

produzidas no meio passivo, deriva segundo o eixo OZ até ao extremo de cada módulo, onde se encontra o fio de sinal e os cátodos. A leitura dos cátodos é feita em 9 camadas sucessivas (4 a 5 amostras por camada ou cátodo). Cada linha de cátodos é também segmentada em OX . Da posição do cátodo obtém-se a informação em R, ϕ e do tempo de deriva, a informação em Z .

Entre a terceira e a quarta camada, correspondendo a uma profundidade de 4.5 comprimentos de radiação– o pico da cascata electromagnética– encontra-se um plano de *trigger*, constituído por tubos proporcionais para detecção rápida de partículas carregadas (tempo de resposta de $2\mu s$).

A aceitância no ângulo polar corresponde a valores entre 43° e 89° (ou entre 91° e 137°). A aceitância no ângulo azimutal corresponde a $24 \times (15^\circ - 2^\circ)$ (fronteira entre módulos) = 312° .

A granularidade de leitura é de 4 mm em Z , 1° no ângulo azimutal e 9 amostragens em R .

A resolução na medida do ângulo polar é de $\sigma_\theta = 2.3^\circ/\sqrt{E} + 0.15^\circ$ e na do ângulo azimutal é de $\sigma_\phi = 5.7^\circ/\sqrt{E} + 0.6^\circ$.

A resolução em energia é de $\sigma_E/E = 5 \oplus 33/\sqrt{E}(\%)$.

EMF – Calorímetro electromagnético da frente

O EMF (*ElectroMagnetic calorimeter in the Forward*) é o detector que mede a energia das partículas com ângulos polares compreendidos entre 11° e 35° (ou entre 145° e 169°). É um detector constituído por dois discos com 2×4532 blocos homogêneos de uma mistura de chumbo e plástico, na forma de pirâmides truncadas (31.2 cm^2 na base maior e 25 cm^2 na menor, 40 cm de comprimento), correspondendo a 20 comprimentos de radiação de profundidade, e cobrindo cada bloco $\approx 1^\circ \times 1^\circ$ no plano transverso.

Os blocos estão orientados quase na direcção do ponto interacção (desvio de 3°), e dão uma resposta de *trigger* em $3\mu s$. A resolução na medida da energia obtida nos testes de feixe é de $\sigma_E/E = [(0.35 + 5/\sqrt{E})^2 + (6/E)^2]^{1/2}(\%)$. Todavia, depois de instalado, devido à matéria colocada entre o EMF e o ponto de interacção, equivalente a dois comprimentos de radiação, a resolução obtida para electrões foi de $3 \oplus 12/\sqrt{E}(\%)$.

SAT e VSAT – Calorímetros electromagnéticos de luminosidade

O SAT (*Small Angle Tagger*) é um calorímetro otimizado para medir acontecimentos "Bhabha" a baixo ângulo, cuja taxa é fortemente dominada pela contribuição de canal- t , e portanto relativamente independente da energia no centro de massa. A dependência no ângulo polar dessa taxa é bem conhecida (proporcional a $1/\theta^3$, imprecisão da ordem de 0.1%) e a contagem de acontecimentos neste detector permite medir a luminosidade $\mathcal{L}$ através da relação $N_{\text{bhabha}} = \mathcal{L}\sigma_{\text{bhabha}}$. É formado por dois detectores colocados em oposição ao plano transversal, dependendo a decisão de contar acontecimentos "Bhabha" da coincidência de detectar electrões energéticos opostos em relação ao ponto de interacção.

Cada detector é constituído por camadas alternadas de chumbo e fibras ópticas cintilantes (1 mm de diâmetro), alinhadas paralelamente aos feixes. A profundidade total é de 28 comprimentos de radiação.

A resolução na medida da energia é de $\sigma_E/E = ((1.2^2 + 11.4^2/E)^{1/2} + 2.3)\%$, sendo o ponto de impacto determinado com uma precisão de 2 mm. Num dos lados, é colocado uma máscara de chumbo (10 comprimentos de radiação) em frente do detector, para permitir o raio inferior da aceitação deste detector com uma precisão de $100\mu\text{m}$.

O VSAT é formado por dois detectores complementares de medida de luminosidade, instalados a 7.7 m de cada lado do ponto de interacção. Cada detector é composto por dois blocos rectangulares de tungsténio e silício, de 5 cm de altura(Y), 3 cm de largura(X) e 10 cm de comprimento(Z), num total de 24 comprimentos de radiação de profundidade.

A aceitação destes detectores é muito restrita, $\pm 45^\circ$ em torno do eixo horizontal, e de 0.29° a 0.4° no ângulo polar (ou de 179.6° a 179.71°). Apesar de uma aceitação tão pequena, a elevada secção eficaz nesta zona do ângulo polar ($\approx 400\text{nb}$) permite ainda obter uma taxa de contagem quase 10 vezes superior à taxa esperada no SAT.

