

### 3

## Experimento E831/FOCUS

O experimento E831/FOCUS foi o último de uma série de experimentos com alvo fixo desenvolvidos no *Wideband Hall* do FERMILAB/USA, voltado para o estudo da física de partículas charmosas produzidas através de fótons de alta energia. Este experimento acumulou dados de 1996 a 1997 e, devido à sua alta estatística, importantes estudos da física do charme puderam e estão podendo ser realizados, como estudos de alta precisão nos decaimentos semileptônicos, estudos de decaimentos charmosos raros, produção hadrônica de charme, procura por *mixing*, violação de CP/CPT, análise de sub-estruturas ressonantes, entre outros.

Partículas charmosas eram produzidas pela interação de fótons incidindo sobre um alvo fixo de óxido de berílio. Os fótons eram obtidos por *bremstrahlung* de feixes de elétrons e pósitrons. A energia média do feixe de fótons era de aproximadamente 180 GeV e a energia do feixe de prótons de 800 GeV. O detector FOCUS é um espectrômetro com dois magnetos com excelente iden-

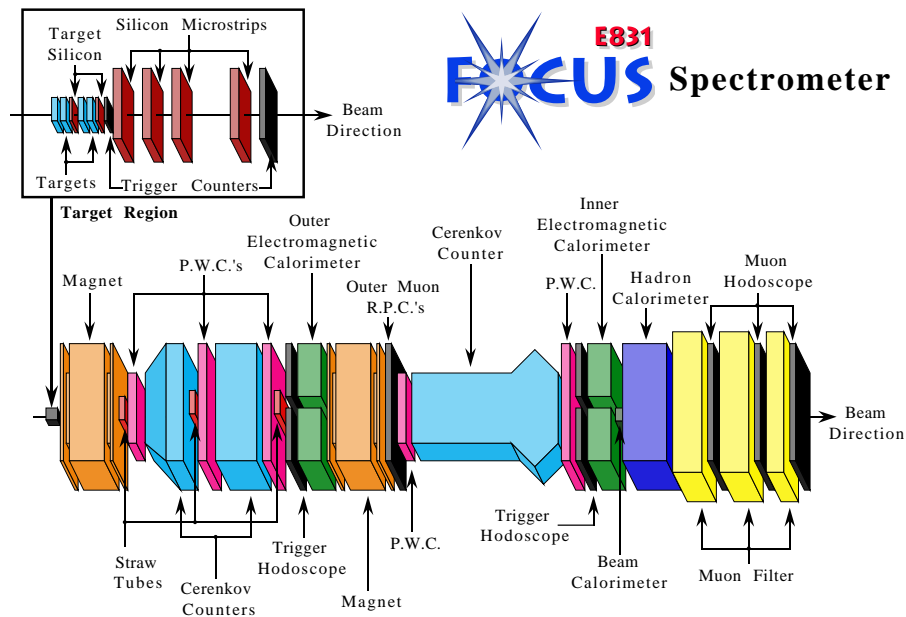


Figura 3.1: Esquema do espectrômetro do experimento E831/FOCUS

tificação de vértices e partículas. É mostrado um esquema deste detector na figura 3.1. Ele é dividido em duas partes chamadas *inner* e *outer*. A parte *inner* cobre pequenos ângulos (menores que 30 miliradianos) e está formado pelos detectores localizados após o segundo magneto. A parte *outer* cobre grandes ângulos e está localizada entre o primeiro e o segundo magneto. A trajetória das partículas carregadas provenientes do alvo é determinada por um detector de microvértices de silício, o qual fornece alta resolução na separação do vértice primário (produção) e secundário (decaimento). As trajetórias das partículas carregadas ao longo do detector são determinadas através de cinco estações de câmaras proporcionais multifilares. O momento destas partículas é obtido pelas deflexões causadas nestas trajetórias pela passagem através de dois magnetos de polaridade oposta. Três contadores multicelulares de Čerenkov são utilizados para a identificação de partículas (píons, káons, elétrons e prótons). O detector é completado por calorímetros electromagnéticos e hadrônicos e sistemas identificação de múons.

### 3.1

#### A Linha de Feixes

O Sistema de Feixes de FOCUS possui alta intensidade, alta energia e é relativamente livre de contaminações hadrônicas como  $K_\ell^0$ 's e nêutrons. O feixe de fótons é classificado como o *terciário* pois é o resultado de três estágios. No primeiro estágio, prótons de 800 GeV com uma taxa de  $5 \times 10^{12}$  por 40 segundos são forçados a colidir sobre um alvo de deutério líquido produzindo hádrons secundários. Estes hádrons secundários são expulsos magneticamente, deixando um feixe de fótons que é produzido do decaimento de  $\pi^0$ 's e  $\eta$ 's. Estes fótons são então convertidos em pares  $e^+e^-$  os quais são colimados e enviados a um radiador de folhas de chumbo com o objetivo de criar uma fonte de fótons por efeito *bremsstrahlung*.

### 3.2

#### O Feixe de Prótons

O feixe de prótons é extraído e enviado da área de alvo fixo do sistema de feixes para as áreas experimentais através dos seguintes passos:

- O acelerador *Cockcroft-Walton* fornece o primeiro estágio de aceleração. Dentro dele, são adicionados elétrons a átomos de hidrogênio. Os íons negativos resultantes são atraídos a uma voltagem positiva e acelerados a uma energia de 750 KeV. Isto é mais ou menos trinta vezes a energia de um feixe de elétrons em um tubo de imagem de televisão.

