

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



**Estudo de novas formas de
visualização e análise da evolução
temporal das estatísticas de controlo
e qualidade: Aplicação ao detector
ATLAS**

Ademar Tavares Delgado

MESTRADO EM ENGENHARIA FÍSICA

2011

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



**Estudo de novas formas de
visualização e análise da evolução
temporal das estatísticas de controlo
e qualidade: Aplicação ao detector
ATLAS**

Ademar Tavares Delgado

**Trabalho de projecto orientado pelo Prof. Doutor
António Joaquim Rosa Amorim Barbosa**

MESTRADO EM ENGENHARIA FÍSICA

2011

Resumo

O ATLAS é um vasto detector que, quando em funcionamento, encontra-se num local inacessível ao ser humano. Como tal a sua monitorização e controlo têm de ser feitas remotamente, num espaço apropriado. A grande dimensão e complexidade do ATLAS origina um imenso volume de dados de monitorização e controlo, pelo que são necessárias ferramentas de visualização e análise avançadas e personalizadas, que permitam ao operador receber e entender, de uma forma rápida e intuitiva, toda a informação relevante à cerca do estado dos diversos sistemas do detector. Para além disso, a análise destes valores é essencial para garantir a qualidade dos dados obtidos, permitindo validar o seu significado físico.

Neste sentido foram desenvolvidas ferramentas de visualização e análise, nomeadamente da variação temporal das estatísticas de histogramas de controlo e qualidade. Este tipo de ferramentas tem a grande vantagem de permitir, por exemplo, a análise da evolução da resposta de determinados componentes do detector ou a variação da luminosidade ao longo de um “run”.

Este trabalho está inserido no grupo de monitorização do sistema de “trigger” e aquisição de dados. Tem como base uma aplicação inteiramente desenvolvida pelo grupo, que permite aceder à base de dados de histogramas, sendo que as ferramentas desenvolvidas foram adicionadas a esta aplicação.

Palavras chave: European Organization for Nuclear Research (CERN), Large Hadron Collider (LHC), A Toroidal LHC ApparatuS (ATLAS), Trigger and Data Acquisition (TDAQ), Monitoring Working Group (MWG), Online Object Extended Database (NODE2), Visualização, Análise

Abstract

ATLAS is a large detector that, when operating, is in an inaccessible location to humans. As such, its monitoring and control have to be done remotely, in a suitable place. The large size and complexity of the ATLAS produces an immense volume of monitoring and control data, so it requires advanced and customized tools for visualization and analysis, in order to enable the operator to perceive, in a fast and intuitive way, all the relevant information about the status of the several components of the detector. In addition, analysis of this values is essential to ensure the data quality, so to validate the physical meaning of data taken.

This way it has been developed visualization and analysis tools, particularly in order to study the time variation of the statistics of quality and control histograms. Such tools have the great advantage of allowing, for example, analysis of the response evolution of a particular component of the detector or the variation of brightness during a run.

This work is inserted in the monitoring working group of the ATLAS trigger and data acquisition. The tools were developed on top of an application, made by the team, that allows access to the histograms database.

Palavras chave: European Organization for Nuclear Research (CERN), Large Hadron Collider (LHC), A Toroidal LHC ApparatuS (ATLAS), Trigger and Data Acquisition (TDAQ), Monitoring Working Group (MWG), Online Object Extended Database (NODE2), Visualization, Analysis

Índice

1	Introdução	1
2	Motivação	3
2.1	Modelo Padrão	3
2.2	Outras questões em aberto	11
3	ATLAS	13
3.1	LHC	13
3.2	ATLAS	16
3.2.1	Detector interno	18
3.2.2	Calorímetro	19
3.2.3	Espectrómetro de muões	21
3.2.4	Sistema magnético.	21
3.2.5	Reconstrução	22
4	TDAQ	25
4.1	TDAQ	26
4.2	Monitoring Working Group	30
5	A aplicação NODE2	35
5.1	Discussão	35
5.2	Arquitetura de software utilizada.	36
5.3	Descrição funcional.	37
5.4	Apresentação de histogramas simples.	39
5.5	Novas ferramentas de visualização da evolução temporal.	42
6	O NODE na análise de dados de física de ATLAS.	49
	Bibliografia	57

Lista de Figuras

2.1	Diagrama de Feynman do decaimento beta menos de um neutrão para um próton, emitindo um bóson W virtual que decai num electrão e num anti-neutrino de electrão.[1]	7
2.2	Sumario das diversas interacções entre as partículas descritas pelo Modelo Padrão.	9
3.1	Os quatro detectores principais do LHC e o acelerador auxiliar SPS. A componente vertical não está na mesma escala que a horizontal. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	13
3.2	Representação dos diversos aceleradores responsáveis pela aceleração dos prótons e iões até atingirem a sua energia final no LHC.	15
3.3	Imagem virtual do detector ATLAS. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	18
3.4	Imagem virtual do detector detector interno. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	19
3.5	Imagem virtual do detector calorímetro. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	20
3.6	Imagem virtual do detector de muões. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	21
3.7	Imagem virtual dos sistemas magnéticos. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	22
3.8	Esquema conceptual das interacção das diferentes partículas com os diversos tipos de detectores presentes no ATLAS. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	23
3.9	Representação de uma secção transversal do detector ATLAS contendo o sinal deixado por diferentes partículas nas diferentes componentes do detector. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	24

