

1993/09

5998



Tese de
MESTRADO

A Identificação de Eventos de Quarks b com o uso de Redes Neurais

Andre Sznajder

12 de Julho de 1993

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
Rio de Janeiro, Julho de 1993

AGRADECIMENTOS

A meu orientador Ronald Cintra Shellard pela atenção, apoio e incentivo.

Aos demais membros do LAFEX integrantes da colaboração DELPHI, sem a ajuda dos quais este trabalho não seria possível.

A Arthur Kós Antunes Maciel pelo constante incentivo e amizade e por ter me introduzido à física de partículas.

A Alberto Santoro por ser o responsável pela existência de um ótimo ambiente de trabalho no LAFEX, bem como por toda infra-estrutura do mesmo.

A João Ramos Torres de Mello Neto por inúmeras discussões sobre temas abordados nesta tese.

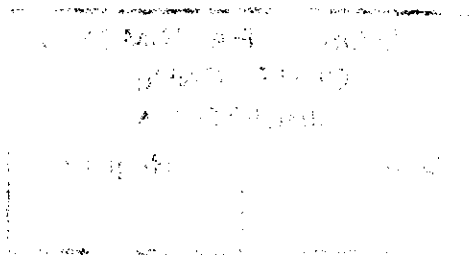
A Jussara Miranda, Jose Arnaldo Redinz e a Sandra Amato pelo apoio e amizade.

A todos os membros do LAFEX e aos funcionários do CBPF que de forma direta ou indireta contribuíram na realização deste trabalho.

Ao CNPQ pela ajuda financeira.

Resumo

Neste trabalho estuda-se a identificação de eventos correspondentes ao decaimento $Z^0 \rightarrow b\bar{b}$ observados no experimento DELPHI do CERN, utilizando-se uma rede neural do tipo Perceptron multi-camadas. A rede foi alimentada com diversos grupos de variáveis e a capacidade discriminatória de cada uma delas foi analisada. Obteve-se a eficiência de 57% e a pureza de 41% para o método de identificação com uma rede alimentada com 9 variáveis de alta capacidade discriminatória.



Índice

Introdução	1
1 A Rede Neural	5
1.1 As Redes Neurais	5
1.2 O JETNET	11
2 A Expêriencia Delphi	16
2.1 O LEP	16
2.2 O Detector DELPHI	20
2.3 O Gatilho e a Aquisição de Dados de DELPHI	42
2.4 O Software de DELPHI	45
2.4.1 A Simulação de Monte-Carlo de DELPHI	46
2.4.2 A Reconstrução dos Eventos	47
3 A Análise de Dados	53
3.1 A Filtragem dos Eventos	55
3.2 O Programa DSTNET	57
3.3 As Variáveis Físicas Utilizadas na Classificação	58

3.4	O Treinamento da Rede Neural	68
3.5	A Eficiência e a Pureza do Método de Identificação	72
	Conclusões	78
	O Programa DSTNET	80
	Referências	95

Lista de Figuras

0.1	Conjunto de elementos de duas classes distintas sob o plano XY	2
0.2	Exemplos de cortes nas variáveis X e Y que podem ser usados na tentativa de delimitar as duas classes do conjunto	3
0.3	Exemplos uma combinação das variáveis X e Y que podem ser usada para se obter uma separação completa das duas classes do conjunto	4
1.1	Representação do elemento básico de um rede neural	7
1.2	Perceptron de 2 camadas	8
2.1	LEP e os diversos pré-aceleradores	20
2.2	Esquema do Detector DELPHI	22
2.3	Detector Microvertice	24
3.1	Gráfico do processo de criação e decaimento do Z^0 em quarks	54
3.2	Gráficos comparando a capacidade discriminatória da variável $S1S2$ para jatos formados com o algoritmo LUCLUS (esquerda) e JADE (direita). Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha continua.	60

3.3	Gráficos comparando a capacidade discriminatória da variável S1S2 fazendo-se o 'Lorentz boost' para CM do jato (esquerda) e para o referencial com $\beta = 0.96$ (direita) com jatos reconstruídos por LUCLUS. Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha contínua.	61
3.4	Gráficos comparando a capacidade discriminatória da variável S1S2 fazendo-se o 'Lorentz Boost' para CM do jato(esquerda) e para o referencial com $\beta = 0.96$ (direita) com jatos reconstruídos por JADE. Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha contínua.	62
3.5	A trajetória da partícula e a representação do parâmetro de impacto e da distância de decaimento	64
3.6	Gráficos comparando a capacidade discriminatória da variável MIMP utilizando-se um corte no parâmetro de impacto igual a 0.1 cm (esquerda) e 0.2 cm (direita). Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha contínua. . . .	66
3.7	Gráficos das variáveis utilizadas para alimentar a rede gerados a partir de eventos simulados de quarks b (linha pontilhada) e quarks u, d, s, c (linha inteira)	69
3.8	Representação da rede neural utilizada	71

- 3.9 Distribuição do sinal de saída da rede neural para diferentes temperaturas. Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha inteira. 73
- 3.10 Gráfico correspondente ao sinal do neurônio de saída da rede neural correspondente a eventos b (linha pontilhada) e eventos não-b (linha continua). 75
- 3.11 Gráfico correspondente as proporções dos diversos quarks identificados pela rede como sendo de quark b utilizando o corte em 0.6 77

Introdução

A física de partículas contemporânea tem por base a teoria da Interação Eletrofraca, desenvolvida por Glashow, Weinberg e Salam, e a Cromodinâmica Quântica (QCD), [1, 3] sendo estas as teorias que melhor descrevem os fatos experimentais no domínio das partículas elementares.

A teoria da Interação Eletrofraca é uma teoria incompleta, tendo vários parâmetros livres que devem ser determinados experimentalmente, enquanto que a Cromodinâmica não permite a utilização de expansões perturbativas para a obtenção de suas soluções em certos regimes.

O estudo da física do quark b e das partículas formadas com este quark, os hádrons B , tem um papel de grande importância na física de partículas atual, pois diversos resultados da física de B dependem dos parâmetros livres da teoria Eletrofraca e de resultados de QCD não-perturbativa [3]. A física do B nos fornece um caminho indireto de se medir vários parâmetros livres da teoria Eletrofraca, pois a produção e os decaimentos do quark b dependem de maneira crucial do valor de alguns parâmetros desta. A produção e os decaimentos das partículas formadas com quark b também dependem de resultados da QCD fora de seu regime perturbativo, permitindo uma avaliação dos diversos modelos

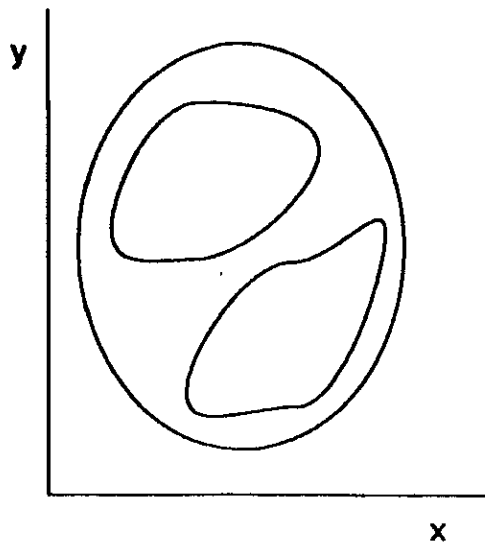


Figura 0.1: Conjunto de elementos de duas classes distintas sob o plano XY

fenomenológicos utilizados para contornar as dificuldades da QCD em seu regime não-perturbativo.

O trabalho desenvolvido nesta tese tem por objetivo a identificação de eventos em que são criados quarks b , provenientes do decaimento do Z^0 , no experimento DELPHI do CERN. Utilizou-se para tal uma técnica de análise nova na física de altas energias, que é o uso de redes neurais para identificação de eventos.

As redes neurais permitem uma otimização da informação disponível, pois são capazes de descobrir correlações entre as diversas variáveis do problema. A superioridade do método de redes neurais sobre o método de cortes tradicional é bem exemplificada em problemas onde se deseja separar um conjunto em duas subclasses distintas, com base na informação disponível sobre duas variáveis características dos elementos do conjunto.

Na figura acima podemos ver claramente como separar o conjunto de elementos em

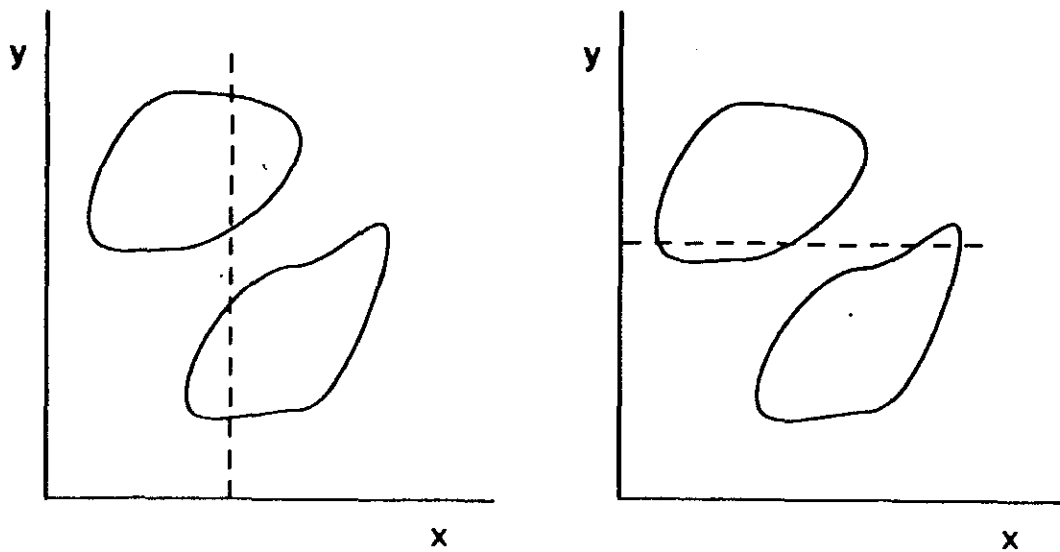


Figura 0.2: Exemplos de cortes nas variáveis X e Y que podem ser usados na tentativa de delimitar as duas classes do conjunto

duas subclasses. Entretanto, qualquer que seja o corte que se faça nas variável X (vertical) e Y (horizontal) não é possível obter-se uma separação completa das duas subclasses como exemplificado na figura 0.2 .

Existem, entretanto, combinações destas variáveis que permitem uma separação completa das duas subclasses. Uma reta, ou seja, uma relação das variáveis X e Y de forma a satisfazer a equação $Y = 0.5 * X$, permite uma delimitação exata da região pertencente a cada uma das subclasses, como mostra a figura 0.3 .

A principal motivação de se utilizar as redes neurais é exatamente a exploração de eventuais correlações entre as variáveis características do problema, otimizando a informação disponível. No exemplo simplificado apresentado acima é extremamente fácil descobrir tais correlações. Entretanto, nos problemas reais da física de altas energias nos deparamos

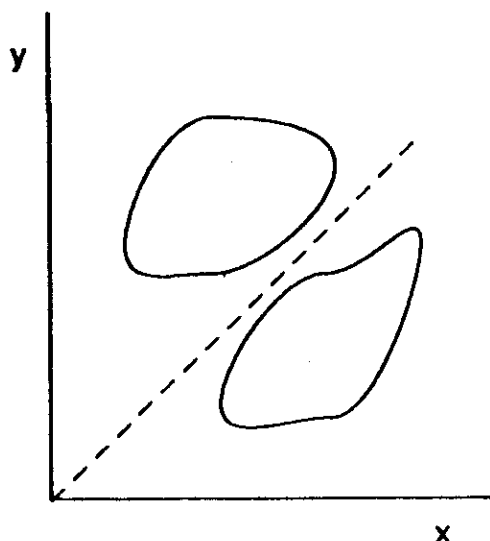


Figura 0.3: Exemplos uma combinação das variáveis X e Y que podem ser usada para se obter uma separação completa das duas classes do conjunto

com até dezenas de variáveis. Isto pode tornar a busca de correlações entre elas uma tarefa extremamente árdua, quando possível.

Este trabalho se subdivide em 3 capítulos e 1 apêndice. No capítulo 1 encontra-se uma introdução ao assunto de redes neurais com um breve histórico de sua origem e evolução, seguida de uma descrição detalhada do programa JETNET, que implementa uma rede do tipo Perceptron de várias camadas em 'software'. O capítulo 2 é dedicado à descrição do LEP e do experimento DELPHI. No capítulo 3 encontra-se a descrição do processo de análise física dos eventos e as conclusões deste trabalho. O apêndice contém a listagem do programa DSTNET que foi desenvolvido neste trabalho.

Capítulo 1

A Rede Neural

1.1 As Redes Neurais

O estudo de redes neurais originou-se na tentativa de se compreender o funcionamento do cérebro humano. Entretanto, as redes neurais mostraram-se de grande valor em aplicações práticas, como em problemas de reconhecimento de padrões , otimização e diversos outros problemas de inteligência artificial.

Atualmente as redes neurais são objeto de estudo de um ramo da ciência denominado computação neural [4, 5], onde o termo neural é utilizado para indicar que grande parte de sua inspiração inicial provém das neurociências, porém esta disciplina não tem compromisso com o funcionamento do cérebro ou de neurônios reais. Às vezes se utilizam analogias biológicas, mas o principal objetivo da computação neural é investigar estruturas de redes neurais artificiais e suas conseqüências, bem como aplicações.

O cérebro humano é superior a um computador digital na realização de diversas tarefas. Um bom exemplo é o processamento de informação visual, pois um bebê de 1 ano pode reconhecer muito melhor e muito mais rápido objetos e faces do que os mais avançados sistemas de inteligência artificial "rodando" nos mais poderosos supercomputa-

dores disponíveis atualmente.

O cérebro possui várias outras características que se procura emular em sistemas artificiais de computação :

- Ele é "robusto" e tolerante a falhas, pois células nervosas morrem todo dia sem afetar significativamente sua performance.
- Ele é flexível, podendo se ajustar a novos ambientes através de aprendizado, em contraste com um computador que tem de ser programado em C, Fortran ou Pascal.
- Ele pode lidar com informação que seja confusa, probabilística, com ruído ou até mesmo inconsistente.
- Ele processa informação de maneira paralela em contraste com computadores seqüenciais, que são muito mais lentos.

Somente em tarefas que envolvem processos mecânicos baseados em regras pré-estabelecidas como em cálculos aritméticos ou de lógica matemática é que os computadores tem performance superior ao cérebro.

Esta é a motivação real para se estudar computação neural. Ela é um paradigma computacional alternativo ao usual, o qual baseia-se em programas de instruções seqüenciais e tem sido a base de toda computação até pouco tempo.

Em termos matemáticos, uma rede neural é constituída dos seguintes elementos:

1. Uma variável de estado I_i associada a cada nó da rede.

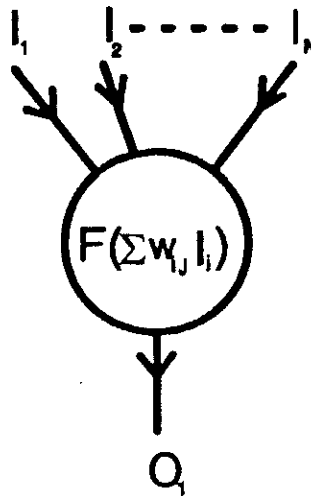


Figura 1.1: Representação do elemento básico de um rede neural

2. Conexões sinápticas, ou pesos sinápticos, W_{ij} , associadas a cada ligação entre dois nós
3. A função de ativação, ou função de transferência, $F(I_i, W_{ij})$ associada a cada nó i , que determina o estado do nó em função das conexões sinápticas e do estado dos diversos nós conectados ao nó i .

Um paralelo pode ser estabelecido entre os elementos de uma rede neural e os do cérebro. Nele, o elemento básico da rede neural (figura 1.1) constituído pela variável de estado do nó, pela função de transferência e pelas conexões, representa o elemento básico do cérebro que é o neurônio.

Em torno de 1960, Frank Rosenblatt e colaboradores [6] iniciaram o estudo de um tipo específico de rede neural que denominaram Perceptron (figura 1.2). Eles consideravam

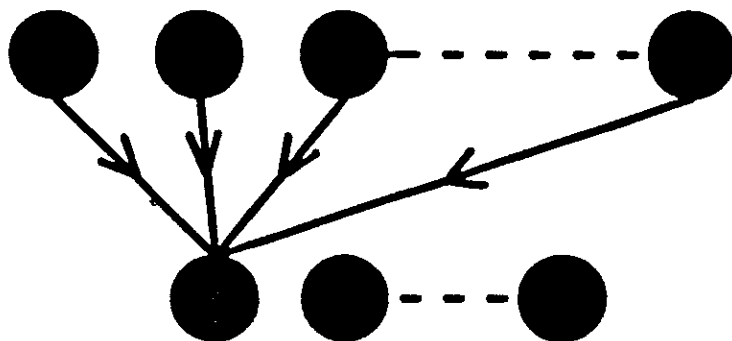


Figura 1.2: Perceptron de 2 camadas

o Perceptron um modelo simplificado dos mecanismos biológicos de processar informação sensorial, ou seja, percepção . Em sua versão simplificada, o Perceptron consiste de duas camadas distintas de neurônios representando a camada de entrada e a de saída, respectivamente. Os neurônios da camada de saída recebem sinais dos neurônios da camada de entrada, porém não existe transmissão de sinais no sentido oposto, nem entre neurônios de uma mesma camada, de modo que a informação flui em um único sentido. O fluxo de informações no Perceptron é uma característica que o distingue das demais redes neurais, sendo este também conhecido como uma rede neural do tipo Feed-Forward.

O grupo de Rosenblatt construiu um algoritmo para determinar as conexões sinápticas W_{ij} e demonstrou um teorema sobre a convergência do método. Quando fornecido ao Perceptron um dado padrão através dos neurônios de entrada, ele transforma esta informação em um padrão de saída desejado. Entretanto, M.Minsky e S.Papert [7] observaram que o teorema se aplica somente a problemas cuja estrutura é passível de computação , ou seja, a demonstração da convergência do método só se aplica a problemas que o Perceptron pode a princípio resolver. Eles deram exemplos muito simples de problemas que não po-

dem ser resolvidos pelo Perceptron, como, por exemplo, a representação da função lógica XOR (OU-exclusivo).

Rosenblatt também havia estudado Perceptrons multi-camadas e acreditava que estes poderiam superar as limitações dos Perceptrons de 2 camadas. Entretanto, não se conhecia um algoritmo prático para se obter as conexões sinápticas em um Perceptron multi camadas, como no caso do Perceptron de duas camadas. Minsky e Papert duvidavam até mesmo que fosse possível encontrar tal algoritmo de aprendizado e pensavam ser mais vantajoso explorar outras abordagens para a inteligência artificial. Com isto, a comunidade de cientistas de computação deixou o paradigma das redes neurais de lado por mais de 20 anos.

O interesse em Perceptrons multi-camadas renasceu recentemente, devido à invenção de um algoritmo para a determinação das conexões sinápticas. Este método, sugerido inicialmente por Werbos [8] e atualmente conhecido como Retropropagação de Erros ("error back-propagation") começou a ser largamente utilizado pela comunidade científica somente em 1985 [9].

O algoritmo de aprendizado, ou seja, o método de determinação das conexões sinápticas, baseia-se no princípio de que as conexões sinápticas são modificadas iterativamente de tal maneira que o sinal obtido nos neurônios de saída difira o mínimo possível do sinal que se deseja que a rede neural forneça quando apresentada a um determinado padrão através dos seus neurônios de entrada. Este algoritmo utiliza o método do gradiente, que fornece as modificações dW_{ij} que devem ser feitas nas conexões W_{ij} para obter o sinal desejado nos neurônios de saída.

A razão do grande interesse em relação às redes neurais deve-se a sua capacidade de aprender e generalizar em novas situações . Após ter sido treinada sob um número de exemplos representativos de uma determinada relação , ela pode induzir um relação completa que interpola e extrapola sobre os exemplos. Outra característica extremamente atrativa das redes neurais é seu maciço paralelismo no processamento de informações .

Existem diversas implicações interessantes quanto à possibilidade de se treinar uma rede neural para executar uma tarefa. Ao invés de ter-se que especificar todos os detalhes de um cálculo sob a forma de um programa, tem-se simplesmente que compilar um conjunto de exemplos representativos da relação que se deseja ensinar à rede. Isto significa que pode-se tratar problemas em que as regras apropriadas são difíceis de se descobrir a 'priori', como em problemas de inteligência artificial, reconhecimento da fala, reconhecimento de escrita, navegação , robótica e etc. Costuma-se dizer [4] que "as redes neurais são a segunda melhor maneira de se fazer qualquer coisa, sendo que a melhor maneira é descobrir e utilizar as regras corretas e um algoritmo ideal para cada problema em particular. Entretanto, tal tarefa pode ser extremamente complexa e difícil de se implementar, havendo portanto bastante espaço para um segunda melhor abordagem baseada no aprendizado por exemplos".

Na prática, a Computação neural tem que responder a vários problemas, muitos dos quais ainda totalmente em aberto, antes que uma implementação realmente satisfatória seja obtida para uma dada tarefa. Dentre eles, os principais pontos são os seguintes:

- Qual a melhor arquitetura para uma dada tarefa, ou seja, qual o número ideal de camadas e quantos neurônios em cada camada ?

