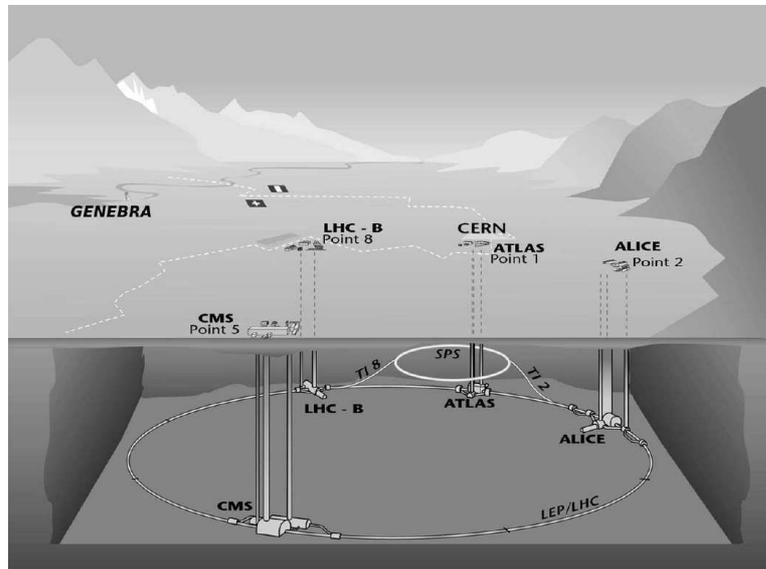


## 4 Experimento LHCb

O Grande Colisor de Hádrons LHC (*Large Hadron Collider*) é o maior acelerador de partículas do mundo e está localizado no CERN, na fronteira da Suíça com a França.



**Figura 4.1:** Desenho esquemático do anel acelerador LHC, com seus quatro maiores detectores: ALICE, ATLAS, CMS e LHCb.

Sua forma é circular, com um perímetro de 27 quilômetros. Possui um túnel a 100 metros abaixo da superfície, onde os prótons serão acelerados no anel de colisão. Em sua configuração nominal, o LHC irá acelerar os feixes de prótons até atingirem 7 TeV e depois fazê-los colidir em quatro pontos distintos, onde estão os 4 detectores [27].

A luminosidade no ponto de interação é dada por:

$$L = \frac{N_1 N_2 k f \gamma F}{4\pi \beta^* \epsilon} \quad (4.1)$$

onde  $N_{1,2}$  são o número de prótons por nuvem,  $k$  o número de nuvens por feixe,  $f$  a frequência de revolução das nuvens,  $\gamma = E_p/m_p$  é o fator

relativístico, e a emitância transversa normalizada  $\epsilon$  caracteriza a compactação e a divergência das nuvens que depende de efeitos feixe-feixe. A função de amplitude  $\beta^*$  mede a habilidade dos imãs em focar o feixe no ponto de interação e finalmente  $F$  é um fator que leva em conta o ângulo de cruzamento dos feixes.

Parâmetro	Valor
Perímetro (km)	27
Energia de Centro de Massa (TeV)	14
Campo de Dipolo (T)	8,4
Luminosidade nominal ( $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$2 \times 10^{32}$
Nuvens por feixe	2835
Partículas por nuvem	$\sim 10^{11}$
Espaçamento entre nuvens (ns)	25
Ângulo de cruzamento ( $\mu\text{rad}$ )	200
Raio da região de interação ( $\mu\text{m}$ )	16
Temperatura de operação (K)	1,9
Velocidade dos prótons (c)	0,999999991
Comprimento da região de interação (cm)	53

**Tabela 4.1:** Alguns dos parâmetros técnicos do LHC,[17, 18].

A luminosidade nominal esperada para o LHCb é de  $2 \times 10^{32} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  que é aproximadamente duas ordens de grandeza menor do que será fornecido pelo LHC aos outros experimentos. A diminuição da luminosidade do LHC é feita por um sistema ótico que desfocaliza o feixe. A diminuição se deve a que, com a luminosidade nominal do acelerador, a probabilidade de ter interações múltiplas por colisão de nuvens é muito alta e isso tornaria muito difícil a determinação do sabor dos hádrons  $b$  e dos vértices primários (onde se criam os mésons  $B$ ) e secundários (onde os mésons  $B$  decaem). Além disso, outra vantagem é que o detector de vértices pode ficar mais próximo do ponto de interação.

Amplificadores serão usados para fornecer ondas de rádio que são projetadas dentro de estruturas repercussivas conhecidas como cavidades de frequência de rádio. Exatamente 1232 dipolos supercondutores de 35 toneladas e quinze metros de comprimento agirão sobre as transferências de energias dentro do LHC. Na Tabela 4.1 estão alguns parâmetros físicos do LHC.

Existem quatro detectores principais, posicionados em pontos diferentes de seu anel: ATLAS, ALICE, CMS e LHCb [27].

**ALICE** (*Large Ion Collider Experiment*): o experimento do Grande Colisor

de íons é um cilindro com 5 m de diâmetro e 5 m de comprimento, seu objetivo principal é o estudo da formação do plasma de quark-glúons [28].

