

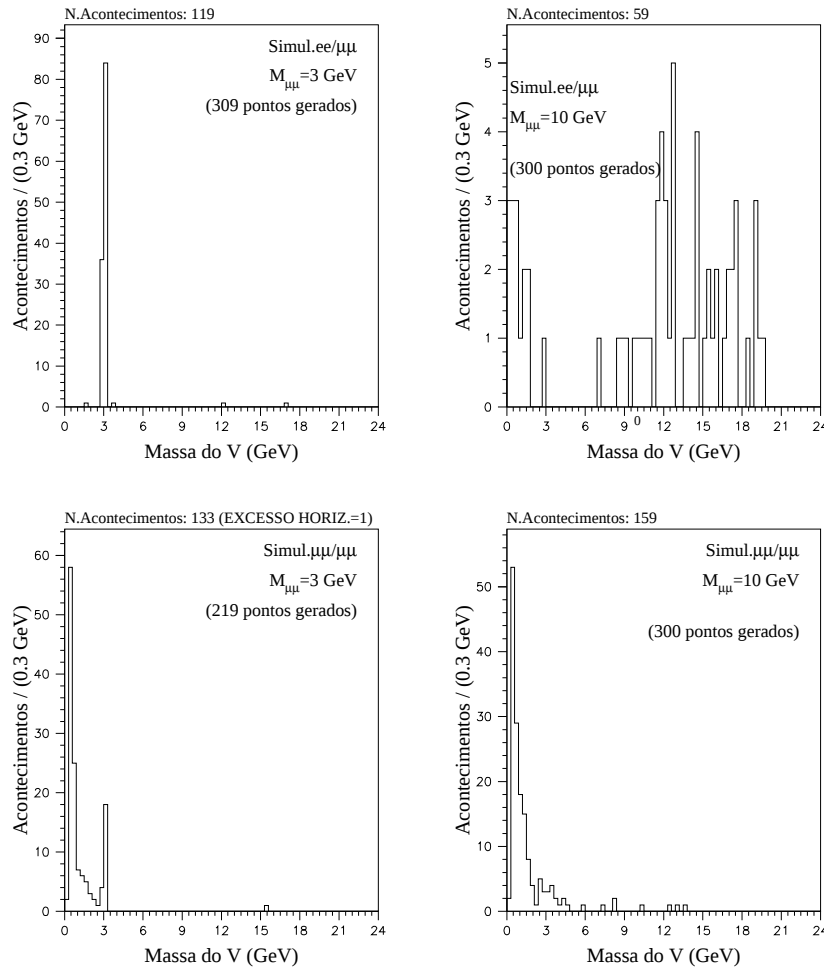


Figura 5.13: Distribuição de acontecimentos simulados com massas geradas (do γ^*) iguais a 3 GeV (esquerda) e 10 GeV (direita), em função da massa do V (par seleccionado).

Modelo Standard, em particular no sentido em que terminou o ponto anterior: o de novos processos não incluídos na simulação com produção de novas partículas massivas.

Uma possibilidade estaria no caso em que a produção é com acoplamento da partícula massiva aos léptões (tipo γ^* , figura 5.9a)). Neste contexto seria interessante analisar também os estados finais em que o J/ψ ou o Υ decaiem em hádrões, em que portanto a multiplicidade carregada dos estados finais é superior a quatro.

Outra possibilidade está no caso em que o acoplamento da partícula massiva é ao Z^0 (figura 5.9b)). Está nesta direcção uma análise dos dados recolhidos em DELPHI de 1991 a 1994, nos canais hadrónicos com um fóton virtual, isto é, em que o J/ψ ou o Υ estão isolados em relação a outras partículas e o Z^0 decai em hádrões [DEL95]. Nesta análise é observado um pequeno excesso de acontecimentos com um par de múons isolado e massa invariante deste par de múons nas zonas de massa do J/ψ e do Υ (7 acontecimentos observados para 1.2 ± 0.1 previstos pelo *Modelo Standard*).

Tanto na referência [DEL95] como no trabalho aqui efectuado, dada a pequena estatística observada, não é ainda de excluir a possibilidade de ambos os excessos serem devidos a flutuações estatísticas.

5.1.3 Secção eficaz total

As secções eficazes para os diferentes canais são calculadas de seguida.

Estas secções eficazes dependem da eficiência da análise efectuada, que varia substancialmente para os vários canais, sendo determinada com base nos dados simulados. Para os canais que não contêm electrões no estado final, em que apenas os diagramas com o Z^0 são importantes conforme foi referido no capítulo dois, os dados foram apenas simulados para o valor de energia no centro de massa igual à massa do Z^0 . Assume-se assim para estes canais a independência em relação à energia do centro de massa da eficiência de selecção dos acontecimentos.

Usando para cada canal a eficiência ε respectiva, e conhecido o número de acontecimentos observados nesse canal e a luminosidade total $\mathcal{L}$ para cada valor da energia no centro de massa, a secção eficaz de produção desse canal pode ser determinada, a partir da expressão 5.1:

$$\sigma = \frac{N_{\text{obs}} - N_{\text{fundo}}}{\varepsilon \mathcal{L}} \quad (5.1)$$

Na realidade os estados finais observados não são directamente os canais gerados na simulação do sinal. Por exemplo, o canal gerado $e^+e^-\mu^+\mu^-$ contribui simultaneamente para o canal observado e^+e^-V e para o canal observado $\mu^+\mu^-V$. Neste caso, considerar-se-ão pertencentes ao canal e^+e^-V ($\mu^+\mu^-V$) os acontecimentos $e^+e^-\mu^+\mu^-$ que tenham massa invariante do par e^+e^- ($\mu^+\mu^-$) superior à massa invariante do par $\mu^+\mu^-$ (e^+e^-). Por outro lado, há que ter correctamente em conta os efeitos de transferência de acontecimentos entre canais

(como por exemplo, acontecimentos gerados como $e^+e^-e^+e^-$ que são observados como $\tau^+\tau^-V$). Assim serão designadas por $N_O(\ell\ell V)$ e $N_O^*(\ell\ell V)$ respectivamente o número de acontecimentos observados e o número de acontecimentos observados corrigido pela matriz de transferência T (que tem em conta os efeitos da transferência entre canais). As secções eficazes apresentadas neste ponto são as secções eficazes equivalentes para os estados finais observados ($e^+e^-V, \mu^+\mu^-V, \tau^+\tau^-V$) e apenas para o valor de energia no centro de massa igual a 91.25 GeV.