- O que os diversos tipos de redes podem fazer e quão bem ?
- Qual o número ideal de exemplos representativos para se utilizar durante o treinamento ?
- Qual o número de vezes que devemos apresentar os exemplos à rede ?

A resposta para diversas das questões acima são obtidas, muitas vezes, através de um processo de tentativa e erro, onde se experimentam diversas possibilidades, e se escolhe a que tem a melhor performance. Este processo, entretanto, não fornece a garantia de que encontrou-se a melhor resposta mas somente uma resposta satisfatória.

1.2 O JETNET

No trabalho desenvolvido nesta tese utilizou-se uma rede neural do tipo Perceptron de várias camadas implementada em 'software'. Este programa, denominado Jetnet [10, 11], foi desenvolvido pelo grupo da Universidade de Lund em linguagem Fortran77. O Jetnet foi criado com o objetivo de trazer à física de altas energias uma nova ferramenta na análise de dados, capaz de utilizar a informação disponível de forma otimizada.

O funcionamento do Jetnet é o seguinte:

1. Os diversos pesos sinápticos são inicializados aleatoriamente
2. A informação é fornecida à rede através dos neurônios da camada de entrada I_i
3. O estado dos neurônios da camada intermediária H_i é determinado em função do estado dos neurônios da camada de entrada, das conexões sinápticas entre estas duas

camadas e do parâmetro T , denominado temperatura da rede, através da expressão :

$$H_j = F \left(\sum_i W_{ij} \frac{I_i}{T} \right) \quad (1.1)$$

4. O estado dos neurônios da camada de saída O_K , por sua vez, são obtidos a partir de:

$$O_k = F \left(\sum_j W_{jk} \frac{H_j}{T} \right) \quad (1.2)$$

A equação 1.2 é analoga a equação 1.1, porém tendo como entrada o sinal dos neurônios da camada intermediária.

5. Calcula-se o erro médio quadrático entre o estado dos neurônios de saída, O_K , e o estado, D_K , que se deseja que a rede assuma sempre que apresentada ao correspondente padrão de entrada, através dos neurônios de entrada, I_i .

$$E = \frac{1}{2} \sum_k (O_k - D_k)^2 \quad (1.3)$$

É conveniente observar que o erro E pode ser expresso como função exclusivamente das conexões sinápticas W_{ij} , W_{jk} e do estado dos neurônios de entrada I_i . A partir das expressões 1.1, 1.2 e 1.3 obtém-se que:

$$E = \frac{1}{2} \sum_k \left(F \left(\sum_j W_{jk} \frac{F \left(\sum_i W_{ij} \frac{I_i}{T} \right)}{T} \right) - D_k \right)^2 \quad (1.4)$$

6. Aplicando o gradiente para minimização do erro E obtém-se:

$$\frac{\partial E}{\partial W_{jk}} = \frac{\partial E}{\partial O_k} \frac{\partial O_k}{\partial A_k} \frac{\partial A_k}{\partial W_{jk}} = \delta_k \frac{\partial F}{\partial A_k} H_j \quad (1.5)$$

onde $A_k = \sum_j W_{jk} H_j$ e $\delta_k = O_k - D_k$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial O_k} \frac{\partial O_k}{\partial A_k} \frac{\partial A_k}{\partial H_j} \frac{\partial H_j}{\partial A_j} \frac{\partial A_j}{\partial W_{ij}} = \sum_k \delta_k W_{jk} \frac{\partial F}{\partial A_k} \frac{\partial F}{\partial A_j} I_i \quad (1.6)$$

onde $A_j = \sum_i W_{ij} I_i$

7. As expressões acima fornecem as correções que o método do gradiente implementa nas conexões sinápticas a fim de minimizar o erro E . No caso de termos uma rede neural com mais de uma camada intermediária, as expressões acima são facilmente generalizadas.

As conexões sinápticas são atualizadas a cada iteração do programa segundo as expressões

$$\Delta W_{jk} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{jk}} + \alpha \Delta W_{jk}^{old} \quad (1.7)$$

$$\Rightarrow \Delta W_{jk} = -\eta \delta_k \frac{\partial F}{\partial A_k} H_j + \alpha \Delta W_{jk}^{old}$$

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ij}} + \alpha \Delta W_{ij}^{old} \quad (1.8)$$

$$\Rightarrow \Delta W_{ij} = -\eta \sum_k \delta_k W_{jk} \frac{\partial F}{\partial A_k} \frac{\partial F}{\partial A_j} I_i + \alpha \Delta W_{ij}^{old}$$

Na expressão acima o parâmetro η , denominado parâmetro de aprendizado da rede, é responsável pela velocidade de convergência do método de minimização de E . O parâmetro de amortecimento α tem a função de amortecer possíveis oscilações da rede. Ele atua como um termo de inércia na atualização das conexões sinápticas, caracterizando a influência do valor da conexão sináptica anterior a última iteração (W_{ij}^{old}) do algoritmo.

A fase de aprendizado de uma rede neural é a etapa em que se utiliza um determinado conjunto de eventos representativos de uma relação que se deseja ensinar à rede para treinar a mesma, ou seja, é a fase em que se determina o valor de suas conexões sinápticas a fim de que ela execute uma determinada tarefa. A cada padrão apresentado à rede neural, através dos seus neurônios de entrada, a sequência de operações descrita acima é executada. Quando o algoritmo converge, a rede neural está pronta para ser utilizada como um classificador.

A rede neural tem a capacidade de extrapolar e interpolar a relação exemplificada através dos eventos apresentados a ela durante a fase de aprendizado, ou seja, ela é capaz de generalizar o conhecimento obtido durante o treinamento. Em problemas de reconhecimento de padrões, como o desenvolvido neste trabalho, deseja-se construir um mapeamento entre um conjunto de quantidades observáveis e um outro conjunto de variáveis características, a partir das quais sabemos classificar os padrões. A rede neural pode ser compreendida como um mapeamento não linear entre um conjunto de sinais de entrada e

um conjunto de sinais de saída, sendo este mapeamento realizado a partir dos exemplos representativos de uma dada relação .

Capítulo 2

A Experiência Delphi

2.1 O LEP

O LEP ('Large Electron Collider') é um acelerador de partículas situado no CERN. Ele é um colisor do tipo anel de armazenamento projetado para acelerar feixes de e^+e^- . As colisões dos feixes ocorrem em 4 pontos do acelerador, onde se situam os 4 detectores do LEP: ALEPH, DELPHI, L3 e OPAL. Cada feixe consiste de 4 aglomerados ('bunches') de $5 * 10^{11}$ partículas viajando através de um tubo de alto vácuo, onde é mantida uma pressão de 10^{-10} torr. As partículas circulam dentro do tubo do LEP a uma frequência de 10^4 Hz o que implica que ocorre a passagem de 1 aglomerado na área de cada um dos detectores a intervalos de $23\mu s$. O feixe do LEP é mantido em uma trajetória circular por um complexo sistema de magnetos posicionados ao longo dos 26.7 km do túnel subterrâneo onde fica alojado o acelerador.

Durante a primeira fase de operação do acelerador (LEP100), a energia de cada feixe pode variar entre 20 e 55 GeV, criando uma energia total no referencial de centro de massa da colisão correspondente ao pico de ressonância do Z^0 ($\sqrt{s} = 91$ GeV). Isto permitiu, até agora, a obtenção de 10^6 eventos de Z^0 por detector. Em um estágio de operação posterior

(LEP200), a energia por feixe poderá alcançar até 95 GeV, que é a energia limiar para produção de W^+ e W^- ($\sqrt{s} = 190$ GeV).

- *O Feixe do LEP e a Luminosidade*

As dimensões transversas do feixe ao longo do eixo vertical (Y) e horizontal (X) são determinadas pelas características dos magnetos colimadores. O perfil da densidade transversal do feixe é bem descrito pela seguinte expressão:

$$\rho(x, y) = \frac{N_{\pm} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \quad (2.1)$$

onde N_{\pm} é o número de partículas positivas ou negativas em cada aglomerado do feixe e σ_x e σ_y são as dimensões transversais dos raios do feixe, cujos valores típicos são:

$$\sigma_x = 300\mu m$$

$$\sigma_y = 10\mu m$$

A luminosidade é a grandeza que caracteriza a intensidade do feixe de um acelerador. Ela mede a frequência com que se geram os eventos, sendo definida como o fator de proporcionalidade entre o número de eventos em um determinado processo e sua seção de choque

$$\frac{dN(e^+e^- \rightarrow X, t)}{dt} = L(t) * \sigma(e^+e^- \rightarrow X) \quad (2.2)$$

Podemos reescrever a expressão em termos dos parâmetros específicos do acelerador, obtendo assim

$$L(t) = \frac{N_+ N_- n_b f}{4\pi\sigma_x\sigma_y} \quad (2.3)$$

$$\Rightarrow L(t) \simeq 1.6 * 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$$

sendo f a frequência de revolução e n_b o número de aglomerados do feixe. A luminosidade do LEP pode ser aumentada com o uso dos magnetos supercondutores de quadrupolo, situados a poucos metros de cada ponto de colisão. Esses quadrupolos reduzem a dimensão do feixe em áreas próximas aos detectores, aumentando assim a frequência com que ocorrem as colisões.

- *O ciclo do LEP*

O período de tomada de dados no LEP é dividido em ciclos. Em cada um deles, os elétrons e pósitrons, que são produzidos no LIL ('Injetor Linear do LEP') passam por diversos estágios de aceleração :

1. Inicialmente o LIL produz um feixe de elétrons que passa por um conversor, onde parte dos elétrons são convertidos em pósitrons. Estes dois feixes são acelerados até 300 MeV e então são injetados no EPA.
2. No anel de acumulação EPA ('Acelerador de Elétrons e Pósitrons'), os feixes são acelerados a 500 MeV. Eles permanecem no anel sendo acumulados até atingirem uma intensidade suficiente, quando então são injetados no PS.

3. O Terceiro estágio de aceleração ocorre no PS ('Sincroton de Prótons'), onde os feixes são levados à energia de 3.5 GeV e em seguida injetados no SPS.
4. O SPS ('Super Sincroton de Protons') eleva a energia dos feixes a 22 GeV e finalmente os injeta no LEP.
5. No LEP ocorre o último estágio de aceleração . Os feixes injetados no anel do LEP vão se acumulando por um período de aproximadamente uma hora até um patamar mínimo de intensidade, quando então são acelerados até a energia nominal de 45 GeV. Quando os detectores estão preparados, iniciam-se as colisões e começa então a fase de tomada de dados. Durante este período a intensidade dos feixes decresce de forma exponencial com uma vida média de várias horas. Quando os feixes atingem um valor mínimo, estes são interrompidos e um novo ciclo é iniciado.

- *O Ruído de Fundo do LEP*

O ruído de fundo do LEP é proveniente de partículas que atingem os detectores, sem terem sido criadas na colisão entre os elétrons e pósitrons. Estas partículas podem ser confundidas com as partículas criadas na colisão , causando falsas identificações . As principais fontes de ruído no LEP, em ordem decrescente de importância, são :

1. Fótons de radiação sincroton de baixa energia
2. Partículas do feixe com baixo momento
3. A aura de múons do feixe

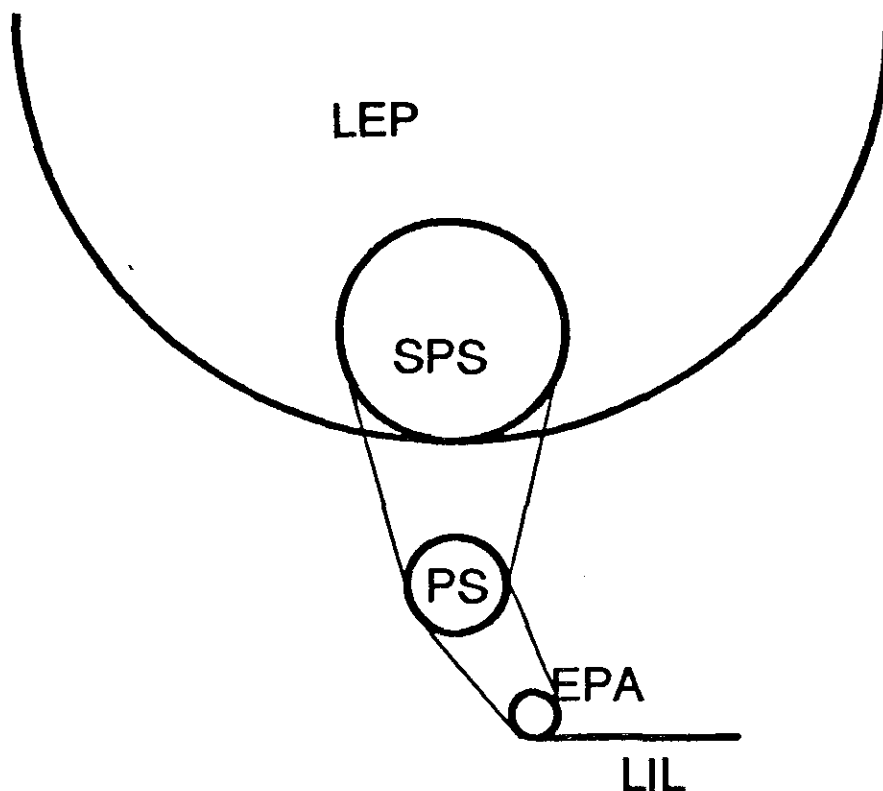


Figura 2.1: LEP e os diversos pré-aceleradores

As taxas típicas do ruído de fundo do LEP, devido a fótons e a partículas do feixe de baixo momento, são de aproximadamente 10^{17} fótons/segundo e $2 \cdot 10^6$ elétrons/segundo, respectivamente. Somente uma fração desses ruídos alcança as áreas experimentais e os detectores, pois um eficiente sistema de colimadores foi colocado próximo às regiões de colisão, a fim de reduzir, de várias ordens de grandeza, o fluxo destas partículas para dentro dos detectores.

2.2 O Detector DELPHI

O detector fica situado em uma caverna a 100m abaixo do solo. Ele tem a forma de um cilindro e é subdividido em 2 partes: o cilindro ou barril e as duas tampas laterais do barril que formam as bases do cilindro. O barril é circundado por câmaras de contagem

onde ficam o equipamento eletrônico e computadores de cada subdetector e também o gás, o equipamento criogênico e as fontes de alimentação . DELPHI é um detector com uma arquitetura convencional para um colisor de e^+e^- , exceto pela presença do subdetector RICH (Anel de Imagem por Radiação Cerenkov) que, associado ao subdetector de microvértices, possibilita uma alta precisão na identificação de partículas, dando a DELPHI uma posição de destaque em termos de identificação . Os outros subdetectores como a TPC (Câmara de Projeção Temporal) e a HPC (Câmara de Projeção de Alta Densidade), permitem uma reconstrução tridimensional das trajetórias das partículas carregadas e chuveiros com boas resoluções e granularidade [2]. Os detectores de traços são envolvidos por um campo magnético de 1.2 Tesla (5000 Amperes) uniforme e paralelo ao eixo do feixe, que é gerado pela maior bobina supercondutora existente. A bobina possui 7.4 m de comprimento por 5.2 m de raio e fica situada em torno da HPC.

O detector DELPHI é subdividido em diversos subdetectores independentes segundo a função específica de cada um.

1. detectores de traços

- VD: detector de vértices
- ID: detector interno
- TPC: câmara de projeção temporal
- OD: detector externo
- MUB: câmara de múons do barril
- MUF: câmara de múons frontal

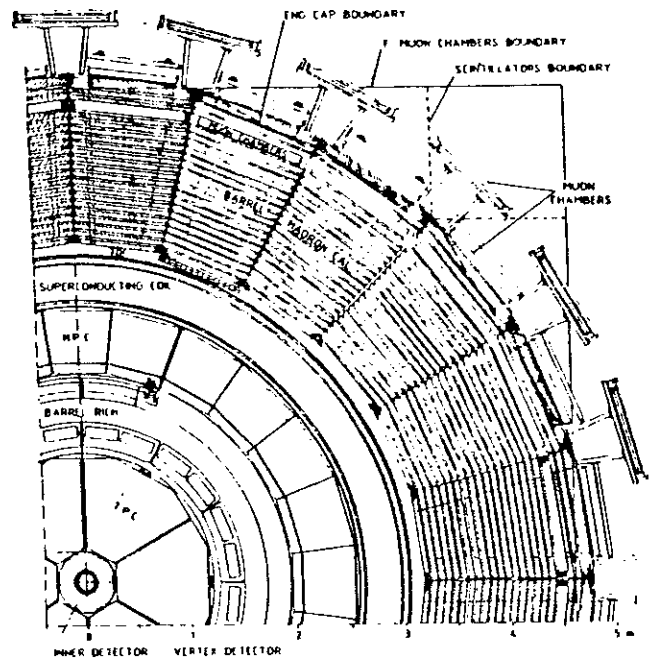
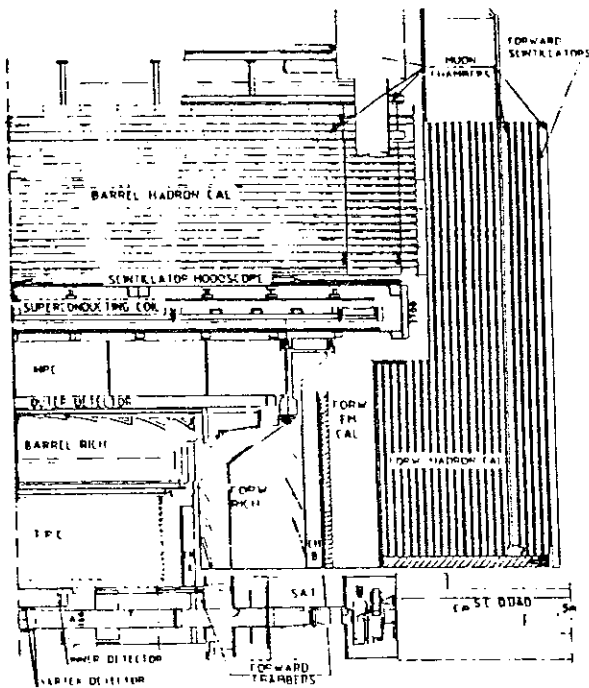
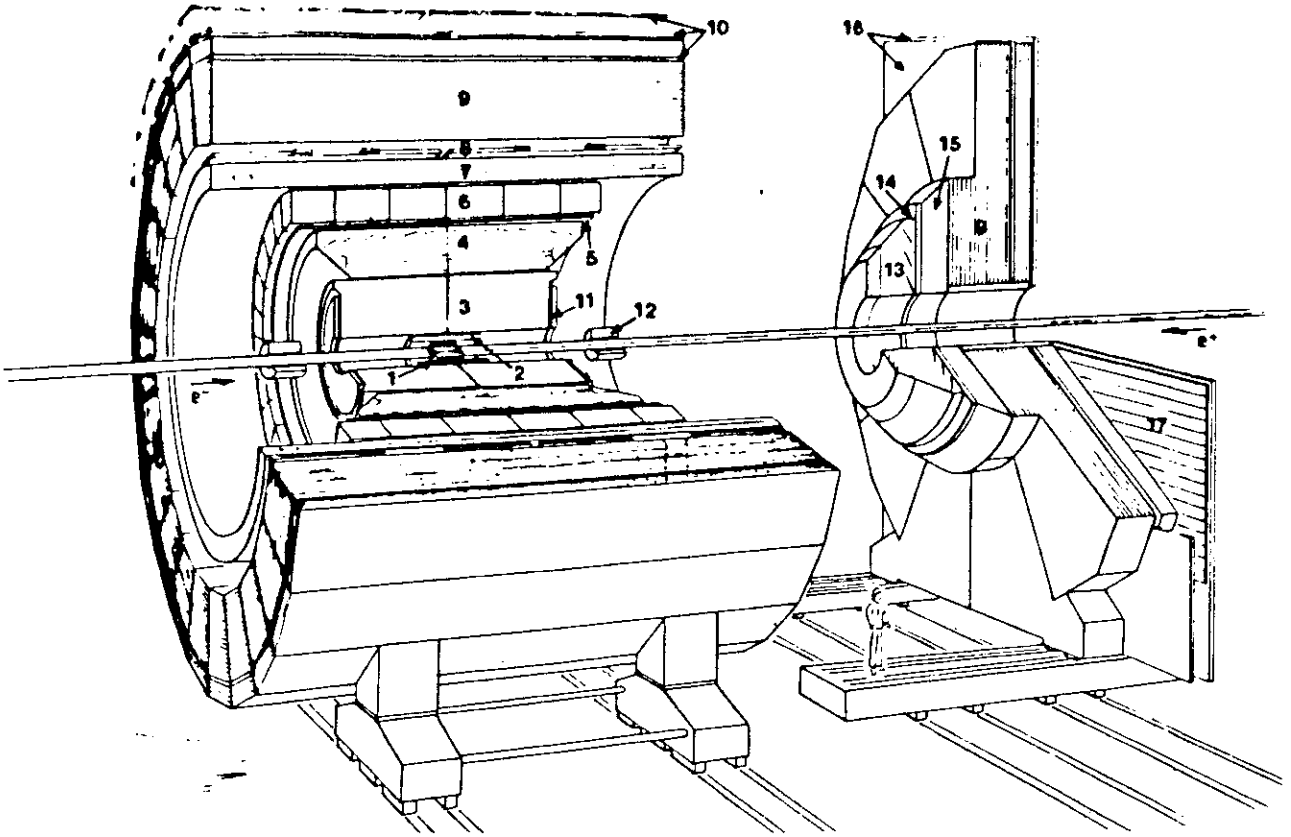


Figura 2.2: Esquema do Detector DELPHI

- FCA: câmara de traços frontal A
- FCB: câmara de traços frontal B

2. Calorímetros

- HPC: câmara de projeção de alta densidade
- FEMC: calorímetro eletromagnético frontal
- HAC: calorímetro hadrônico
- SAT: identificador de baixo ângulo
- VSAT: identificador de ângulos muito baixos

3. Cintiladores

- TOF: tempo de voo
- HOF: hodoscópios frontais

4. Identificador de partículas por radiação Cerenkov

- RICH: identificador por anéis de radiação Cerenkov

Na figura 2.2 mostram-se cortes do detector. O eixo Z coincide com a direção de circulação dos elétrons no LEP, θ é o ângulo de inclinação em relação ao eixo Z e ϕ é o ângulo azimutal.