**ATLAS** (*Toroidal LHC Apparatus*): é o maior dos quatro detectores do LHC e foi desenhado para determinar a existência do Higgs, estudos dos possíveis mecanismos alternativos de quebra espontânea de simetria, busca de partículas supersimétricas e análise da Física no setor dos quarks pesados  $b$  e  $t$  [29].

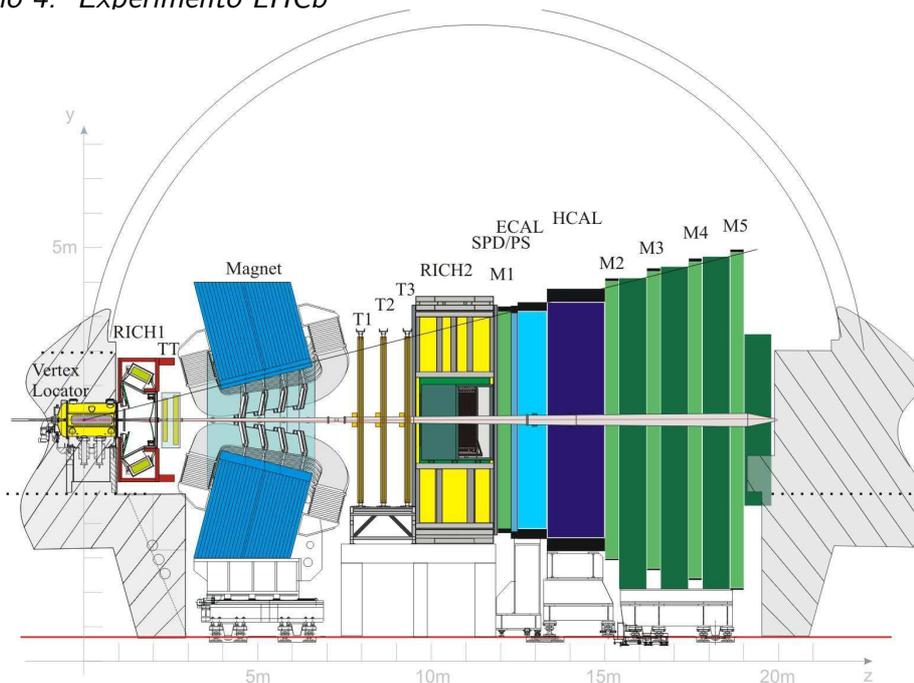
**CMS** (*Compact Muon Solenoid*): o Solenóide Compacto para Múons possui um potente imã solenoidal otimizado para detectar múons, bósons de Higgs, elétrons e fótons num grande intervalo de energia com uma alta luminosidade. Terá como objetivo a mesma física que o ATLAS [30].

**LHCb** (*Large Hadron Collider beauty*): o detector Grande Colisor de Hádrons dedicado à física do quark  $b$  (*beauty* ou beleza) tem como objetivo principal fazer medidas dos parâmetros da matriz CKM, com base nas propriedades dos mésons do tipo B (beleza ou *beauty*), além da busca de decaimentos raros [17].

#### 4.1 LHCb

O objetivo do experimento LHCb é registrar os decaimentos de partículas que contêm quarks  $b$  e antiquarks  $\bar{b}$ , conhecidos como mésons  $B$ . Entre os quatro detectores do LHC o LHCb é o único que não possui uma arquitetura cilíndrica, é um detector tipo “frontal” como em experimentos de alvo fixo, como pode se ver na Figura 4.2. A razão desta geometria se justifica a seguir na Figura 4.3, onde se mostra uma seção transversal do detector que tem uma abertura angular de  $\pm 250\text{mrad}$  no plano  $y - x$  e  $\pm 300\text{mrad}$  no plano  $x - z$ . Os mésons  $B$  formados pela colisão dos feixes de prótons não se espalham em todas as direções permanecendo perto da linha do feixe. Os pares  $\bar{b}b$  dos mésons  $B$  são produzidos em ângulos pequenos em relação ao eixo de propagação dos feixes de prótons.

O LHCb conta com uma série de sub-detectores dispostos ao longo da direção do feixe: VELO, RICH, Magneto, Trakers, Calorímetros e Sistema de Múons. Cada um dos sub-detectores do LHCb tem como função medir diferentes parâmetros das partículas produzidas pela colisão dos prótons como a identidade, a trajetória, momento e energia das partículas geradas.



**Figura 4.2:** Corte lateral do LHCb, as interações ocorrem no Vertex Locator do espectrômetro de braço único, [17].

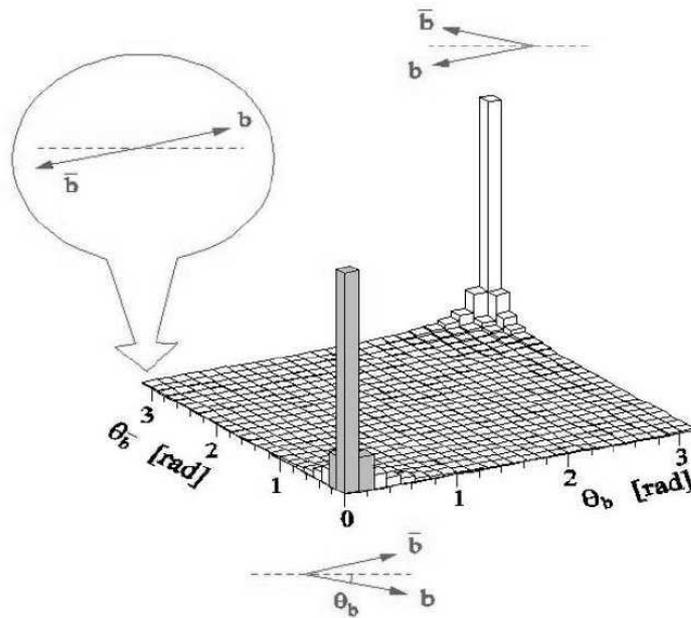
A seguir descreveremos o funcionamento dos sub-detectores, bem como o sistema de *trigger*, fundamental para a filtragem *online* dos eventos.