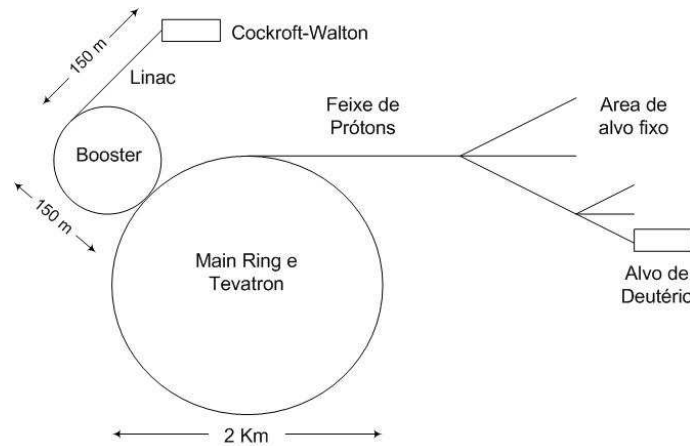


Figura 3.2: Os átomos de hidrogênio são ionizados negativamente no *Cockcroft-Walton*. Depois são acelerados no *Linac* e os elétrons são impedidos, injetando os prótons dentro do *Booster*. O *Booster* então acelera os prótons até 8 GeV e injeta eles no *Main Ring*. O *Main Ring* acelera os prótons até 150 GeV e depois os injeta no *Tevatron*. O *Tevatron* que contém 100 magnetos super-condutores acelera os prótons até 1 TeV antes de serem enviados para a Área de alvo fixo.

- Depois de deixar o *Cockcroft-Walton*, os íons negativos de hidrogênio entram em um acelerador linear chamado de *Linac* (*LINEar ACelerator*), que tem aproximadamente 152 m de comprimento. O *Linac* acelera os íons negativos de hidrogênio de 750 KeV até 400 MeV, que então passam através de uma fina folha de carbono que retira os elétrons, permitindo passar somente os prótons. Os prótons são então injetados no acelerador *Booster*.
- Localizado aproximadamente a 6 m abaixo do nível do solo, o *Booster* é um rápido Síncrotron cíclico de 152 m de diâmetro. Um Síncrotron é um acelerador circular que usa magnetos para confinar partículas eletricamente carregadas em uma trajetória circular de tal modo que elas experimentem a mesma ação repetitiva de aceleração do campo elétrico durante cada revolução. Os prótons viajam ao redor do *Booster* cerca de 20.000 vezes alcançando uma energia de 8 GeV. O *Booster* normalmente envia, para o *Main Ring*, prótons com uma frequência média de 12 *bunches* (blocos de aproximadamente  $4 \times 10^{12}$ ) por segundo.
- O *Main Ring* é outro Síncrotron de prótons que tem 2 Km de diâmetro. Um túnel de 3 m de diâmetro, localizado a 6 m debaixo do solo, contém 1.100 magnetos de cobre circulares que continuamente confinam e direcionam os prótons. Em modo normal de operação, o *Main Ring* acelera os prótons até 150 bilhões de elétron-volts (150 GeV).

- O mesmo túnel que contém o *Main Ring* também contém os 1.000 magnetos super-condutores que constituem o Síncrotron de prótons conhecido como *Tevatron* (por causa de sua habilidade de acelerar prótons até aproximadamente 1 TeV). Os magnetos super-condutores formam um anel diretamente embaixo dos magnetos do *Main Ring* e operam na faixa de temperatura do hélio líquido (3.6 K). Os magnetos super-condutores produzem um maior campo magnético a um menor custo que os magnetos convencionais.

### 3.3

#### O Feixe de Fótons

No modo de alvo fixo, o feixe de prótons é extraído da linha de feixes e enviado aos experimentos na área de alvo fixo. Para criar o feixe de fótons, os prótons interagem com um alvo de deutério líquido. Nesta colisão se produzem, entre outras partículas,  $\pi^0$ 's que decaem em dois fótons. São utilizados magnetos para remover as partículas carregadas. Até aqui, o feixe está composto de fótons, nêutrons e káons neutros. A metade dos fótons são convertidos em pares  $e^+e^-$  mediante a colisão com um alvo de folhas de chumbo. A seguir os pares  $e^+e^-$  são submetidos a uma filtragem rigorosa com a finalidade de remover contaminações hadrônicas que venham a criar uma complicada fonte de *background*. Os pares  $e^+e^-$  são colimados e enviados a um radiador de chumbo para assim, mediante efeito *bremmstrahlung*, criar uma fonte de fótons. Os fótons são criados segundo o espectro contínuo de energia com uma energia máxima de 300 GeV. Na figura 3.3 temos uma ilustração de todas etapas até a obtenção do feixe final de fótons.

### 3.4

#### O Alvo

O experimento FOCUS usa uma configuração de alvo segmentado (várias placas do alvo com espaçamento entre elas). Isto ajuda a incrementar o número de decaimentos fora do alvo (os decaimentos são produzidos nos espaços que separam as placas de alvo). Esta configuração de alvo segmentado foi adotada já que durante o transcurso do experimento E687 (anterior ao experimento FOCUS e dedicado também à foto-produção de charme) se observou que uma excelente rejeição de eventos não desejados (*background*) era possível requerendo que o decaimento das partículas charmosas acontecesse fora do material. Este requerimento diminui a contaminação produzida por eventos

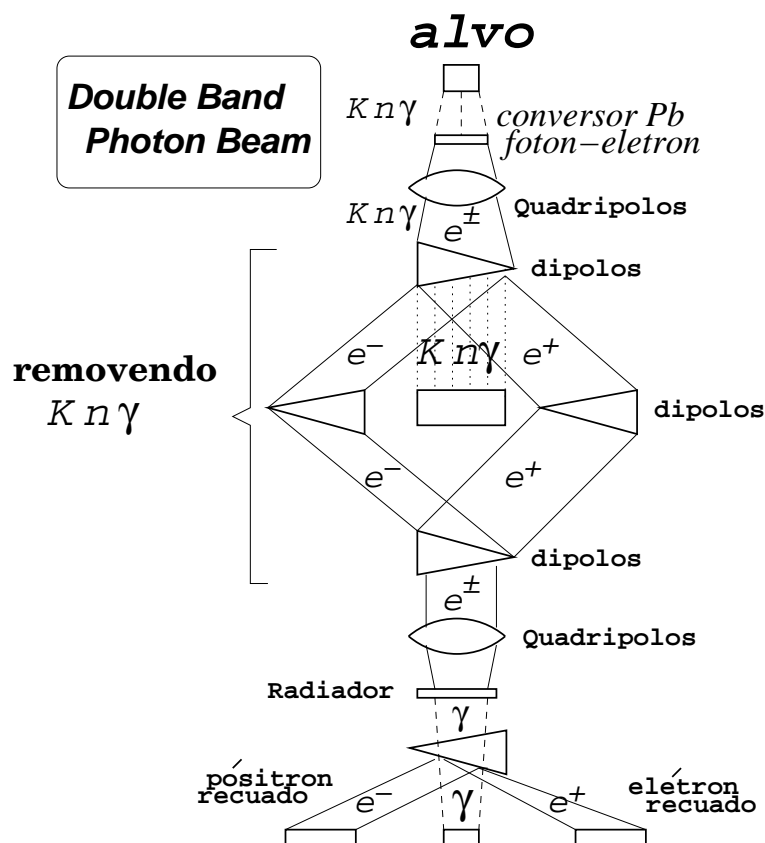


Figura 3.3: Etapas para a obtenção do feixe de fótons.

onde uma reinteração hadrônica no material é confundida com um decaimento charmoso.

