que haja **conservação de momento**. Note que  $P_{\text{miss}}$  possui componentes longitudinal e transversal.

# Algoritmo de correção



Para o cálculo da **massa corrigida** do candidato a hádron B e de  $P_{L\text{miss}}$ , foi assumido que:

$M_{\text{corr}}$  é **mínimo**

$M_{\text{miss}} = 0$

# Algoritmo de correção

Então temos, assumindo  $c=1$  e fazendo  $P_{Lmiss} = x$ , que:

$$\frac{d M_{corr}}{dx} = 0$$

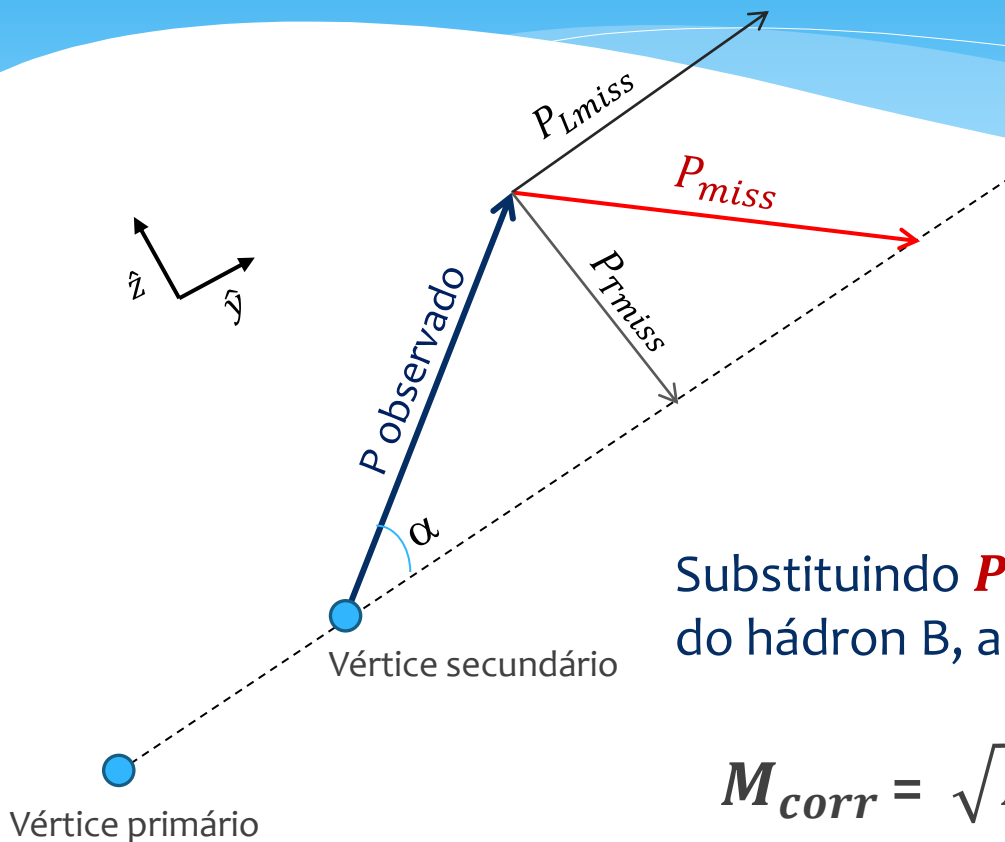
$$E_{miss} = |\vec{P}_{miss}|$$

- $M_{corr}^2 = E_{corr}^2 + P_{corr}^2$

$$\frac{dM_{corr}^2}{dx} = \frac{Ex}{\sqrt{P^2 \sin^2 \alpha + x^2}} + P \cos \alpha = 0$$

$$x = \sqrt{\frac{P^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha}{E^2 - P^2 \cos^2 \alpha}}$$