#### 4.2 O detector de vértices VELO

O VELO (Vertex Locator) [17, 31] tem como objetivo fazer medidas precisas das coordenadas dos traços próximos à região das colisões entre as nuvens de prótons, para obter as posições dos vértices primários (onde as partículas *B* são criadas) e dos vértices secundários (onde as partículas *B* decaem). As partículas *B* são, portanto, medidas indiretamente e sua presença pode ser inferida a partir da separação entre estas duas posições. Com isso é possível determinar com grande exatidão o tempo de vida dos hádrons *b* e o parâmetro de impacto *IP* das partículas.

As incertezas nas medidas dos parâmetros dos traços vêm da resolução intrínseca dos detectores e do espalhamento múltiplo que vai depender do momento das partículas e da espessura do material. As incertezas no vértice primário dependem do número de traços produzidos em uma colisão.

As estações estão posicionadas em uma distância radial, em relação ao feixe, inferior à abertura necessária durante a injeção no LHC, portanto as estações devem ser retráteis tal que as duas metades das estações possam ser afastadas de uma distância de 3 cm durante esse período. Além de cobrir toda



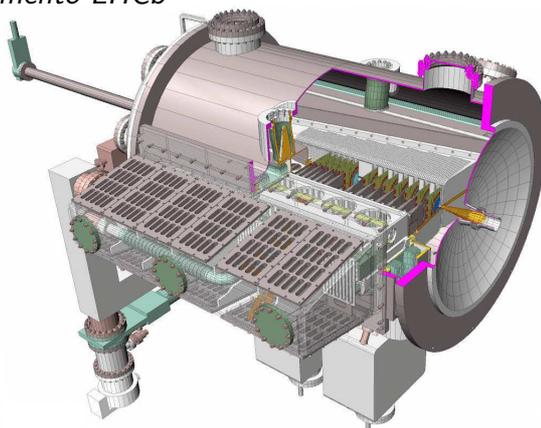
**Figura 4.3:** Produção dos quarks  $\bar{b}b$  na colisão de prótons, e distribuição dos ângulos dos quarks  $\bar{b}$  e  $b$  [17].

a abertura angular do LHCb, o VELO também cobre o hemisfério oposto para que seja obtido um ganho na reconstrução dos vértices primários.

Todo o sistema VELO está colocado no interior do tubo de vácuo do LHC. Para proteger a integridade do sistema primário do vácuo, os sensores são separados do feixe por uma chapa de 0,3 mm de alumínio. Os detectores eletrônicos de leitura foram construídos com componentes resistentes à radiação. Os sinais analógicos provenientes do detector são enviados para fora do sistema de vácuo para análise através de 22.000 cabos de cobre de 40 m.

A disposição das estações e sensores do VELO satisfazem as seguintes especificações:

1. Uma abertura angular sólida de 15 mrad para todos os eventos com vértice primário em uma faixa de  $\pm 2\sigma$  em torno do ponto de interação e uma distância mínima ao eixo do feixe de 8,17 mm que definem as posições das últimas estações.
2. As condições de que os traços dentro da abertura angular do LHCb devem cruzar no mínimo 3 estações e que o raio externo dos sensores é limitado a 42-45 mm definem a distância de 3 cm entre as estações localizadas na região central do detector.



**Figura 4.4:** O sub-detector VELO, [18]

3. Para cobrir toda abertura angular, os sensores do lado esquerdo e direito estão distanciados entre si de 1,5 cm ao longo do eixo  $z$ .
4. Para medir os traços de ângulos mas baixos, as distâncias entre as 4 últimas estações é maior.

O VELO reconstrói os mésons  $B$  a partir da multiplicidade das partículas produzidas. Para encontrá-los o sub-detector VELO consiste de duas filas de 21 sensores de silício em formato de meia lua. Cada um com uma espessura de 0,3 mm e em total são 42 elementos que estão posicionados perto do ponto onde os prótons colidem. Um pequeno corte no centro dos sensores permite que o feixe atravesse livremente. As partículas carregadas produzidas pela colisão dos prótons atravessam os sensores de silício que geram pares elétron-buraco, os quais geram uma corrente elétrica. Durante a tomada de dados, os sensores de silício são posicionados em cada lado do feixe do LHC, a uma distância de 7 mm.

Para evitar danos nos elementos de silício, estes são movidos mecanicamente no sentido do feixe. Esta flexibilidade é fundamental durante a operação diária do LHC, onde o VELO deve ser recolhido durante a injeção de prótons no LHC e ao final de cada tomada de dados.