- *O Detector de Microvértice (VD)*

O Detector de Microvértice (figura 2.3), também conhecido como Detector de Vértices, fica situado no barril e cobre a região angular $43^\circ < \theta < 137^\circ$. Ele é formado por 3

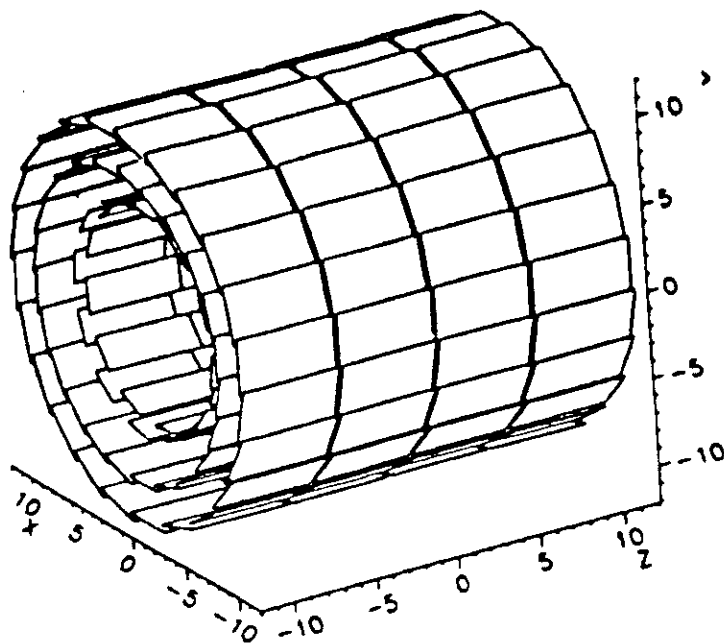


Figura 2.3: Detector Microvertice

cilindros concêntricos de raios 6.3 cm, 9 cm e 11 cm . A camada mais interna denominada de 'Closer', possui 22 cm de comprimento enquanto que as duas camadas mais externas a 'Inner' e a 'Outer' possuem 24 cm de comprimento. Cada camada é formada por 24 módulos dispostos de tal forma que tenham 10% de superposição entre eles em ϕ . Cada módulo consiste de 4 detectores de silício formados por microtiras paralelas ao eixo Z. Esse detector é o mais próximo da região de interação e sua quantidade total de matéria é de 1.5% comprimentos de radiação .

O Microvértice tem uma importância fundamental na resolução do vértice primário da interação e do parâmetro de impacto das partículas carregadas. A incerteza no parâmetro de impacto pode ser parametrizada em termos do momento transversal p_t da partícula, pela seguinte expressão :

$$\sigma_{imp} = \sqrt{\left(\frac{69}{p_t}\right)^2 + 24^2} \quad (2.4)$$

onde o momento é medido em GeV e o erro no parâmetro de impacto em μm .

Através de uma medida de grande precisão da coordenada transversa $R\phi$ a somente alguns centímetros do ponto de colisão, o Microvértice também proporciona uma melhora substancial na determinação do momento da partícula, quando sua informação é usada em conjunto com a informação proveniente dos detectores ID, TPC e OD.

A passagem de uma partícula carregada sensibiliza as tiras nas placas de silício, possibilitando a seguinte resolução para um único ponto de um traço

$$\sigma_{R\phi} = 6 \quad \mu m$$

e uma resolução para a separação entre dois traços de

$$\delta_{R\phi} = 120 \quad \mu m$$

Cabe ressaltar que um único traço pode ter no máximo 6 pontos sendo 2 em cada camada do Microvértice.

- *O Detector Interno (ID)*

O Detector Interno de traços é formado por duas câmaras de arrasto com diferentes características.

- A Câmara de Jatos do ID é uma câmara de arrasto que começa a uma distância radial de 13 cm do eixo Z e cobre a região angular $17^\circ < \theta < 163^\circ$ que se estende ao longo do eixo do feixe de $Z=-40$ cm a $Z=40$ cm. Ela é segmentada em 24 setores $R\phi$ de 15° , simetricamente divididos por 24 fios radiais. A medida do tempo de arrasto através dos fios permite a detecção de aproximadamente 20 pontos ao longo de cada trajetória . A resolução em $R\phi$ por ponto é de $100 \mu m$.
- A Câmara de Gatilho do ID cobre a região $33^\circ < \theta < 147^\circ$, começando em $R = 25$ cm da linha do feixe. Ela consiste de 5 camadas cilíndricas, cada uma com 192 fios dispostos azimutalmente e operando em modo proporcional(MWPC), e 192 fitas circulares atuando como cátodos. Esta câmara faz parte do sistema de gatilho rápido de DELPHI. A medida de $R\phi$ e Z dos pontos da trajetória é feita ao longo dos fios da câmara.

O número de pontos da trajetória medidos pelo ID é descrito pela seguinte função do ângulo θ .

$$N_{\text{pontos}} = \begin{cases} 29, & \text{se } 33^\circ < \theta < 147^\circ \\ (2\theta - 33), & \text{se } 17^\circ < \theta < 30^\circ \end{cases} \quad (2.5)$$

As resoluções do detector para as coordenadas de um ponto da trajetória são

$$\sigma_{R\phi} = 52 \mu m$$

$$\sigma_Z = 600 \mu m$$

enquanto que a resolução angular na direção da trajetória num dado ponto é dada por

$$\sigma_{\phi} = 1.5 \text{ mrad}$$

$$\sigma_{\theta} = 40 \text{ mrad}$$

A separação entre duas trajetórias tem uma resolução máxima de

$$\delta_{R\phi} = 1 \text{ mm}$$

$$\delta_Z = 1 \text{ cm}$$

- *A Câmara de Projeção Temporal (TPC)*

A Câmara de Projeção Temporal é uma câmara de arrasto com 2 meio cilindros de 134 cm de comprimento, e raios interno e externo de 30 cm e 120 cm respectivamente. Os dois cilindros são separados por uma parede plana central situada em $Z=0$. A TPC opera a uma pressão de 1atm com uma velocidade de arrasto tipicamente de 6.5 cm/ μ s. Os elétrons criados no processo de ionização do gás pelas partículas são arrastados na direção da parede, sob a ação de um campo elétrico paralelo ao eixo Z, onde eles induzem um sinal por um processo de ionização em avalanche. Cada tampa é azimutalmente dividida em 6 setores com 16 camadas circulares, formando uma coluna e 192 fios sensíveis. O número de camadas por coluna é um múltiplo de 16 e varia com o raio, dando um total de 1680 camadas por setor.

Este detector mede no máximo 16 pontos ao longo da trajetória da partícula, número este que depende do ângulo da trajetória θ . Ele permite uma reconstrução tridimensional do segmento de trajetória dentro de seu volume sensível, e é usado como um

pivô para iniciar a reconstrução das trajetórias de partículas carregadas na região angular $22^\circ < \theta < 158^\circ$. Dentro desta região o detector consegue medir pelo menos 4 pontos da trajetória. As dimensões dos cátodos são de 7.5 mm por 8 mm, permitindo uma boa separação entre os traços. A parede central em $Z=0$ possui uma espessura de poucos centímetros e da uma ineficiência angular de aproximadamente 2° .

A quantidade de matéria na parede interna do detector é de 0.1 comprimentos de radiação. A parede da tampa do detector que é atravessada por trajetórias na região frontal equivale a 0.45 comprimentos de radiação. Essa matéria representa uma fonte de conversão de fótons no detector.

A altura do pulso induzido nos fios pelas partículas cruzando o detector fornece uma medida da perda de energia das partículas, $\frac{dE}{dX}$, permitindo uma separação entre elétrons e píons de energia abaixo de 8 GeV com uma resolução de 5.5%.

As resoluções típicas do detector são

$$\sigma_{R\phi} = 400 \text{ } \mu m$$

$$\sigma_Z < 1.8 \text{ } mm$$

$$\frac{\sigma_p}{p} = \sqrt{[(0.7p)^2 + 0.48]} \% \quad \theta = 90^\circ$$

$$\frac{\sigma_p}{p} = \sqrt{[(0.5p)^2 + 0.58]} \% \quad \theta = 50^\circ$$

$$\frac{\sigma_p}{p} = [(0.7p)^2 + 0.48] \% \quad \theta > 35^\circ \quad p \gg 1$$

Para a separação entre dois traços, a resolução é de

$$\delta_{R\phi} = 2 \text{ cm}$$

$$\delta_Z = 1 \text{ cm}$$

- *O Detector Externo (OD)*

O Detector Externo começa a uma distância radial de 197 cm do feixe e cobre a região angular $43^\circ < \theta < 137^\circ$. Ele é segmentado em 24 setores em $R\phi$, cada um contendo 145 tubos de arrasto de 4m de comprimento ao longo de Z e agrupados em 5 camadas. O OD participa do sistema de gatilho rápido, informando as coordenadas $R\phi$ e Z dos pontos das trajetórias. Cada camada dos tubos de arrasto contribui com pelo menos 1 ponto para a reconstrução da trajetória, sendo que o número de pontos depende do ângulo da trajetória. A medida das coordenadas $R\phi$ e ϕ é feita a partir do tempo de arrasto em cada tubo, enquanto que a medida de Z é obtida reconstruindo-se o intervalo de tempo nas extremidades dos fios.

As resoluções típicas obtidas no OD são

$$\sigma_{R\phi} = 110 \text{ } \mu m$$

$$\sigma_Z = 4 \text{ cm}$$

- *A Câmara de Traços Frontal A (FCA)*

A Câmara Frontal A situa-se logo atrás da TPC, perpendicularmente ao eixo Z e cobre a região angular $11^\circ < \theta < 33^\circ$ e $147^\circ < \theta < 169^\circ$. Cada braço do detector

consiste de 3 câmaras rodadas entre si por um ângulo de 120° e construídas como 2 meio-discos de raios internos e externos de 29 cm e 101 cm, respectivamente. Cada meio-disco possui 2 planos desalinhados de 64 tubos, sendo que o primeiro disco tem suas extremidades em $Z = \pm 155$ cm. Essas câmaras participam do subgatilho de traços nas direções anterior e posterior do barril e fornecem a medida de 2×3 coordenadas para partículas carregadas atravessando as tampas do barril até ângulos extremamente baixos em relação ao feixe.

As resoluções obtidas são :

$$\sigma_x = 500 \quad \mu m$$

$$\sigma_y = 350 \quad \mu m$$

$$\sigma_\theta = 15 \quad mrad$$

$$\sigma_\phi = 39 \quad mrad$$

- *A Câmara de Traços Frontal B (FCB)*

A Câmara Frontal B consiste de 2 braços, 1 em cada tampa do barril, cobrindo a região angular $13^\circ < \theta < 35^\circ$ e $145^\circ < \theta < 167^\circ$. Cada tampa consiste de 2 meios discos com raios interno e externo de 48 cm e 211 cm respectivamente, perpendiculares ao eixo Z ao longo de $\|Z\| = 260-274$ cm. Os 2 meios discos em X positivo e negativo são separados por uma zona morta de alguns centímetros em torno de $\Phi = 90^\circ$ e $\Phi = 270^\circ$.

As câmaras em cada tampa do barril tem 12 planos sensíveis separados por 1.1 *cm*, com 3 diferentes orientações e agrupados em pares desalinhados e rodados de 120° entre si. A distância entre os fios sensíveis de um mesmo plano é de 2 *cm*, impondo um comprimento de arrasto de 1 *cm*. A FCB participa juntamente com a FCA e a TPC no sub-gatilho de traços na região anterior e posterior. A medida de 4x3 coordenadas dá uma determinação precisa dos parâmetros das trajetórias das partículas, o que implica em uma melhora significativa na resolução de momento até nas regiões de ângulos muito baixos em relação ao feixe.

As resoluções são de

$$\sigma_{x,y} = 150 \quad \mu m$$

$$\sigma_{\theta} = 3.5 \quad mrad$$

$$\sigma_{\phi} = 9 \quad mrad$$

- *A Câmara de Múons do Barril (MUB)*

A Câmara de Múons do Barril é formada por 3 camadas de câmaras de arrasto cobrindo a região angular $53^{\circ} < \theta < 127^{\circ}$. Cada camada é segmentada em 2x24 setores em $R\phi$, cujo formato é o de placas retangulares compridas, com câmaras de arrasto de comprimento 3.65m que operam em modo proporcional. Os tubos de arrasto têm uma extensão de 20.8m e uma altura de 2.6cm, e as linhas temporizadoras atuam como um eletrodo que gera um campo central.

- A Camada Interna: inserida dentro do anel colimador do Calorímetro Hadrônico após 90 *cm* de ferro, ela consiste de 2x24 placas. Cada placa com uma ex-

tensão de 104 cm, possui 3 planos de tubos de arrasto não alinhados, porém somente 2 são lidas.

- A Camada Exterior: montada sobre a superfície exterior do anel colimador de ferro, cada placa tem 83 cm de extensão consistindo de 2 camadas de tubos de arrasto não alinhados.
- A Camada Periférica: instalada a 50cm do anel colimador de ferro, cada placa possui 83 cm de extensão, cobrindo as zonas mortas das camadas Interna e Exterior e consistindo de 2 camadas de tubos de arrasto não alinhados.

Na camada Periférica, cada setor se superpõe com os 2 setores adjacentes das camadas Interior e Exterior e o correspondente setor do anel colimador adjacente, enquanto que nas camadas Interna e Externa, o setor das câmaras cobre parcialmente o setor correspondente do Calorímetro Hadrônico.

A coordenada Z é determinada a partir da medida do intervalo de tempo de chegada entre o pulso em cada extremo da linha de retardo, enquanto que a medida da coordenada $R\phi$ é obtida do tempo de arrasto até o fio. A maior parte das trajetórias dos Múons atravessam 2 camadas de câmaras produzindo idealmente a medida de 4 pontos da trajetória, ou seja, quatro conjuntos de coordenadas $R\phi$ e Z . Nas regiões da câmara com superposição de 3 camadas, podem ser medidos até 6 pontos da trajetória dos múons.

O tempo medido na linha de retardo é da ordem de 180ns/m, enquanto que o tempo de arrasto é de 40 $\mu\text{m}/\text{ns}$, permitindo uma resolução em $R\phi$ e em Z de

$$\sigma_{R\phi} = 4 \text{ mm}$$

$$\sigma_z = 2.5 \text{ mm}$$

- *A Câmara de Múons Frontal (MUF)*

Cada tampa do barril possui uma Câmara de Múons plana, cobrindo a região angular $13^\circ < \theta < 45^\circ$ e $135^\circ < \theta < 167^\circ$, operando em modo limite de correnteza. Cada plano possui 4 quadrantes de $448 \times 448 \text{ cm}^2$, sendo que cada quadrante tem 2 camadas de 22 câmaras de arrasto com fios anodo cruzando a 90° . A região sensível dos quadrantes situa-se em $12 \text{ cm} < \|x, y\| < 448 \text{ cm}$, excluindo a região definida por $\|x\| < 91 \text{ cm}$ e $\|y\| < 91 \text{ cm}$. O primeiro plano fica inserido dentro do anel colimador, atrás de 85 cm de ferro. O segundo plano está localizado fora do anel colimador, a 30 cm do primeiro plano, depois de uma camada de 20 cm de ferro. De maneira similar à Câmara de Múons do barril, as coordenadas X e Y são obtidas a partir das medidas do tempo de arrasto até o fio anodo e dos dois tempos de retardo. As trajetórias dos Múons cruzam 2 câmaras permitindo a detecção de 4 pontos da trajetória, o que corresponde a 2 conjuntos de coordenadas X e Y por camada.

Os valores típicos para a linha de retardo e para a velocidade de arrasto são 600 nseg/m e $10 \mu\text{m/seg}$, respectivamente. Isto resulta numa resolução espacial média sobre todas as camadas de

$$\sigma_{X,Y} = 3 \text{ mm}$$



- *A Câmara de Projeção de Alta Densidade (HPC)*

A Câmara Proporcional de Alta Densidade é um calorímetro eletromagnético situado no barril, cobrindo a região angular $43^\circ < \theta < 137^\circ$. Ela é subdividida ao longo do eixo Z em 6 anéis separados por 1 cm (exceto em $Z=0$, onde os anéis são separados por 7.5 cm). Os anéis são segmentados azimutalmente ($R\phi$) em 24 módulos, espaçados por 1cm, sendo que cada um dos 144 anéis começa a 208cm de distância radial do feixe, estendendo-se até 260 cm. Esses anéis consistem de 41 placas conversoras de chumbo com estrutura de tipo acordeão imersa em gás sensível, onde as placas são espaçadas por 8 mm. As 9 camadas radiais do calorímetro correspondem a um total de 18 comprimentos de radiação. Essas camadas de chumbo também atuam confinando o campo elétrico estabelecendo um campo elétrico ao longo do eixo Z nas regiões preenchidas com gás. Um cintilador plano fica inserido a 4.5 comprimentos de radiação com o propósito de utilizar a HPC no sistema de gatilho.

O modo de operação da HPC é inspirado na mesma técnica de projeção de tempo da TPC, onde os elétrons provenientes do conversor de chumbo penetram nos espaços preenchidos por gás sendo arrastados em direção à câmara proporcional situada no fim do plano Z do módulo. Esta técnica quando aplicada ao calorímetro, permite determinar, com uma boa resolução, a posição do chuveiro ou seja das coordenadas R, $R\phi$ e Z. Além disso, devido à boa granularidade, a configuração de 9 camadas radiais da HPC permite uma acurada reconstrução tri-dimensional do chuveiro.

As resoluções típicas da posição do chuveiro são de

$$Z = 4 \text{ mm}$$

$$R = 4.5 \text{ mm}$$

$$R\phi = 4.0 \text{ mm}$$

com uma precisão na separação entre dois chuveiros de

$$\delta_Z > 2 \text{ cm}$$

$$\delta_{R\phi} > 4 \text{ cm}$$

A HPC fornece uma resolução na energia e na direção dos chuveiros de

$$\sigma_\theta = 25 \text{ mrad}$$

$$\sigma_\phi = 50 \text{ mrad}$$

A resolução na energia fracional obtida a partir da reconstrução de eventos Bhabha, no ano de 1992 foi de

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{0.44}{0.60} + 0.042$$

- *O Calorímetro Eletromagnético Frontal (FEMC)*

Os Calorímetros Eletromagnéticos Frontais situam-se nas tampas do barril e cobrem a região angular definida por $10^\circ < \theta < 36.5^\circ$ e $143.5^\circ < \theta < 170^\circ$. Eles consistem

de 4500 blocos de chumbo e vidro com uma geometria piramidal apontando para a região de interação, formando um reticulado bi-dimensional de $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ($\sim 1^\circ \times 1^\circ$) contadores, que se encontram distribuídos em um disco circular cujos raios interno e externo são de 45 cm e 240 cm, respectivamente. Os planos do calorímetro se encontram em $Z = \pm 284 \text{ cm}$ e se estendem por 40 cm em profundidade ao longo de Z. A matéria contida no FEMC é de 20 comprimentos de radiação e um raio de Moliere.

A resolução da energia e da posição do chuveiro é de

$$\frac{\sigma_E}{E} = \sqrt{\left(0.35 + \frac{5}{\sqrt{E}}\right)^2 + \left(\frac{6}{E}\right)^2} \%$$

$$\sigma_{X,Y} = \frac{8.2}{\sqrt{E}} \text{ mm}$$

A resolução da energia fracional obtida na reconstrução de chuveiros provenientes de eventos Bhabha a 45 GeV durante o ano de 1992 foi de

$$\frac{\sigma_E}{E} = 9\%$$

- *O Calorímetro Hadrônico (HAC)*

Os calorímetros hadrônicos do barril e das tampas do barril cobrem conjuntamente a região angular definida por $10^\circ < \theta < 170^\circ$.

- A Seção do Barril

O HAC do barril, também conhecido por HAB, tem a forma de um cilindro de 8 m de extensão, segmentado em 24 módulos em $R\phi$. Cada módulo é

formado por 19 placas de ferro com 5 *cm* de espessura, 2 placas de ferro com 2.5 *cm*, e 1 placa de ferro com 10 *cm* encobrindo a camada interna da Câmara de Múons, correspondendo a um comprimento radial de 110 *cm* de ferro (6 comprimentos de interação de um Pion), e iniciando a uma distância radial de 320 *cm* do feixe. Os tubos de arrasto operam em modo limitado e preenchem o espaço entre placas de ferro consecutivas. A detecção é feita a partir da carga induzida nos tubos pelas partículas que atravessam o detector.