Em 1994 o SAT foi substituído por outro calorímetro (STIC), cobrindo uma zona de ângulo polar mais alargada e permitindo um erro relativo na medida da luminosidade de 1994 da ordem de 2 por mil.

HAC – Calorímetro hadrónico

O HAC (*HAdronic Calorimeter*) é o calorímetro hadrónico, assim chamado por ter por objectivo a medição da energia das partículas com interacção forte. É dividido em 3 sectores, o calorímetro hadrónico do barril (HAB – *HAdronic*

Barrel calorimeter), e os calorímetros hadrónicos da frente (HAF – *HAdronic Forward calorimeters*). Ambos os sectores são constituídos por camadas de ferro intercaladas com câmaras de fios (20 no barril, 19 na frente), num total de 6 comprimentos de interacção de profundidade. O ferro tem a vantagem de fechar as linhas de força do campo magnético. Cada sector é dividido também em 24 módulos no plano transversal.

As câmaras de fios são agrupadas na leitura, garantindo uma granularidade de $\Delta\phi = 3.75^\circ$ no ângulo azimutal, $\Delta\theta = 2.96^\circ$ no ângulo polar ($\Delta\phi = 2.62^\circ$ nos calorímetros da frente) e 4 amostras em R , e dão uma resposta de sinal em $3\mu s$.

A resolução em energia é de $\sigma_E/E = 21 \oplus 112/\sqrt{E}(\%)$.

Este detector foi também usado para identificar muões, dada a fraca interacção que estes têm com a matéria, deixando apenas uma pequena porção da sua energia em cada amostra em R , na passagem por este detector.

MUB,MUF – Câmaras de muões

MUB e MUF são as câmaras de muões do barril e da zona da frente (duas de cada lado), respectivamente.

As câmaras de muões do barril (MUB – *MUon chambers in the Barrel*) são 2(em z) $\times$ 24(em $R\phi$) detectores de posição constituídos por duas camadas de câmaras de fios, estando uma inserida dentro do calorímetro hadrónico, após 90 cm de ferro, e contendo 3 planos de câmaras proporcionais, e a outra 20 cm (em R) após o calorímetro hadrónico, estando esta dividida em blocos montados de forma a haver sobreposição nas fronteiras em $R\phi$, cada bloco contendo dois planos de câmaras proporcionais. Cada câmara proporcional tem o volume eficaz de 3.6 m $\times$ 20 cm $\times$ 1.6 cm.

A resolução na medida da posição é de $\sigma_{R\phi}=4$ mm e $\sigma_z=2.5$ cm.

As câmaras de muões da frente (MUF – *MUon chambers in the Forward*), uma de cada lado, são constituídas por duas camadas de câmaras proporcionais, uma inserida no ferro do calorímetro hadrónico, após 85 cm de ferro, a outra 30 cm (em Z) após o calorímetro hadrónico.

Cada camada é formado por quatro quadrantes, de 4.4 $\times$ 4.4 m² de área, e cada quadrante é composto de 22 câmaras de deriva, com um volume eficaz de 4.35 m $\times$ 18.8 cm $\times$ 2 cm.

A resolução na medida de posição é de $\sigma_{x,y} = 3$ mm.

3.3 Os sistemas de pré-selecção e recolha de dados

3.3.1 Implementação do sistema de *trigger*

O sistema de *trigger* é o sistema de pré-selecção de acontecimentos, que tem o objectivo de seleccionar acontecimentos potencialmente interessantes de todas as possíveis colisões electrão-positrão. Dada a elevada taxa de cruzamento dos feixes (44500 vezes por segundo), é um sistema que tem de funcionar muito rapidamente, para introduzir o mínimo de tempo morto.

Para a luminosidade de $\approx 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ e secção eficaz de produção do Z^0 de 35 nb (decaindo em partículas carregadas), a taxa de acontecimentos do Z^0 esperada é de 0.5 acontecimentos por segundo (0.5Hz). Outros acontecimentos potencialmente interessantes ("Bhabha" por exemplo) adicionam 0.5Hz a esta taxa de acontecimentos. O sistema de *trigger* tem de ter a capacidade de redução da taxa de acontecimentos de 44500Hz para 1-2Hz (a capacidade máxima de recolha de acontecimentos em bandas magnéticas ou disco é da ordem de 10Hz).

O sistema de *trigger* de DELPHI é detalhadamente descrito na referência [TRG94]. É um sistema de critérios de selecção fortemente redundante, em que os decaimentos do Z^0 em partículas carregadas são seleccionados por dois ou mais critérios de selecção. Resumidamente, o sistema consiste em quatro níveis de selecção, o primeiro nível reduzindo um factor de 50, o segundo nível reduzindo um factor de 110, o terceiro nível um factor de 2-4 e o quarto nível, recentemente implementado, um factor adicional de ≈ 1.5 . A selecção de cada nível só é aplicada a acontecimentos seleccionados pelo nível anterior.