Os números $N_O^*(\ell\ell V)$ de acontecimentos para cada um dos três canais relacionam-se com as secções eficazes dos canais gerados, através da expressão 5.2. Nessa expressão ε_{lV} ($l = e, \mu, \tau$ e $V = e, \mu, \tau, \pi$) representam as eficiências de selecção de acontecimentos com o Z^0 a decair em l^+l^- e o fóton virtual a decair em V^+V^- , e X_{ij} representam a fracção de acontecimentos gerados com as partículas $f_i^+f_i^-f_j^+f_j^-$ no estado final que são classificados no canal $f_i f_i V$ (isto é, em que $f_i^+f_i^-$ é o par partícula-antipartícula de maior massa invariante). As eficiências e os números X_{ij} são obtidos por simulação de Monte-Carlo ($X_{ij} = 1$ se $i = j$).

$$\begin{aligned}
N_O^*(eeV) &= \mathcal{L}\varepsilon_{ee}X_{ee}\sigma_{eeee} + \varepsilon_{e\mu}X_{e\mu}\sigma_{ee\mu\mu} + \varepsilon_{e\pi}X_{e\pi}\sigma_{ee\pi\pi} + \varepsilon_{e\tau}X_{e\tau}\sigma_{\tau\tau ee} \\
N_O^*(\mu\mu V) &= \mathcal{L}\varepsilon_{\mu e}X_{\mu e}\sigma_{ee\mu\mu} + \varepsilon_{\mu\mu}X_{\mu\mu}\sigma_{\mu\mu\mu\mu} + \varepsilon_{\mu\pi}X_{\mu\pi}\sigma_{\mu\mu\pi\pi} + \varepsilon_{\mu\tau}X_{\mu\tau}\sigma_{\tau\tau\mu\mu} \\
N_O^*(\tau\tau V) &= \mathcal{L}\varepsilon_{\tau e}X_{\tau e}\sigma_{\tau\tau ee} + \varepsilon_{\tau\mu}X_{\tau\mu}\sigma_{\tau\tau\mu\mu} \\
&\quad + \varepsilon_{\tau\pi}X_{\tau\pi}\sigma_{\tau\tau\pi\pi} + \varepsilon_{\tau\tau}X_{\tau\tau}\sigma_{\tau\tau\tau\tau}
\end{aligned} \tag{5.2}$$

Definem-se as secções eficazes equivalentes σ_{llV} (e as eficiências ε_{llV} , $l = e, \mu, \tau$) a partir das expressões 5.3 e 5.4.

$$\begin{aligned}
\sigma_{eeV} &= X_{ee}\sigma_{eeee} + X_{e\mu}\sigma_{ee\mu\mu} + X_{e\pi}\sigma_{ee\pi\pi} + X_{e\tau}\sigma_{\tau\tau ee} \\
\sigma_{\mu\mu V} &= X_{\mu e}\sigma_{ee\mu\mu} + X_{\mu\mu}\sigma_{\mu\mu\mu\mu} + X_{\mu\pi}\sigma_{\mu\mu\pi\pi} + X_{\mu\tau}\sigma_{\tau\tau\mu\mu} \\
\sigma_{\tau\tau V} &= X_{\tau e}\sigma_{\tau\tau ee} + X_{\tau\mu}\sigma_{\tau\tau\mu\mu} + X_{\tau\pi}\sigma_{\tau\tau\pi\pi} + X_{\tau\tau}\sigma_{\tau\tau\tau\tau}
\end{aligned} \tag{5.3}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_e V &= \frac{\varepsilon_{ee}X_{ee}\sigma_{eeee} + \varepsilon_{e\mu}X_{e\mu}\sigma_{ee\mu\mu} + \varepsilon_{e\pi}X_{e\pi}\sigma_{ee\pi\pi} + \varepsilon_{e\tau}X_{e\tau}\sigma_{\tau\tau ee}}{X_{ee}\sigma_{eeee} + X_{e\mu}\sigma_{ee\mu\mu} + X_{e\pi}\sigma_{ee\pi\pi} + X_{e\tau}\sigma_{\tau\tau ee}} \\
\varepsilon_\mu V &= \frac{\varepsilon_{\mu e}X_{\mu e}\sigma_{ee\mu\mu} + \varepsilon_{\mu\mu}X_{\mu\mu}\sigma_{\mu\mu\mu\mu} + \varepsilon_{\mu\pi}X_{\mu\pi}\sigma_{\mu\mu\pi\pi} + \varepsilon_{\mu\tau}X_{\mu\tau}\sigma_{\tau\tau\mu\mu}}{X_{\mu e}\sigma_{ee\mu\mu} + X_{\mu\mu}\sigma_{\mu\mu\mu\mu} + X_{\mu\pi}\sigma_{\mu\mu\pi\pi} + X_{\mu\tau}\sigma_{\tau\tau\mu\mu}} \\
\varepsilon_\tau V &= \frac{\varepsilon_{\tau e}X_{\tau e}\sigma_{\tau\tau ee} + \varepsilon_{\tau\mu}X_{\tau\mu}\sigma_{\tau\tau\mu\mu} + \varepsilon_{\tau\pi}X_{\tau\pi}\sigma_{\tau\tau\pi\pi} + \varepsilon_{\tau\tau}X_{\tau\tau}\sigma_{\tau\tau\tau\tau}}{X_{\tau e}\sigma_{\tau\tau ee} + X_{\tau\mu}\sigma_{\tau\tau\mu\mu} + X_{\tau\pi}\sigma_{\tau\tau\pi\pi} + X_{\tau\tau}\sigma_{\tau\tau\tau\tau}}
\end{aligned} \tag{5.4}$$

Pode-se então reescrever 5.2 como:

$$\begin{aligned} N_O^*(eeV) &= \mathcal{L}\varepsilon_e V \sigma_{eeV} \\ N_O^*(\mu\mu V) &= \mathcal{L}\varepsilon_\mu V \sigma_{\mu\mu V} \\ N_O^*(\tau\tau V) &= \mathcal{L}\varepsilon_\tau V \sigma_{\tau\tau V} \end{aligned} \quad (5.5)$$

A expressão 5.6 tem em conta os efeitos posteriores de transferência de acontecimentos entre canais, relacionando o número $N_O(\ell\ell V)$ observado de acontecimentos de sinal em cada um dos três canais (e^+e^-V , $\mu^+\mu^-V$ e $\tau^+\tau^-V$) com o número $N_O^*(\ell\ell V)$ de acontecimentos em cada canal, corrigidos pela matriz de transferência T .

$$\begin{aligned} N_O(eeV) &= T_{ee}N_O^*(eeV) + T_{\mu e}N_O^*(\mu\mu V) + T_{\tau e}N_O^*(\tau\tau V) \\ N_O(\mu\mu V) &= T_{e\mu}N_O^*(eeV) + T_{\mu\mu}N_O^*(\mu\mu V) + T_{\tau\mu}N_O^*(\tau\tau V) \\ N_O(\tau\tau V) &= T_{e\tau}N_O^*(eeV) + T_{\mu\tau}N_O^*(\mu\mu V) + T_{\tau\tau}N_O^*(\tau\tau V) \end{aligned} \quad (5.6)$$

Os elementos de matriz T_{xy} traduzem as transferências entre os vários canais, correspondendo os elementos da diagonal ($x = y$) a eficiências e os outros elementos ($x \neq y$) a contaminações. Os elementos da matriz T , obtidos usando simulação de Monte-Carlo do sinal, são mostrados na tabela 5.3

canais gerados	canais observados		
	e^+e^-V	$\mu^+\mu^-V$	$\tau^+\tau^-V$
e^+e^-V	0.935	0.032	0.022
$\mu^+\mu^-V$	0.031	0.964	0.064
$\tau^+\tau^-V$	0.034	0.004	0.914

Tabela 5.3: Matriz T de transferência de acontecimentos entre canais (cf. texto).

Conhecidos os números $N_O(\ell\ell V)$ pode-se resolver o sistema 5.6 e obter os Números de acontecimentos $N_O^*(\ell\ell V)$ para cada canal. Resolvendo então o sistema 5.5 obtêm-se as secções eficazes equivalentes para os três canais (e^+e^-V , $\mu^+\mu^-V$, $\tau^+\tau^-V$).