– A Seção das Tampas

O HAC das tampas, também conhecido por HAF, é formado por discos com 105 *cm* de comprimento e 4.6 *cm* de raio, aos quais estão conectadas peças circulares com 40 *cm* de comprimento e 4.6 *cm* de raio. Cada tampa é segmentada em 12 módulos iguais com 21 placas de ferro de 5 *cm* de espessura espacadas 17 *mm*. Os elementos sensíveis do detector são câmaras de fios multi-celulares operando em modo de arrasto limitado que se situam entre as placas de ferro.

O HAC é organizado em torres apontando para a região de interação , cobrindo a região angular $\Delta\theta = 3^\circ$ $\Delta\phi = 3.75^\circ$ tendo uma dimensão de 25x25x35 *cm*² na região do barril. Os grupos de 16 torres adjacentes em um único plano definem uma super-torre e são lidas pela mesma placa eletrônica. As super-torres, por sua vez, são agrupadas em hipertorres, consistindo de todas as super-torres situadas ao longo do mesmo intervalo angular em θ . Cada metade do barril(em Z positivo ou negativo) consiste de 232 torres (15 super-torres , 4 hiper-torres) e cada tampa do barril consiste de 176 torres (13 supertorres, 4 hipertorres).

A resolução na medida da energia é de

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{120}{\sqrt{E}}\%$$

com granularidade (dependente do tamanho da torre) de 10 cm.

- *O Identificador a Pequenos Ângulos (SAT)*

O Identificador a Pequenos Ângulos é um detector destinado à monitoração da luminosidade do feixe através da contagem de eventos do tipo Bhabha a pequenos ângulos, cuja seção de choque é bem conhecida e tem uma dependência em θ tal que $\frac{d\sigma}{d\theta}$ é proporcional a $\frac{1}{\theta^3}$. O SAT consiste de 2 braços de forma cilíndrica cobrindo a região angular $2.5^\circ < \theta < 7.7^\circ$, situados próximo a cada uma das tampas do barril em $Z = \pm 250$ cm. Cada braço do detector é dividido em dois semi-cilindros separados por uma região morta de 2 cm e possui um calorímetro eletromagnético com 28 comprimentos de radiação de espessura, composto de folhas de chumbo concêntricas com o feixe, alternando-se com fibras cintiladoras paralelas ao feixe. Os calorímetros de chumbo e as fibras cintiladoras de um dos braços são complementados por um detector de traços feito de 3 planos de detectores de silício situados a $Z = -203$ cm, $Z = -216$ cm, $Z = -230$ cm, que possuem um raio interno de 10 cm, cobrindo a região angular $43.5 \text{ mrad} < \theta < 120 \text{ mrad}$. Esses detectores reconstroem com uma resolução de $\sigma_\theta = 1.5$ mrad a direção da trajetória da partícula e o ponto em que a partícula penetrou no calorímetro do SAT, permitindo uma definição do raio interior de aceitação de aproximadamente 40 μm . O outro braço do calorímetro é recoberto por uma máscara de chumbo com uma espessura de 12 comprimentos de

radiação, cuja a função é definir precisamente a região fiducial do detector.

A resolução obtida na energia é de

$$\frac{\sigma_E}{E} = \left[\sqrt{(1.2)^2 + \frac{(11.4)^2}{E}} + 2.3 \right] \%$$

- *O Identificador a Ângulos Muito Pequenos (VSAT)*

O Identificador a Ângulos Muito Pequenos realiza uma contagem de eventos a ângulos muito baixos com gatilho independente dos demais detectores de DELPHI . Ele realiza um controle rápido de luminosidade e do funcionamento do LEP e também mede o ruído de fundo de processos Bhabha. Cada braço consiste de dois calorímetros retangulares de tungstênio e silício com 5 *cm* de altura, 3 *cm* de largura e 10 *cm* de comprimento, situados a $Z = \pm 7.7$ *m*. O VSAT cobre a região angular $5 \text{ mrad} < \theta < 7 \text{ mrad}$.

A resolução obtida na energia é de

$$\frac{\sigma_E}{E} = 0.5\%$$

- *O Detector de Tempo de Vôo (TOF)*

O Detector de Tempo de Vôo é um cintilador situado no barril cobrindo a região angular $41^\circ < \theta < 139^\circ$. Ele tem um formato cilíndrico e possui um raio interno de 310 *cm* e fica inserido entre o magneto supercondutor e o calorímetro hadrônico. O TOF é constituído de uma única camada de 172 contadores de cintilação segmentada em 24 setores $R\phi$, com uma extensão de 3.5 *m* ao longo de Z. Ele tem um

comprimento de atenuação de 135 *cm* e uma resposta mínima de 40 fóto-elétrons para uma partícula ionizante.

Este detector desempenha um papel de grande importância em todo o sistema de gatilho de DELPHI. Ele é, também, responsável pela identificação de raios cósmicos na região do barril, pois a medida do tempo de voo é utilizada para eliminar múons provenientes de raios cósmicos.

A resolução temporal é de aproximadamente

$$\sigma_t = 1.2 \text{ nseg}$$

com uma resolução espacial correspondente a

$$\sigma_z = 20 \text{ cm}$$

- *O Hodoscópio Frontal (HOF)*

O Hodoscópio Frontal consiste de 2 cintiladores planos, estando cada um situado em uma das tampas do barril, depois do anel colimador do HAF e antes do segundo plano da MUF. Cada plano é segmentado em 4 setores denominados quadrantes dos 28 hodoscópios. Este detector participa em todo o sistema de gatilho da região frontal. Ele realiza juntamente com o TOF o gatilho de raios cósmicos e é o único detector responsável pelo gatilho de múons da aura do feixe.

A resolução temporal obtida no HOF é de

$$\sigma_t = 5 \text{ ns}$$

e o comprimento de atenuação é aproximadamente 1.5 *m*.

- *O Identificador por Anéis de Radiação Cerenkov (RICH)*

O detector à Imagem de Anéis de Radiação Cerenkov é um contador de radiação usado na identificação de hadrons como píons, káons e prótons em uma grande região do espectro de momento destas partículas. Ele tem a forma de um cilindro e cobre a região angular $41.5^\circ < \theta < 138.5^\circ$ estendendo-se por um comprimento de 3.5 m ao longo de Z e com raios interno e externo de 123 cm e 192 cm, respectivamente, sendo segmentado em 24 setores em $R\phi$ em cada um dos Z-hemisférios. Cada hemisfério possui uma caixa de líquido irradiador montada próxima ao raio interno e seguida por tubos de arrasto e um meio irradiador à gás. Um total de 288 espelhos parabólicos cobrem a superfície externa do detector.

Os fótons da radiação Cerenkov provenientes de partículas atravessando o meio líquido do detector entram nos tubos de arrasto, onde são absorvidos por um agente fóto-ionizador (TMAE). Os elétrons produzidos por ionização são arrastados ao longo dos tubos até a placa terminal onde são detectados por uma câmara proporcional (MWPC). O fio anodo fornece a coordenada ϕ enquanto que o tempo de arrasto fornece a coordenada Z do fóton Cerenkov. O baricentro da fita do catodo fornece a coordenada R na qual a ionização ocorreu.

Os fótons produzidos por efeito Cerenkov, emitidos em um cone centrado na trajetória da partícula dentro do meio irradiador gasoso são refletidos pelos espelhos parabólicos e focalizados nos tubos de arrasto definindo um padrão característico de imagens em forma de anéis. Como anteriormente, os fóto-elétrons produzidos são arrastados até à câmara de leitura. A profundidade (R) é medida pelas fitas

do catodo permitindo uma separação entre elétrons de anéis de radiação Cerenkov distintos. A velocidade da partícula pode ser determinada a partir do tamanho dos anéis.

No ano de 1992 entrou em operação o RICH das tampas do barril, cujo princípio de funcionamento é o mesmo do RICH do barril.

Separação entre kaons e pions de até 20 GeV e kaons e prótons de até 30 GeV é obtida no RICH do barril.

2.3 O Gatilho e a Aquisição de Dados de DELPHI

- *O Sistema de Gatilho*

Em um Experimento como DELPHI se estudam processos com probabilidades muito baixas de ocorrer. Isto significa que eventos realmente interessantes são gerados com uma frequência mais baixa que o ruído de fundo, constituído por eventos espúrios que podem gerar sinais nos detectores. Devido à grande quantidade de informação que se manipula a cada evento nestes tipos de experimento, não se pode permitir que o sistema de aquisição de dados registre toda a informação proveniente dos detectores, pois o tempo necessário para tal seria muito grande. Surge então a necessidade de um mecanismo que pré-processe a informação de cada evento para fazer uma filtragem nos sinais dos detectores. Este sistema é denominado de Gatilho e se baseia em um conjunto de combinações lógicas dos sinais dos detectores que somente quando inteiramente satisfeitas permitem que o evento seja lido e gravado.

DELPHI possui um complexo sistema de gatilho em 4 níveis que foi desenvolvido

para operar em regimes de alta luminosidade e ruído de fundo. Os dois primeiros níveis do gatilho, denominados gatilho de primeiro nível (T1) e de segundo nível (T2), são sincronizados com a passagem dos aglomerados do feixe pela área experimental, o que ocorre a cada $23 \mu\text{s}$. As decisões dos gatilhos T1 e T2 são feitas a nível de 'hardware', sendo tomadas a $4 \mu\text{s}$ e $39 \mu\text{s}$ após a passagem do aglomerado, respectivamente. Os gatilhos de terceiro e quarto nível, o T3 e o T4, não são sincronizados com a passagem dos aglomerados, sendo suas decisões tomadas a nível de 'software'. O tempo de processamento situa-se em torno de 30mseg e 300 a 500ms , respectivamente. A principal função de T3 e T4 é reduzir a frequência do gatilho a uns poucos Hertz em regime de alta luminosidade.

Se a decisão do gatilho T1 for um SIM o T2 é ativado, o que corresponde a um tempo total de aproximadamente $43 \mu\text{s}$ até a resposta de T2. Desta forma, só se perde a passagem de 1 aglomerado caso um evento tenha uma sequência do tipo T1=SIM e T2=NÃO. Se a sequência de decisões for T1=SIM e T2=SIM é necessário um tempo adicional de $4 \mu\text{s}$ para ler toda a informação do detector.

As decisões centrais dos T1 e T2 são tomadas pelo Gatilho Supervisor (TS). Este módulo recebe informações dos subgatilhos, que são unidades alimentadas com os sinais dos detectores ou de partes dos detectores.

Os sub-gatilhos e os detectores que participam nos respectivos sub-gatilhos são :

- O Sub-Gatilho de Traços (TPC + FCA + FCB + ID/OD + TOF)
- O Sub-Gatilho de Múons (MUB + MUF + HOF + TOF)

- O Sub-Gatilho de Energia Eletromagnética (HPC + FEMC)
 - O Sub-Gatilho Hadrônico (HAC)
 - O Sub-Gatilho de Eventos Bhabha (SAT + VSAT)
- *O Sistema de Aquisição de Dados (DAS)*

O sistema de aquisição de dados é baseado no protocolo de comunicação 'Fastbus' e se subdivide em 3 principais áreas separadas por 'buffers' de dados.

A primeira área é controlada por 'hardware' e opera sincronizada com a passagem do aglomerado do feixe pelo detector. As principais funções dela são ativar o T1 e o T2 e reinicializar os 'Front End Buffers' (FEB) para o próximo evento. Esta

A segunda área é controlada por software e atua fora de sincronia com a passagem do aglomerado. Esta é a principal fase de leitura e tem como função principal a transferência de dados entre o 'Front End Buffer', o 'Multi Event Buffer' (MEB) de cada detector e o terceiro nível de gatilho (T3). É possível fazer uma inspeção nos dados com os computadores de cada detector através do 'Spy Event Buffer' (SEB). A sequência completa de processamento do T3 e a transferência de dados para o 'Multi Event Buffer' tem a duração típica de 30 ms.

A terceira área também é controlada por software e é responsável pela transferência de dados dos vários 'Multi Event Buffers' para o 'Global Event Buffer' (GEB). O processamento de quarto nível (T4) é executado por um conjunto de emuladores que descartam os eventos vazios ou sem interesse. Os dados sobre os sinais eletrônicos

provenientes dos diversos detectores são finalmente transferidos para o computador de aquisição de dados, um VAX8700, onde são armazenados em fitas magnéticas sob a forma de 'Raw Data', que é uma estrutura de bancos de dados em formato ZEBRA, a uma frequência máxima de 3Hz.

2.4 O Software de DELPHI

Os programas de reconstrução e de simulação de eventos, em uma experiência complexa como DELPHI tem um papel de extrema importância no processo de análise. A reconstrução de eventos é feita pelo programa DELANA [25]. Ele utiliza a informação dos detectores que foram armazenadas em fitas sob a forma de 'Raw Data' e converte esta em informação sobre as partículas produzidas na interação. Esta informação por sua vez é armazenada em fitas, sob o formato DST (Fita de Sumário de Dados), para ser utilizada posteriormente no processo de análise física.

A simulação de eventos de DELPHI é feita pelo programa de simulação de Monte-Carlo, DELSIM [26, 27], que é um programa desenvolvido para reproduzir todo o processo ocorrido desde a colisão das partículas até a detecção, emulando também a resposta do detector real. DELSIM gera uma estrutura de dados em formato 'Raw Data', idêntica à estrutura de dados criada pelo DAS, que é armazenada em fita para se fazer posteriormente a reconstrução do evento com DELANA e gerar a DST simulada. A comparação entre os dados reais e os simulados é usada intensivamente nos diversos estágios do processo de análise para obter-se desde o comportamento do detector, sua eficiência, alinhamento, e calibração, até a extração dos resultados finais de análise física dos eventos.

2.4.1 A Simulação de Monte-Carlo de DELPHI

DELSIM, o programa de simulação de DELPHI, é subdividido em duas partes principais, sendo a primeira responsável pela geração das partículas e seus decaimentos, enquanto que a segunda encarrega-se de simular a detecção das partículas no detector.

1. A Geração dos Eventos

Todos os processos do tipo $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ via trocas de Z^0 ou γ podem ser gerados com DELSIM. A fragmentação e os decaimentos de estados finais de quarks são feitos pelas rotinas de Monte Carlo do JETSET-PS 7.3. DELSIM também permite interface com geradores externos como: DYMU3, EUROJET, KORALZ, etc. A história da geração, ou seja, as relações mãe/filho/irmã entre as partículas e a história do processo de fragmentação são gravadas para uso posterior durante o processo de análise física dos eventos. O gerador também é utilizado para estudar a resposta dos diversos detectores em função do valor de grandezas das partículas, como por exemplo, momento, energia, ângulo, dentre outras, sendo esta informação utilizada para o cálculo da eficiência e da resolução do detector.

2. A Simulação da Detecção

DELSIM possui um conjunto de rotinas responsáveis por simular a passagem das partículas através dos detectores. Elas tomam em consideração diversos processos secundários de natureza distinta como:

- Campo Magnético de DELPHI
- Espalhamento múltiplo

- Perdas de energia
- 'Bremsstrahlung'
- Conversão de fótons
- Espalhamento Compton
- Interações nucleares e absorções

A simulação gera um 'Raw Data' para cada detector incluindo a digitalização da altura dos pulsos, tempos de arrasto, etc., exatamente como seria a leitura dos detectores no caso de uma tomada de dados real. Isto permite estudar e ajustar a resposta dos detectores quando atravessados por uma partícula e também a determinação de diversos parâmetros usados na reconstrução de dados reais. Cada módulo do programa representa cada um dos detectores e fornece a resposta deste á passagem da partícula. DELSIM utiliza a base de dados de DELPHI, que fornece uma descrição detalhada dos materiais, volume sensível, tamanho, formato e a posição dos elementos sensoriais de todos os detectores. Essa informação fica armazenada sob a forma de bancos de dados referentes a cada um dos detectores de DELPHI.

2.4.2 A Reconstrução dos Eventos

Os dados armazenados em fita pelo sistema de aquisição de dados, sob o formato 'Raw Data' não servem para se fazer análise, pois eles contêm somente informação sobre os sinais eletrônicos emitidos por cada um dos detectores. É necessário fazer a reconstrução dos eventos, onde se correlaciona os sinais que cada partícula desencadeou nos detectores para se reconstruir as trajetórias das partículas carregadas e os sinais das partículas neutras,

e obter as grandezas físicas associadas às diversas partícula de cada evento.

DELANA é um programa formado por vários módulos, sendo 1 para cada detector além de módulos de propósitos gerais, que operam em diversas etapas distintas do processo de reconstrução .

1. A Primeira Fase da Reconstrução das Trajetórias e Chuveiros

Na primeira etapa, os dados de cada detector são inicialmente processados individualmente pelos módulos de DELANA correspondentes a estes detectores, utilizando a base de dados do detector com a descrição da geometria e as correspondentes calibrações . Os pontos e segmentos das trajetórias detectados no caso das câmaras de traços ou ainda a energia e os chuveiros coletados, no caso dos calorímetros, são reconstruídos independentemente para cada detector. Em seguida rotinas de procura e ajuste de trajetórias entram em ação , combinando a informação sobre segmentos de trajetórias, provenientes das diversas câmaras de traços simultaneamente, para reconstruir as possíveis trajetórias. Estas trajetórias reconstruídas são então extrapoladas até superfícies de referência (pelo menos 1 por detector). Um módulo combina a informação proveniente de cada calorímetro individualmente, e associa chuveiros dos calorímetros eletromagnético e hadrônico.

Os módulos de DELANA que participam do primeiro estágio da reconstrução são os seguintes:

- Reconhecimento de padrões (1 módulo para cada detector)
- Procura de trajetórias

- Ajuste de trajetórias
- Extrapolação de trajetórias
- Calorimetria combinada

2. A Segunda Fase da Reconstrução das Trajetórias e Chuveiros

O resultado global do ajuste e extrapolação obtido na primeira fase é comparado com o resultado da reconstrução feita em cada detector individualmente. As ambigüidades são eliminadas e a informação original dos detectores sobre as medidas das trajetórias (direção e posição), são melhoradas. Após a eliminação das ambigüidades e o ajuste dos dados dos detectores sobre os traços, as rotinas de procura e ajuste de trajetórias são novamente utilizadas, combinando a informação atualizada dos detectores. Neste nível, DELANA já possui o melhor conjunto de trajetórias para o evento. As trajetórias neste conjunto final são extrapoladas, melhorando o resultado da primeira extrapolação. DELANA faz então a associação de chuveiros com trajetórias, melhorando a posição e a direção do chuveiro, a partir do conhecimento sobre as trajetórias extrapoladas. Os módulos de DELANA envolvidos na segunda fase são :

- Reconhecimento de Padrões em Câmaras de Tracos
- Procura de Trajetórias
- Ajuste de Trajetórias
- Extrapolação de Trajetórias
- Reconhecimento de Padrões em Calorímetros

- Calorimetria Combinada

3. A Identificação de Massa

Após terminada a fase da reconstrução das trajetórias, DELANA passa para a fase de identificação de massa, que é realizada com várias técnicas distintas, dependendo do tipo de informação que o detector fornece sobre a identidade das partículas. Os detectores envolvidos e as respectivas técnicas são sumarizadas abaixo:

- TPC: Informação sobre o $\frac{dE}{dx}$ da partícula, que é obtida pela reconstrução da altura dos pulsos nos fios.
- RICH: O tamanho dos anéis fornece as probabilidades da partícula ser elétron, pión, kaon ou próton.
- HPC e FEMC: Informação sobre a existencia de chuveiros de gamas, elétrons, MIP e hádrons.
- HAC: Informação sobre a existência de chuveiros de píons e múons.
- MUF e MUB: Sinais de trajetórias associadas a píons e múons.

4. A Medida do Momento das Partículas

A precisão da medida do momento das partículas está diretamente relacionada à precisão com que podemos medir o raio de curvatura da trajetória da partícula no campo magnético. A medida do momento é obtida a partir da seguinte expressão .

$$P = \frac{0.3RB}{\sin(\theta)} \quad (2.6)$$

onde P é o momento da partícula em GeV, R o raio de curvatura em centímetros, B o campo magnético em Teslas e θ o ângulo de inclinação da trajetória em relação ao eixo Z . O erro relativo em $P_t = P \sin(\theta)$ e no ângulo θ pode ser estimado na região da TPC, que está imersa num campo solenoidal paralelo ao eixo Z a partir de

$$\frac{\sigma_{P_t}}{P_t} = \frac{\sigma_{R\phi} P_t}{0.3BL^2} \sqrt{\frac{720}{(N+4)}} \quad (2.7)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_Z}{L} \sqrt{\frac{12(N-1)}{N(N+1)}} \quad (2.8)$$

onde $\sigma_{R\phi}$ e σ_Z são os erros na medida das coordenadas transversa e longitudinal respectivamente, N é o número de pontos equidistantes medidos ao longo da trajetória e L é o comprimento radial da trajetória.