O primeiro nível de *trigger* utiliza as câmaras rápidas (pequenos tempos de deriva) e cintiladores para dar uma resposta (acontecimento aceite ou não) em $3\mu\text{s}$. Este nível reduz a taxa de acontecimentos de 45KHz para 1KHz.

O segundo nível de *trigger* utiliza a informação de todos os detectores, em particular da TPC com o respectivo elevado tempo de deriva, para fornecer uma resposta em $40\mu\text{s}$. Cada vez que um acontecimento é aceite no primeiro nível, e portanto será processado pela selecção do segundo nível, o cruzamento de feixes seguinte não é colectado. Contudo o tempo morto introduzido aqui é reduzido, pois a taxa de acontecimentos seleccionados pelo primeiro nível é apenas de 1KHz

(e a probabilidade de que o cruzamento de feixes seguinte fosse seleccionado pelo primeiro nível é inferior a 3%). O segundo nível reduz a taxa de acontecimentos de 1KHz para 8Hz.

Estes dois primeiros níveis funcionam em tempo real, isto é, sincronizados com o sinal de cruzamento de feixes (sinal de 100 ns de duração com a frequência de 44.5 KHz e antecipado de alguns microsegundos em relação ao instante de colisão). Os critérios de selecção são implementados em tabelas, que são carregadas na memória dos processadores de *trigger*.

Cada acontecimento seleccionado pelo segundo nível é guardado em memórias tampão (temporárias), levando aproximadamente 3.5 ms a colectar e salvar a informação de todos os detectores. Neste período não é possível colectar dados. Este facto introduz algum tempo morto, dado por

$$\text{Tempo morto} = \frac{\sum NP_i \times f_i}{f_{cf}} \approx 3.2\%$$

em que NP_i representa o número de cruzamentos de feixe que não podem ser colectados depois de aceite o acontecimento no nível i ($NP_1 = 1$, $NP_2 = 150$), f_i a frequência de aceitação de acontecimentos do nível i ($f_1 = 700$, $f_2 \leq 4.5$), e f_{cf} a frequência de cruzamento dos feixes (44500).

O terceiro e quarto níveis funcionam assincronadamente. A cada acontecimento guardado pelo segundo nível, corresponde um ponteiro na memória do processador. O terceiro e quarto níveis correspondem a um processamento complexo do acontecimento na sua globalidade, e se o acontecimento não é aceite o respectivo ponteiro na memória é destruído, e a memória ocupada pelo acontecimento é reutilizada. Deste modo, apesar do elevado tempo de processamento destes níveis, praticamente não é introduzido tempo morto.

O tempo de processamento do terceiro nível é de 30 ms, e reduz a taxa de acontecimentos para 2-5Hz.

O quarto nível, a funcionar apenas desde meados de 1993, tem um tempo de processamento de 300-500 ms, e reduz a taxa de acontecimentos para 1-2Hz. Neste nível o acontecimento é reconstruído usando uma versão simplificada do programa de reconstrução, e são apenas rejeitados acontecimentos sem informação útil (acontecimentos "vazios"). Os acontecimentos seleccionados são etiquetados com base numa classificação abrangente (incluindo decaimentos do Z^0 em partículas carregadas, acontecimentos "Bhabha", acontecimentos só com partículas neutras, etc).

3.3.2 As funções de selecção do sistema de *trigger*

As funções de selecção implementadas nas tabelas do sistema de *trigger* são compostas por várias combinações de sinais colhidos nos diferentes detectores. As funções têm resultado positivo se alguma das combinações der resultado positivo, e as combinações são positivas quando todos os sinais que as compõem tiverem resultado positivo. As categorias mais importantes em que se podem classificar as combinações são:

- traço
- muão
- energia electromagnética
- Luminosidade

A primeira categoria é a mais importante para esta análise e será descrita sumariamente no final desta subsecção.

O *trigger* de muões é formado pela combinação de informação colhida nas câmaras de muões (Barril) e nos contadores HOF (na Frente). No Barril, com a aceitação no ângulo polar de 50 a 130 graus, é requerida a coincidência no tempo entre pontos medidos em contadores em quadrantes opostos, no primeiro nível e em octantes opostos no segundo nível. Na Frente, com a aceitação angular de 15 a 41 graus, o primeiro nível é fornecido apenas pelos contadores HOF, e no segundo nível exige-se sinais em quadrantes opostos nas câmaras de muões. Para efeitos de calibração utiliza-se ainda um *trigger* de coincidência no tempo de sinais nas câmaras, mas em quadrantes alinhados segundo o feixe (selecção de muões cósmicos paralelos ao tubo de feixe – "MUPARAL").

O *trigger* de energia electromagnética é fornecido no barril pelos contadores de *trigger* da HPC (colocados a 4.5 comprimentos de radiação de profundidade) no primeiro nível, e pelos depósitos de energia na HPC num módulo acima de um limiar pré-fixado (2-3 GeV). Na zona da Frente, o *trigger* é formado por depósitos de energia num conjunto de blocos, acima de outro limiar (2.5 GeV – "High", ou 1.2 GeV – "Low"), no primeiro e no segundo níveis.