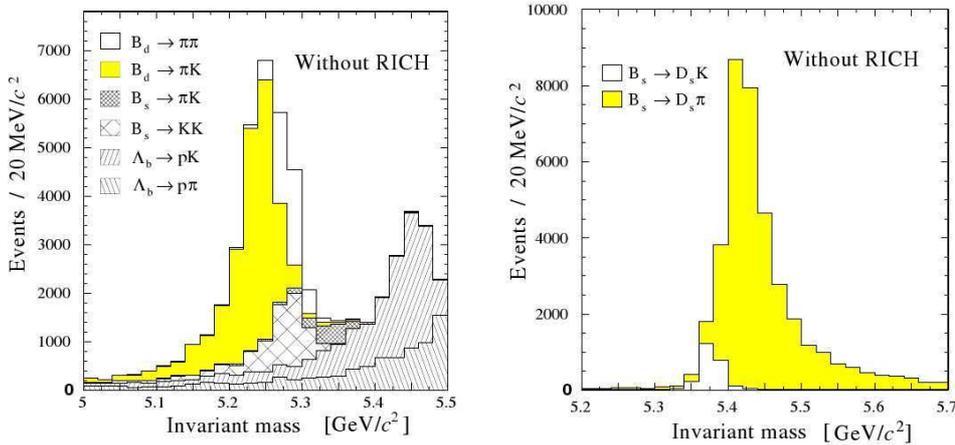
O tamanho das tiras se encontra entre de 40-101,6  $\mu\text{m}$ . As tiras nos sensores para medidas de  $\phi$  são subdivididas em duas regiões, interna e externa. As tiras nos detectores são inclinadas em relação ao raio em um ângulo de  $20^\circ$  para a região mais interna e inclinadas de um ângulo de  $-10^\circ$  para a região mais externa. A resolução dos sensores vai depender dos espaçamentos entre eles.

As informações do VELO são utilizadas no sistema de *trigger* que tem um sistema de leitura analógico para medir os efeitos devido aos danos de

radiação não-uniforme nos detectores. Um total de 128 linhas de leitura são ligados a um chip de leitura com uma entrada de dados de  $40\text{MHz}$ . O VELO é o principal dispositivo de monitoramento antes dos ímãs e seus dados são muito utilizados no *trigger* que explicaremos ao final deste capítulo.

### 4.3 RICH

O sistema RICH (Ring Imaging Cherenkov) [17, 32] tem a tarefa de identificar partículas carregadas numa faixa de  $1\text{-}150\text{ GeV}/c$ , dentro de um ângulo de aceitação  $10\text{-}300\text{ mrad}$ . A identificação das partículas é fundamental para reduzir o ruído nas análises de estados finais específicos e para proporcionar uma *tagging* eficiente do quark de sabor  $b$  utilizando os káons dos quarks  $b$  produzidos em outros eventos.



**Figura 4.5:** Identificação das partículas no RICH [32].

O funcionamento dos detectores RICH se baseiam na medição das emissões de radiação Cherenkov. Este fenômeno ocorre quando uma partícula carregada atravessa um determinado meio com uma velocidade maior do que a da luz. À medida que viaja, a partícula emite radiação eletromagnética, que são refletidas sobre um conjunto de sensores. A radiação emitida depende da velocidade da partícula. Ao combinar esta informação com a medida de momento através de suas trajetórias de *tracking* e magneto pode-se inferir a sua massa e portanto, a sua identidade.

O ângulo de cobertura do detector tem correlação entre o momento e o ângulo polar dos traços. Para baixos momentos esperam-se grandes ângulos, e para momentos muito altos a abertura angular dos traços das partículas é pequena. Por essa razão, o sistema RICH é dividido em dois detectores: RICH1 e RICH2.

Ambos usam detectores de fótons (HPDs) para medir as posições dos fótons emitidos pelo efeito Cherenkov. O HPD emite fotoelétrons que são liberados quando um fóton incide num elétron e o converte em cátodo que é acelerado por um alto voltagem de 10/20 kV. O tubo concentra os elétrons e os leva para um pequeno detector de silício.

Quando os fotoelétrons perdem energia, eles criam pares elétron-buraco de uma energia de 3,6 eV. A tensão nominal de funcionamento do HPD é de -20 kV, o que corresponde a 5.000 pares elétron-buraco liberados do silício. A eletrônica de leitura que esta interligada ao detector de silício tem uma alta eficiência de detecção dos elétrons. O experimento requer 484 tubos no total, 196 para o RICH1 e 288 para o RICH2 - para cobrir as quatro superfícies de detecção.

#### 4.3.1 RICH1

Localizado após do VELO, tem como objetivo detetar partículas numa faixa de 1 até 60 GeV/c. Esse detector tem dois tipos de radiadores, o aerogel de sílica e o gás  $C_4F_{10}$ , o RICH 1 permite a distinção dos káon e píons. O segundo radiador de  $C_4F_{10}$  tem uma espessura equivalente de  $L = 85$  cm.

Para reduzir a quantidade de espalhamento, o RICH1 usa espelhos esféricos feitos a partir de um polímero reforçado de fibra de carbono (CFRP), em vez de vidro. Existem quatro desses espelhos, cada um contém duas folhas de CFRP moldados em uma superfície esférica com um raio de 2700 mm e separados por uma matriz de reforço de cilindros de CFRP.