5. O Ajuste do Vértice de Interação

A última etapa da reconstrução é o ajuste do vértice, que faz uso de toda a informação disponível até esta etapa. O módulo de ajuste de vértice faz inicialmente uma procura da posição do vértice primário utilizando somente traços carregados. Caso a rotina consiga encontrar o vértice, ele é novamente ajustado, porém desta vez utilizando também os traços de partículas neutras (chuveiros em calorímetros não associados a qualquer traço carregado).

Durante todo o processo de reconstrução um programa gerenciador de banco de dados, denominado TANAGRA [28], trabalha em interface simultaneamente com DELANA. Ele cria uma estrutura de bancos de dados para o processo de reconstrução, que é acessado por DELANA durante a reconstrução. Os bancos criados por TANAGRA possuem

uma hierarquia em vários níveis, contendo informações em um formato independente de cada detector, sobre coordenadas de pontos, elementos de trajetórias, chuveiros e vértices. As relações lógicas entre os diversos bancos são preservadas possibilitando acesso a informações do tipo: quais os detectores utilizados para gerar o banco de trajetórias, quais as trajetórias utilizadas para construir o banco de vértices e quais bancos de calorímetros foram associados a quais bancos de traços carregados e etc. Outra característica importante de TANAGRA é o fato dela preservar a informação original dos detectores, além da informação atualizada que corresponde aos bancos originais alterados, a fim de eliminar ambigüidades e melhorar o ajuste das quantidades reconstruídas.

Com sua estrutura de bancos independente de detector, TANAGRA permite gravar, ler e modificar informação durante as varias etapas da reconstrução , sendo que a informação relevante para análise física é guardada e manipulada de maneira coerente e universal por todos os programas que participam do processo.

Após finalizado o processo de reconstrução , DELANA chama o programa PXDST, o qual é responsável por gerar a estrutura de dados DST [29], que é uma estrutura em formato ZEBRA . O PXDST decodifica a estrutura TANAGRA e armazena numa estrutura de dados reduzida a informação física relevante do evento. Estas informações, gravadas nas fitas de dados, são utilizadas por toda a colaboração para fazer a análise física.

Capítulo 3

A Análise de Dados

Neste capítulo apresenta-se o método de identificação de quarks b através do uso de redes neurais. Inicialmente descrevem-se os eventos de interesse físico e os critérios de seleção de eventos e partículas adotados neste estudo. Segue uma discussão das variáveis físicas utilizadas para alimentar a rede neural e a descrição do processo de treinamento. Finalizando o capítulo encontra-se a avaliação do método de identificação.

Os processos físicos gerados no LEP podem ser subdivididos em dois grupos, segundo o canal de decaimento do Z^0 . A razão de ramificação do Z^0 em pares de leptons ($Z^0 \rightarrow \ell\bar{\ell}$) corresponde a 13% dos eventos, enquanto que a razão de ramificação em pares de quark ($Z^0 \rightarrow q\bar{q}$) corresponde a 87% do total de eventos [21] .

Os eventos de interesse físico neste trabalho são os decaimentos do Z^0 em quarks, representado na figura 3.1. Na colisão, o par e^+e^- cria o Z^0 que decai em um par de quarks. O quark e o correspondente anti-quark sofrem, em seguida, um processo de hadronização no qual são gerados jatos de partículas ao longo da direção de movimento dos quarks. Na hadronização são criados hádrons formados com os quarks provenientes do decaimento do Z^0 , e quarks provenientes do vácuo.

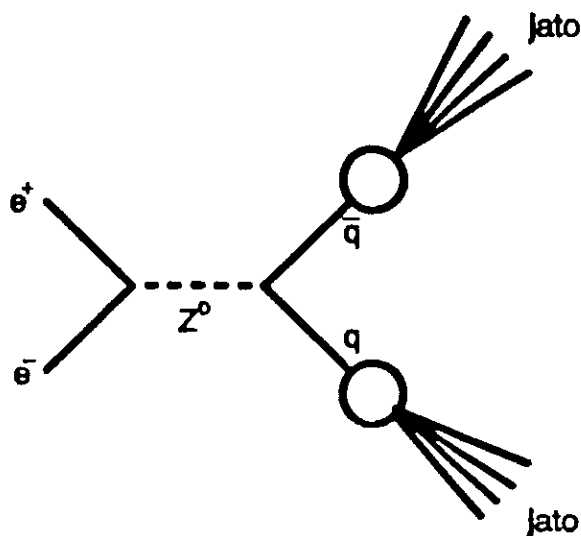


Figura 3.1: Gráfico do processo de criação e decaimento do Z^0 em quarks

Nos eventos em que o Z^0 decai em quarks b, ocorre a formação de hádrons B durante

o processo de criação de hádrons a uma distância média de 5 nm , antes de decaírem, pois sofrem o 'Lorentz Boost' devido a sua energia média ser aproximadamente 35 GeV . Esta distância, entretanto, é muito curta para que os hádrons B sejam detectados diretamente, pois o detector mais próximo da região de colisão situa-se a 6.3 cm . Os produtos finais deste decaimento, ou dos decaimentos que se seguem, são em sua maioria píons e káons, partículas estáveis o suficiente para atingirem os detectores. No caso em que o Z^0 decai em quarks do tipo c, formam-se hádrons D que também possuem uma meia-vida relativamente longa, porém percorrem uma distância ainda inferior a dos hádrons B, pois carregam também menos energia. Em eventos em que o Z^0 decai em um par de quarks leves do tipo: u, d ou s, os hádrons formados com estes quarks, em sua maioria píons e káons, possuem uma meia-vida suficientemente longa para que estes consigam alcançar os detectores.

Em todos os decaimentos do Z^0 as partículas do estado final dos decaimentos, ou seja, as partículas que atingem os detetores, são em sua grande maioria píons, fótons vindos do decaimento do π^0 e alguns káons, independentemente do sabor do quark proveniente do decaimento do Z^0 . Este fato dificulta muito a identificação do sabor do quark gerado no evento. Para se identificar o sabor do quark original tem-se que recorrer a métodos indiretos baseados somente na informação contida nas partículas do estado final. A idéia consiste em encontrar características dos eventos, presentes nas partículas de estado final, que reflitam o fato do quark b possuir uma massa superior aos demais quarks e os hádrons formados com este quark possuírem uma meia-vida relativamente grande, percorrendo distâncias típicas da ordem de alguns milímetros antes de decaírem.

3.1 A Filtragem dos Eventos

Os eventos simulados utilizados neste estudo, correspondentes aos decaimentos do Z^0 em quarks, foram gerados pelo DELSIM3.5 utilizando o JETSET-PS 7.3 e foram reconstruídos com DELANA4.1-E, relativos à geometria do ano de 1991. O JETSET-PS 7.3 é o gerador que melhor descreve as colisões e^+e^- no domínio de altas energias. Ele utiliza o modelo de fragmentação de Peterson [30] que implementa a hadronização através do 'bremsstrahlung' de gluons pelos quarks provenientes do decaimento do Z^0 .

Todos os eventos passaram por uma filtragem cuja função é descartar eventos mal reconstruídos e eventos ou traços que possam comprometer a qualidade das variáveis utilizadas para a identificação dos eventos. Esta seleção inicial apresenta uma eficiência de 64%, sendo baseada em diversos critérios que podem ser subdivididos em dois grupos,

apresentados abaixo:

1. Critérios para Seleção de Partículas

- carga da partícula diferente de zero
- momento mínimo: $p > 0.1 \text{ GeV}$
- momento máximo: $p < 50 \text{ GeV}$
- mínimo comprimento de trajetória medido na TPC: $l > 30 \text{ cm}$
- máximo parâmetro de impacto projetado no plano XY: $\text{impaxy} < 1 \text{ cm}$
- máximo parâmetro de impacto projetado no eixo Z: $\text{impaz} < 10 \text{ cm}$
- ângulo da trajetória em relação ao eixo Z: $25^\circ < \theta < 155^\circ$

2. Critérios para Seleção de Eventos

- ângulo do eixo de Thrust: $45^\circ < \theta < 135^\circ$
- número mínimo de traços em cada um dos dois jatos mais energéticos: $\text{ntkr} > 4$

A seleção de partículas tem a função de escolher, individualmente, as partículas que vão participar do processo de análise, eliminando partículas cuja trajetória foi mal reconstruída. Os cortes no momento dos traços eliminam partícula de baixo momento, pois estas possuem um erro grande na medida do momento e os cortes no ângulo e no comprimento do traço certificam que a trajetória passou pela TPC deixando um número de pontos que permite uma reconstrução satisfatória da trajetória. Os cortes no parâmetro de impacto certificam que a partícula vem da região de interação.

A seleção de eventos é destinada a eliminar eventos sob um ponto de vista global, descartando eventos que possam comprometer a qualidade das variáveis utilizadas no processo de análise. O corte no ângulo do 'thrust' certifica que o evento tem seus traços dentro da região $25^\circ < \theta < 155^\circ$, enquanto que o corte no número mínimo de traços dos jatos mais energéticos garantem que as variáveis que dependem de jatos tenham uma boa qualidade.

3.2 O Programa DSTNET

A interface entre o JETNET (a rede neural) e o programa de leitura de fitas, o RDDST, é feita pelo DSTNET, que é um programa desenvolvido neste trabalho para realizar as seguintes tarefas:

- Calcular as variáveis físicas que alimentam a rede neural
- Treinar a rede neural
- Testar a rede neural para classificar eventos

O RDDST é responsável pela leitura dos eventos, a decodificação da estrutura ZEBRA da DST [29] e geração de ntuplas com informação sobre os parâmetros físicos das partículas e dos jatos do evento. Esta informação é passada ao programa DSTNET que calcula as variáveis físicas que alimentam a rede neural.

Durante a fase de treinamento, o DSTNET permite a monitoração do aprendizado da rede e do número de eventos identificados, possibilitando o acompanhamento da evolução da eficiência e da pureza. Também são geradas ntuplas de PAW com valor do neurônio de

saída da rede para cada evento, o número de eventos identificados corretamente, o número total de eventos identificados, possibilitando um estudo detalhado do comportamento da rede neural ao longo de toda a fase de aprendizado. Na fase de teste, o DSTNET inicializa a rede neural com as conexões sinápticas estabelecidas durante o aprendizado e gera as n-tuplas de PAW para os eventos apresentados à rede, que são utilizadas para se calcular o desempenho da rede.

3.3 As Variáveis Físicas Utilizadas na Classificação

A rede neural foi alimentada com 9 variáveis contendo informações sobre características que distinguem um evento no qual se cria o quark b dos eventos em que se cria um quark do tipo u , d , s ou c . Os gráficos da figura 3.7 mostram a capacidade discriminatória das diversas variáveis.

As variáveis utilizadas para alimentar a rede neural são descritas a seguir.

- *O Produto das Esfericidades dos Jatos 'Lorentz Boosted' (S1S2):*

Esta variável descreve o formato dos jatos do evento, tendo sido introduzida originalmente pela colaboração TASSO [22] para enriquecer amostras de dados com eventos $b\bar{b}$ e tem sido usada por DELPHI para medir a produção dos mesmos [15].

Após selecionar os dois jatos mais energéticos do evento com o algoritmo de jatos LUCLUS, implementado no JETSET, estes jatos são 'Lorentz boosted' ao longo de seus respectivos eixos, sendo que o eixo é definido como a direção correspondente à soma do momento das partículas que constituem o jato.

Cada jato sofre um 'Lorentz boost' para seu referencial do centro de massa, que

corresponde, a princípio, ao referencial de repouso do quark que gerou o jato. Em seguida, calcula-se a esfericidade dos jatos nos seus respectivos referenciais de repouso com o algoritmo LUSPHE, também implementado pelo JETSET.

A esfericidade de um conjunto de trajetórias é definida como [3] :

$$S = \frac{\sum_j (p_T^i)^2}{\sum_j (p^j)^2} \quad (3.1)$$

onde p_T^i é o momento transversal da partícula i em relação ao eixo do jato ao qual ela pertence .

Devido ao fato de o quark b ter uma massa superior a dos demais quarks, a esfericidade de um jato proveniente da hadronização do quark b é, em média, maior do que a esfericidade de jatos provenientes da hadronização dos demais quarks.

A escolha do algoritmo de construção de jatos, LUCLUS, está baseada no fato de que a variável S1S2 apresenta um melhor desempenho na discriminação de eventos de quarks b , quando os jatos são formados com este algoritmo. O algoritmo de formação de jatos JADE [14, 15, 13], apesar de reproduzir melhor o número de jatos criados em eventos reais, reduz a capacidade discriminatória da variável S1S2. É conveniente observar que a variável S1S2 é calculada utilizando-se somente os dois jatos mais energéticos do evento, independentemente do número de jatos do evento.

No cálculo da variável S1S2, usualmente adota-se a técnica de fazer um 'Lorentz boost' fixo, com um de $\beta = 0.96$ [14, 15, 13] . Este 'Lorentz boost' corresponde, a princípio, ao referencial de repouso do quark que gerou o jato nas energias típicas do LEP. Constatou-se que fazer o 'Lorentz boost' para o referencial do centro de massa

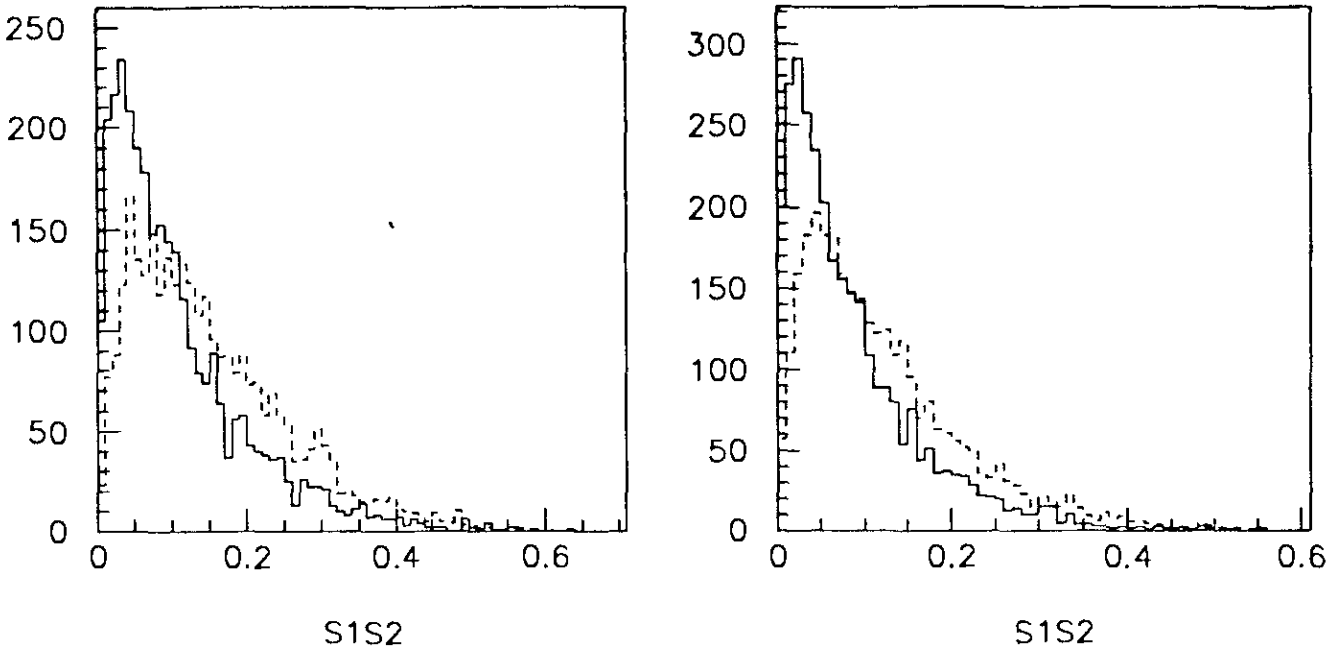


Figura 3.2: Gráficos comparando a capacidade discriminatória da variável S1S2 para jatos formados com o algoritmo LUCLUS (esquerda) e JADE (direita). Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha contínua.

do jato não altera a capacidade discriminatória de S1S2, caso os jatos tenham sido reconstruídos com LUCLUS, conforme mostra a figura 3.3 .

Entretanto, caso os jatos tenham sido reconstruídos com JADE, a técnica de fazer o 'Lorentz Boost' para o centro de massa do jato reduz consideravelmente a capacidade discriminatória da variável S1S2, conforme mostra a figura 3.4 . Este fato corrobora a afirmação de que o algoritmo LUCLUS reconstrói os jatos melhor do que o algoritmo JADE, no que se refere aos dois jatos mais energéticos do evento.

- *O Produto das Médias Ponderadas das Distâncias de Decaimento ao Longo dos Jatos (MDIST):*

O quark b possui uma meia-vida maior que os demais quarks, logo os hádrons

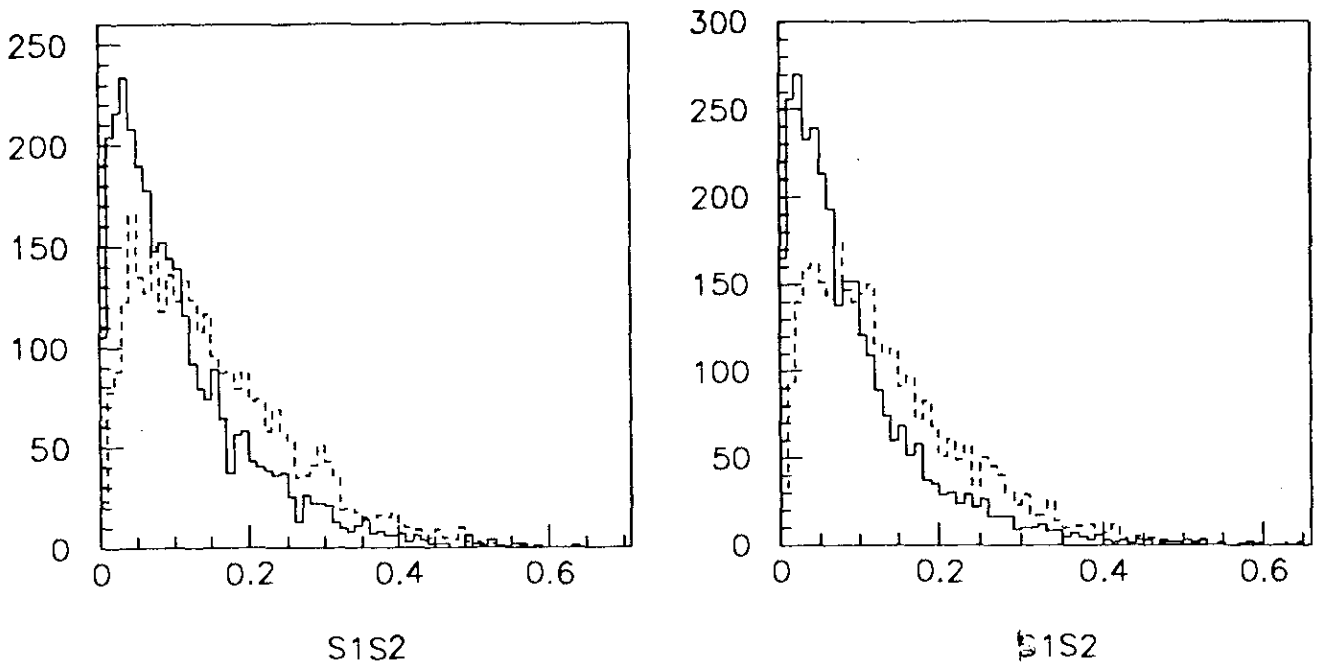


Figura 3.3: Gráficos comparando a capacidade discriminatória da variável S1S2 fazendo-se o 'Lorentz boost' para CM do jato (esquerda) e para o referencial com $\beta = 0.96$ (direita) com jatos reconstruídos por LUCCLUS. Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha continua.