Para comparar com as secções eficazes previstas pelo *Modelo Standard*, é necessário converter as secções eficazes dos canais gerados nas secções eficazes equivalentes, usando o sistema 5.3 da página 138.

Canal	Medida		Prevista
	ε (%)	σ (pb ⁻¹)	σ (pb ⁻¹)
e^+e^-V	21%	3.9 ± 0.4	3.6 ± 0.2
$\mu^+\mu^-V$	41%	2.4 ± 0.3	1.9 ± 0.2
$\tau^+\tau^-V$	12%	2.3 ± 0.4	1.9 ± 0.3

Tabela 5.4: Eficiência média de selecção da análise (ε) e secção eficaz (σ) medida nesta análise para os três canais (energia no centro de massa igual a 91.25 GeV), e secção eficaz prevista pelo *Modelo Standard*.

As eficiências (ε) e secções eficazes para os canais observados (σ) são mostradas na tabela 5.4, junto com os valores previstos pelo *Modelo Standard* para as secções eficazes. Dentro dos erros respectivos existe um acordo entre os valores obtidos e os previstos pelo *Modelo Standard* para as secções eficazes.

5.2 Comparação com a análise dos dados de 1990 e 1991

A análise dos dados adquiridos em 1990 e 1991 nestes canais foi objecto de uma publicação[DEL93].

A análise aí efectuada é semelhante à apresentada neste trabalho, embora a parte da identificação das partículas não tenha sido aí desenvolvida em profundidade, e o detector de micro-vértice não tenha sido utilizado. A estatística analisada é bastante inferior à analisada neste trabalho, correspondendo nessa publicação a 365 000 decaimentos hadrónicos do Z^0 . Transcrevem-se de seguida os resultados principais dessa publicação.

A tabela 5.5 mostra a comparação entre os números de acontecimentos então seleccionados e os números de acontecimentos previstos pelo *Modelo Standard*, onde se pode vislumbrar, tendo em conta os efeitos de baixa estatística, o acordo entre as previsões do *Modelo Standard* e os resultados analisados.

A figura 5.14 mostra a distribuição dos acontecimentos de 1990 e 1991 então seleccionados em função da massa do V , para os canais $(e^+e^-, \mu^+\mu^-)V$, e para o canal $\tau^+\tau^-V$.

Um resultado interessante da figura 5.14 é o acontecimento de alta massa do

Canal	Dados	Simulação	
		Sinal	Fundo
e^+e^-V	11	9.5 ± 1.1	0
$\mu^+\mu^-V$	9	9.3 ± 0.9	0
$\tau^+\tau^-V$	7	3.9 ± 0.4	3.2 ± 0.9
Total	27	22.7 ± 1.4	3.2 ± 0.9

Tabela 5.5: Retirada da referência [DEL93], a tabela mostra a classificação dos acontecimentos seleccionados dos dados de DELPHI de 1990 e 1991, em relação às partículas provenientes do Z^0 (cf. texto).

V (17.47 GeV). Como se viu na secção anterior, relativa aos resultados deste trabalho, não se observaram acontecimentos em massas do V tão elevadas. As características principais desse acontecimento são mostradas na tabela 5.6, com a mesma legenda da tabela 5.5 (explicitada na página 132).

V	m_V	Δm_V	E_V	$\ell^+\ell^-$	$m_{\ell\bar{\ell}}$
$\mu^+\mu^-$	17.5	0.17	42.5	$\tau^+\tau^-$	25.8
$m_{V\text{ajust.}}$	E_{cm}	E_{ch}	E_{tem}	$\theta_{\text{abert.}}(^{\circ})$	$\theta_V(^{\circ})$
17.47	89.4	62.6	3	78	135

Tabela 5.6: Características do acontecimento de elevada massa do V publicado na análise dos dados de 1990 e 1991.

5.3 Análise preliminar dos dados de 1994

Aplicando a análise descrita no capítulo anterior aos dados adquiridos em 1994, obtiveram-se os resultados preliminares que se mostram de seguida. No período a que se reportam os dados analisados foram adquiridos aproximadamente 1 484 000 decaimentos hadrónicos com energia no centro de massa igual a 91.25 GeV, ou uma luminosidade de 50 pb^{-1} .

Assim, na tabela 5.7 pode-se constatar o bom acordo entre os dados e as previsões do *Modelo Standard*.

A figura 5.15 mostra a distribuição preliminar dos acontecimentos seleccionados de 1994, em função da massa do V, para os canais $(e^+e^-, \mu^+\mu^-)V$, e para o

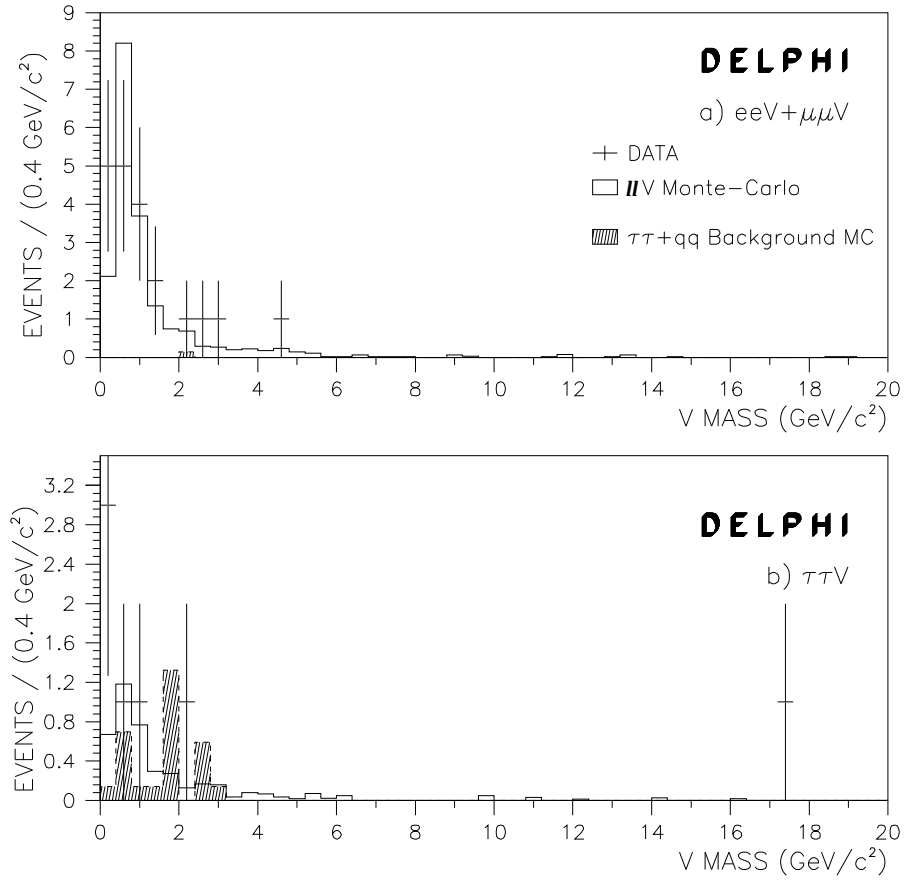


Figura 5.14: Extraída de [DEL93] distribuição dos acontecimentos selecionados de 1990 e 1991 em função da massa do V.

canal $\tau^+\tau^-V$.