#### 4.3.2 RICH2

O RICH2 está localizado após o magneto, e é responsável pela identificação de hádrons numa faixa de momento de 50 até 150 GeV/c. O material radiador adotado é o gás  $CF_4$  com um comprimento de 167 cm. O vidro é utilizado nos espelhos esféricos, que neste caso são compostos por elementos hexagonais.

### 4.4 O Magneto

O LHCb conta com um campo magnético fornecido por um dipolo para viabilizar medidas precisas do momento das partículas com carga [17, 33]. As partículas normalmente viajam em linhas retas, mas a presença de um campo

magnético faz os caminhos de partículas carregadas se desviarem, que depende da carga positiva ou negativa das partículas para que seguem direções opostas. Ao examinar a curvatura do caminho pela reconstrução da trajetória, é possível calcular o momento da partícula.

O dipolo é constituído por duas bobinas, pesando 27 toneladas, montado dentro de uma moldura de 1.450 toneladas de aço. Cada bobina é construída a partir de 10 chapas, feitas de quase 3.000 metros de cabo de alumínio. A abertura lateral do ímã é definida pela extensão longitudinal dos detectores. Cada uma das duas bobinas do ímã tem 7,5 m de comprimento, 4,6 m de largura e 2,5 m de altura.

O experimento LHCb explora a região frontal de colisões  $pp$  e exige um campo de dipolo magnético com uma abertura angular livre horizontal de  $\pm 300$  mrad e uma abertura livre vertical de  $\pm 250$  mrad. Os detectores devem fornecer a medição do momento com uma precisão de 0,4% para momentos de até 200 GeV/c. Isso exige um campo magnético integrado de 4 Tm para traços que se originam próximos ao ponto primário de interação. O detector segue um sistema de coordenadas de mão direita, com origem no ponto de interação, eixo  $z$  ao longo da direção do feixe, apontando para o sistema de múons, eixo  $y$  apontando para cima e eixo  $x$  horizontal. O eixo de simetria do dipolo magnético segue as mesmas direções e a componente principal do campo fica no eixo  $y$ .

O magneto do LHCb é um dipolo magnético não-supercondutor. Ele permite a inversão do campo magnético com uma regularidade compatível com a tomada de dados do experimento. Isso é importante para a redução dos erros sistemáticos nas medidas de violação de CP feitas pelo experimento.

## 4.5 Trackers

Quando as partículas carregadas passam por determinados materiais, estas interagem deslocando elétrons dos átomos criando assim uma carga elétrica que permite medir sua posição. Esse processo se repete camada por camada fornecendo condições de rastreamento a trajetória da partícula. A curvatura desta trajetória permite medir o momento das partículas.

Este sistema de rastreamento inclui quatro estações de monitoramento: uma estação TT que está localizado entre o RICH1 e o magneto, enquanto as outras três estações T1, T2 e T3 que estão localizados ao longo de 3 metros entre o magneto e o RICH2.

Duas diferentes tecnologias são empregadas para o rastreamento das

partículas: o *Outer Tracker* e o *Silicon Tracker* [17, 34].

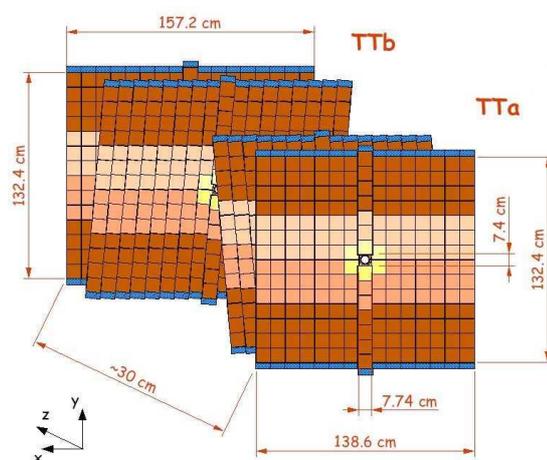


Figura 4.6: Dimensões dos dois planos TT..

#### 4.5.1

##### Silicon Tracker

A estação TT e parte das estações T1, T2 e T3 são estações *Silicon Tracker*. Os dois detectores TT e TI utilizam *microstrip* de silício com longas tiras de leitura com uma faixa de  $200 \mu\text{m}$ . O TT tem 150 cm de largura e 130 cm de altura e se situa na região do dipolo no LHCb. A TI cobre cerca de 120 cm de largura e 40 cm de altura em forma de cruz na região do centro de três grandes estações de rastreamento planar do imã. Cada um *Silicon Tracker* consiste de quatro camadas.