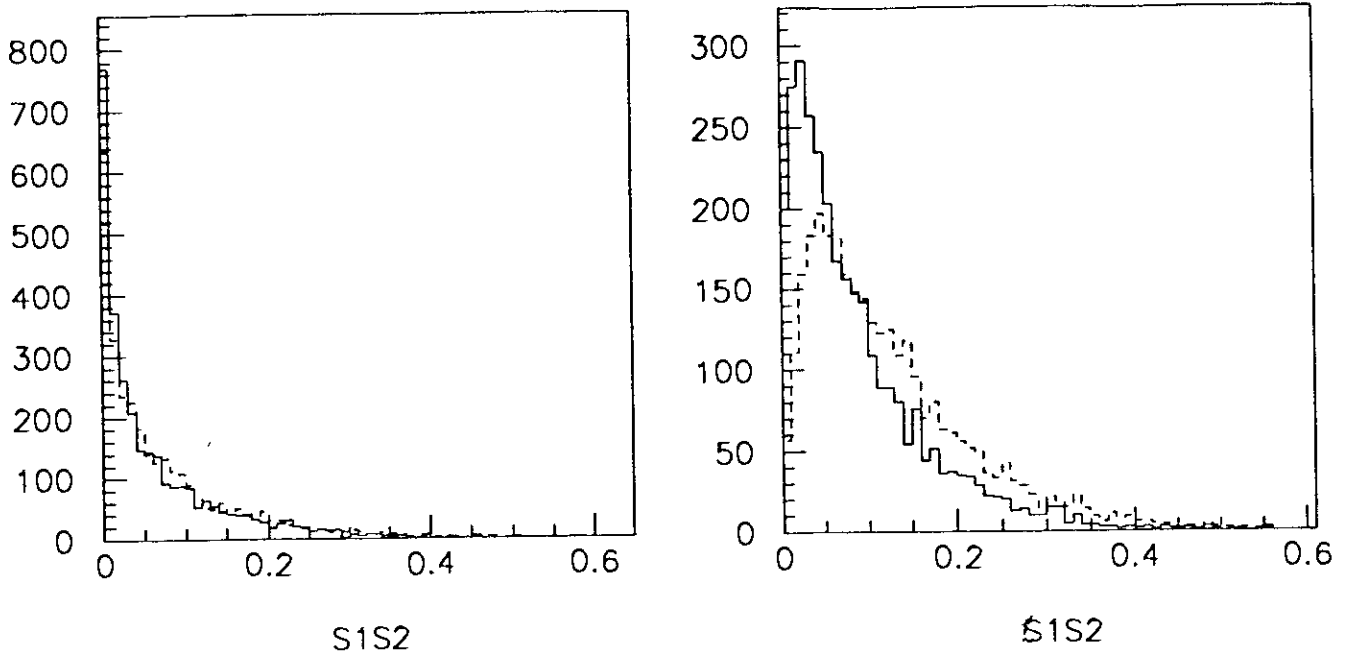


Figura 3.4: Gráficos comparando a capacidade discriminatória da variável $S1S2$ fazendo-se o 'Lorentz Boost' para CM do jato (esquerda) e para o referencial com $\beta = 0.96$ (direita) com jatos reconstruídos por JADE. Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha contínua.

formados com algum quark do tipo b percorrem distâncias maiores antes destes decaírem. Este fato possibilita a discriminação de eventos em que são criados quarks b [19] pelo valor das distâncias de decaimento dos hádrons ao longo do eixo dos jatos. A distância média de decaimento é calculada através da média ponderada das distâncias de decaimento cujo parâmetro de impacto é inferior a 0.1 cm, com peso dado pelo inverso do erro relativo do parâmetro de impacto do respectivo traço. O corte no parâmetro de impacto têm a função de eliminar produtos do decaimentos de káons, píons e lambdas do cálculo da variável MDIST. Estas partículas tem um meia-vida extremamente longa e estão presentes nos estados finais dos decaimentos de todos os eventos, independentemente do tipo de quark gerado.

A distância de decaimento de cada partícula é calculada a partir do parâmetro de impacto projetado em XY (IMPA), do ângulo do traço com o eixo do jato (ψ) e do ângulo do jato com o eixo Z (θ), através da seguinte expressão :

$$DIST = \frac{IMPA}{\sin(\psi)\sin(\theta)} \quad (3.2)$$

A variável MDIST é obtida para cada jato através da média ponderada dos traços pertencentes ao respectivo jato, com $IMPA < 0.1$ cm segundo a expressão abaixo

$$MDIST = \frac{\sum DIST \frac{IMPA}{\delta IMPA}}{NTKS} \quad (3.3)$$

onde NTKS é o número de traços que participam do cálculo da média.

- A Média Ponderada dos Parâmetros de Impacto (MIMP) :

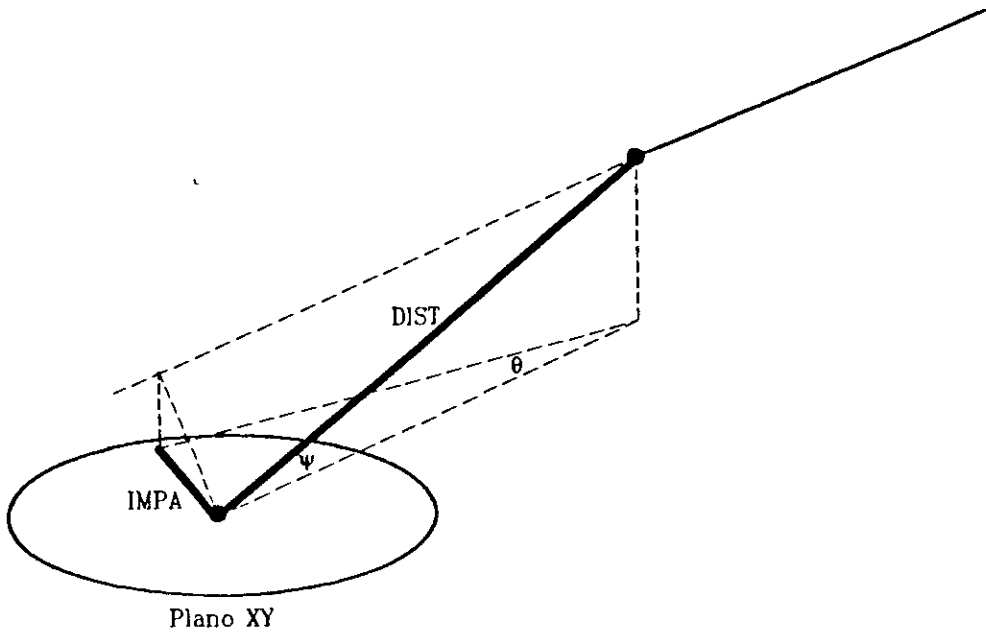


Figura 3.5: A trajetória da partícula e a representação do parâmetro de impacto e da distância de decaimento

O parâmetro de impacto projetado e o tempo próprio de uma partícula estão relacionados por $IMPA = \beta\gamma c\tau \sin(\theta)\sin(\psi)$. Devido à correlação entre o momento da partícula ($p = \gamma\beta m$) que sofre o decaimento e o ângulo de decaimento, ocorre um efeito compensatório para partículas relativísticas, que faz com que o valor médio do fator $\gamma\beta\sin(\psi)$ seja constante. Temos, portanto, que o parâmetro de impacto do decaimento é diretamente proporcional à meia-vida da partícula mãe [3].

A variável MIMP é obtida pela média ponderada dos parâmetros de impacto inferiores a 0.1 cm com peso dado pelo erro do parâmetro de impacto segundo a expressão abaixo

$$MIMP = \frac{\sum IMPA \frac{IMPA}{\delta IMPA}}{NTKS} \quad (3.4)$$

Esta variável, analogamente a MDIST discrimina os eventos nos quais são criados quarks b pelo valor médio da meia-vida dos hádrons B. Entretanto MIMP se distingue de MDIST pelo fato de que o parâmetro de impacto não depende da energia do hádron, enquanto que MDIST, depende da energia do hádron através dos fatores β e γ , utilizados no cálculo da distância de decaimento.

O corte em $IMPA < 0.1$ cm no cálculo de MIMP tem também a função de eliminar decaimentos de káons e píons. Usualmente tem-se utilizado, no cálculo desta variável, partículas cujo parâmetro de impacto seja inferior a 0.2 cm [19, 14, 13], entretanto observa-se um ligeira melhora na capacidade discriminatória da variável MIMP quando utiliza-se somente partículas com parâmetro de impacto inferior a 0.1 cm .

- *O Momento e o Momento Transverso dos Léptons Mais Energéticos de Cada Hemisfério :*

O decaimento semileptônico dos hádrons B apresenta um momento transverso superior ao dos decaimentos dos demais hádrons, que não possuem quarks b. Este método de identificação tem sido o mais utilizado para a identificação de quarks pesados [16, 18] devido a sua grande capacidade discriminatória. O ponto inconveniente é que apenas 20% dos hádrons B decaem por este canal, implicando portanto em uma baixa eficiência desta variável. A rede neural foi alimentada com 4 variáveis

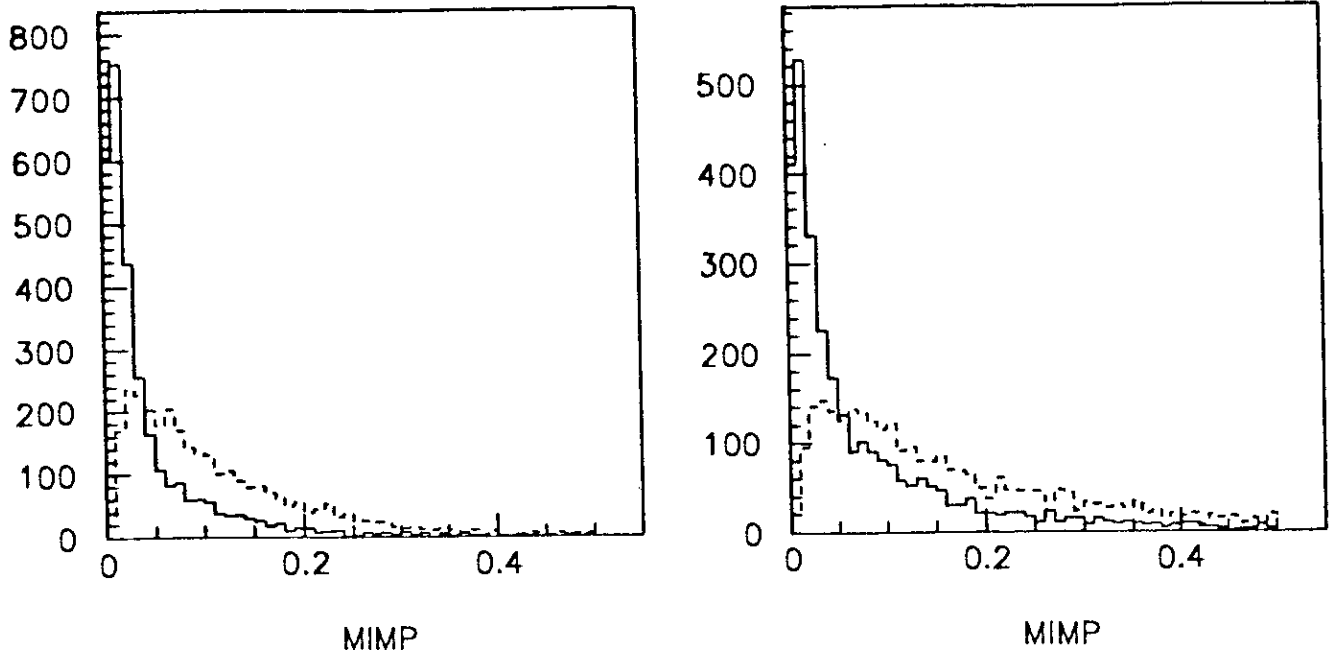


Figura 3.6: Gráficos comparando a capacidade discriminatória da variável MIMP utilizando-se um corte no parâmetro de impacto igual a 0.1 cm (esquerda) e 0.2 cm (direita). Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha contínua.

dedicadas especificamente ao canal semileptônico de decaimento do b . Elas são o momento do lépton mais energético em cada um dos hemisférios (L1PP e L2PP) e seus respectivos momentos transversos (L1PT e L2PT) em relação ao eixo de 'thrust' do evento.

- *O Ângulo do 'Thrust' em Relação ao Eixo Z (θ):*

O eixo de thrust guarda informação sobre a direção de movimento do par de quarks inicialmente gerado no evento. Este eixo, também conhecido por eixo de esfericidade do evento, é definido como o eixo que maximiza o somatório do quadrado do momento longitudinal das partículas, tomando-se em consideração todas as partículas do evento. Ele é obtido a partir da seguinte expressão [3] :

$$T = MAX_{\hat{n}} \frac{\sum_i (p^i \cdot \hat{n})^2}{\sum_j (p^j)^2} \quad (3.5)$$

onde \hat{n} define a direção do eixo de 'thrust'.

O ângulo que este eixo faz com o eixo Z informa à rede sobre a qualidade das variáveis que dependem da medida do parâmetro de impacto projetado no plano XY. A projeção dos parâmetros de impacto é função do ângulo do eixo de thrust, fazendo com que eventos cujo θ seja próximo de 90° tenham muitas partículas cujo parâmetro de impacto têm uma projeção pequena em XY por razões puramente geométricas, influenciando assim a capacidade discriminatória desta variável.

- *A Multiplicidade de Traços do Evento:*

A multiplicidade dos traços de um evento informa à rede sobre a qualidade das variáveis que dependem de médias sobre traços, pois médias com poucos traços são sujeitas a grandes flutuações, comprometendo a qualidade destas variáveis.

O número de partículas carregadas produzidas em um evento no qual é criado um quark b tende a ter uma multiplicidade ligeiramente superior a dos demais quarks devido a decaimentos em cascata, onde um hádron B decai em um hádron D que também decai até um estado final estável. Este fato faz com que a multiplicidade tenha também um certo papel identificador.

3.4 O Treinamento da Rede Neural

O método de identificação de quarks b através de rede neural estudado neste trabalho utiliza de forma essencial a simulação dos eventos. O tipo de treinamento do Perceptron necessita que saibamos, 'a priori', classificar os eventos que utilizamos para treinar a rede. A única maneira de escaparmos a este círculo vicioso é através do uso de eventos simulados, sobre os quais temos total conhecimento. Os dados simulados contêm toda a história dos eventos, permitindo uma classificação exata dos mesmos, pois a simulação contém a informação sobre o tipo de quark que gerou os jatos. Após o treinamento da rede, os dados simulados são utilizados para calcular-se a eficiência e a pureza do método de identificação, sendo que este teste é realizado com eventos distintos dos utilizados na fase de treinamento. De posse da eficiência e pureza do método de identificação, pode-se utilizar a rede para a tarefa de classificação de eventos reais.

A rede neural foi treinada durante 50 ciclos, sobre 4000 eventos simulados. A cada

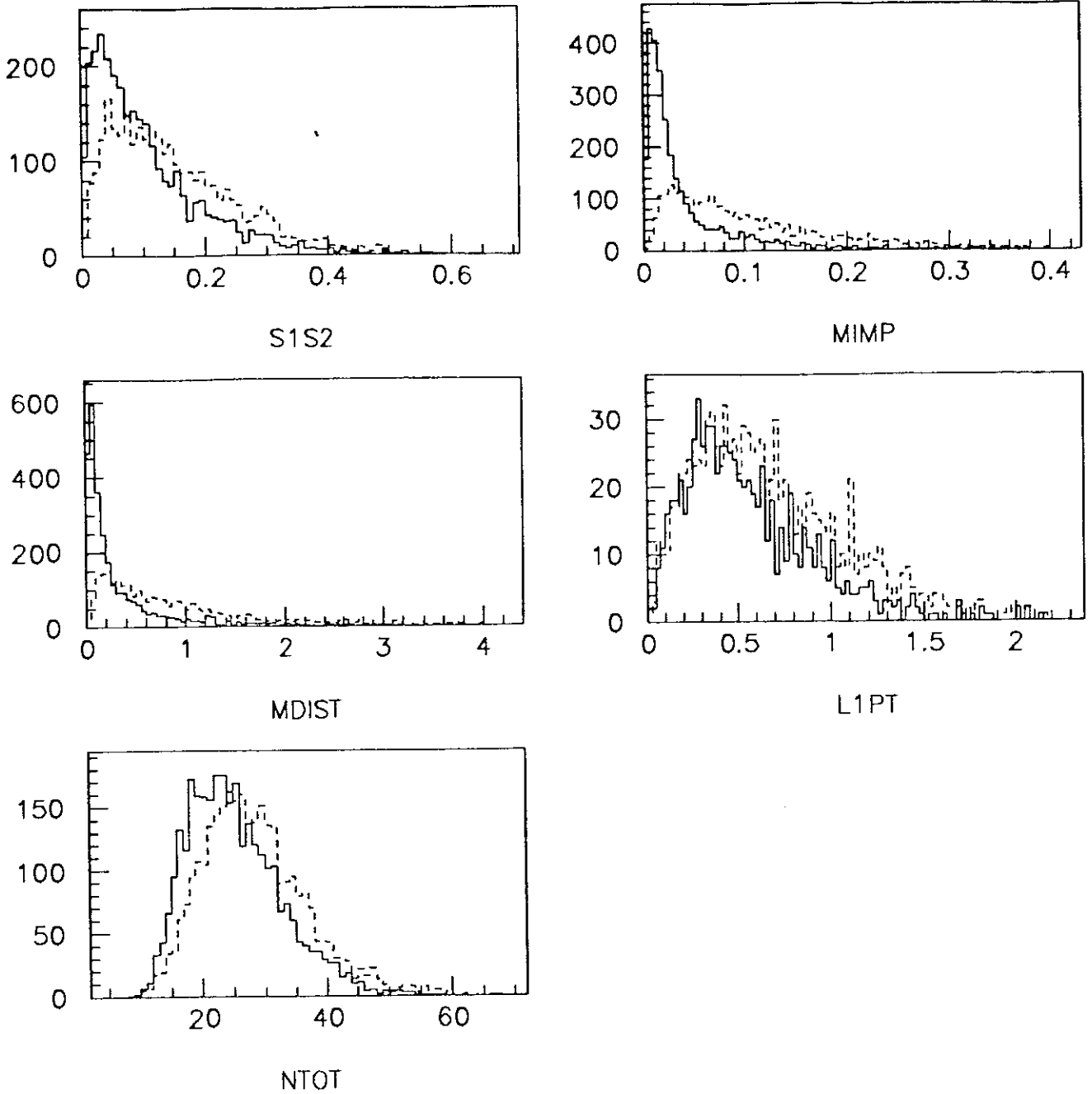


Figura 3.7: Gráficos das variáveis utilizadas para alimentar a rede gerados a partir de eventos simulados de quarks b (linha pontilhada) e quarks u, d, s, c (linha inteira)

evento as conexões sinápticas são atualizadas e guardadas em um arquivo que é utilizado na fase de identificação .

A amostra de eventos de treinamento utilizada possui 2000 eventos em que foram gerados quarks b e 2000 eventos em que foram gerados os demais quarks em proporções de acordo com o Modelo Padrão . O enriquecimento da amostra com eventos de quarks b se faz necessário pelo fato de que se deseja separar os eventos em 2 classes, a dos b e a dos não - b , sendo portanto necessário ensinar à rede com um conjunto contendo igual quantidades de eventos das duas classes.

A cada evento de b apresentado à rede, foi ensinado a ela que o estado do neurônio de saída deve ser igual a 1 enquanto que para um evento do tipo não - b , a rede deve apresentar uma saída igual a 0.

Dentre as diversas configurações possíveis, a que apresenta a melhor performance obtida para o conjunto de variáveis estudado é a seguinte:

- 3 camadas
- 9 neurônios na camada de entrada
- 18 neurônios na camada intermediária
- 1 neurônio na camada de saída
- Temperatura inversa: $\frac{1}{T}=15$
- Parâmetro de aprendizado: $\eta=0.01$

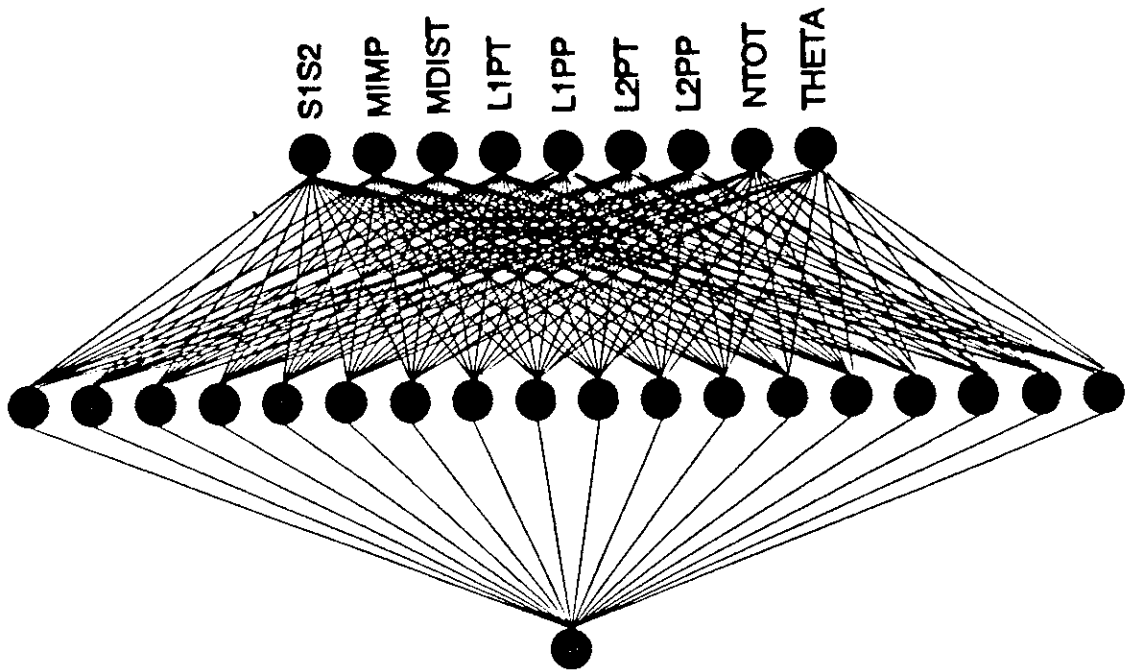


Figura 3.8: Representação da rede neural utilizada

- Função de transferência:

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x}{T}}}$$

O parâmetro de aprendizado η foi variado entre 0.001 e 0.1 sem que houvesse qualquer alteração no desempenho final da rede. Este parâmetro está relacionado à velocidade de convergência do método de aprendizado, influenciando somente o tempo de duração do treinamento. Entretanto, um parâmetro de aprendizado muito grande pode causar oscilações na rede [11].