Um acontecimento foi observado com massa invariante na zona do Υ referida na secção anterior, mas nesta amostra também foi observado outro acontecimento com massa invariante de 13.8 GeV. As características destes dois acontecimentos são mostradas na tabela 5.8, com a mesma legenda da tabela 5.5 (explicitada na página 132). Na zona de massa do J/ψ foram também observados 6 acontecimentos.

Canal	Dados	Simulação	
		Sinal	Fundo
e^+e^-V	33	38 ± 3.5	0.3 ± 0.3
$\mu^+\mu^-V$	35	36 ± 3.0	0.8 ± 0.4
$(e^+e^-, \mu^+\mu^-)V$	70	77 ± 5.0	1.3 ± 0.6
$\tau^+\tau^-V$	15	10 ± 1.4	2.2 ± 1.3
Total	85	87 ± 5.2	3.5 ± 1.5

Tabela 5.7: Resultados preliminares da análise dos dados de DELPHI de 1994, mostrando a classificação dos acontecimentos seleccionados em relação às partículas provenientes do Z^0 (cf. texto).

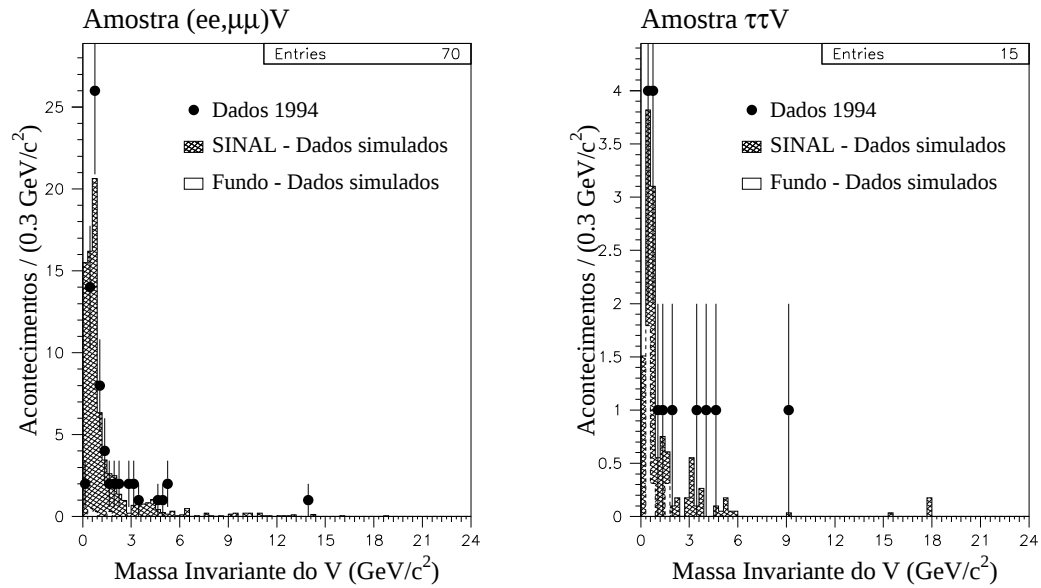


Figura 5.15: Distribuição preliminar dos acontecimentos seleccionados de 1994 em função da massa do V.

	V	m_V	Δm_V	E_V	$\ell^+\ell^-$	$m_{\ell\bar{\ell}}$
1	$\mu^+\mu^-$	9.1	0.154	36.8	$\tau^+\tau^-$	41.2
2	e^+e^-	13.8	0.762	24.4	$\mu^+\mu^-$	50.0
	$m_{V\text{ajust.}}$	E_{cm}	E_{ch}	E_{tem}	$\theta_{\text{abert.}}(^{\circ})$	$\theta_V(^{\circ})$
1	8.84	91.3	61.4	2	33	72
2	13.1	91.3	87.7	24	81	78

Tabela 5.8: Características dos acontecimentos de elevada massa do V seleccionados na análise preliminar dos dados de 1994.

5.4 Resultados globais de DELPHI (preliminar)

Juntando as duas secções anteriores com a primeira secção, a tabela 5.9 mostra os números de acontecimentos seleccionados em cada um dos três canais, para os dados adquiridos em DELPHI entre 1990 e 1994, correspondendo no total a 3 343 000 decaimentos hadrónicos do Z^0 com energias no centro de massa entre 88.2 e 94.2 GeV, ou uma luminosidade total de aproximadamente 123 pb^{-1} . Os resultados são preliminares, pois incluem os dados de 1994.

Canal	Dados	Simulação	
		Sinal	Fundo
e^+e^-V	80	86 ± 4.8	0.5 ± 0.4
$\mu^+\mu^-V$	85	80 ± 4.0	1.6 ± 1.1
$(e^+e^-, \mu^+\mu^-)V$	169	170 ± 6.4	2.7 ± 0.8
$\tau^+\tau^-V$	37	24 ± 2	7.6 ± 2.1
Total	206	194 ± 7	10.3 ± 2.3

Tabela 5.9: Resultados da análise dos dados de DELPHI de 1990 a 1994 (resultados de 1994 preliminares), mostrando a classificação dos acontecimentos seleccionados em relação às partículas provenientes do Z^0 (cf. texto).

A figura 5.16 mostra a distribuição preliminar dos acontecimentos seleccionados entre 1990 e 1994, em função da massa do V, para os canais $(e^+e^-, \mu^+\mu^-)V$, e para o canal $\tau^+\tau^-V$.

Na zona de massa do Υ são observados na totalidade 3 acontecimentos quando se esperam 0.8 ± 0.3 acontecimentos de sinal, e na zona de massa do J/ψ são observados 15 acontecimentos quando se esperam 6.3 ± 1 acontecimentos de sinal.