O alvo segmentado de FOCUS foi construído de placas de Óxido de Berílio ( $\text{BeO}$ ). O  $\text{BeO}$  tem uma alta densidade ( $3,0 \text{ g/cm}^3$ ) e composição de baixo número atômico, privilegiando interações nucleares em relação a interações coulombianas, visto que a seção de choque de fotoprodução de charme é aproximadamente proporcional ao número de massa do alvo ( $A \sim 2Z$ ) e a produção de pares  $e^+e^-$  é proporcional a  $Z^2$ . A relativamente alta densidade do alvo permite usar segmentos finos o que maximiza o número de decaimentos de charme que se dá no espaço livre entre os segmentos.

Na figura 3.1 podemos observar (na ampliação da parte superior à direita) a região do alvo e dos detectores de silício. Na figura 3.4 temos a distribuição na coordenada  $Z$  dos vértices primário e secundário.

### 3.5 Os Detectores de Tiras de Silício

O detectores de Tiras de Silício (SSD) proporcionam uma alta resolução espacial de aproximadamente  $7 \rightarrow 14 \mu\text{m}$  dependendo do plano observado.

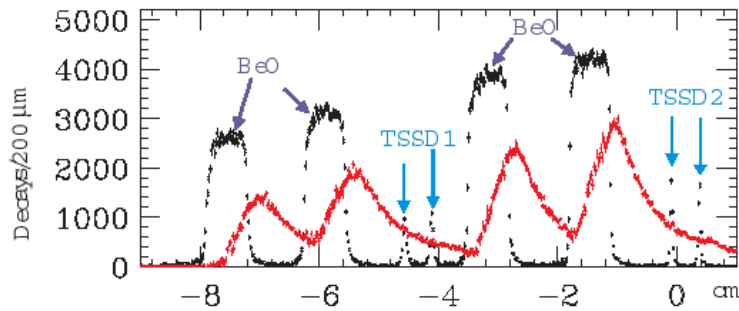


Figura 3.4: Distribuição da coordenada  $z$  dos vértices primário e secundário para eventos de charme limpos de *background*. A distribuição do vértice primário (pontos pretos) mostra a localização dos segmentos do alvo e das estações TSSD (observe-se que uma pequena fração dos eventos é produzida na região ativa de detecção de trajetória). A distribuição do vértice secundário (pontos cinzas) mostra como a maioria dos eventos ocorre fora do material.

São planos compostos por tiras de silício separados e dispostos em uma determinada direção. Cada fio consiste em um fino e longo diodo num substrato de silício. Os diodos são polarizados reversamente criando um campo elétrico. Assim, quando uma partícula carregada atravessa o silício, são criados pares elétron-buraco livres que migram dependendo da direção do campo aplicado. A carga então é amplificada e digitalizada em uma das extremidades do fio.

### 3.5.1

#### Os Detectores de Tiras de Silício do Alvo (TSSD)

Quatro detectores de Tiras de Silício do Alvo (TSSD Target Silicon Strip Detector) foram divididos em duas estações (TSSD1 e TSSD2), contendo cada uma delas dois planos (X e Y) para ajudar a melhorar a resolução na localização dos vértices. Os detectores são planos orientados  $\pm 45^\circ$  em relação à horizontal, com  $300 \mu m$  de espessura contendo tiras espaçadas em  $25 \mu m$ , ocupando uma área de  $50 \times 25 mm^2$ . Como mostra a figura 3.5, as duas estações foram intercaladas entre os segmentos do alvo. A informação fornecida por estes detectores está presente apenas em 2/3 dos dados da FOCUS, já que eles foram implementados quando já tinham sido tomados aproximadamente 1/3 dos dados.

### 3.5.2

#### Os Detectores de Tiras de Silício após o Alvo (SSD)

Este sistema de detecção está localizado aproximadamente 5 cm após o último segmento do alvo. Medindo com alta precisão as trajetórias das

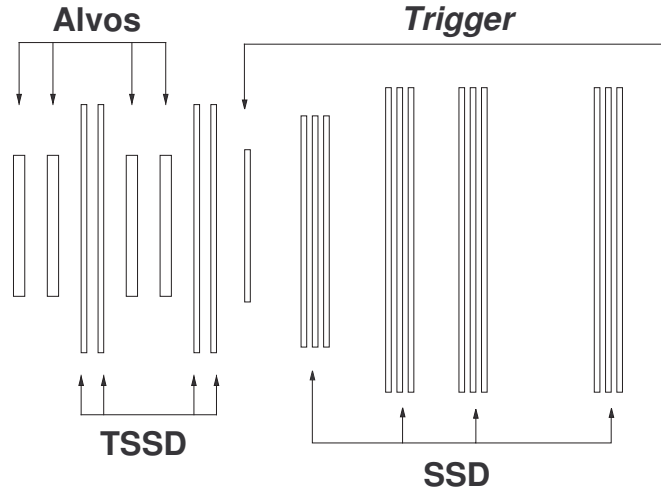


Figura 3.5: Esquema do início do sistema de *tracking*. Os alvos, os dois TSSD, as quatro estações SSD e os cintiladores TR1 e TR2, utilizados como *trigger*.