O *trigger* de luminosidade é fornecido pelo SAT e pelo VSAT. No SAT, o *trigger* "Bhabha" é formado pela existência de depósitos de energia coplanares de pelo menos 30 GeV ("High") ou 11 GeV ("Low") nos dois detectores (da Frente e de Trás). O *trigger* SAT (singular) é formado pela existência de um

depósito ("Low") e é usado para determinar a eficiência do *trigger* "Bhabha". Estes depósitos de energia correspondem à integração do sinal em módulos de 30° em ϕ , com uma sobreposição de 15° entre módulos adjacentes. No VSAT, são requeridos depósitos de energia de 30 GeV em detectores opostos (em relação ao ponto de interação). Como o VSAT tem uma taxa de acontecimentos muito alta (vários Hertz), este *trigger* não desencadeia a leitura dos vários detectores de DELPHI. Como o VSAT contém pouca informação, esta é acumulada numa memória temporária que é lida quando um acontecimento é seleccionado por um dos outros *triggers*.

Existe um *trigger* adicional (*B1*), actualmente usado para calibração, que é constituído por sinais colectados directamente nos detectores, e usando uma lógica simples implementada em módulos NIM (que também recolhem os sinais). Este *trigger* foi o *trigger* utilizado em 1989 e 1990, embora actualmente apenas seja utilizado para monitorização, testes (gerador de *triggers* aleatórios) e calibração.

As funções de selecção podem ser desactivadas por programas de controle deste sistema, se por ex., produzirem acontecimentos a uma taxa muito superior ao que se espera dessa função.

As combinações implementadas no segundo nível, estão esquematizadas na tabela 3.5. Nessa tabela, cada subdetector representa um sinal nesse subdetector com amplitude superior a um limiar programável, integrando o sinal num segmento (ampla região geométrica: octantes, submódulos, etc). Para cada combinação é indicada a taxa aproximada de selecção, a sensibilidade para certas partículas (electrão, muão, fóton, partículas carregadas) e a função de selecção em que são utilizadas.

Para efeitos de *trigger* os detectores são segmentados nos respectivos submódulos (por ex., 144 para a HPC), excepto o EMF, segmentado em 24 em ϕ e em 6 em θ , e o SAT com segmentos de abertura de $\Delta\phi = 30^\circ$ no plano transversal, com sobreposição de 15° entre segmentos adjacentes.

Cada segmento contribui apenas uma vez (todo o sinal nesse segmento é somado para comparar com o limiar respectivo).

3.3.3 O *trigger* de traços

O *trigger* de traços, ou o reconhecimento de partículas carregadas tem várias componentes, formadas por um detector ou pela combinação de sinais entre de-

Região do Barril					
Combinação	Taxa (Hz)	Sensitividade			
		e	μ	γ	$c^\pm$
TPC	0.8	•	•		•
OD*HPC	0.2	•		•	
OD*TOF	0.4	•	•	•	•
HPC*TOF	0.3	•		•	
HPC ≥ 2	0.1	•		•	
ID*(MUB+HAB)	0.5		•		•
HPC	0.3	•		•	
Região Intermédia					
Combinação	Taxa (Hz)	Sensitividade			
		e	μ	γ	$c^\pm$
ID*(HAF+MUF)	0.1		•		•
HPC*(HAF+EMF)	0.1	•		•	
Região Frente/Trás					
Combinação	Taxa (Hz)	Sensitividade			
		e	μ	γ	$c^\pm$
TPC*(FCA+FCB)	0.2	•	•		•
MUF*(FCA+FCB)	0.1		•		
TPC*MUF	0.1		•		
EMF*(FCA+FCB)	0.2	•			
(FCA+FCB)*HAF	0.4		•		•
EMF ≥ 2	0.2	•		•	
EMF(High)	0.5	•		•	
Luminosidade					
Combinação	Taxa (Hz)	Sensitividade			
		e	μ	γ	$c^\pm$
SAT "Bhabha"	0.8	•			
VSAT "Bhabha"	(1)	•			
SAT	(1)	•			
Calibração e casos especiais					
Combinação	Taxa (Hz)	(tipo de <i>trigger</i>)			
		e	μ	γ	$c^\pm$
NIM	0.04				
TPC*SAT	0.1				
TOF*HAB(High)	0.2				
MUF ≥ 2	0.1				

Tabela 3.5: Tabela de combinações de sinais de *trigger* implementadas no segundo nível ("*" indica a operação lógica "e", e "+" a operação lógica "ou/e") (ref. [TRG94]).

tectores. Fazem parte deste *trigger* todas as combinações da tabela 3.5 sensíveis às partículas carregadas ($e^\pm$ na tabela).

Os detectores que principalmente contribuem para este *trigger* (primeiro e segundo nível) são a TPC–Câmara de Projecção Temporal, o ID–Detector Interno, o OD–Detector Externo, as câmaras da frente FCA, FCB e os contadores de tempo de voo (TOF).