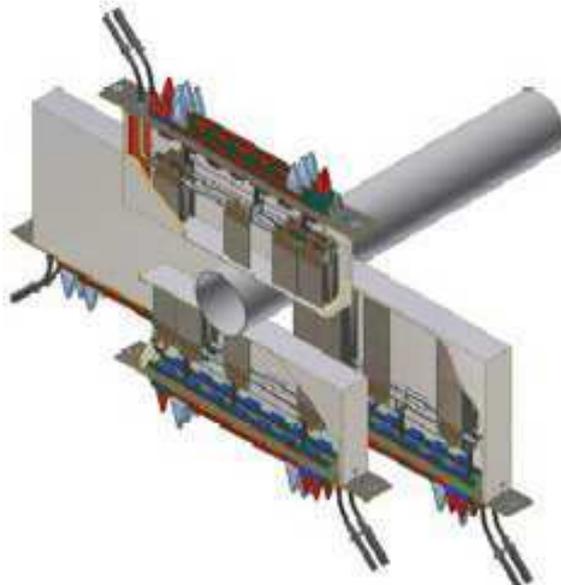
Esta tecnologia serve para seguir os traços das partículas carregadas que colidem com os átomos de silício, liberando elétrons e criando uma corrente elétrica, o que indica o caminho que a partícula percorreu. Um campo elétrico de algumas centenas de volts é aplicado em todo o volume do detector para coletar as cargas elétricas para posterior amplificação. Os eletrodos são finamente segmentados para determinar onde a partícula passou no detector.

No total, a Silicon Tracker tem cerca de 270.000 eletrodos que podem medir a posição da partícula com uma sensibilidade de 0.05 mm [18].

#### 4.5.2

##### Outer Tracker

Consiste em três estações de detecção: T1, T2 e T3. O desenho das três estações é modular e foi construída a partir de 72 módulos. O *Outer Tracker* é composto por milhares de tubos com gás de 5 milímetros de diâmetro e paredes de 0,075 mm de espessura. As câmaras estão espaçadas de 5,25 mm entre si



**Figura 4.7:** Estações de traços T1, T2 e T3.

e preenchidas por uma composição gasosa de 75% de  $Ar$ , 15%  $CF_4$  e 10% de  $CO_2$ . Essa mistura foi escolhida para obter um tempo de resposta menor do que 50 ns (2 vezes o tempo entre cruzamento de nuvens no LHC).

Sempre que uma partícula carregada atravessa, ela ioniza as moléculas do gás, produzindo elétrons livres. A posição do rastro é encontrada pelo tempo que demoram para os elétrons chegarem no ânodo que está situado no centro de cada tubo.

#### 4.6 Calorímetros

O principal objetivo do calorímetro é medir a energia depositada numa pequena célula de detecção dos elétrons, fótons, hádrons [17, 35].

Dois tipos de calorímetro são utilizados no LHCb. O calorímetro eletromagnético é responsável por medir a energia de fótons e elétrons, enquanto o calorímetro hadrônico mede a energia dos hádrons.

Os dois calorímetros têm uma estrutura de tipo sanduíche, alternando camadas de metal e placas de plástico. Quando as partículas colidem com as placas metálicas, produzem chuveiros de partículas secundárias. Estes, por sua vez, excitam moléculas dentro das placas de plástico cintilador, que emitem luz ultravioleta. A quantidade de luz UV produzida é proporcional à energia das partículas que entram no calorímetro.

O sistema de calorímetros é dividido em: *Scientillator Pad Detector* (SPD), *PreShower* (PS), calorímetro eletromagnético (ECAL) e o calorímetro

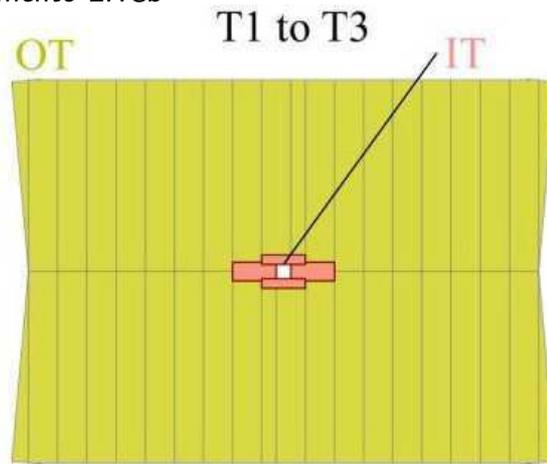


Figura 4.8: Detectores TT e T [34].

hadrônico (HCAL).

O SPD determina se as partículas que atingem o calorímetro são carregadas ou neutras, enquanto que o PS indica se se trata de um elétron ou de um fóton. Elas são utilizadas ao nível do *trigger* em associação com as ECAL para indicar a presença de elétrons, fótons, e píons neutros. O SPD e o PS estão separados por 12 mm de chumbo que consistem de placas cintiladoras de 15 mm acopladas a fotomultiplicadoras via fibra ótica.

O ECAL emprega módulos *Shashlik*, alternando placas cintiladoras e placas de chumbo. Serve para detectar fótons e elétrons com uma resolução de energia de  $\sigma(E)/E = 10\%/\sqrt{E} \oplus 1,5 \text{ GeV}$ , onde o primeiro termo representa a incerteza estatística nos chuveiros e o segundo traduz efeitos sistemáticos no calorímetro (o sinal  $\oplus$  significa que erros devem ser somados em quadratura).

O objetivo do HCAL é a medição da energia dos hádrons e sua identificação. O HCAL tem uma estrutura tipo telha com camadas compostas por cintiladores intercaladas com placas de ferro. Tanto as camadas de ferro como as de cintiladores são paralelas ao eixo do feixe. A resolução de energia esperada é de  $\sigma(E)/E = 80\%/\sqrt{E} \oplus 10\%$ .