partículas carregadas, podemos identificar partículas charmosas ( o méson D tipicamente viaja 1 cm antes de decair). Este sistema de detecção consiste em 12 planos agrupados em 4 estações contendo 3 planos cada uma delas. Em cada estação, os planos estão orientados em ângulos que formam com a vertical  $-135^\circ$ ,  $-45^\circ$  e  $90^\circ$  definidos como vistas  $U$ ,  $V$  e  $Y$ , respectivamente. Cada plano é dividido em uma região interna de alta resolução e uma região externa de baixa resolução. A estação mais perto do alvo tem  $25 \mu\text{m}$  de separação entre as tiras de silício para a região de alta resolução e  $50 \mu\text{m}$  para a região de baixa resolução. As três estações restantes têm  $50 \mu\text{m}$  e  $100 \mu\text{m}$  de separação respectivamente. As características dos detectores SSD são mostradas na Tabela 3.1.

estação	posição-z (cm)	área ativa (cm <sup>2</sup> )	área ativa da AR	Resolução (AR/BR)	número de canais
1	0.0	$2,5 \times 3,5$	$1,0 \times 3,5$	$25/50 \mu\text{m}$	$3 \times 688$
2	6.0	$5,0 \times 5,0$	$2,0 \times 5,0$	$50/100 \mu\text{m}$	$3 \times 688$
3	12.0	$5,0 \times 5,0$	$2,0 \times 5,0$	$50/100 \mu\text{m}$	$3 \times 688$
4	24.0	$5,0 \times 5,0$	$2,0 \times 5,0$	$50/100 \mu\text{m}$	$3 \times 688$

Tabela 3.1: Características do SSD: AR, área de alta resolução. BR área de baixa resolução.

### 3.6

#### Os Magnetos de Análise

A análise de momento de partículas carregadas é realizada medindo a deflexão de suas trajetórias nos campos produzidos por dois magnetos dipolares M1 e M2. O primeiro magneto (M1), localizado após o SSD e antes da primeira câmara proporcional multifilar (P0), aproximadamente 225 cm depois do alvo, funciona com uma corrente de  $\sim 1020$  A proporcionando um golpe de momento transverso (*transverse momentum kick*) de  $0.4 GeV$ . O segundo magneto (M2), localizado a 1024 cm depois do alvo, funciona com uma corrente de  $\sim 2000$  A e cria um golpe momento transverso de  $0.85 GeV/c$ . Os magnetos são dispostos com a finalidade de defletir as trajetórias das partículas na direção vertical, sendo que cada um deles deflete a trajetória em direções opostas. Cada magneto tem 1.7 m de comprimento, com uma abertura de 76 cm na horizontal (vista-X ou vista não-defletora) vezes 127 cm na vertical (vista-Y ou vista defletora) e uma massa de aproximadamente 245 Ton.

No alvo é produzida uma grande quantidade de pares de *background*  $e^+e^-$  que deve ser eliminada. O posicionamento dos magnetos aproveita o pequeno ângulo de abertura dos pares  $e^+e^-$ . Elétrons e pósitrons em M1 se defletem verticalmente enquanto que a largura horizontal permanece do mesmo tamanho do feixe. Depois de M2, as partículas são defletidas de volta para o eixo do feixe, ficando confinadas no Monitor de Feixes de Radiação Gamma, com uma perda de resolução devido à perda de energia por *bremsstrahlung* no material do espectrômetro. Uma vez confinados, a remoção destes pares  $e^+e^-$ , no Monitor de Feixes de Radiação Gamma, é facilitada. Um esquema do processo de deflexão e confinamento de pares  $e^+e^-$  é apresentado na figura 3.6.

	Magneto M1	Magneto M2
posição-z (cm)	225	1240
TMK	0,40	0,85
corrente (A)	1020	2000

Tabela 3.2: Características dos magnetos M1 e M2.

### 3.7

#### As Câmaras Proporcionais Multifilares (MWPC's)

Uma câmara proporcional multifilar (MWPC Multiwire Proportional Chamber) é um detector construído com planos intercalados de fios de alta voltagem



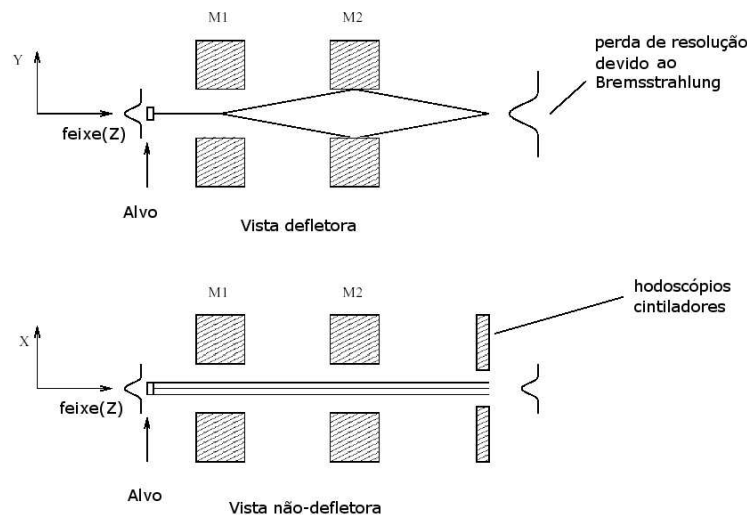


Figura 3.6: Topologia da distribuição geométrica de um evento  $e^+e^-$ .

e fios terra. Os planos estão separados na ordem de milímetros e com a alta voltagem da ordem dos kiloVolts. A MWPC é preenchida com um gás composto de 65 % de argônio e 35 % de etano, que se ioniza quando uma partícula carregada passa através da câmara. Os íons são então acelerados em direção aos fios devido ao campo elétrico aplicado, produzindo mais íons no gás, começando um processo em cascata de descarga nos fios terra. As MWPC's usadas no experimento FOCUS consistem em cinco estações com nomes P0, P1, P2, P3 e P4 em ordem de posição, sendo P0 a que se localiza mais perto do alvo como mostra a figura 3.1. As primeiras três estações estão localizadas entre os dois magnetos de análise, e as outras duas estão localizadas após o segundo magneto.

Em cada estação, há quatro planos dispostos em quatro vistas diferentes: vista Y, determinando pontos na direção vertical, vista X na horizontal, e as vistas V e U, fazendo ângulos de  $\pm 11,3^\circ$  com a vista Y. A orientação das vistas é mostrada na figura 3.7.