A temperatura inversa foi escolhida como 15, em um processo de tentativa e erro. Este parâmetro regula a amplitude do sinal de saída dos neurônios da rede. O valor escolhido para a temperatura inversa permite à rede obter uma amplitude de sinal ideal em seus neurônios, fornecendo a melhor separação entre as duas classes de eventos. A figura 3.9 mostra distribuições correspondentes ao sinal de saída da rede neural para

diversas temperaturas. Para temperaturas muito baixas o sinal de saída da rede tende a se acumular em torno de 0.5, degradando a capacidade discriminatória da rede, enquanto que para temperaturas muito altas o sinal de saída da rede se acumula em torno dos valores 0 e 1, não permitindo um controle da pureza e da eficiência em função do corte no neurônio de saída. A temperaturas muito altas a rede também não tem um bom desempenho na identificação pois seus neurônios se saturam.

Estudou-se a variação do desempenho da rede em função número de camadas intermediárias e do número de neurônios nestas camadas. O número de camadas intermediárias da rede não afeta o desempenho da mesma pois uma rede com apenas uma camada intermediária é capaz de executar qualquer tarefa [4, 5]. Escolheu-se a configuração na qual a rede possui uma única camada intermediária com 18 neurônios. Com esta configuração obtem-se o melhor rendimento, pois o acréscimo ou decréscimo do número de neurônios nesta camada provoca uma queda no desempenho da rede. Um número excessivamente grande de neurônios prejudica a capacidade da rede em generalizar sobre o conjunto de eventos representativos utilizados durante o treinamento, enquanto que um número pequeno de neurônios diminui a capacidade da rede aprender [12, 11]. A escolha da função de transferência está relacionada somente com a simplicidade desta função e ao fato de que se deseja que o sinal de saída da rede se situe dentro do intervalo limitado de 0 a 1.

3.5 A Eficiência e a Pureza do Método de Identificação

Após a fase de aprendizado, a rede foi submetida a um teste para se medir a eficiência e a pureza do método de identificação de quarks b. Foram utilizados 12000 eventos simulados,

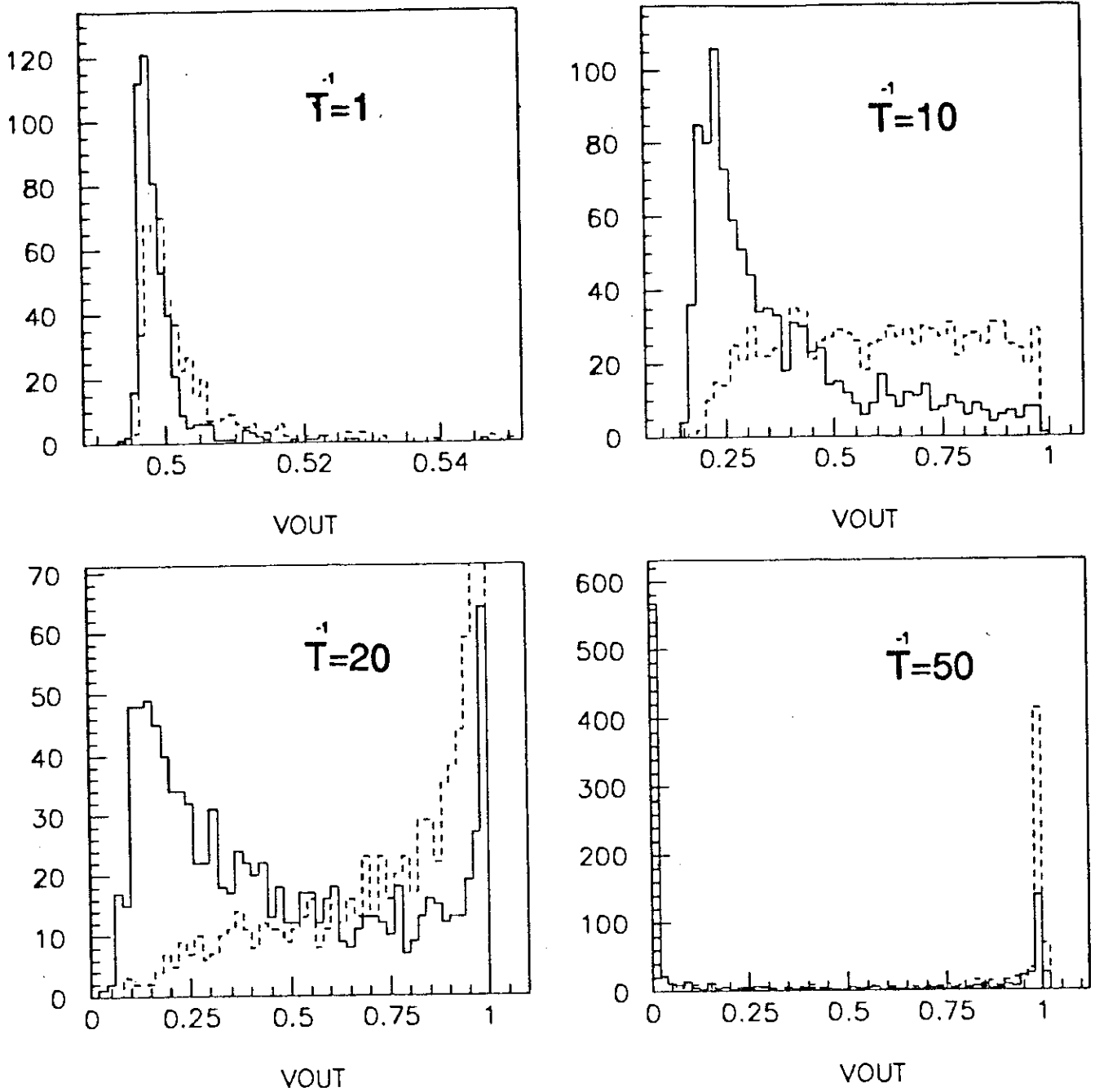


Figura 3.9: Distribuição do sinal de saída da rede neural para diferentes temperaturas. Os eventos de quarks b correspondem a linha pontilhada enquanto que eventos dos demais quarks correspondem a linha inteira.

agora em proporções de acordo com o Modelo Padrão , distintos dos apresentados à rede durante seu treinamento.

As grandezas que qualificam o método de identificação são definidas da seguinte forma:

$$\text{pureza} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de eventos } b \text{ corretamente identificados como sendo } b}{\text{N}^\circ \text{ de eventos identificados como sendo } b} \quad (3.6)$$

$$\text{eficiência} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de eventos } b \text{ corretamente identificados como sendo } b}{\text{N}^\circ \text{ de eventos } b \text{ na amostra}} \quad (3.7)$$

O critério adotado para classificação dos eventos foi de que qualquer evento cujo valor apresentado no neurônio de saída da rede seja superior a 0.6 é classificado como um evento de quark b , enquanto que uma saída inferior a 0.6 é classificada como um evento pertencente a classe dos quarks u, d, s e c . Os valores obtidos para a pureza e a eficiência foram os seguintes:

- $\text{pureza} = 41\%$
- $\text{eficiência} = 57\%$

A tabela 3.1 apresenta a variação da pureza e da eficiência do método de identificação , em função do corte que define as duas classes de eventos.

Na figura 3.10 apresenta-se a distribuição correspondente ao sinal de saída da rede durante a fase de teste.

<i>corte</i>	<i>pureza</i>	<i>eficiência</i>
0.1	22 %	99 %
0.2	25 %	98 %
0.3	31 %	89 %
0.4	35 %	78 %
0.5	38 %	67 %
0.6	41 %	57 %
0.7	42 %	45 %
0.8	42 %	33 %
0.9	41 %	21 %

Tabela 3.1: Tabela da pureza e da eficiência em função do corte no neurônio de saída da rede.

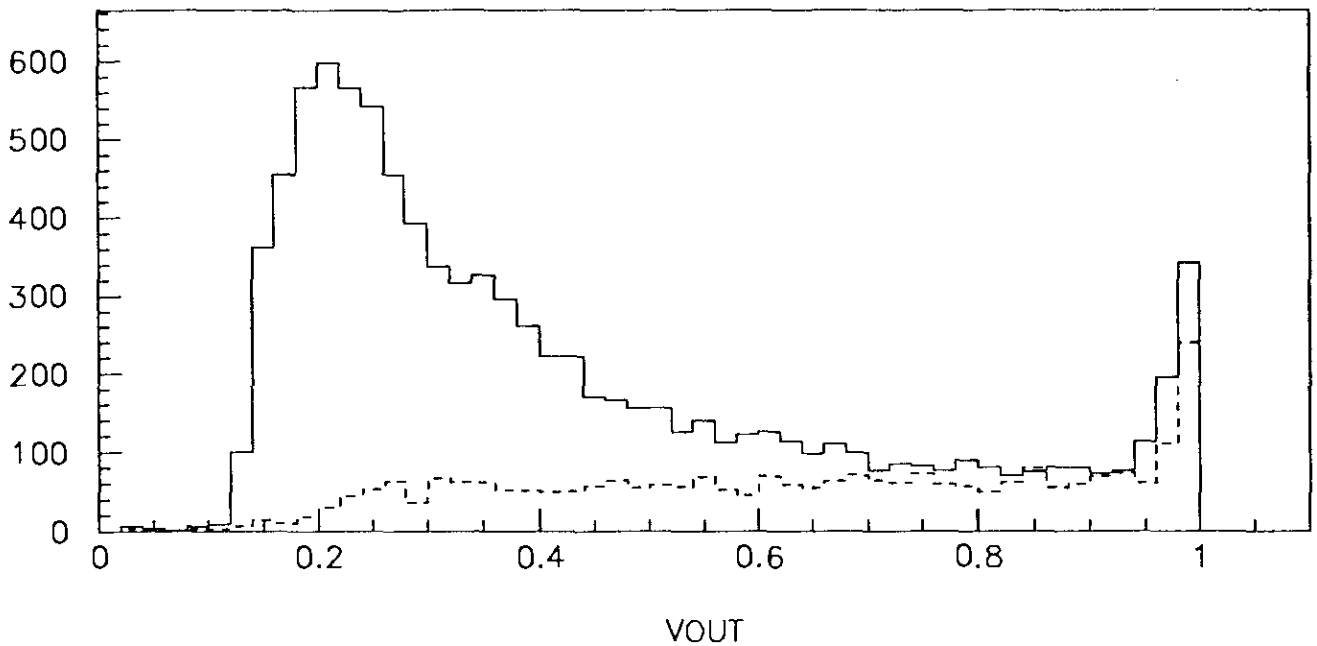


Figura 3.10: Gráfico correspondente ao sinal do neurônio de saída da rede neural correspondente a eventos b (linha pontilhada) e eventos não-b (linha contínua).

Como se observa na figura 3.10 e na tabela 3.1, a pureza e a eficiência do método de identificação são duas variáveis vinculadas ao corte no neurônio de saída da rede. Pode-se aumentar a pureza do método adotando-se um corte superior a 0.6, entretanto, isto compromete a eficiência da identificação. A pureza e a eficiência apresentam um comportamento que não permite obter uma pureza maior do que 42%, independentemente do corte adotado.

Os eventos identificados pela rede como sendo de quark b, ou seja, eventos para os quais o neurônio de saída apresentou um valor superior a 0.6, tem uma contaminação de eventos dos demais quarks (figura 3.11) segundo as seguintes proporções:

- quark c=19%
- quark s=15%
- quark u=10%
- quark d=15%

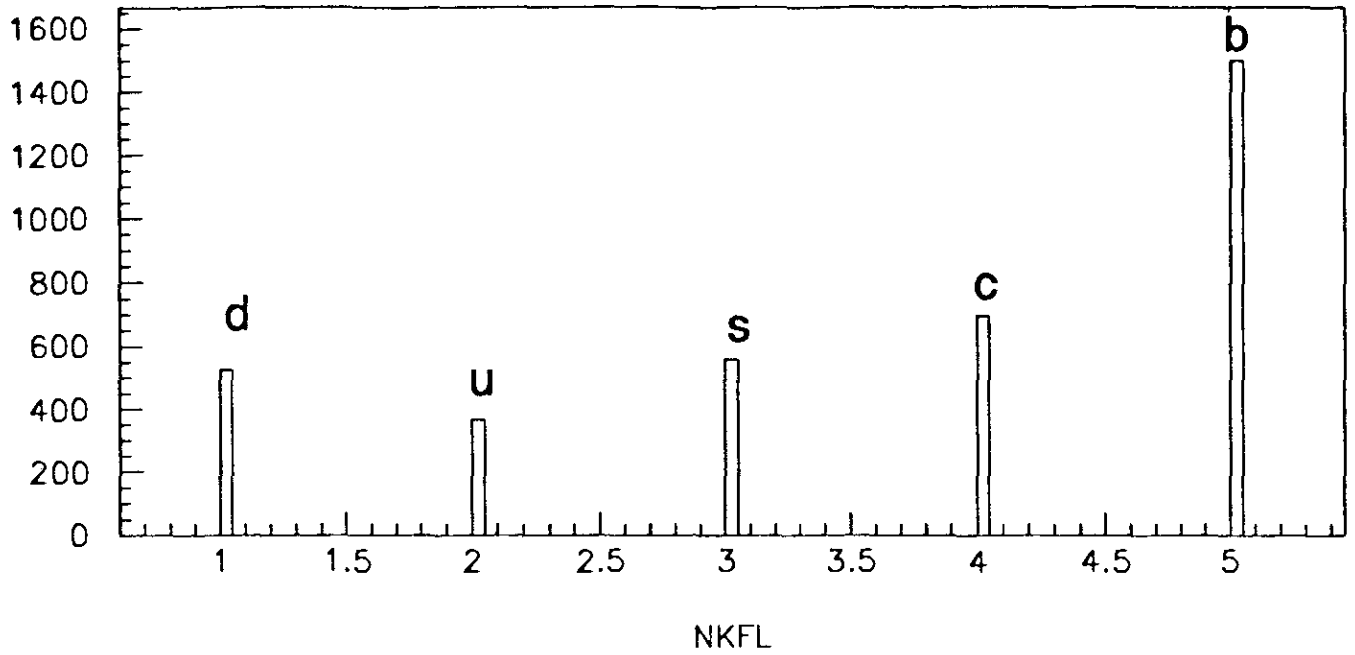


Figura 3.11: Gráfico correspondente as proporções dos diversos quarks identificados pela rede como sendo de quark b utilizando o corte em 0.6

Conclusões

O estudo apresentado neste trabalho corrobora diversos estudos anteriores sobre a aplicabilidade das redes neurais na física de altas energias [10, 11, 13, 14, 18, 20, 23, 24] e, mais especificamente, na identificação de eventos de quarks b . A performance obtida na identificação de quarks b , no presente trabalho, alcançou a eficiência de 57% e uma pureza de 41%, com um corte no neurônio de saída em 0.6, estando em bom acordo com trabalhos recentes sobre este assunto. A colaboração DELPHI [14] obteve uma eficiência de 55% e uma pureza de 43% para a identificação de eventos de quarks b , utilizando uma rede neural alimentada com 19 variáveis, 25 neurônios na camada intermediária e 3 neurônios de saída. O presente estudo demonstra a possibilidade de se obter resultados bem próximos ao da referência [14], utilizando-se um número reduzido de variáveis de grande capacidade discriminatória.

É necessário, estudar-se o comportamento de variações da configuração básica do Perceptron utilizado neste trabalho, bem como os erros estatístico e sistemático do método. A pureza e a eficiência obtidas resultam de um compromisso com a eficiência da filtragem dos eventos, pois pode-se aumentar a capacidade discriminatória das variáveis que alimentam a rede através de uma filtragem de eventos mais rigorosa. Entretanto, isto compromete-

ria a eficiência final da identificação, dado que a eficiência global é uma convolução da eficiência de filtragem com a eficiência do método de identificação.

Uma outra aplicação da rede neural utilizada neste trabalho é o estudo de eventos de quarks b contendo decaimentos semileptônicos de hádrons B , comparando a eficiência e a pureza deste com as do método tradicional de cortes, que possui valores bem conhecidos [16, 18]. Os métodos tradicionais de identificação de eventos de quark b baseiam-se em canais específicos de decaimento dos hádrons B . Os decaimentos semileptônicos dos hádrons B tem uma razão de ramificação de 20% logo, qualquer medida que utilize este canal sofre do inconveniente de uma estatística muito reduzida, embora consiga-se uma pureza superior à obtida neste trabalho.

O método de identificação baseado em redes neurais é promissor. São necessários estudos mais detalhados, tendo mais variáveis como por exemplo: variáveis associadas a vértices secundários, variáveis associadas a modos de decaimento puramente hadrônicos.

Apêndice:

O Programa DSTNET

```
+TITLE.  
*   DSTNET1   1.10/01 920326  12:00   NEURAL NETWORK OVER DELPHI DST  
+PATCH, HISTORY.  
+DECK, BLANKDEK.  
+PATCH, STRUCTURE.  
+DECK, DESCRIPTION.  
*****  
C*****  
*  
+PATCH, RNCDES.  
*  
+DECK, BLANKDEK.  
*  
+KEEP, RNCDE.  
      INTEGER   I, J, K  
      INTEGER   ICYCLE, NMOD, NCYCLE, ITSTEP  
      INTEGER   NCOTAG, NWRTAG, NEVTAG  
      INTEGER   NKFL, KFLC, KFLREF  
      INTEGER   LQPV, LQPA, LQSH, LQFFB  
      INTEGER   IHKDAT, IHTRAI, F, NB, NC, NS, ND, NU  
      INTEGER   MSTJN, IGFN  
      REAL      PARJN, VARIN, VAROUT, TINV, ETAL, WIDL, SATM  
      REAL      TAGCUT  
      REAL      XGNET(50)  
      CHARACTER*1 KINDAT, TRAIN  
      COMMON /JNDAT1/ MSTJN(20), PARJN(20), VARIN(1000), VAROUT(1000)  
      COMMON /JNDAT2/ TINV(10), IGFN(10), ETAL(10), WIDL(10), SATM(10)  
      COMMON /JNCNTL/ KFLREF, TAGCUT, NCYCLE, ICYCLE,  
+           NKFL, NEVTAG, ITSTEP, NMOD, IHKDAT, IHTRAI,  
+           NCOTAG, NWRTAG, NB, NC, NS, ND, NU
```



```

COMMON /JNCOPT/ KINDAT,TRAIN
*
+KEEP, RNCLEPT.
LOGICAL LEPTON
INTEGER IDX, JD, JHEM, IJET, NUMJ
REAL E, PL, PP, PT, XMASS
REAL PMAX(2),PTMAX(2)
REAL L1PP,L1PT,L2PP,L2PT
COMMON /RNCLEPT/ L1PP,L1PT,L2PP,L2PT
*
+KEEP, RNCPARAM.
INTEGER IPS,NTKS,N,L
REAL XAUX(20),THRUST(3),PI
REAL MIMP,THETH,PHITH,MAXIMP
REAL MODPXY(100),PX(100),PY(100),PZ(100)
REAL COSANG,SINANG(100),THETA(2),PJETXY(2)
REAL JETNUM(100),MEAN1,MEAN2,MDIST
REAL IMPA(100),DIMP(100),DIST(100)
INTEGER N1,N2,PA(100)
COMMON /RNCPARAM/ MIMP,THETH,MDIST
*
*****
*
+PATCH, *DSTNET.
*
+DECK, BLANKDEK.
*
+USE, RNCDES.
+USE, RNNET.
*
*
*****
*
+PATCH, RNNET.
*
+DECK, RDLOOP.
SUBROUTINE RDLOOP
IMPLICIT NONE
+SELF, IF=COMMENT.
*-----
*
* Subroutine RDLOOP                Called by RDDST
*
* Function : LOOP OVER TRAINING CYCLES AND AND EVENTS

```

```

*
*   Author : ANDRE SZNAJDER
*
*-----
+SELF.
      LOGICAL RUNEND
+CDE, RDCEVT.
+CDE, RDCIO.
+CDE, RDCPRT.
+CDE, RDCOPT.
+CDE, RNCDE.
*
      NMOD= 0
*
*...Decides between 'train and test' or just 'test'
*
      IF ((TRAIN.EQ.'F').OR.(KINDAT.EQ.'R')) THEN
          NCYCLE=0
          TRAIN='F'
          GOTO 10
      ENDIF
*
*...Loop over train cycles
*
      DO 30 ICYCLE=1,NCYCLE
*
*...Initialise the counters
*
          NEVTAG=0
          NCOTAG=0
          NWRTAG=0
          NB=0
          NC=0
          NS=0
          ND=0
          NU=0
*
*...Checks if it's time to train or test in case of simulated( M ) data
*
      IF ((KINDAT.EQ.'M')) THEN
          IF ( NMOD.EQ.ITSTEP) THEN
              TRAIN='F'
              NMOD= 0
          ELSE