## 4.7

### Sistema de Múons

Os múons estão presentes em muitos estados finais dos decaimentos das partículas *B* e têm um papel importante na medição da assimetria CP [17, 19]. O sistema de múons fornece informação rápida para medida de momento transversal  $p_T$  utilizado desde o primer nível de *trigger*, e a identificação de múons para o *trigger* de nível alto (HLT) no análise *offline*.

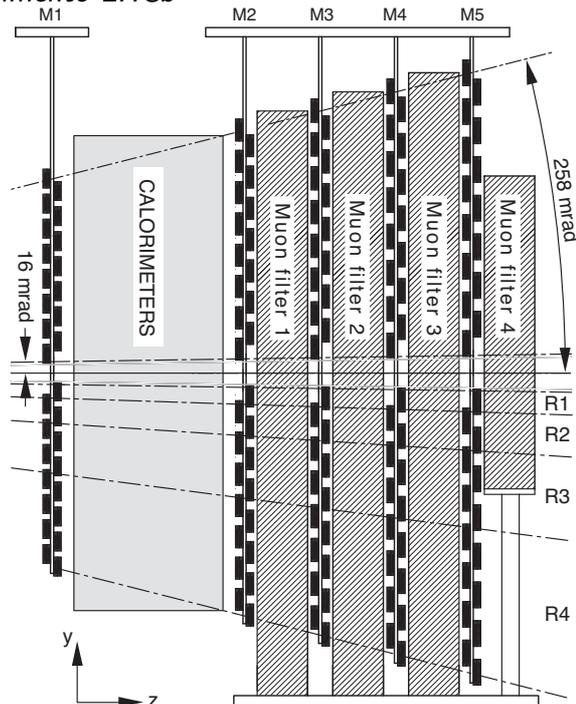


Figura 4.9: Esquema do Sistema de Múons [19].

O detector é composto por cinco estações M1 a M5 de forma retangular, aumentando gradualmente em tamanho e cobrindo uma área combinada de 435 m<sup>2</sup>. Trabalha com ângulos de aceitação de  $\pm 300$  mrad (horizontal) e  $\pm 250$  mrad (vertical), como pode se ver na Figura 4.9. O M1 está colocado antes dos calorímetros e os outros M2-M5 estão posicionados após o HCAL, separados por blocos de ferro.

Cada estação é dividida em quatro regiões, R1 a R4, compostas por câmaras de múons de diferentes tipos, dimensões e granularidade. Na região M1R1, são usados detectores do tipo *Gaseous Electron Multiplier* (GEM), que consistem em uma fina folha de metal perfurada com uma alta densidade de furos. Quando se aplica um potencial elétrico, isto cria campos elétricos nos buracos que recebem os elétrons produzidos na ionização do gás. As outras regiões são compostas por câmaras *Multi-Wire Proportional Chambers* (MWPC). Os íons criados pela passagem da partícula enquanto os elétrons são multiplicados devido ao forte campo elétrico aplicado e migram para os eletrodos com polaridade oposta, gerando uma pequena corrente que pode ser amplificada e medida.

Cada região possui um tamanho de câmara, que estão divididas em células que caracterizam a posição do múon. Em total 1380 câmaras de 40 cm de espessura e 20 diferentes tamanhos.

## 4.8 Trigger

O LHCb possui em torno de um milhão de canais eletrônicos que geram 40 TB/s de dados no cruzamento de nuvens a 40 MHz. Não só a armazenagem dessa quantidade de informação é impossível a longo prazo, como a taxa de escrita em fita é tecnicamente limitada. A pequena seção de choque de produção de pares  $\bar{b}b$  comparada com a seção de choque inelástica da colisão  $pp$ , mostra que apenas uma pequena parcela das colisões geram eventos interessantes. Por causa do grande número de eventos produzidos e a capacidade de armazenamento limitada, torna-se necessária a definição de critérios para selecionar e guardar apenas os eventos de maior interesse. O sistema que toma a rápida decisão de se o evento deve ser descartado ou gravado é denominado *trigger*, [18, 36].

Na energia de 14 TeV, a produção de pares  $\bar{b}b$  é dominada pelo mecanismo de fusão de glúons. O grande momento transferido entre os pártons implica na criação de partículas com alto momento transversal ( $pT$ ). A estratégia para seleção de mésons  $B$  baseia-se na procura das partículas produzidas na sua desintegração caracterizadas por possuir alto momento transversal  $pT$  e grande parâmetro de impacto ( $IP$ ). O parâmetro de impacto, definido como a menor distância da extrapolação de um traço a um determinado ponto, pode ser usado para averiguar se uma partícula foi criada no vértice primário (VP) ou secundário (VS). Partículas criadas no vértice secundário possuem alto parâmetro de impacto em relação ao vértice primário.

O *trigger* do LHCb é dividido em dois níveis: L0 implementado na eletrônica do detector e High Level Trigger (HLT) implementado via software, com um cluster dedicado de 2000 módulos computacionais. L0 reduz a taxa de eventos para 1 MHz, utilizando informações dos calorímetros e das câmaras de múons na busca de partículas de alto  $pT$ . Além disso, faz interface com o VELO na exclusão de eventos com múltiplas interações ou muitos traços (sistema de veto de empilhamento).