# Algoritmo de correção



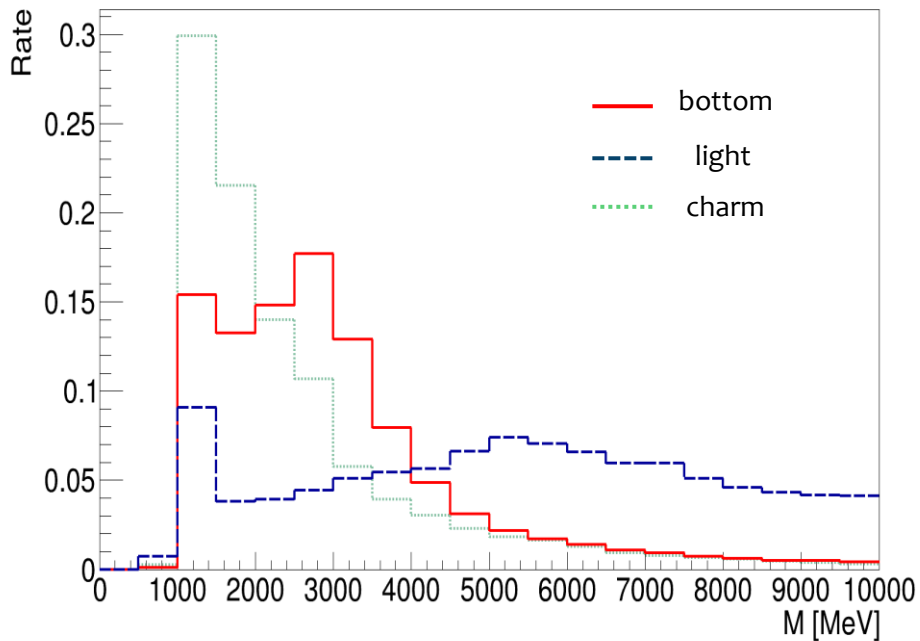
Substituindo  $P_{L\text{miss}}$  na fórmula da massa corrigida do hádron B, a equação se reduz a:

$$M_{\text{corr}} = \sqrt{M^2 + |P_{T\text{miss}}|^2} + |P_{T\text{miss}}|$$

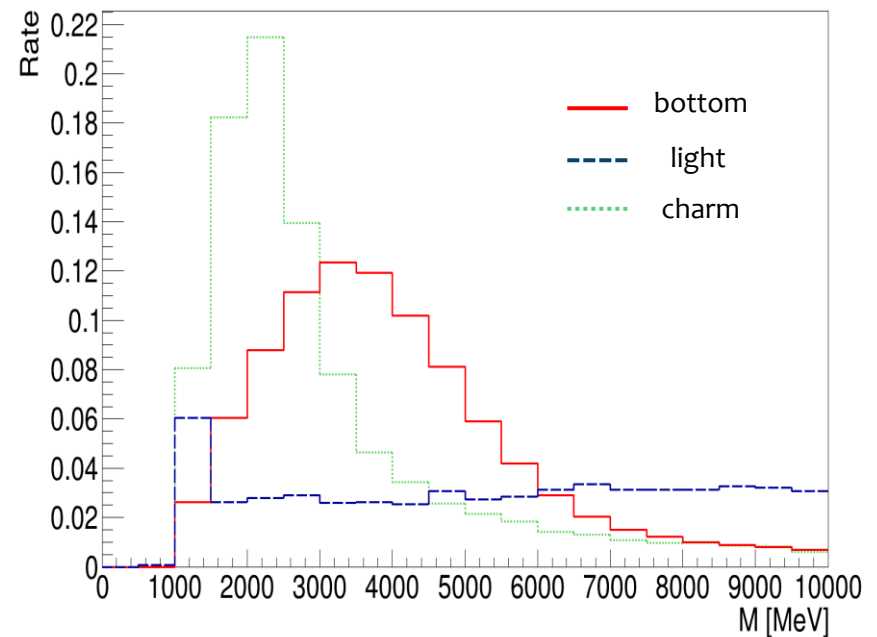
# Estudos da correção

Para análise do algoritmo proposto, utilizou-se amostras de **Monte Carlo** entre candidatos verdadeiros e falsos. Será que a correção é mais **discriminante**?