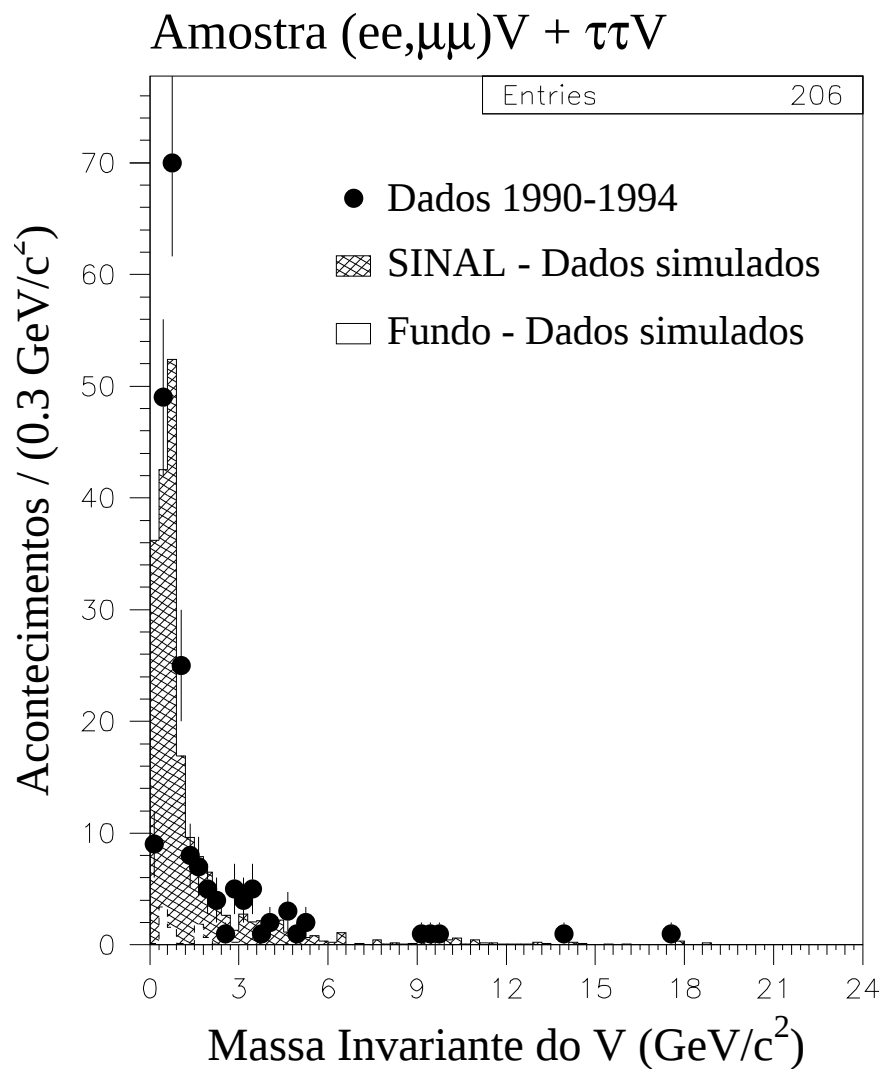


Figura 5.16: Distribuição preliminar dos acontecimentos seleccionados pela análise dos dados de DELPHI de 1990 a 1994, em função da massa do V.

A contribuição do fundo apenas existe na zona de massa do J/ψ e na análise dos dados de 1990 e 1991, sendo no total inferior a 0.7 ± 0.4 .

5.5 Comparação com outras experiências

5.5.1 Energia no centro de massa inferior a 65 GeV (inferior a m_{Z^0})

Os estudos efectuados com energia no centro de massa entre 5 e 40 GeV [PEP89], nos colisionadores e^+e^- PEP em SLAC, Universidade de Stanford, California, E.U.A., e PETRA em DESY, Hamburgo, Alemanha, não revelaram quaisquer discrepâncias entre as previsões do *Modelo Standard* e os dados analisados.

Em particular, em 1992 foram publicados os resultados da experiência Mark II/PEP [MII92], onde se sustenta o acordo entre os dados analisados e as previsões do *Modelo Standard*, para a energia no centro de massa igual a 29 GeV.

Para energias no centro de massa entre 40 e 65 GeV, foram recolhidos dados pela experiência AMY, a funcionar em TRISTAN, o colisionador e^+e^- do laboratório nacional de física de altas energias do Japão (KEK).

Usando os dados de 1987 a 1991, a colaboração AMY apresentou em 1992 [AMY92] os seus resultados relativamente à análise destes canais, tendo observado alguma discrepância no estado final $e^+e^-\mu^+\mu^-$ com massa invariante do par de muões inferior a 5 GeV. Contudo este excesso não foi considerado significativo, ao contrário do que tinha sido referido numa publicação anterior com menos estatística [AMY90]. A análise aqui apresentada de 95.7 pb^{-1} no canal $e^+e^-\mu^+\mu^-$ e 61 pb^{-1} no canal $e^+e^-e^+e^-$ (dados de 1987 a 1991, energias no centro de massa de 50 a 61 GeV), afirma o bom acordo entre o *Modelo Standard* e os dados, excepto no caso do canal $e^+e^-\mu^+\mu^-$ para os pares de muões com massa invariante inferior a 5 GeV.

5.5.2 Energia no centro de massa de 88 a 94 GeV (LEP)

LEP é o colisionador e^+e^- localizado no CERN, Genebra, Suíça, onde foi realizado este trabalho, conforme foi referido nos capítulos anteriores (um resumo descritivo de LEP pode ser encontrado no capítulo 3). Para além de DELPHI, outras

três colaborações estão a funcionar em LEP para estudar também a produção e decaimento do Z^0 : ALEPH, L3 e OPAL. De seguida são resumidos os resultados destas três colaborações relativos à análise destes canais.

ALEPH

Em 1994 Aleph publicou a análise destes canais, cobrindo o período de tomada de dados de 1989 a 1993, correspondendo a 2 000 000 decaimentos hadrónicos do Z^0 [ALE94] (luminosidade integrada de 79 pb^{-1} para energias no centro de massa de 88 a 95 GeV).

O acordo entre os dados analisados e as previsões do *Modelo Standard* é o resultado dominante desse artigo. Um excesso importante no canal $\tau^+\tau^-V$, afirmado num artigo anterior [ALE91] e baseado em 170 000 decaimentos hadrónicos do Z^0 (luminosidade integrada de 8.5 pb^{-1}), não foi confirmado.

OPAL

OPAL é uma experiência a funcionar em LEP, no CERN, e tornou público em 1992 [OPA92] os seus resultados relativos aos dados de 1989 a 1991. A amostra analisada corresponde a 429 000 decaimentos hadrónicos do Z^0 (luminosidade integrada de 18.6 pb^{-1} em energias no centro de massa de 88.2 a 94.2 GeV). Também nesta publicação é salientado o acordo entre as previsões do *Modelo Standard* e os dados analisados.

L3

Os dados recolhidos e analisados pela experiência L3 em 1991 e 1992 foram objecto de um artigo publicado em 1993 [L3V93]. Nesta publicação é afirmado o acordo entre o *Modelo Standard* e os dados adquiridos, numa amostra correspondente a 960 000 decaimentos hadrónicos do Z^0 (luminosidade integrada de 36 pb^{-1} para energias no centro de massa de 88.5 a 93.7 GeV).

5.5.3 Resumo das comparações anteriores

O resumo das comparações anteriores, mostrando os últimos resultados numéricos de cada experiência, é feito na tabela 5.10. O total de todas as experiências representa a soma pesada das várias contribuições.

Para todas as experiências, como globalmente, pode-se observar na tabela 5.10 o acordo entre as previsões do *Modelo Standard* e os dados seleccionados.

Colaboração	$\approx \sqrt{S}$ (GeV)	$\mathcal{L}$ (pb ⁻¹)	e^+e^-V		$\mu^+\mu^-V$		$\tau^+\tau^-V$		Total	
			dados	Simul.	dados	Simul.	dados	Simul.	dados	Simul.
TRISTAN/Amy	50-61	96	10	5.3	-	-	-	-	10	5.3
LEP/Delphi	88-94	123	80	87	85	82	37	32	206	204
LEP/Aleph	88-94	79	101	110	83	77	45	46	229	232
LEP/Opal	88-94	19	21	28	18	15	11	10	50	53
LEP/L3	88-94	36	20	23	10	12	13	14	43	49
LEP / TOTAL	88-94	254	222	246	196	184	106	101	528	531

Table 5.0: Resumo da classificação dos acontecimentos seleccionados pelas diferentes experiências em relação às partículas provenientes do Z^0 (por simulação entenda-se a soma das previsões do *Modelo Standard* para o sinal e para o fundo).

Capítulo 6

Conclusões

Neste trabalho foi feito o estudo dos decaimentos do Z^0 em um par de léptons ($\ell\ell$) e um par adicional partícula-antipartícula (V), tomando por base os dados adquiridos em DELPHI.