O HLT (High Level Trigger) é executado por aproximadamente 2000 CPUs, os quais tem acesso a informação completa do detector. O HLT está dividido em dois sub-níveis: o HLT1, com uma taxa de saída de 40 kHz, e o HLT2 que funciona com uma saída final de 2 kHz.

Os eventos aceitos pelo *trigger* L0 são analisados pelo HLT. Inicialmente, as partículas que passam o *trigger* L0 são confirmadas. Seus traços são reconstruídos em 2D pelo VELO e o seu momento é medido de forma preliminar pelo detector TT. Com informações conjuntas de momento e vértices, é

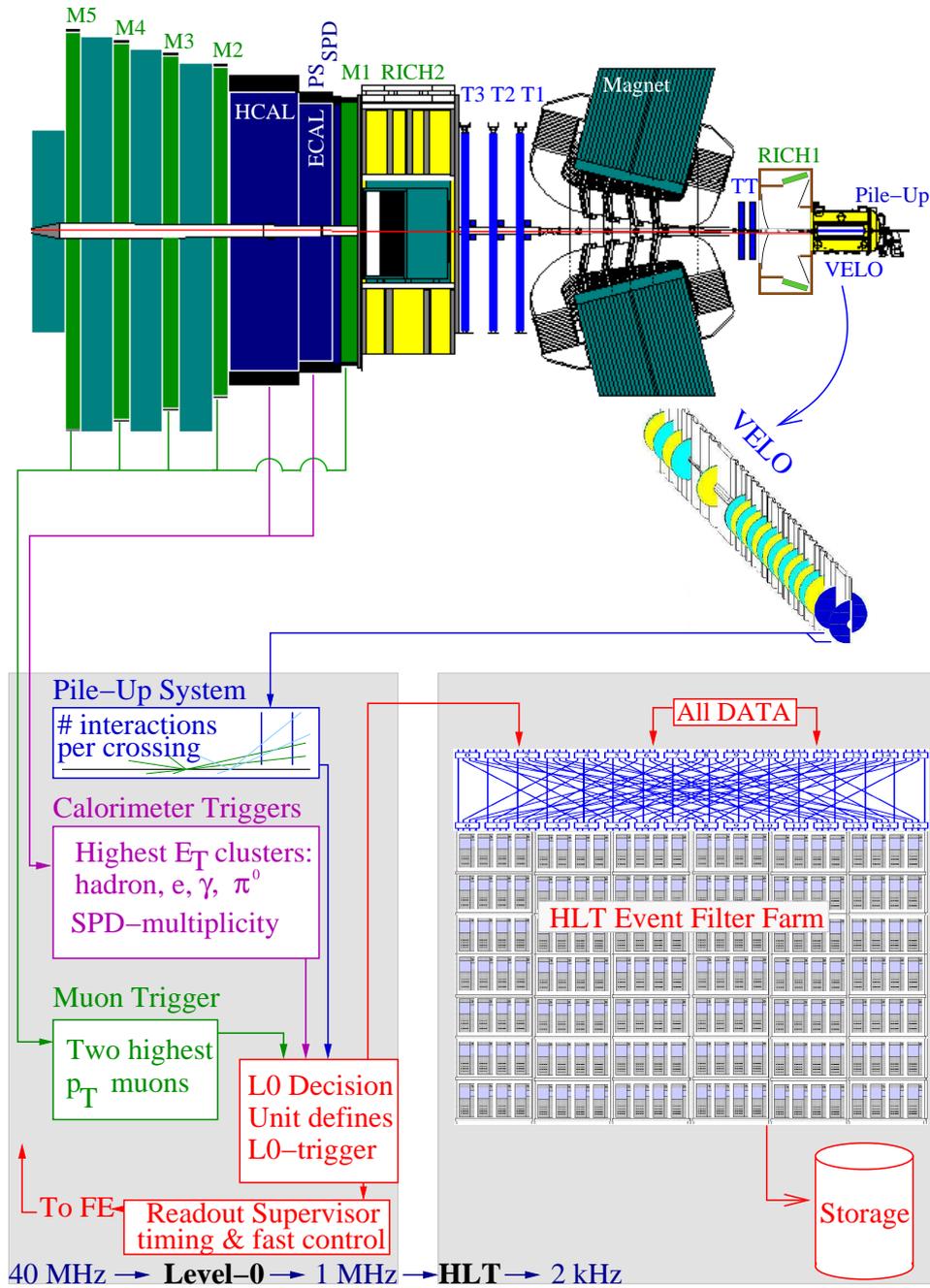


Figura 4.10: O *trigger* e a aquisição dos dados do detector LHCb, [36].

possível determinar o parâmetro de impacto dos traços em relação ao vértice primário. Em caso de confirmação, as trajetórias são reconstruídas com maior detalhamento, usando as informações do VELO e das estações de traço T, medindo o momento de forma mais precisa. Partículas leves são combinadas, e cortes na massa invariante são aplicados a fim de se reconstruir mésons de interesse e decaimentos exclusivos e inclusivos de  $B$ .

Esse procedimento é realizado em paralelo pelas linhas de *trigger* de muons, topológico hadrônico e outros. Ao final os eventos são armazenados a uma taxa de 2 kHz.