O primeiro nível de *trigger* da TPC funciona apenas na região de ângulo polar de 20 a 43 graus, e é formado por sinais deixados continuamente em pelo menos 8 fios sensíveis colocados nas tampas da TPC.

No segundo nível de *trigger*, a TPC tem dois tipos de resposta: o *trigger* de continuidade, e o *trigger* da frente em RZ. O *trigger* de continuidade é um *trigger* de traço na zona do Barril, que utiliza a informação dos cátodos, como informação inicial para um algoritmo de pesquisa de trajectórias contínuas de pontos medidos, para traços com momento transversal superior a 1 GeV. Os cátodos são também associados em grupos de quatro para definir as coordenadas R, ϕ . Este *trigger* cobre apenas a zona angular de 29 a 151 graus. O *trigger* da frente em RZ cobre a mesma região angular do primeiro nível, e requer sinal em pelo menos 13 das 16 filas de cátodos.

O ID e o OD têm a mesma segmentação azimutal em 24 módulos (no plano transversal), providenciando sinais de *trigger* no Barril para os dois níveis, para correlações entre eles ou com outros detectores. A limitação no ângulo polar é de 42 a 138 graus.

As câmaras da Frente, FCA e FCB, cobrindo a região angular de 11 a 33 graus, providenciam um *trigger* na zona da frente, constituído por correlações entre pontos medidos nas duas câmaras (de um mesmo lado), aceitando traços com momento transversal superior a 1.6 GeV.

O TOF contribui para ambos os níveis de *trigger* no Barril, sendo para tal dividido em octantes (segmentação em Z igual a 2, em $R\phi$ igual a 4), e sendo o sinal integrado em cada octante. A cobertura angular deste *trigger* varia de 41 a 139 graus.

3.3.4 A eficiência do sistema de *trigger*

A eficiência das várias componentes do sistema de *trigger*, é determinada através da comparação de amostras de sinais independentes. Como o sistema é fortemente

redundante, é possível escolher componentes que, em relação à componente em estudo, tenham a máxima independência possível.

Para amostras independentes, com N_A acontecimentos seleccionados pelo *trigger* A , N_B acontecimentos seleccionados pelo *trigger* B , e N_{AB} acontecimentos seleccionados por ambos os *triggers* A e B , determina-se a eficiência de cada *trigger* A e B através de:

$$\varepsilon_A = N_{AB}/N_B \quad \varepsilon_B = N_{AB}/N_A$$

Então a eficiência global do sistema de *trigger* (composto apenas por estes dois *triggers*) é

$$\varepsilon = \varepsilon_A + \varepsilon_B - \varepsilon_A \cdot \varepsilon_B \quad (3.2)$$

No caso do sistema composto por vários *triggers*, em que o *trigger* A representa o *trigger* em estudo e o B o "ou" de todos os outros, pode-se aplicar a expressão anterior para obter a eficiência de A . Por recorrência, a eficiência global é para três *triggers* (1,2,3)

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3 - \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 + \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \quad (3.3)$$

e para quatro (1,2,3,4) *triggers* obtém-se

$$\begin{aligned} \varepsilon = & \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_4 - \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 - \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_4 - \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 + \\ & \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 + \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_4 + \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 + \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Para n *triggers* a expressão geral para a eficiência global é

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sum_{k=1}^n A_k \\ A_k &= \sum_{\substack{i_1, \dots, i_k=1 \\ \forall (i_1, i_2, \dots, i_k): i_1 < i_2 < \dots < i_k}}^n (-1)^{k-1} \varepsilon_{i_1} \cdot \dots \cdot \varepsilon_{i_k} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Para o trabalho aqui apresentado, em que o estado final do sinal é caracterizado pela presença de várias partículas carregadas, uma estimativa da eficiência de *trigger* para o sinal é dada pelas eficiências de *trigger* de pares de léptões. A elevada redundância deste sistema de *trigger* permite obter eficiências muito elevadas para acontecimentos com duas ou mais partículas carregadas. A eficiência de *trigger* global de DELPHI é, para pares de electrões, pares de múons e acontecimentos hadrónicos (para comparação), de:

$$\varepsilon_{ee} = 0.99997 \pm 0.00001(\text{estat.}) \quad (3.6)$$

$$\varepsilon_{\mu\mu} = 0.99990 \pm 0.00002(\text{estat.}) \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_{\text{hadr}} = 0.99985 \pm 0.00006(\text{sistem.})$$

A dependência no ângulo polar das eficiências ε_{ee} e $\varepsilon_{\mu\mu}$ é mostrada na figura 3.10, tirada da referência [TRG94].

3.3.5 O sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição consiste num conjunto de subsistemas, responsáveis pelo controle de todos os fluxos de dados desde os detectores em que são colectados até serem armazenados em banda magnética ou disco. Uma descrição aprofundada deste sistema pode ser encontrada em [DEL83] ou em [DAS91]. Apresenta-se aqui apenas um resumo do sistema.