### 3.8 Os Contadores Čerenkov

Os contadores Čerenkov são os principais detectores utilizados no FOCUS para a identificação de partículas. Eles identificam elétrons, píons, káons, prótons e, em uma janela de pequeno momento, podem ser usados para distinguir píons de múons. O método de identificação se baseia na radiação de Čerenkov. Uma partícula carregada emite luz Čerenkov em um meio com índice de refração  $\eta$  se sua velocidade é maior que a velocidade da luz nesse meio:

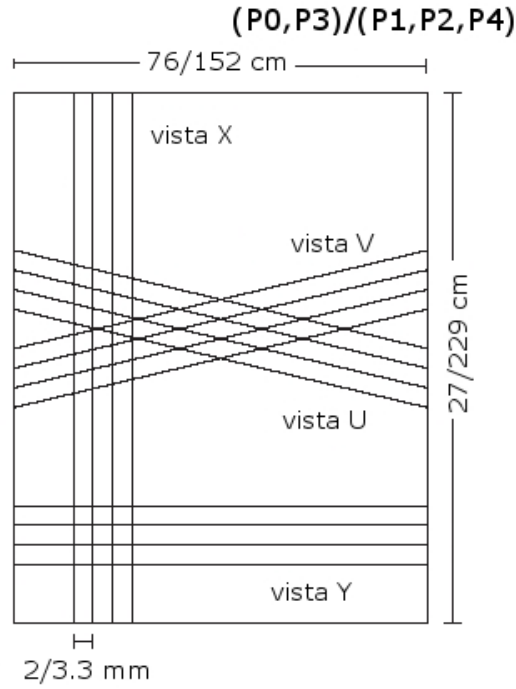


Figura 3.7: Orientação das vistas das MWPC's. P0 e P3 são do tipo 1 e P1, P2 e P4 do tipo 2. As diferenças entre as MWPC de tipo 1 e tipo 2 são mostradas na figura.

$$\beta = \frac{P}{E} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + m^2}} > \frac{1}{\eta} \quad (3-1)$$

O limiar de momento para gerar radiação Čerenkov é então, dado por:

$$P_{\text{limiar}} = \frac{m}{\sqrt{\eta^2 - 1}} \quad (3-2)$$

O ângulo que a luz emitida faz com respeito à trajetória da partícula está dado por:

$$\cos \theta = \frac{1}{\eta\beta}, \quad (3-3)$$

como é mostrado na figura 3.8.

O experimento FOCUS conta com três contadores Čerenkov C1, C2 e C3, que trabalham em modo limiar. Os gases usados nos três detectores são diferentes e fornecem uma grande faixa de momento onde píons estão bem separados de káons e prótons, e uma razoavelmente alta faixa para distinção de káons e prótons. O limiar de momento para elétrons é muito baixo, então eles estão sempre acima dos limiares em C1, C2 e C3. As propriedades de C1, C2 e C3 estão resumidas na Tabela 3.3, enquanto que a Tabela 3.4 mostra as faixas de momento para identificação de diferentes partículas.

O Contador C1 está localizado entre P0 e P1 e usa uma mistura de Hélio(58%) e Nitrogênio (42%). Os limiares de momento para píons, káons e

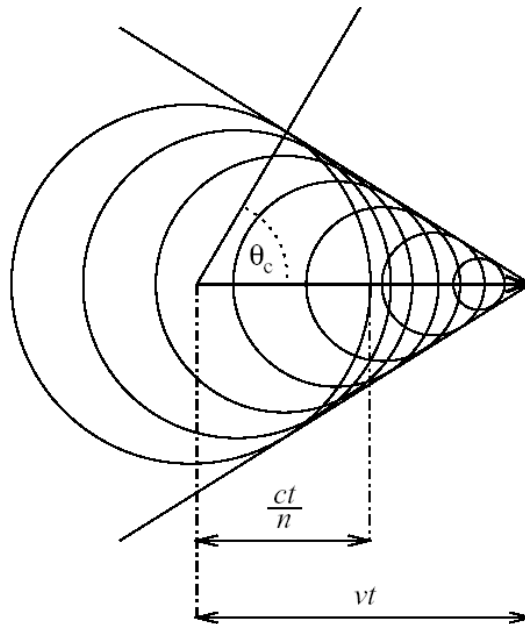


Figura 3.8: Esquema da Radiação Čerenkov.

Contador	Nº de células	comp. (cm)	gás	Limiar (GeV/c)		
				$\pi$	K	p
C1	90	188	80% He, 20% Na	8,4	29,8	56,5
C2	110	188	NaO	4,5	16,0	30,9
C3	100	711	He	17,4	61,8	117,0

Tabela 3.3: Características dos contadores Čerenkov.

prótons são  $8.5 \text{ GeV}/c$ ,  $29.9 \text{ GeV}/c$  e  $56.8 \text{ GeV}/c$  respectivamente. O volume do gás é opticamente dividido por espelhos dentro de 90 células. Os limiares são usados para refletir a radiação Čerenkov dentro de tubos fotomultiplicadores localizados fora do volume do gás. Diferentes espelhos são utilizados para as regiões interna e externa. Para as células da região externa (células 1 a 40) espelhos esféricos focalizam os fótons em cada tubo multiplicador individual. A região interna (41-90) utiliza espelhos planos inclinados  $\pm 45^\circ$  da direção do feixe, que reflete a luz através de 50 tubos multiplicadores. Estes tubos estão rodeados por cones de Wilson, que servem para refletir a luz no topo do cone, onde os tubos estão localizados. O Contador C2 está localizado entre P1 e P2 e usa Óxido de Nitrogênio ( $N_2O$ ). O limiar para píons, káons e prótons é de  $4.5 \text{ GeV}/c$ ,  $16.2 \text{ GeV}/c$  e  $30.9 \text{ GeV}/c$  respectivamente. A luz da região externa é focalizada com espelhos esféricos, enquanto que para a região interna são usados espelhos planos com a ajuda de cones de Wilson.