$M_{reco}$

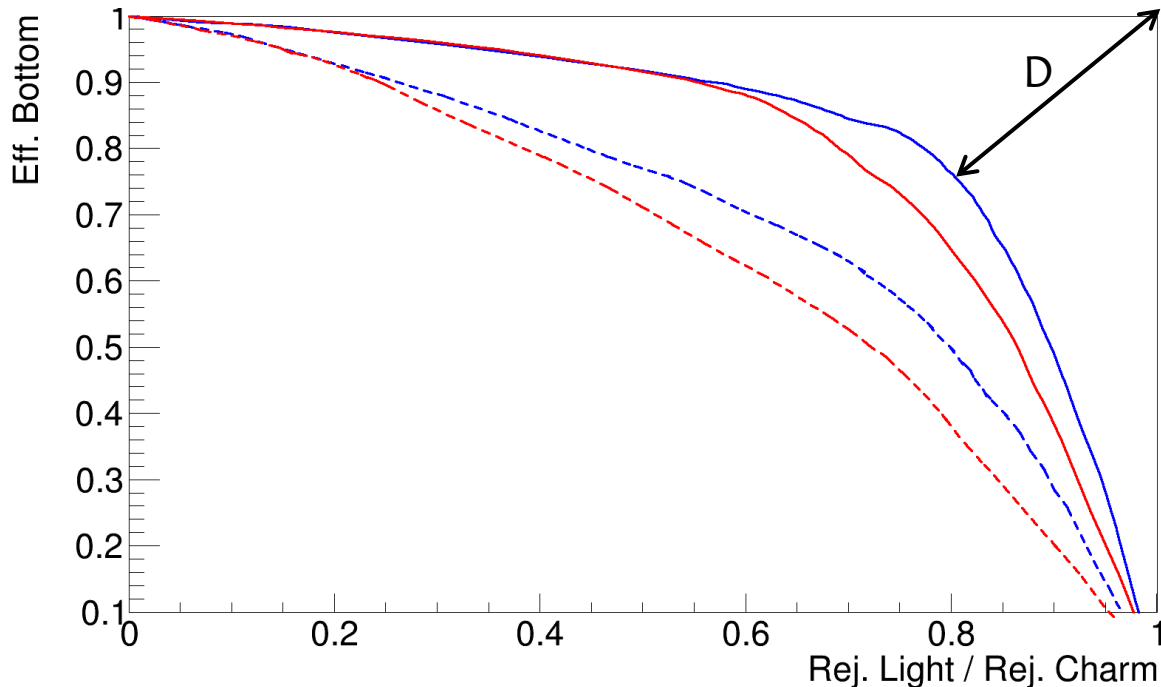


$M_{corr}$

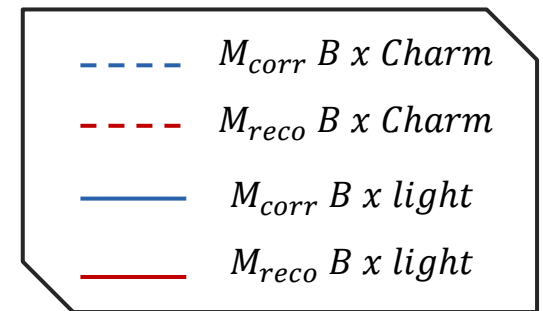


# Estudos da correção

Observou-se também os testes de eficiência e rejeição através do **likelihood ratio (LLR)**.



$$LLR = -2\ln\left(\frac{\text{likelihood sinal}}{\text{likelihood background}}\right)$$