O sistema é modular, respeitando assim a modularidade de DELPHI, sendo um conjunto de 14 partições locais, que funcionam até ser aceite um acontecimento pelo segundo nível de *trigger*, em que as memórias locais são despejadas para uma memória tampão central, com o respectivo ponteiro e outras características (número de *trigger*, data e hora de aquisição, etc).

As partições funcionam sincronadamente com a taxa de cruzamento dos feixes, inicializando os algoritmos do primeiro e segundo níveis de *trigger*, reiniciando as memórias locais para todos os acontecimentos rejeitados, e despejando as memórias locais para a partição central para os acontecimentos aceites.

Todo o sistema está instalado em *Fastbus*, notável pela sua rapidez de transferência de dados (até 20 Mbytes/s), sendo esta transferência controlada por processadores locais, incluindo supressão de zeros, formatação de dados e a inicialização do terceiro nível de *trigger*. A memória tampão na partição central

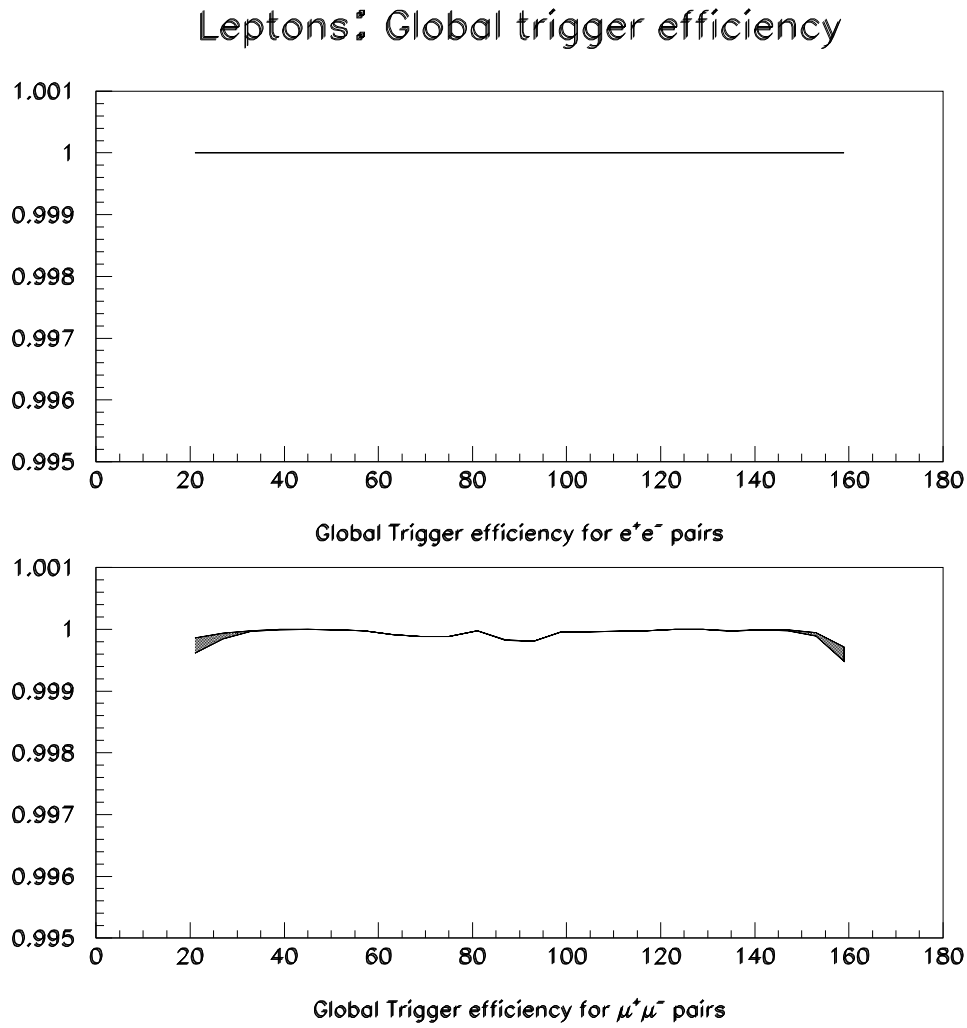


Figura 3.10: Dependência no ângulo polar da eficiência de *trigger* de DELPHI para pares de electrões e muões (ref. [TRG94]).

permite ir guardando sucessivos acontecimentos até se obter uma decisão do terceiro nível de *trigger*, sendo os acontecimentos aceites então transferidos para o computador central de aquisição, ligado à partição central por *ethernet* (velocidade de transmissão máxima de 2-3 Mbytes/s).