O Contador C3 está localizado entre P3 e P4 e usa Hélio. O limiar de momento para píons, káons e prótons é de  $17.0 \text{ GeV}/c$ ,  $61.0 \text{ GeV}/c$  e

Partícula	trajetória 5 câmaras	trajetória 3 câmaras
$e^\pm$	0 - 17.4 GeV/c	0 - 8.4 GeV/c
$\pi^\pm$	4.5 - 17.2 GeV/c	4.5 - 8.4 GeV/c
$e^\pm$ or $\pi^\pm$	17.2 - 61.5 GeV/c	8.4 - 29.7 GeV/c
$K^\pm$	17.4 - 56.5 GeV/c	17.4 - 29.7 GeV/c
$P$	17.4 - 56.5 60.8 - 115.5 GeV/c	17.4 - 56.5 GeV/c
$K^\pm$ or $P$	4.5 - 17.4 GeV/c	4.5 - 8.4 GeV/c

Tabela 3.4: Limiares de momento para identificação de partículas.

116.2 GeV/c respectivamente. O volume do gás é dividido em 100 células por espelhos esféricos que focalizam a radiação de Čerenkov dentro de tubos fotomultiplicadores para fora do volume do gás. Um limiar na região central evita que pares  $e^+e^-$  interajam com o contador.

C1

24	20	16	12	8	4
23	19	15	11	7	3
40	36	56 52 48 44 55 51 47 43	32	28	
39	35	68 66 64 62 60 58 67 65 63 61 59 57 76 74 72 70 68 66 75 73 71 69 67 65	31	27	
38	34	67 65 63 61 59 57 54 50 46 42	30	26	
37	33	53 49 45 41	29	25	
22	18	14	10	6	2
21	17	13	9	5	1

C3

44	43	42	41	40	39	38
37	36	35	34	33	32	31
30	29	100 99 98 97 96 95 94 93 92 91 90 89 88 87	22	21		
28	27	86 85 84 83 82 81 80 79 78 77 76 75 74 73	20	19		
26	25	72 71 70 69 68 67 66 65 64 63 62 61 60 59	18	17		
24	23	58 57 56 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45	16	15		
14	13	12	11	10	9	8
7	6	5	4	3	2	1

C2

55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68 69 70 1 2 3	71 72 73 4 5 6	74		
75	76 7 8 9	80 13 14 15	81 16 17 18	78	
79	82 19 20 21	83 22 23 24	84		
85	86 25 26 27	87 28 29 30	88		
89	88 31 32 33	89 34 35 36	90 37 38 39		
91	89 43 44 45	90 46 47 48	91 49 50 51	98	
99	92 93 94 95 96 97	98	104		
105	100 101 102 103 104	105 106 107 108 109 110			

Figura 3.9: C1: células 1-40 (região externa) espelhos esféricos, 41-90 (região interna) espelhos planos. C2: células 1-54 (região interna), 55-110 (região externa) espelhos esféricos. C3: todas as células usam espelhos esféricos.

### 3.9

#### Os Calorímetros

Calorímetros são detectores cuja finalidade é medir a energia das partículas, através de sua interação com o material com o qual eles são feitos, gerando uma sucessão de novas partículas produzidas. São utilizados dois tipos de calorímetros: calorímetros eletromagnéticos, que utilizam processos de bremsstrahlung ( $e^- \rightarrow e^- + \gamma$ ) e criação de pares ( $\gamma \rightarrow e^- + e^+$ ) e calorímetros hadrônicos que, por interações fortes, produzem chuveiros hadrônicos. Em ambos casos, o número final de partículas carregadas é usado para encontrar o valor da energia depositada, considerando que  $E_{\text{incidente}} \propto n_{\text{partículas}}$ .

Com o objetivo de diferenciar elétrons de outras partículas, foram utilizados dois calorímetros eletromagnéticos: o externo (OE *Outer Electromagnetic Calorimeter*) e o interno (IE *Inner Electromagnetic Calorimeter*). O IE também foi utilizado como *trigger*.

O calorímetro hadrônico (HC *Hadronic Calorimeter*) tem um papel crucial no *trigger* de nível 1.

#### 3.9.1

##### Os Calorímetros Electromagnéticos

O OE está localizado após o segundo magneto. Sua função é medir a energia de fótons e elétrons com trajetórias definidas por ângulos bem abertos em relação à direção do feixe central. É composto de camadas alternadas de chumbo e plástico cintiladores em planos  $x$ ,  $y$ ,  $u$  e  $v$ , (os planos  $u$  e  $v$  estão inclinados  $\pm 45^\circ$  com relação à horizontal). Além disso, possui 100 pastilhas cintiladoras que se conectam a fibras ópticas para a aquisição do sinal.

O IE é composto por 802 blocos de chumbo e vidro divididos em duas partes, tem uma geometria em forma de torre, vazia no centro para permitir a passagem de pares  $e^+e^-$ , provenientes de fótons do alvo que não interagiram. O IE mede a energia depositada por interação eletromagnética de partículas que passam através da região do segundo magneto. No final do calorímetro, junto aos blocos de chumbo e vidro, estão localizados fototubos que coletam a radiação de Čerenkov emitida pela passagem de partículas carregadas do chuveiro.

#### 3.9.2

##### O Calorímetro Hadrônico

O Calorímetro Hadrônico está localizado depois do IE. É construído de camadas alternadas de ferro e plástico cintilador formando uma geometria

em forma de torre. Suas dimensões são 2.08 m (horizontal)  $\times$  3.05 (vertical)  $\times$  2.09 (profundidade). Os planos são divididos em pastilhas de diferentes tamanhos que são organizadas de acordo com a densidade típica dos hádrons incidentes. Na figura 3.10 temos um esquema do calorímetro hadrônico e algumas especificações.

O HC foi desenhado para obter rapidamente a energia de partículas hadrônicas ainda na região do segundo magneto. Esta informação é utilizada como *trigger*, selecionando eventos cuja energia está acima de uma determinada faixa.