$$D = \sqrt{(1 - \epsilon)^2 + (1 - r)^2}$$

# Estudos da correção

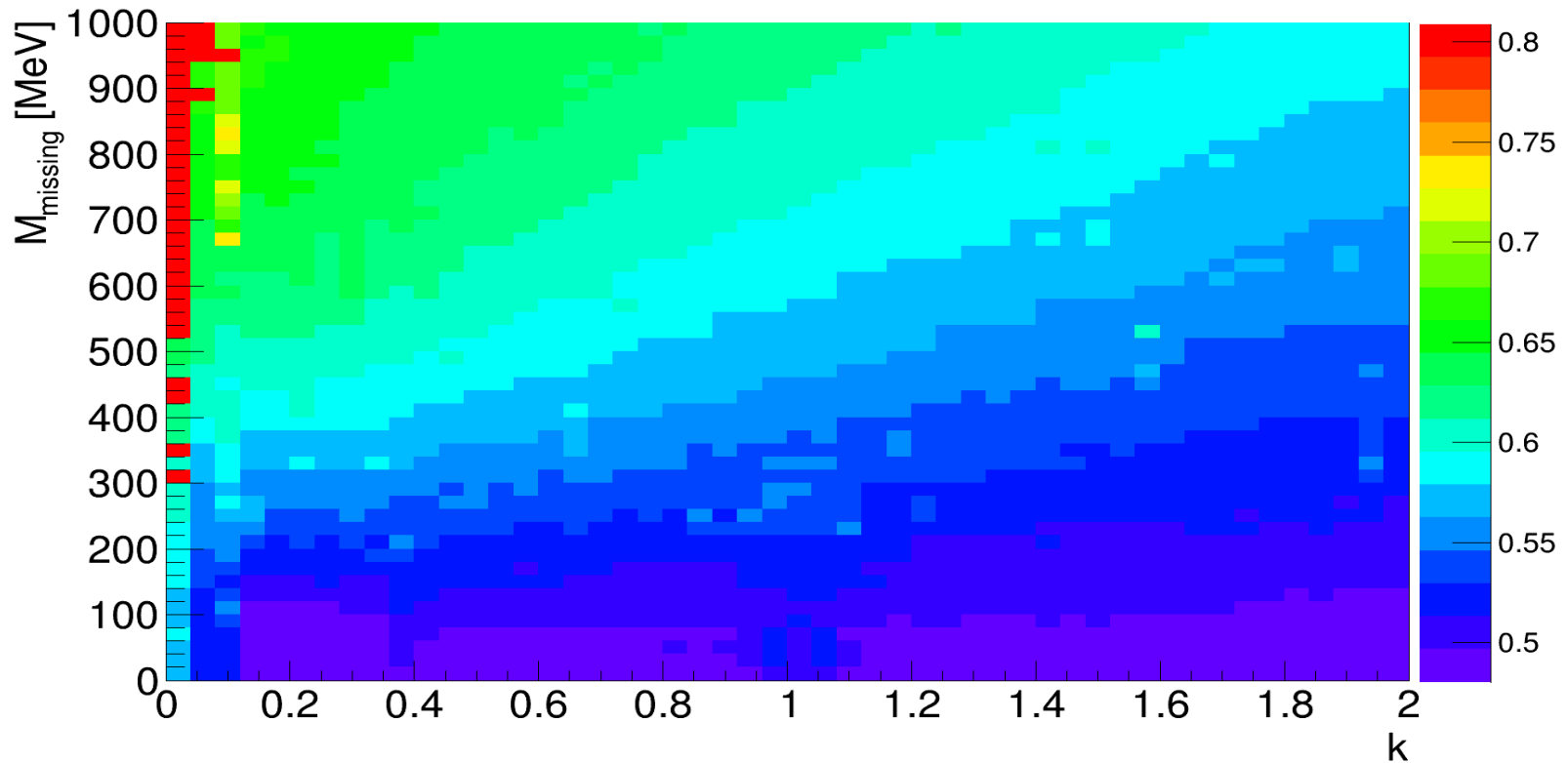
Queremos descobrir também se existe algum ponto onde  $M_{miss} \neq 0$  e  $M_{corr}$  não é **mínimo** que possua maior discriminação do que o analisado. Definimos a constante  $k$  multiplicadora de  $P_{Lmiss}$ .