Todos os sistemas em *Fastbus* usam o sistema operativo OS9 da *MicroWare*, e o computador central de aquisição usa o sistema VAX/OpenVMS da *Digital Equipment Corporation*. Neste computador, de utilização geral, podem ser feitas as operações de carregamento dos programas bem como acesso remoto nos sistemas OS9, e em particular qualquer módulo *Fastbus* pode ser acedido directamente, para se controlar o seu funcionamento enquadrado no resto do sistema. Os acontecimentos guardados na memória tampão são copiados para outro processador na partição central, para poderem ser analisados em detalhe através do acesso remoto.

Uma das grandes vantagens da modularidade do sistema resulta directamente na mínima perda de dados quando as ligações têm problemas. Simplesmente os módulos cujo sistema local de aquisição não consegue, momentaneamente, funcionar integrado no sistema global, passam a funcionar em modo local, permitindo operações de manutenção no seu sistema de aquisição mantendo o sistema global a funcionar.

O tamanho máximo de um acontecimento, correspondente a decaimentos hadrónicos do Z^0 com elevadas multiplicidades, é da ordem de 200 Kbytes.

3.4 Programas de tratamento dos dados

Os dados armazenados pelo sistema de aquisição estão numa fase bruta, isto é, contendo informação muito detalhada e em grandes quantidades para poder ser facilmente tratada num programa de análise. Utilizam-se esses dados como entrada de um programa de reconstrução de acontecimentos, que dá como resultado um conjunto reduzido de dados, representativos das quantidades de interesse desses acontecimentos, que podem então ser tratados por programas de análise.

Para se fazer uma análise, torna-se também muito útil a comparação de amostras correspondentes a dados colhidos em DELPHI com amostras equivalentes de dados simulados. Esta simulação passa por uma geração de dados associados ao processo em estudo, pela simulação das condições do detector DELPHI numa altura precisa e, posteriormente, pela reconstrução desses dados usando o mesmo programa de reconstrução que foi usado para processar os dados reais

(dados colhidos em DELPHI). Os dados resultantes do programa de simulação têm a mesma estrutura dos dados guardados pelo sistema de aquisição.

As características de DELPHI, geométricas e físicas (constantes de calibração, módulos operacionais, meios utilizados nos detectores, etc), variam com o tempo, e manter a história dessa evolução é essencial tanto para o programa de reconstrução recuperar correctamente os acontecimentos como para o programa de simulação reproduzir eficazmente o detector.

Em DELPHI o método de manter a história da evolução dinâmica das suas características é baseado numa base de dados constantemente actualizada, e mais tarde consultada pelos programas de reconstrução e simulação.

Esta secção descreve sucintamente estes três programas, e ainda o programa de visualização de acontecimentos de DELPHI, ferramenta importante na análise de processos raros.

3.4.1 DDAPP—A base de dados de DELPHI

Os dados relativos às características particulares de DELPHI são guardados numa base de dados, constantemente actualizada [DDB89]. Estão detalhadamente descritos nesta base de dados as constantes de calibração, os valores das altas tensões aplicadas aos módulos, a geometria destes e sua operacionalidade, os valores das correntes que percorrem o magnete supercondutor e bobinas compensadoras, os gases e líquidos que preenchem os módulos, e as pressões e temperaturas a que estes estão sujeitos.

A base de dados de DELPHI é manipulada usando um conjunto de programas feitos na colaboração [DDP89], com base num programa fornecido pelo CERN [KAP89], sendo este programa depois utilizado pelos outros programas. A base de dados mantém todas as características associadas a datas de registo, temperatura T na posição A no instante B , podendo assim existir vários registos todos pertencentes ao mesmo módulo, mas com datas diferentes.

Cada acontecimento colhido em DELPHI é processado pelo programa de reconstrução com o seu tempo de registo, usado em todas as pesquisas à base de dados. Com este método é sempre possível reprocessar acontecimentos posteriormente, qualquer que tenha sido a data em que foram colhidos.

Cada acontecimento simulado foi processado com uma data pré-fixada no programa de simulação, igual para toda a amostra de acontecimentos, escolhido pelo

utilizador com o objectivo de representar as condições médias de funcionamento de DELPHI, no espaço de tempo que essa amostra pretende reproduzir. Em DELPHI as características mais importantes só mudaram de ano para ano, por isso apenas de ano a ano se torna necessário mudar a data utilizada.

3.4.2 DELSIM—O programa de simulação

O programa de simulação de DELPHI, DELSIM [DLS89], segue a filosofia modular de construção do detector, com o programa central chamando as rotinas correspondentes a cada detector para simularem a interacção das partículas com a matéria e gerarem a resposta esperada dos seus módulos, na forma de sinais eléctricos tal como se passaria nas condições reais de funcionamento.

O programa está dividido em duas partes: a parte de geração e a parte de simulação do detector. Na parte de geração as partículas são produzidas usando uma rotina de geração do processo em estudo, é feita a hadronização de *quarks* primários, e realizados todos os decaimentos de partículas com pequenos tempos de vida.