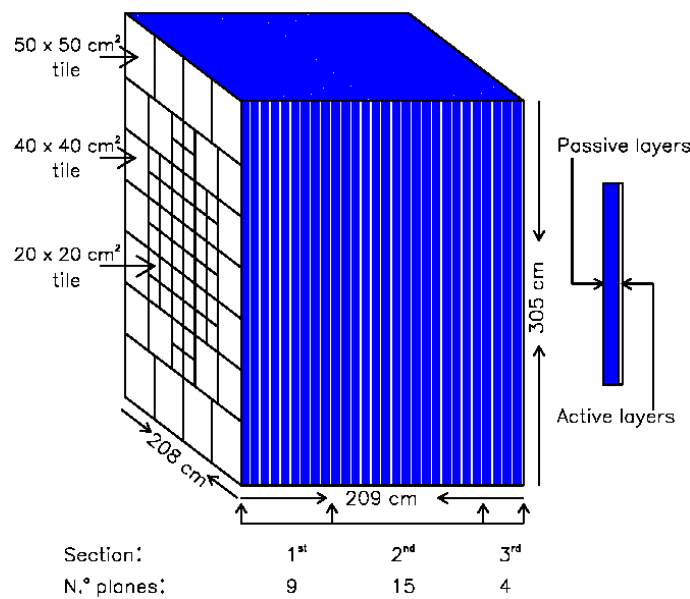


Figura 3.10: Vista esquemática do Calorímetro Hadrônico.

### 3.10 Os Detectores de Múons

O múon é a única partícula carregada que pode penetrar em uma grande quantidade de material porque não perde muita energia devido à ionização e não interage fortemente. O espectrômetro FOCUS conta com dois sistemas de detecção de múons. Um sistema interno de detecção (IMU *Inner Muon detector*) para a detecção dos múons mais próximos do eixo de propagação e que utiliza elementos cintiladores de detecção, e um Sistema externo (OMU *Outer Muon detector*) responsável pela detecção dos múons de menor energia, com trajetórias mais periféricas e que utiliza câmaras de placas resistivas. Nesta análise, não utilizamos diretamente as informações vindas do sistema

de múons, já que não temos múons no nosso estado final, mas por completeza descrevemos brevemente esse sistema.

O detector de múons externo (OMU) está localizado entre o OE e fora da abertura de M2. Por causa da sua localização, proporciona um filtro que remove a maioria da contaminação hadrônica. O OMU utiliza câmaras de placas resistivas (RPC *Resistive Chamber Plate*) para identificar múons de ângulos bem abertos. É adequado para trabalhar em regimes de fortes campos magnéticos, porque na região ao redor de M2 existe uma substancial borda do campo. Há 24 módulos RPC os quais estão dispostos em 3 vistas  $x$ ,  $y$  e  $u$ . Cada vista está formada por 8 módulos deixando uma abertura que aproximadamente se encaixa nas aberturas de M2 e P3. Os módulos se sobrepõem ligeiramente nos lados.

O detector de múons interno (IMU) consiste em três estações de hodoscópios cintiladores MH1, MH2 e MH3 que se localizam na parte final do espectrômetro. Em frente a cada estação se encontra uma parede de ferro com espessuras de 61 *cm*, 129 *cm* e 68 *cm*, respectivamente, para a filtragem dos múons. Cada estação tem duas vistas. MH1 e MH2 têm vistas  $x$  e  $y$ , enquanto que MH3 tem vistas  $u$  e  $v$  inclinadas  $\pm 30^\circ$  com respeito à horizontal. Para detalhes do sistema de múons, ver [25].

### 3.11

#### O Sistema de Trigger

O *trigger* (gatilho) é a lógica eletrônica que realiza a seleção *on-line* de eventos. A seleção *on-line* se faz necessária para reduzir a taxa de eventos (ao redor de 10 *MHz*) para a taxa em que o sistema de aquisição de dados opera (1 *KHz*). A principal fonte de eventos não desejados (*background*) é a produção eletromagnética de pares  $e^+e^-$ , que tem seção de choque 500 vezes maior que a seção de choque hadrônica e 50.000 vezes maior que a seção de choque chamosa. Esses pares são produzidos formando ângulos pequenos e não depositam energia no calorímetro hadrônico, portanto podem ser rejeitados com a condição de que as trajetórias formem grandes ângulos e estabelecendo um limiar para a energia medida no calorímetro hadrônico.

O Sistema de *trigger* é dividido em vários subsistemas em paralelo, responsáveis por decaimentos com características diferentes, tendo cada um deles dois níveis conectados sequencialmente no tempo.

O *Trigger* do Primeiro Nível, chamado *Master Gate*, tem tempo de duração de 200 *ns*. Durante os primeiros 160 *ns*, a informação é transferida do espectrômetro, e nos últimos 40 *ns* é tomada a decisão.

Se o *Master Gate* aceita o evento, então começa o processo de leitura e avaliação no *Trigger* do Segundo Nível. A decisão do *trigger* de segundo nível leva  $1.2 \mu s$ . Se o evento for aceito por este *trigger*, o estado do detector é guardado em fitas magnéticas (processo que demora  $35 \mu s$ ) para sua posterior análise *off-line*, caso contrário, a eletrônica de leitura é reiniciada ( $1 \mu s$ ) e o processo é repetido.

### 3.12

#### O *Trigger* do Primeiro Nível: Master Gate

Combinações diferentes de sinais provenientes dos detectores são utilizados por diferentes *Master Gate Triggers*. Mas a maioria dos dados (incluindo aqueles utilizados para a análise da presente tese) foram coletados usando o *Master Gate Trigger* Hadrônico (MG1), que combina o sinal proveniente de cinco detectores:

- **TR1 e TR2:** O TR1 é formado por um fino cintilador que se conecta a uma eletrônica rápida que identifica a ocorrência de uma interação no alvo. O TR2 consiste em quatro contadores localizados em quadrantes e dispostos de tal maneira a formar uma lógica “OR”, indicando a passagem de uma partícula carregada pelo SSD.
- **$H \times V$ :** (ver figura 3.11) Está localizado entre o C3 e o IE, está formado por 36 contadores com uma abertura na região central para a passagem dos pares  $e^+e^-$  provenientes do alvo. Oferece dois níveis de lógica:  $(H \times V)_1$ , que indica que pelo menos uma partícula carregada atravessou o conjunto, e  $(H \times V)_2$  que indica que pelo menos duas partículas carregadas atravessaram o conjunto. Este requerimento é usado para rejeitar pares de partículas carregadas cujas trajetórias se propagam a baixos ângulos.
- **OH:**(ver figura 3.11) Está localizado na frente do OE, tem 24 contadores. Um *gap* vertical e uma abertura que se encaixa com a abertura do segundo Magneto permite a passagem de pares  $e^+e^-$ . O sinal do OH1 garante que pelo menos uma partícula carregada com ângulo grande tenha sido detectada.
- **$E_{HI}$ :** Este sinal provém do Calorímetro Hadrônico e é usado para rejeitar eventos com energia hadrônica menor que um dado limiar.