Estes canais têm relevância como teste e estudo comparativo das previsões do *Modelo Standard* [SM73] para estados finais com quatro férmions, e constituem um fundo irreduzível nas pesquisas do bóson de Higgs [DEL92] e em outras pesquisas de "Nova Física" [SUS94]. Neste contexto e na sequência da observação de um excesso importante no canal $\tau^+\tau^-V$, reportado pela experiência Aleph/LEP em Abril de 1991 [ALE91], foi por nós efectuada a análise dos dados de 1990 e 1991. Essa análise, que foi apresentada na Conferência "International Lepton-Photon Symposium and Europhysics Conference on High Energy Physics" em Genebra em Julho de 1991 [DEL91a] e objecto de uma publicação [DEL93], concluiu pelo acordo, dentro do erro estatístico, com as previsões do *Modelo Standard*.

O trabalho agora apresentado incide principalmente sobre os dados de 1992 e 1993, aproveitando o pleno funcionamento do detector de micro-vértice em quase todo o período analisado. A estatística acumulada neste período corresponde a aproximadamente 1.4 milhões de decaimentos hadrónicos do Z^0 , ou a uma luminosidade integrada de 58.7 pb^{-1} para energias no centro de massa de 89.4 a 93 GeV. A análise preliminar dos dados adquiridos em DELPHI durante 1994, correspondentes a quase 1.5 milhões de decaimentos hadrónicos do Z^0 ou a uma luminosidade de 50 pb^{-1} para valores de energia no centro de massa iguais à massa do Z^0 (91.2 GeV), é sumariamente referida.

A amostra inicial (definida como tendo quatro partículas carregadas de carga

total nula, e uma energia total superior a 15 GeV) apresenta uma elevada contaminação (relação sinal/ruído da ordem de 1%). As principais contribuições do fundo são, nesta amostra, o decaimento do Z^0 em um par de τ s seguido de um decaimento de pelo menos um dos τ s em três ou mais partículas carregadas; e o decaimento do Z^0 em múons ou acontecimentos "Bhabha" ($e^+e^- \rightarrow e^+e^-$), em que um destes léptões radia um fóton, que se converte posteriormente. A primeira contribuição é reduzida com uma selecção na massa invariante das três partículas mais próximas e a segunda com uma selecção na massa invariante de pares de partículas. O fundo hadrónico, constituído por acontecimentos hadrónicos com perda de partículas carregadas, tem expressão relativamente pequena na amostra inicial, mas após estas selecções tem uma contribuição importante. A análise procura remover esta contribuição com o mínimo efeito no sinal, usando para tal critérios de planaridade e de energia depositada no calorímetro hadrónico.

A forte redução do fundo conseguida nesta análise desde a amostra inicial até à amostra final (de 14900 acontecimentos para 3.5 ± 1.5) tem como consequência limitar a eficiência do sinal (12% no canal $\tau^+\tau^-V$, 21% no canal e^+e^-V e 41% no canal $\mu^+\mu^-V$).

Os resultados obtidos por este trabalho são sumarizados na tabelas 6.1 e 6.2, onde são comparados com as previsões do *Modelo Standard* para o sinal e para o fundo.

Canal	Dados	Simulação	
		Sinal	Fundo
e^+e^-V	36	39 ± 2.9	0.3 ± 0.3
$\mu^+\mu^-V$	41	34 ± 2.3	0.8 ± 0.4
$(e^+e^-, \mu^+\mu^-)V$	79	75 ± 3.9	1.3 ± 0.6
$\tau^+\tau^-V$	15	9.5 ± 1.2	2.2 ± 1.3
Total	94	85 ± 4.1	3.5 ± 1.5

Tabela 6.1: Comparação dos acontecimentos seleccionados na análise dos dados de 1992 e 1993, em função das partículas provenientes do Z^0 , com as previsões do *Modelo Standard*.

Os resultados acima apresentados foram confrontados com resultados de outras colaborações [LLV95], bem como com os resultados da análise por nós efectuada dos dados de DELPHI de 1990 e 1991 [DEL93]. Tanto no trabalho aqui efectuado, como nas análises comparativas entretanto apresentadas, a conclusão dominante é o acordo entre os dados analisados e as previsões do *Modelo Standard* obtidas por simulação de Monte-Carlo.

Canal	Medida		Prevista
	ε (%)	σ (pb ⁻¹)	σ (pb ⁻¹)
e^+e^-V	21%	3.9 ± 0.4	3.6 ± 0.2
$\mu^+\mu^-V$	41%	2.4 ± 0.3	1.9 ± 0.2
$\tau^+\tau^-V$	12%	2.3 ± 0.4	1.9 ± 0.3

Tabela 6.2: Eficiência média de selecção da análise (ε) e secção eficaz (σ) medida nesta análise para os três canais (energia no centro de massa igual a 91.25 GeV), e secção eficaz prevista pelo *Modelo Standard*.

Os excessos afirmados inicialmente por trabalhos anteriores [ALA95] não foram confirmados por esta análise, e as próprias colaborações que afirmaram o excesso publicaram [ALA95], com uma maior estatística analisada, resultados no mesmo sentido dos por nós obtidos.

O acordo entre os dados analisados e o *Modelo Standard* é verificado globalmente e nas distribuições cinemáticas particulares.

A figura 6.1 mostra, para o total dos acontecimentos seleccionados nos dados de DELPHI de 1990 a 1994, a distribuição dos acontecimentos em função da massa invariante do V.

Observa-se na figura 6.1 uma pequena acumulação nos dados nas regiões correspondentes às massas do J/ψ e do Υ . De facto existem nos dados 13 acontecimentos na região do J/ψ e 3 na região do Υ , quando a previsão do *Modelo Standard* indica respectivamente nas mesmas regiões 6.3 ± 1.1 e 0.8 ± 0.6 acontecimentos.

Um pequeno excesso similar foi indicado numa análise baseada nos decaimentos hadrónicos do Z^0 [DEL95].

A clarificação desta situação passa pelo aumento significativo da estatística, mas também pela extensão da análise a decaimentos hadrónicos do J/ψ e do Υ (em quatro ou mais partículas carregadas).

O estudo dos estados finais com 4 fermiões, que constituiu o objectivo deste trabalho, continuará a ser, na nossa opinião, um importante tema de análise nos próximos anos, em particular com o aumento da energia no centro de massa em LEP-2, e as perspectivas que surgem com a produção e decaimento de um par de bosões $W^\pm$ para estes estados finais.