$$\overrightarrow{P_{miss}} = -P_{Tmiss}\hat{Z} + k * P_{Lmiss}\hat{Y}$$



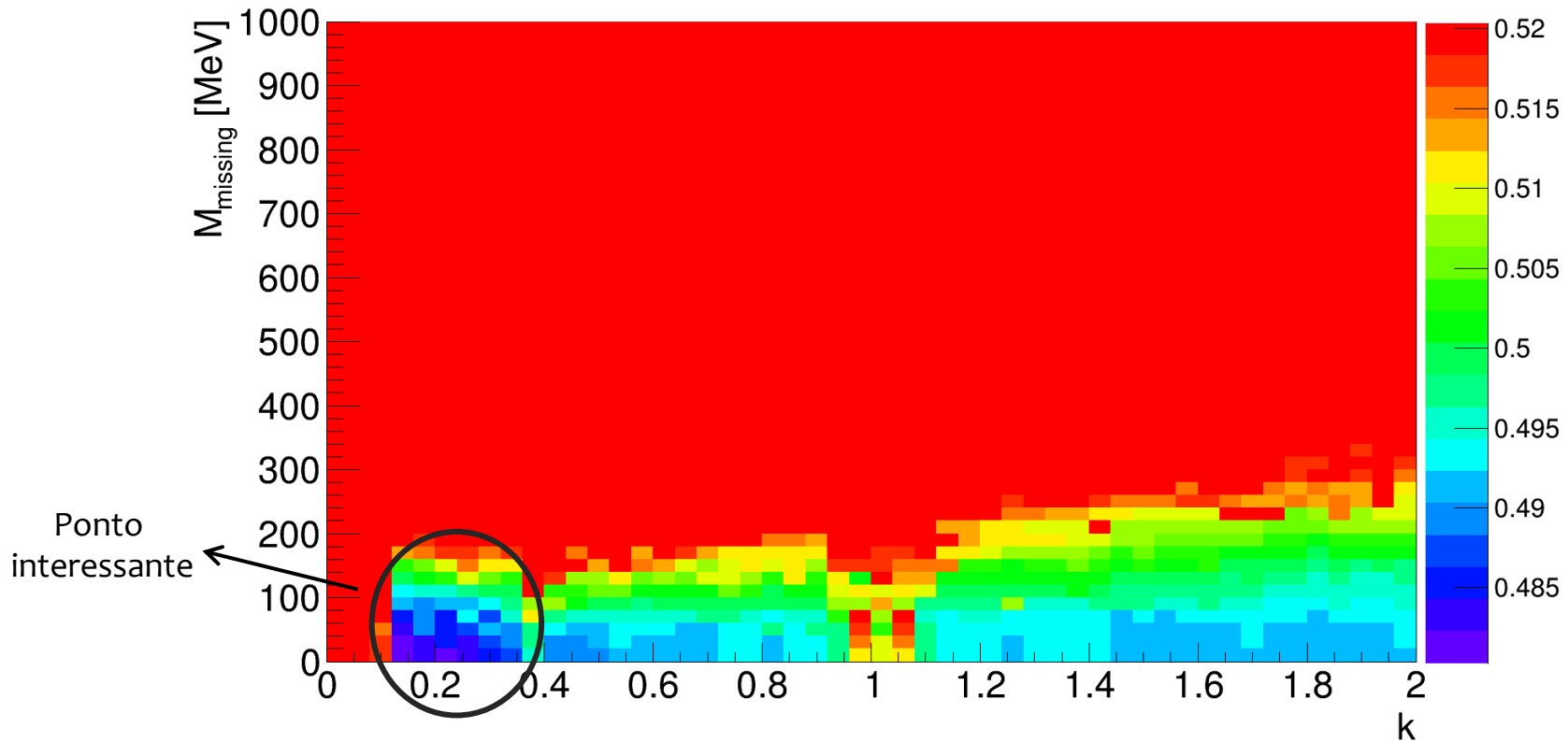
# Estudos da correção

Fizemos também o histograma 2D de rejeição escolhendo  $\epsilon \sim 60\%$ . No eixo Z está D.



# Estudos da correção

Zoom no eixo Z (note que quando  $k=1$ , a melhor discriminação é  $M_{miss} = 0$ ):



# Conclusões

- Após os testes das massas com  $M_{miss}$  variante, conclui-se que para valores baixos de massa faltante, o fator  $k$  não altera muito a discriminação.
- A suposição de que  $M_{miss} = 0$  foi de fato a que melhor discriminou as amostras.
- Mesmo assim, para  $M_{miss}$  pequenos, a discriminação tem valores parecidos com quando  $M_{miss} = 0$ .
- O ponto encontrado em que  $M_{miss} \sim 50 \text{ MeV}$  e  $k \sim 0.2$  é interessante para futuras investigações.

# Referências

- <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/>
- <http://profmattstrassler.com/articles-and-posts/>
- <http://www.quantumdiaries.org/2011/05/12/to-b-or-not-to-bbar-b-jet-identification/>
- Understanding the Universe: From quarks to the Cosmos. Don Lincoln, 2004.