A condição do *Master Gate* hadrônico está dada pela seguinte combinação lógica dos cinco sinais:



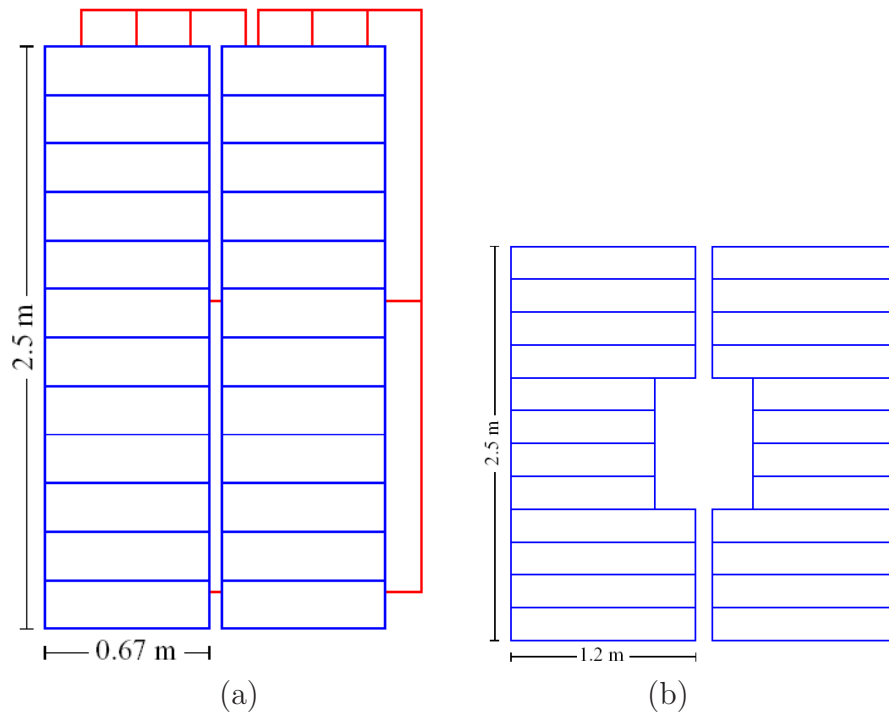


Figura 3.11: Esquema da configuração de HV (a) e OH (b).

$$MG1 = TR1.TR2.[(H \times V)_2 + (H \times V)_1.OH_1].E_{HI} \quad (3-4)$$

No total existem sete *triggers Master Gate* cujas especificações são mostradas na Tabela 3.5 e onde os outros sinais individuais são:

- $E_{LO}$ : Energia Hadrônica cujo limiar é menor que o limiar de  $E_{HI}$ .
- $E_{IE}$ : Energia Electromagnética de um alto limiar.
- $IE_2$ : Pelo menos dois sinais no calorímetro eletromagnético interno (IE).
- $IM_1$ : Pelo menos um sinal no detector de múons interno.
- $IM_2$ : Pelo menos dois sinais no detector de múons interno.
- $OM_1$ : Pelo menos um sinal no detector de múons externo.
- $OM_2$ : Pelo menos dois sinais no detector de múons externo.

Trigger	Definição	Sinal Físico
MG1	$TR1.TR2.2B.E_{HI}$	Trigger Hadrônico
MG2	$TR1.TR2.2B.IE_2$	$J/\psi \rightarrow e^+e^-$
MG3	$TR1.TR2.[IM_1 + OM_1].E_{LO}$	decaimentos Semi-muonicos
MG4	$TR1.TR2.2B.[IM_2 + OM_2 + IM_1 + OM_1]$	$J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$
MG5	$TR1.TR2$	pares $e^+e^-$ (PS)
MG6	$TR1.TR2.2B$	eventos de dois corpos (PS)
MG7	$TR1.TR2.[IM_1 + OM_2]$	eventos de um múon (PS)

Tabela 3.5: Lógica dos sete *triggers Master Gates*. Os Master Gates denotados como (PS) são usados para calibração. O termo  $2B$  é usado para  $(H \times V)_2 + [(H \times V)_1 \cdot OH_1]$ .

### 3.13

#### O *Trigger* do Segundo Nível

O *trigger* do segundo nível usa informação dos detectores que são em geral muito lentos para serem incluídos nos *triggers Master Gates*. Ainda, a lógica do segundo nível utilizada para diferentes sinais físicos é mais complicada. Alguns *triggers* são usados para monitoramento do detector. O bloco de dados foi colectado usando o *trigger* hadrônico de segundo nível. Os sinais usados são:

- $MULT_n$ : Pelo menos  $n$  trajetórias com suficiente número de sinais devem ser detectadas pelo MWPC.
- AM-AMD: anéis de múons são rejeitados utilizando dois arranjos localizados entre o radiador e o alvo experimental.
- IM(E+W): Sinais rejeitados em ambas direções (leste e oeste) do *trigger* de múons interno.
- $E_{IE-2}$ : Pelo menos dois sinais acima do limiar no calorímetro electromagnético interno.

Alguns *triggers* de segundo nível que foram usados durante a coleta de dados são apresentados na Tabela 3.6.

Trigger	Definição	Sinal Físico
TRIG1	$MG1.E_{IE-2}.MULT4$	Trigger Hadrônico
TRIG2	$MG2.(H \times V)_2.E_{IE}$	$J/\psi \rightarrow e^+e^-$
TRIG4	$MG4.IM_2.(H \times V)_2.!(AM - AMD)$	$J/\psi$ , só interno
TRIG5	$MG5$	MG5 Precalado
TRIG6	$MG6$	MG6 Precalado
TRIG8	$MG1$	MG1 Precalado
TRIG9	$MG4.OH.OM2.MULT2.!(AM - AMD)$	$J/\psi$ , só externo
TRIG11	$MG4.IM_1.MULT1.(H \times V)_1.IM(E + W)$	$J/\psi$ , interno/externo

Tabela 3.6: Lógica para diferentes *triggers* de segundo nível que foram usados durante o *tracking* de dados.