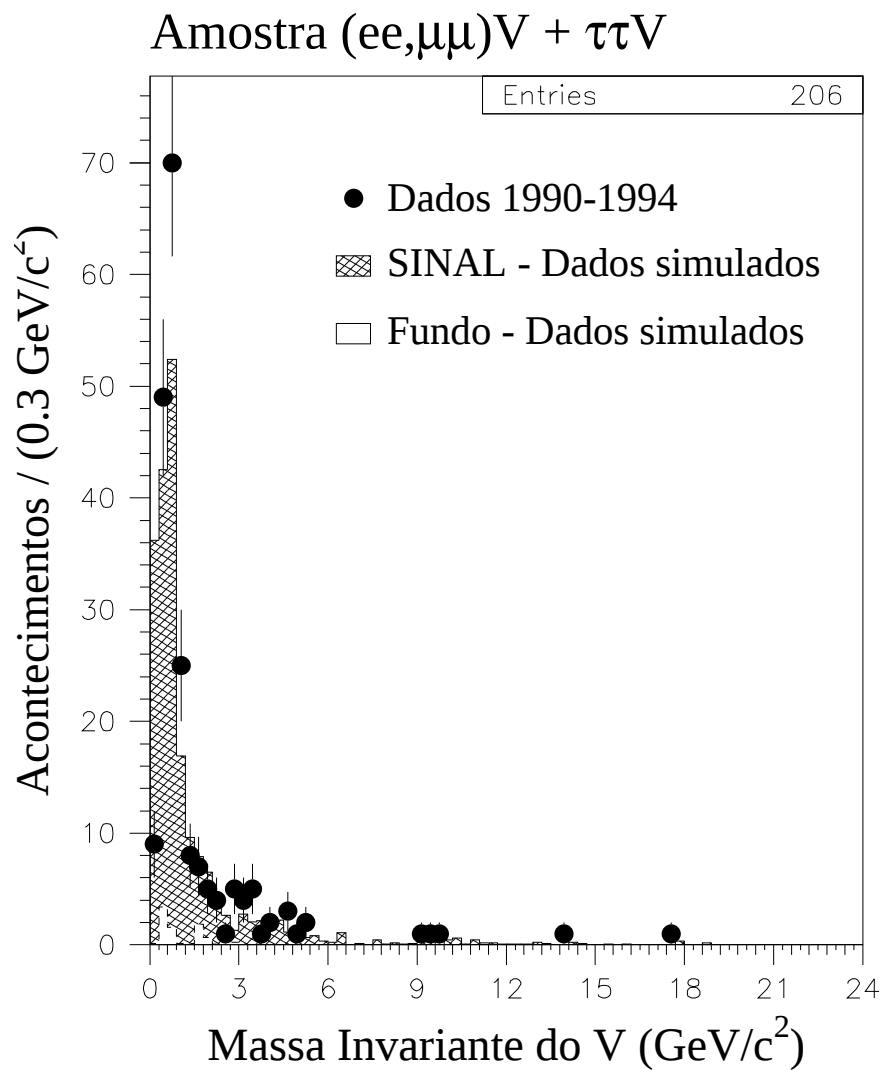


Figura 6.1: Distribuição dos acontecimentos seleccionados pela análise dos dados de DELPHI de 1990 a 1994, em função da massa do V.

Referências

- [Arn83] UA1 Collaboration, G.Arnison et al., Phys.Lett. 122 B (1983) 103;
UA1 Collaboration, G.Arnison et al., Phys.Lett. 122 B (1983) 103;
UA2 Collaboration, M.Banner et al., Phys.Lett. 122 B (1983) 476;
C.Rubbia, Nobel Lecture, Rev.Mod.Phys. 57 (1985) 699.
- [GWS68] S.L.Glashow, Nucl.Phys.B 22 (1961) 579;
S.Weinberg, Phys.Rev.Lett.19 (1967) 1264;
A.Salam, *in* Proc. 8th Nobel Symposium, p.367, ed. N.Svartholm, Almquist, and Wiksell, Stockholm, 1968.
- [GIM70] S.L.Glashow, I.Iliopoulos, L.Maiani, Phys.Rev.D 2 (1970) 1285.
- [CKM73] N.Cabibbo, Phys.Rev.Lett.10 (1963) 531;
M.Kobayashi,K.Maskawa,Progr.Theor.Phys. 49 (1973) 652.
- [Nam63] H.Y.Han,Y.Nambu, Phys.Rev. 139 (1963) 1006;
C.Bouchiat,I.Iliopoulos,Ph.Meyer, Phys.Lett.138 B (1972) 652.
- [Hoo71] G. 't Hooft, Nucl.Phys.B 33 (1971) 173;
G. 't Hooft, Nucl.Phys.B 35 (1971) 167.
- [Has73] F.J.Hasert et al., Phys.Rev.Lett. 46 B (1973) 138.
- [LEP94] The LEP Collaborations and The LEP Electroweak Working Group, preprint CERN/PPE/94-187, 25 November 1994, contributed to the 27th International Conference on High Energy Physics, Glasgow, Scotland, 20-27 July 1994.
- [PDG88] Particle Data Group, M. Aguilar-Benitez et al., Phys.Lett.204 B (1988) 1.

- [DEL83] DELPHI Collaboration, Technical Proposal, DELPHI note 83-66/1 (1983).
DELPHI Collaboration, Progress Report, DELPHI note 84-60 (1984).
DELPHI Collaboration, P.Aarnio et al., Nucl. Instrum. Methods A303 (1991) 233.
DELPHI Collaboration, "Performance of the DELPHI Detector", contributed to the "Conference on High Energy Physics EPS-HEP 95", Brussels, Belgium, 27 July–2 August 1995, also DELPHI note 95-112.
- [PEP89] Para uma revisão abrangente dos resultados pré-LEP, ver por favor a referência
A. Petradza, "Study of four-lepton final states in electron-positron interactions at 29 GeV", estudo SLAC-347, UC-34D, Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, Ca.94309, E.U.A., e referências aí incluídas.
- [AMY90] AMY Collaboration, Y.H.Ho et al., Phys. Lett. B244 (1990) 573.
- [ALE91] ALEPH Collaboration, D.Decamp et al., Phys. Lett. B263 (1991) 112.
- [DEL91a] M.Pimenta, DELPHI Collaboration, *in* Proc. "Joint International Lepton-Photon symposium and Europhysics Conference on High Energy Physics, LP-HEP 91", Geneva, Switzerland, 25 July–1 August 1991, eds. S. Hegarty, K. Potter and E. Quercigh, World Scientific 1991, also DELPHI note 91-73.
- [DEL93] DELPHI Collaboration, P.Abreu et al., Nucl. Phys. B403 (1993) 3.
- [DEL94a] DELPHI Collaboration, P. Abreu et al., Nucl. Phys. B418 (1994) 403.
- [DEL94b] DELPHI Collaboration, P. Abreu et al., Nucl. Phys. B417 (1994) 3.
- [Hig64] P.W.Higgs, Phys.Rev.Lett.13 (1964) 508.
- [DEL92] DELPHI Collaboration, P. Abreu et al., Nucl. Phys. B373 (1992) 3.
- [LEP2] J.-E. Augustin, "Physics at LEP 200", presented in "XV Autumn School of Particle Physics", Lisboa, Portugal, October 1993, also CERN preprint PPE/94-81 (1994).
D.Treille, "The LEP 200 Programme", *in* "Precision Tests of the Standard Electroweak Model", eds. P. Langacker, World Scientific 1994, also CERN-PPE/93-54 (1993).