```

```

        TRAIN='T'
        ENDIF
        NMOD = NMOD + 1
    ENDIF
*
    CALL TIMEL(TLEFT)
    NEVENT = 0
*
*...Continues the loop over events
*
    10  CONTINUE
*
*...Event initialization, check time and max nb of events
*
    CALL RDEVTB(RUNEND)
    IF( RUNEND ) GOTO 20
*
*...Call next event. Will either read an event or Exit to RDEND.
*
    CALL RDEVIN
*
*...Physics analysis
*
    CALL RNPHYS
*
*...Decides between train and test and call the respective routine
*
    IF ( (TRAIN.EQ.'T').AND.(KINDAT.EQ.'M') ) THEN
        CALL RNTRAI
    ELSE
        CALL RNTEST
    ENDIF
*
*...Loop over events
*
    GOTO 10
*
*...Exit of the loop over events
*
    20  CONTINUE
*
*...Ends Zebra
*
    CALL FZENDI(LUNINP, 'I')

```

```

*
*...Print status and Fill PAW-ntuples
*
      IF (TRAIN.EQ.'T') THEN
        WRITE(LUNPRT, 1000) ICYCLE
      ELSE
        WRITE(LUNPRT, 2000) ICYCLE, NEVTAG, NCOTAG, NWRTAG
        PRINT *, 'NB=', NB, 'NC=', NC, 'NS=', NS, 'ND=', ND, 'NU=', NU
        XGNET(1)=FLOAT(ICYCLE)
        XGNET(2)=FLOAT(NEVTAG)
        XGNET(3)=FLOAT(NCOTAG)
        XGNET(4)=FLOAT(NWRTAG)
        XGNET(5)=FLOAT(NB)
        XGNET(6)=FLOAT(NC)
        XGNET(7)=FLOAT(NS)
        XGNET(8)=FLOAT(ND)
        XGNET(9)=FLOAT(NU)
        IF (NEVTAG.NE.0) THEN
          XGNET(10)=FLOAT(NCOTAG)/FLOAT(NEVTAG)
        ENDIF
        IF (NEVTAG.NE.0) THEN
          XGNET(11)=FLOAT(NCOTAG)/FLOAT(NB)
        ENDIF
        CALL HCDIR('//PAWC/DST', ' ')
        CALL HFN(10,XGNET)
      ENDIF
*
* Continues the loop over training cycles
*
30  CONTINUE
*
1000 FORMAT(3(1X, 52('|')/), 2(1X,'||', 48X, '||'/), 15X,
+         'TRAINING THE NETWORK !'/15X, 'ICYCLE =', I4/
+         2(1X,'||', 48X, '||'/),3(1X, 52('|')/))

2000 FORMAT(3(1X, 52('|')/), 2(1X,'||', 48X, '||'/), 15X,
+         'TESTING THE NETWORK !'/15X, 'ICYCLE =', I4/
+         15X,'NEVTAG =',I4/15X,'NCOTAG =',I4/15X,
+         'NWRTAG =',I4/,2(1X,'||', 48X, '||'/),
+         3(1X, 52('|')/))
*
      RETURN
      END
*

```

```
+DECK, RNPHYS.
      SUBROUTINE RNPHYS
      IMPLICIT NONE
*-----
*      Subroutine: RNPHYS                Called by: RDLOOP
*
*      Function   : CALLS THE ROUTINES THAT CALCULATES THE PHYSICAL VARIABLES
*                  AND FILLS THE INPUT VARIABLES OF THE NETWORK
*
*      Author    : ANDRE SZNAJDER
*-----
+CDE, RNCDE.
+CDE, RNCLEPT.
+CDE, RNC Parm.
+CDE, RDCPHY.
+CDE, RDCZEB.
*
*...Get the QQbar code and flavor of simulated events
*
      IF ( KINDAT.EQ.'M' ) THEN
          NKFL=0
          LQFFB=LQ(LDTOP-6)
          KFLC=ABS(INT(Q(LQFFB+8)))
          IF (KFLC.EQ.12) NKFL=5
          IF (KFLC.EQ.7) NKFL=4
          IF (KFLC.EQ.8) NKFL=3
          IF (KFLC.EQ.4) NKFL=1
          IF (KFLC.EQ.3) NKFL=2
      ENDIF
*
*...Fill VECSUB vectors for physics analysis (do jet analysis).
*
      CALL RDFVEC
*
*...Finds the most energetic leptons in each hemisphere, and its Pt
*
      CALL RNLEPT
*
*...Calculates variables associated with impact parameter
*
      CALL RNPARM
*
*... Put the physical parameters in the input neurons
```

```

*
  VARIN(1)=L1PT/10
  VARIN(2)=L1PP/10
  VARIN(3)=L2PT/10
  VARIN(4)=L2PP/10
  VARIN(5)=MIMP*10
  VARIN(6)=MDIST
  VARIN(7)=S1S2
  VARIN(8)=FLOAT(NTOT)/100
  VARIN(9)=THETH/31.4
*
  RETURN
  END
*
+DECK, RNLEPT.
  SUBROUTINE RNLEPT
  IMPLICIT NONE
+SELF, IF=COMMENT.
*-----
*   Subroutine: RNLEPT                               Called by: RDPHYS
*
*   Function   : SEARCHES THE MOST ENERGETIC LEPTONS IN EACH HEMISPHERE
*                 AND ITS Pt
*
*   Author    : ANDRE SZNAJDER
*-----
+SELF.
+CDE, RNCDE.
+CDE, RNCLEPT.
+CDE, RDCEVT.
+CDE, RDCPHY.
+CDE, RDCVEC.
*
*   Searches the most energetic lepton and its Pt in each hemisphere
*   from VECSUB structure
*
  CALL VZERO(PMAX, 2)
  CALL VZERO(PTMAX, 2)
*
  DO 10 I = 1, NTOT
    NUMJ = IVECP(10, I)/1000
    IJET = LJET + NUMJ
    XMASS = VEC(5, I)

```

```

    PP      = VECP(6, I)
    CALL PARPEX(I, IJET, PL, PT)
    LEPTON = .FALSE.
    IF(XMASS.GT.0.0.AND.XMASS.LT.0.12) LEPTON = .TRUE.
    JHEM = IVECP(10, I)
    JHEM = (JHEM - 1000*NUMJ)/100
    IF(JHEM.EQ.1.OR.JHEM.EQ.2) THEN
        IF(PP.GT.PMAX(JHEM).AND.LEPTON) THEN
            PMAX(JHEM) = PP
            PTMAX(JHEM)= PT
        ENDIF
    ENDIF
10  CONTINUE
*
    L1PP=PMAX(1)
    L1PT=PTMAX(1)
    L2PP=PMAX(2)
    L2PT=PTMAX(2)
*
999 CONTINUE
*
    RETURN
    END
*
+DECK, RNPARM.
    SUBROUTINE RNPARM
    IMPLICIT NONE
*-----
*   Subroutine : RNPARM                Called by : RDPHYS
*
*   Function   : Calculates physical variables associated with
*                 Impact Parameter of the particles
*
*   Author    : ANDRE SZNAJDER
*-----
+CDE, RDCVEC.
+CDE, RDCZEB.
+CDE, RDCPHY.
+CDE, RNCDE.
+CDE, RNCPARM.
*
    COMMON /POINTER/ PA
*

```

```

*...Initialize variables
*
      PI=3.1415926536
      MIMP=0.
      MDIST=0.
      N1=0
      N2=0
      MEAN1=0.
      MEAN2=0.
      MAXIMP=0.1
*
* Selects events with thrust in region 45<theta<135
*
      THRUST(1)=VECP(1,LSPHE+4)
      THRUST(2)=VECP(2,LSPHE+4)
      THRUST(3)=VECP(3,LSPHE+4)
      CALL RDANGL(THRUST(1),THETH,PHITH)
*
*...Gets track information from Vecsub and PA banks
* and selects tracks
*
      I=1
*
      DO 100 K=1,NTOT
        LQPA=PA(K)
        IPS=5+IQ(LQPA+4)
        IMPA(I)=ABS(Q(LQPA+IPS+10))
        DIMP(I)=ABS(Q(LQPA+IPS+11))
        IF (IMPA(I).GT.MAXIMP) GOTO 100
        IF (DIMP(I).EQ.0.) GOTO 100
        PX(I)=VECP(1,K)
        PY(I)=VECP(2,K)
        PZ(I)=VECP(3,K)
        MODPXY(I)=SQRT(PX(I)**2+PY(I)**2)
        IF (MODPXY(I).LE.0.)GOTO 100
        JETNUM(I)=INT(IVECP(10,K)/1000)
        I=I+1
100  CONTINUE
*
      NTKS=I-1
*
*...Exits the routine in case NTKS=0
*
      IF (NTKS.EQ.0) GOTO 999

```



```

*
*...Calculates the mean impact parameter
*
      DO 200 I=1,NTKS
          MIMP=MIMP+IMPA(I)*(IMPA(I)/DIMP(I))
200  CONTINUE
*
      MIMP=MIMP/NTKS
*
*...Calculates the mean decay distance along JET axis
*
      DO 300 I=1,2
          PJETXY(I)=SQRT(VECP(1,LJET+I)**2+VECP(2,LJET+I)**2)
          XAUX(1)=VECP(1,LJET+I)
          XAUX(2)=VECP(2,LJET+I)
          XAUX(3)=VECP(3,LJET+I)
          CALL RDANGL(XAUX,THETA(I),PHITH)
          IF (THETA(I).EQ.0.) PJETXY(I)=0.0
300  CONTINUE
*
      DO 400 I=1,NTKS
          J=JETNUM(I)
          IF (J.GE.3) GOTO 400
          IF (PJETXY(I).EQ.0.0) GOTO 400
          COSANG=(VECP(1,LJET+J)*PX(I)+VECP(2,LJET+J)*PY(I))
+          /(MODPXY(I)*PJETXY(J))
          IF (ABS(COSANG).GE.1.) GOTO 400
          SINANG(I)=SQRT(1-COSANG**2)
          IF (SINANG(I).LE.0.01) GOTO 400
          DIST(I)=(IMPA(I)/(SINANG(I)*SIN(THETA(J))))*(IMPA(I)/DIMP(I))
          IF (J.EQ.1) THEN
              MEAN1=MEAN1+DIST(I)
              N1=N1+1
          ENDIF
          IF (J.EQ.2) THEN
              MEAN2=MEAN2+DIST(I)
              N2=N2+1
          ENDIF
400  CONTINUE
*
      IF (N1.GT.0) MEAN1=MEAN1/N1
      IF (N2.GT.0) MEAN2=MEAN2/N2
      MDIST=SQRT(MEAN1*MEAN2)
      IF (MDIST.EQ.0.) MDIST=MAX(MEAN1,MEAN2)

```

```

*
999  CONTINUE
*
      RETURN
      END
*
+DECK, RUCAR.
      SUBROUTINE RUCAR
      IMPLICIT NONE
*-----
*   Subroutine: RUCAR                      Called by: RDCARD
*
*   Function   : Reads the user defined Title Cards
*
*   Author    : ANDRE SZNAJDER
*-----
+CDE, RNCDE.
+CDE, RDCVEC.
+SEQ, LUJETS.
      REAL RNDM
      EXTERNAL RNDM
*
      IF(RNDM(3.14).GT.1.0) CALL LUDATA
*
*...  Read the network configuration parameters from dstnet.tit
*
      CALL FFKEY( 'MSTJN' , MSTJN , 20, 'INTEGER' )
      CALL FFKEY( 'PARJN' , PARJN , 20, 'REAL' )
      CALL FFKEY( 'NCYCLE', NCYCLE , 1, 'INTEGER' )
      CALL FFKEY( 'ITSTEP', ITSTEP , 1, 'INTEGER' )
      CALL FFKEY( 'KFLREF', KFLREF , 1, 'INTEGER' )
      CALL FFKEY( 'TAGCUT', TAGCUT , 1, 'REAL' )
      CALL FFKEY( 'KINDAT', IHKDAT , 1, 'MIXED' )
      CALL FFKEY( 'TRAIN' , IHTRAI , 1, 'MIXED' )
*
      RETURN
      END
*
+DECK, RDUINI.
      SUBROUTINE RDUINI
      IMPLICIT NONE
*-----
*   Subroutine: RDUINI                      Called by: RDINI

```

```

*
*   Function   : User defined initialization
*
*   Author    : ANDRE SZNAJDER
*
*-----
+CDE, RNCDE.
*
*... Converts holerith to string
*
      CALL UHTOC( IHKDAT, 1 , KINDAT, 1 )
      CALL UHTOC( IHTRAI, 1 , TRAIN , 1 )
*
*... Initialize the jetnet
*
      IF ( TRAIN.EQ.'T') THEN
        CALL JNINIT
      ELSE
        OPEN(8,FILE='WEIGHTS.DAT',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
        CALL JNREAD(-8)
        CLOSE(8)
        IF ( TRAIN.EQ.'C' ) TRAIN='T'
      ENDIF
*
      RETURN
      END
*
+DECK, RDNTUI
      SUBROUTINE RDNTUI
      IMPLICIT NONE
*-----
*   Subroutine: RDNTUI                Called by:
*
*   Function:  FILLS PAW NTUPLES
*
*   Author   : ANDRE SZNAJDER
*
*-----
+CDE,RNCDE.
*
      INTEGER      ISTAT,NPARM,NTAGS
      PARAMETER    ( NPARM=12 ,NTAGS=11 )
      CHARACTER*10 TAGS(NTAGS)
      CHARACTER*6  PARM(NPARM)

```

```
*
  OPEN(8,FILE='WEIGHTS.DAT',STATUS='UNKNOWN',FORM='UNFORMATTED')
  CALL JNDUMP(-8)
  CLOSE(8)
```

```
*
*   WRITE(LUNPRT, *)'SAI DA RNTRAI '
```

```
  RETURN
  END
```

```
*
+DECK, RNTEST.
  SUBROUTINE RNTEST
  IMPLICIT NONE
```

```
*-----
*   Subroutine: RNTEST                      Called by: RDPHYS
*
*   Function: CALLS SUBROUTINE JNTEST OF JETNET TO TEST THE NETWORK
*
*   Author : ANDRE SZNAJDER
*
*-----
```

```
+CDE, RNCDE.
+CDE, RDCEVT.
+CDE, RDCPHY.
+SEQ, RDCOPT.
```

```
*
*... Test the net
```

```
  CALL JNTEST
```

```
*... Update the number of tagged events and save the tagged
*   events when it reaches the end of the train
```

```
  IF ( VAROUT(1).GT.TAGCUT ) THEN
    NEVTAG=NEVTAG+1
    IF ((KINDAT.EQ.'M').AND.(NKFL.EQ.5)) NCOTAG=NCOTAG+1
  ENDIF
```

```
*
  IF ( KINDAT.EQ.'M' ) THEN
    IF ( NKFL.EQ.5 ) THEN
      NB=NB+1
    ELSE IF ( NKFL.EQ.1 ) THEN
      NU=NU+1
    ELSE IF ( NKFL.EQ.2 ) THEN
```

```

        ND=ND+1
    ELSE IF ( NKFL.EQ.3 ) THEN
        NS=NS+1
    ELSE IF ( NKFL.EQ.4 ) THEN
        NC=NC+1
    ENDIF
ENDIF
*
    NWRTAG=NEVTAG-NCOTAG
*
*...Make PAW N-tuple with all physical parametrs avaiable
*
    IF (MKPAW.EQ..TRUE.) THEN
        CALL UCOPY( VARIN(1), XGNET(1), 10 )
        XGNET(11) =NKFL
        XGNET(12) =VAROUT(1)
        CALL HCDIR('//PAWC/DST', ' ')
        CALL HFN(20,XGNET)
    ENDIF
*
*...Save tagged events
*
    IF (STRIP.EQ..TRUE.) THEN
        IF (KINDAT.EQ.'M') THEN
            IF ((NKFL.EQ.5).AND.(VAROUT(1).GT.(0.5))) THEN
                CALL RDEVOU
            ELSE IF ((NKFL.NE.5).AND.(VAROUT(1).LT.(0.5))) THEN
                CALL RDEVOU
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF
*
    RETURN
    END
*
*****

```

Referências

Referências

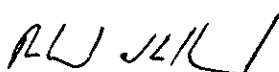
- [1] D.Perkins ; *Introduction to High Energy Physics*. Addison-Wesley(1982).
- [2] K.Kleinkenecht ; *Detectors for Particle Radiation*. Cambridge University Press(1985).
- [3] V.D.Barger, R.J.N.Phillips ; *Collider Physics* Addison-Wesley(1987).
- [4] J.Hertz, A.Krogh, R.G.Palmer ; *Introduction to the Theory of Neural Computation*. Addison-Wesley(1991).
- [5] B.Muller, J.Reinhardt ; *Neural Networks, An Introduction*. Springer-Verlag(1990).
- [6] F.Rosenblatt; *Principle of Neurodynamics*. Spartan(1962).
- [7] M.Minsky, S.Papert; *Perceptrons:An Introduction to Computational Geometry* MIT Press, 2nd ed.(1988)
- [8] P.Werbos; *New Tools for Prediction and Analysis in Behavioral Sciences* PhD. Thesis, Harvard University(1974).
- [9] D.E.Rumelhart, G.E.Hilton, R.J.Williams ; *Learning Representation by Back-Propagating Errors*. Nature 323, 533(1986).
- [10] L.Lonnblad, C.Peterson, T.Rognvaldsson ; *Using Neural Networks to Identify Jets*. Nuclear Physics B349(1991),675
- [11] L.Lonnblad, C.Peterson, T.Rognvaldsson ; *Pattern Recognition in High Energy Physics with Artificial Neural Networks-JETNET2.0* . University of Lund, LU TP 91-18 (August,1991)
- [12] E.Baum, E.Haussler ; *What Size of Net Gives Valid Generalization ?* Neural Computation 1, 151(1989).
- [13] N. de Groot ; *The Determination of the Branching Ratios of the Z^0 Boson into Heavy Quarks Using Neural Networks*. PhD. Thesis, University of Amsterdam(1993).
- [14] DELPHI Collaboration ; *Classification of the Hadronic Decays of the Z^0 into b and c Quark Pairs using a Neural Network*. CERN-PPE/92-151(September, 1992).

- [15] DELPHI Collaboration ; *Measurement of the Z^0 Branching Fraction to b Quark Pairs Using the Boosted Sphericity Product.* CERN-PPE/92-007(January, 1992).
- [16] DELPHI Collaboration ; *Measurement of the partial width of the Z^0 into $b\bar{b}$ Final States using their Semi Leptonic decays.* Z. fur Physik c 56, 47(1992).
- [17] DELPHI Collaboration ; *Electroweak Parameters of the Z^0 Resonance and Standard Model.* Physical Letters 276B, 274(1992).
- [18] O.Botner, K.Kulka ; *Tagging Beauty with a Neural Network for e^+e^- Events with a Fast Muon .* DELPHI 92-2 PHYS 151(January, 1992).
- [19] E.Cortina, E. Higon, S.Marti, J.Salt, J.A.Barrio, H.Briand, C. de la Vaissiere ; *B Tagging with DELPHI Vertex Detector. A direct Evaluation of the $b\bar{b}$ branching ratio of the Z^0 .* DELPHI 92-27 PHYS 163(March, 1992).
- [20] P.Branchini, M.Ciuchini, P. Del Giudice ; *B Tagging with a Neural Network. An Alternative Use of Single Particle Information for Discriminating Jet Events.* DELPHI 92-20 PHYS 159(February, 1992).
- [21] DELPHI Collaboration ; *Measurement of the average lifetime of B Hadrons.* Zeitschrift fur Physik C - Particles and Fields 53, 567(1992).
- [22] TASSO Collaboration ; *Measurement of the average lifetime of B Hadrons.* Zeitschrift fur Physik C - Particles and Fields 44, 1(1989).
- [23] L.Bellantoni, J.S.Conway, J.E.Jacobsen, Y.B.Pan, S.L.Wu ; *Using Neural Networks with jet shapes to identify b jets in e^+e^- interactions.* Nuclear Instrumentation and Methods in Physics Research A310,618(1991).
- [24] C.Bertolotto, A. De Angelis, L.Lanceri ; *Tagging the decays of the Z^0 boson into b quark pairs with a neural network classifier.* Nuclear Instrumentation and Methods in Physics Research A306,459(1991).
- [25] DELPHI Colaboration ; *DELPHI Data Analysis Program (DELANA), User Guide* DELPHI 89-44(1989).
- [26] DELPHI Colaboration ; *DELPHI Event Generation and Detector Simulation (DEL-SIM), User Guide* DELPHI 89-67(1989).
- [27] DELPHI Colaboration ; *DELPHI Event Generation and Detector Simulation (DEL-SIM), Reference Manual* DELPHI 89-68(1989).
- [28] P.Bertrand, L.Pape ; *TANAGRA, Track Analysis and Graphics Package* DELPHI NOTE 87-95(1987).
- [29] Y.Saquin ; *DELPHI DST content* DELPHI PROG 91-22(1991).
- [30] C.Peterson et al. ; *Scaling Violations in Inclusive e^+e^- Annihilation.* Physical Review D27, 105(1983).

"A IDENTIFICAÇÃO DE EVENTOS DE QUARKS b COM O USO DE REDES NEURAIIS"

ANDRÉ SZNAJDER

Tese de Mestrado apresentada no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, fazendo parte da banca examinadora os seguintes professores:



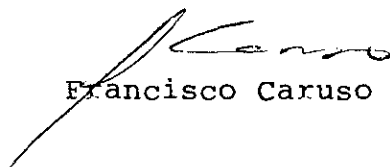
Ronald Cintra Shellard - Presidente



João Ramos Torres de Mello Neto



Maria Elena Pol



Francisco Caruso Neto

Rio de Janeiro, 11 de agosto de 1993