A parte de simulação segue as partículas, em particular a sua evolução no campo magnético, e inclui os processos de difusão múltipla, de perda de energia por radiação ("bremsstrahlung"), perda de energia por ionização, de difusão de Compton, de conversão de fótons em pares electrão-positrão, de aniquilação de positrões, de decaimento de partículas, de interacção e absorção nucleares e de efeito fotoeléctrico e produção de raios Delta (electrões de baixo momento provenientes do meio por ionização).

O historial da geração e da simulação é guardado, para se poder posteriormente verificar as condições de funcionamento dos programas, ou para poder comparar detalhadamente os resultados da simulação com as amostras de dados reais. Os dados produzidos pelos detectores são armazenados na mesma estrutura (fase "bruta") da dos dados reais, por forma a não se distinguirem do ponto de vista do programa de reconstrução.

3.4.3 DELANA—O programa de reconstrução

O programa de reconstrução de DELPHI, DELANA [DLA89], está dividido em várias partes executadas sucessivamente:

1. reconstrução local da informação recolhida, feita em cada detector
2. combinação da informação dos calorímetros
3. procura de traços, ajuste de trajectórias e extrapolação
4. reconstrução global e resolução de ambiguidades e sobreposições de informação, com base na extrapolação
5. identificação de partículas
6. reconstrução de vértices, incluindo partículas neutras (depósitos de energia nos calorímetros não associados a traços)
7. classificação do acontecimento

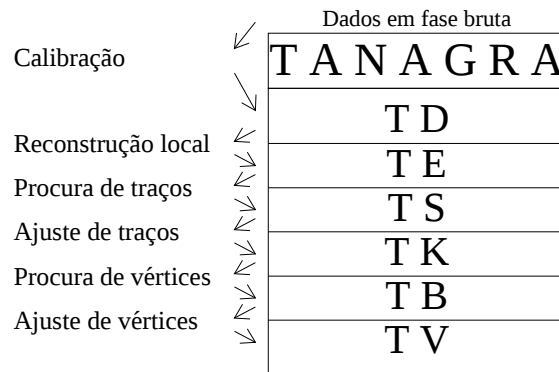


Figura 3.11: Estrutura de dados suporte de DELANA e DELGRA.

O programa DELANA utiliza uma estrutura de dados de vários níveis, TANAGRA (Track ANALysis and GRAPhics)[TAN89], para guardar a informação intermédia dos passos anteriores. Esta estrutura, esquematizada na figura 3.11, permite manter o historial do funcionamento do programa de reconstrução para eventual detecção de erros, reavaliação de trajectórias ou vértices, ou visualização da informação importante em cada nível no programa de visualização de acontecimentos de DELPHI, DELGRA, descrito no artigo seguinte.

A estrutura TANAGRA está intrinsecamente ligada às fases de reconstrução, sendo a informação recolhida guardada nos blocos "TD" ("Track Data"), os resultados da reconstrução local nos blocos "TE" ("Track Element"), a procura de traços nos blocos "TS" ("Track Search"), o ajuste de trajectórias (com a informação do momento, carga, e erros) nos blocos "TK" ("TracK fit"), a procura de vértices em blocos "TB" ("Track Bundle") e os vértices reconstruídos em blocos "TV" ("Track Vertex").

Pertinente para este trabalho é o facto de DELANA rejeitar ajustes de trajectória a trajectórias promissoras que não contenham informação da TPC, excepto fora das suas zonas de aceitação (ângulo polar inferior a 20° , ou compreendido entre 89° e 91° , ou superior a 160° ; ou ângulo azimutal vizinho de 30, 90, 150, 210, 270 ou 330°).

Os acontecimentos são classificados em sete categorias de acordo com os seguintes critérios (apenas um resumo dos critérios relevantes):

- Z^0 Hadrónico – Energia total superior a 5 GeV, 9 ou mais traços provenientes da origem
- Z^0 Leptónico – Energia total superior a 5 GeV, 6 ou menos traços provenientes da origem, ou depósito de energia nos calorímetros superior a 15 GeV, ou 2 depósitos de energia nos calorímetros superiores a 5 GeV e opostos a menos de 25°
- Z^0 ambíguo – Energia total superior a 5 GeV, 7 ou 8 traços provenientes da origem
- Interação com o gás remanescente ou Cósmico – Energia electromagnética inferior a 4 GeV e energia total inferior a 5 GeV, ou menos de 1, 2 ou 3 traços provenientes da origem com momentos superiores a 5, 1 ou 0.4 GeV
- Dispersão "Bhabha" – definida pelo "SAT" (dois depósitos opostos de energia superiores a 13 GeV) ou pelo "VSAT" (idêntico ao "SAT" mas com energia superior a 30 GeV)
- Acontecimento de calibração – Z^0 leptónico com menos de 4 traços, dos quais dois com momentos ou depósitos de energia nos calorímetros superiores a 15 GeV, opostos a menos de 10°
- Desconhecido – rejeitado nas classificações anteriores

Foram processados neste trabalho os dados contidos na segunda, terceira e sétima categorias.