- [CER89a] CERN Report 89-08, "Z Physics at LEP 1", eds. G. Altarelli, R. Kleiss and C. Verzegnassi, vol.2 (1989) pg.12
- [CER89b] CERN Report 89-08, "Z Physics at LEP 1", eds. G. Altarelli, R. Kleiss and C. Verzegnassi, vol.3 (1989) pg.98
- [Hil92] J.Hilgart, R.Kleiss and F. Le Diberder, Comp. Phys. Commun. 75 (1993) 191.
- [Dav85] F.A.Berends, P.H.Daverveldt and R.Kleiss, Phys.Lett.B148 (1984) 489.
F.A.Berends, P.H.Daverveldt and R.Kleiss, Comp.Phys.Comm. 40 (1986) 271.
P.H.Daverveldt, Ph.D.thesis, Univ.Leiden, Netherland (1985), unpublished.
- [Con91] R. Contri and S. Simonetti, "Simulation of Four Massive Fermion Final States", DELPHI note 91-102 (1991).
- [Bar85] L.M.Barkov et al., Nucl. Phys. B256 (1985) 365.
- [Ber90] L. Bergström and R. W. Robinett, Phys. Lett. B245 (1990) 249.
- [ALL84] J. Allison and G. Hughes, *in* "Formulae and Methods in Experimental Data Evaluation", ed. R. K. Bock et al, Vol. 2 (1984) A1.
- [VDN92] H. Borner et al., DELPHI Collaboration, "The DELPHI Microvertex Detector", contributed to the "XXXVI International Conference on High Energy Physics", Dallas, Texas, U.S.A., 5-12 August 1992, also DELPHI note 92-92 (1992).
- [TRG94] V. Bocci et al., Nucl. Instrum. and Methods A362 (1995) 361.
V. Bocci et al., "Basic Concepts and Architectural Details of the DELPHI Trigger System", contributed to the "Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference", Norfolk, U.S.A., 1994, submitted to IEEE Trans.Nucl.Sci., also CERN-ECP/94-18.
- [DAS91] Ph. Charpentier et al., "The DELPHI Fastbus Data Acquisition System", *in* Proceed. "International Conference on Computing in High Energy Physics CHEP 91", Tsukuba, Japan, 1991, eds. Y. Watase and F. Abe, Universal Academy Press, Tokyo 1991, also DELPHI note 91-92 (1991).
M. Jonker et al., "Architecture and Performance of the DELPHI Data Acquisition and Control System", *in* Proceed. "International Conference on Computing in High Energy Physics CHEP 91", Tsukuba,

- Japan, 1991, eds. Y. Watase and F. Abe, Universal Academy Press, Tokyo 1991, also DELPHI note 91–93 (1991).
- M. Jonker et al., "DELPHI Experiment Control System", *in* Proceed. "Artificial Intelligence and Expert Systems in High Energy and Nuclear Physics", L'Agelonde, France, 1992, eds. D. Perret-Gallix, World Scientific 1992, also DELPHI note 92–98 (1992).
- C. Gaspar et al., "DELPHI Experiment Control Integration", *in* Proceed. "Artificial Intelligence and Expert Systems in High Energy and Nuclear Physics", L'Agelonde, France, 1992, eds. D. Perret-Gallix, World Scientific 1992, also DELPHI note 92–99 (1992).
- [DDB89] Y. Belokopytov and V. Perevozchikov, DELPHI Collaboration, "CARGO400, Data Base Management Package", DELPHI note 90–36 (1990).
- Y. Belokopytov et al., DELPHI Collaboration, "The DELPHI Detector Description: Calibration and Geometry File Data Structure", DELPHI note 90–38 (1990).
- [DDP89] Y. Belokopytov et al., DELPHI Collaboration, "DELPHI Detector Description Application Package", DELPHI note 90–37 (1990).
- [KAP89] R. Matthews, "KAPACK – Random Access I/O Using Keywords", CERN Program Library Z303 (1985).
- [DLS89] DELPHI Collaboration, "DELPHI Event Generator and Detector Simulation – User Guide", DELPHI note 89–67 (1989), ed. P. O. Hulth.
- [DLA89] DELPHI Collaboration, "DELANA User Guide", DELPHI note 89–44 (1989), ed. J. Wickens.
- [TAN89] D. Bertrand, DELPHI Collaboration, *Comp. Phys. Commun.* 45 (1987) 207.
- D. Bertrand and L. Pape, DELPHI Collaboration, "TANAGRA – Track ANALysis and GRaphics", DELPHI note 87-95 (1987).
- [DLG89] D. Bertrand, DELPHI Collaboration, *Comp. Phys. Commun.* 45 (1987) 207.
- DELPHI Collaboration, "Event Viewing Software", DELPHI note 89–6 (1989), ed. D. Bertrand.
- [BMC89] F.A.Berends, W.Hollik and R.Kleiss, *Nucl. Phys. B*304 (1988) 712.
- M.Böhm, R.Kleiss and W.Hollik, *Nucl. Phys. B*304 (1988) 687.

-
- [DYM89] J.E.Campagne and R.Zitoun, Zeit. Phys. C43 (1989) 469.
- [KOR91] S.Jadach and Z.Was, Comp. Phys. Commun. 36 (1985) 191
S.Jadach, J.H.Kühn and Z.Was, Comp. Phys. Commun. 64 (1990) 275
S.Jadach, B.F.L.Ward and Z.Was, Comp. Phys. Commun. 66 (1991) 276.
- [DIA88] "DIAG2" Program, F.A. Berends, P.H. Daverveldt, R. Kleiss, University of Leiden Instituut-Lorentz Voor Theoretische Natuurkunde, Nieuwsteeg 18, SB LEIDEN, The Netherlands
- [JTS73] T. Sjöstrand, Comp. Phys. Commun. 39 (1986) 347.
T. Sjöstrand and M. Bengtsson, Comp. Phys. Commun. 43 (1987) 367.
T. Sjöstrand, JETSET 7.3 User Manual, preprint CERN-TH 6488/92 (1992).
- [Ham95] K. Hamacher and M. Weierstall, "Tuning and Test of Fragmentation Models Based on Identified Particles and Precision Event Shape Data", DELPHI note 95-80 preprint BUGH Wupertal WUB 95-07 (1995).
- [Pla91] S. Plaszczinski and P. Roudeau, "Measurement of Hyperon Production at LEP (Orsay Analysis)", DELPHI note 94-135 (1994).
- [DEL95] DELPHI Collaboration, P. Abreu et al., "Search for Promptly Produced Heavy Quarkonium States in Hadronic Z decays", CERN preprint PPE/94-145, 18 October 1995, submitted to Zeit. Phys. C
- [MII92] T. Barklow et al., MarkII Collaboration, Phys. Rev. Lett. 68 (1992) 13.
- [AMY92] T. Nozaki, AMY Collaboration, *in* Proceed. "IX International Workshop on Photon-Photon Collisions", Univ. California, San Diego, California, U.S.A., 22-26 March 1992, also KEK preprint 92-36, AMY note 92-1 (May 1992).
- [ALE94] ALEPH Collaboration, D. Buskulic et al., Zeit. Phys. C66 (1995) 3.
- [OPA92] OPAL Collaboration, P.D.Acton et al., Phys. Lett. B287 (1992) 389.
- [L3V93] L3 Collaboration, A. Adam et al., Phys. Lett. B321 (1994) 283.
- [SM73] Ver referências acima [GWS68], [GIM70], [CKM73], [Nam63] e [Hoo71].

- [SUS94] Para uma compilação de artigos sobre modelos supersimétricos, bem como uma revisão do assunto, ver por favor a referência "Ten Years of Susy Confronting Experiment", Workshop at CERN, Geneva, Switzerland, 7-9 Setembro 1992, eds. J. Ellis, D. V. Nanopoulos and A. Savoy-Navarro, CERN preprint TH 6707/92, PPE/92-180. e referências aí incluídas.
- [LLV95] Ver referências acima [PEP89], [MII92], [AMY92], [ALE94], [OPA92] e [L3V93].
- [ALA95] Ver referências acima [AMY90] e [ALE91].
- [ALA95] Ver referências acima [AMY92] e [ALE94].

Revolutions in science occurred more probably after a statement of the type "It's funny..." than of the type "Eureka!".

Isaac Asimov