4.1	Esquema do sistema de “trigger” do detector ATLAS. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN	27
4.2	Arquitectura do sistema de armazenamento a longo termo dos dados de monitorização “online”. O MDA agrupa os histogramas em ficheiros ROOT e o CoCa junta esses ficheiros ROOT em grandes arquivos ZIP.	32
5.1	Ambiente principal do NODE2. A árvore do lado esquerdo permite navegar pela base de dados do MDA ao paço que a árvore do lado direito permite navegar pela base de dados COOL.	35
5.2	Menu de autenticação do NODE2.	39
5.3	Janela de apresentação de histogramas, neste caso é apresentado um histograma com a massa do W obtido no “run” 191425 e no “LuminosityBlock” 240.	41
5.4	Janela de apresentação de múltiplos histogramas, nesta janela estão presentes histogramas com a massa do W obtidos no “run” 191425 nos “LuminosityBlock” 240, EoR e no “run” 191426 nos “LuminosityBlock” 240 e 540.	42
5.5	Janela que permite aceder e editar os histogramas guardados como favoritos.	43
5.6	Janela que permite visualizar a evolução temporal de histogramas num formato do tipo “banana-plot”, neste caso é apresentada a variação dos histogramas com a massa do W obtidos no “run” 191426.	44
5.7	Manipulação feita num histograma por forma a o adicionar ao histograma do tipo “banana-plot”.	45
5.8	Separador com algumas das variáveis estatísticas do conjunto de histogramas presentes no histograma do tipo “banana-plot”, neste caso é apresentada a variação dos histogramas com a massa do W obtidos no “run” 191426.	47
5.9	Separador onde é apresentado o histograma de variação das estatísticas, neste caso é apresentada a variação dos histogramas com a massa do W obtidos no “run” 191426.	48
6.1	Massa do Z obtida através da medição do seu decaimento num par electrão-positrão resultante, referente ao “Luminosity Block” 240.	50
6.2	Múltiplo Histograma com um conjunto de histogramas da massa do Z, para os “Luminosity Block” 240, 540, 840 e EoR.	50
6.3	“Banana-plot” do conjunto de histogramas da massa do Z par o canal electrão-positrão, relativos ao “run” 191426.	51

6.4	Histograma de variação das estatísticas do conjunto de histogramas da massa do Z par o canal electrão-positrão, relativos ao “run” 191426.	51
6.5	“Banana-plot” do conjunto de histogramas da massa do Z par o canal muão-“anti-muão”, relativos ao “run” 191426.	51
6.6	Histograma de variação das estatísticas do conjunto de histogramas da massa do Z par o canal muão-“anti-muão”, relativos ao “run” 191426.	51
6.7	Janela de apresentação dos dados referenciados pelo COOL, neste caso são apresentados os dados relativos ao estado de funcionamento do LHC numa dada altura.	52
6.8	Vista geral do NODE2 com destaque para as árvore de directorias que acede ao COOL, do lado direito, e a tabela onde são apresentados os dados.	53
6.9	Vista geral do NODE2 com destaque para as árvore de directorias que acede ao MDA/CoCa e às duas ferramentas de visualização de vários histogramas.	54

Lista de Tabelas

2.1	Classificação dos Fermiões	4
2.2	Massa e tempo de vida média dos leptões.	5
2.3	Nome, símbolo e massa dos quarks.	7
2.4	Dados relativos aos bosões W^+ , W^- e Z	8
2.5	Diferentes combinações, linearmente independentes, de estados dos gluões.	9
2.6	Probabilidade dos diversos decaimentos dos bosões W e Z [2]	11
3.1	Aceleração induzida em prótons por parte dos diversos acelerados que trabalham em conjunto com o LHC.	16
4.1	Capacidade de selecção dos diferentes “trigger” do ATLAS.	28
5.1	Conversão entre o nome dos histogramas guardado pelo MDA e o nome apresentado no NODE2, na vista em árvore.	39

1. Introdução

O CERN, “European Organization for Nuclear Research”, foi fundado em 1954 utilizando a designação, em francês, de “Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire”, nome do concelho provisório criado em 1952[3]. Este é o maior laboratório de física de partículas do mundo, tendo como função disponibilizar ferramentas, nomeadamente aceleradores de partículas de alta energia, à comunidade científica[4]. Para além da física de partículas, o CERN tem contribuído também para o desenvolvimento de outras áreas científicas, como é o caso da computação, sendo o responsável pelo desenvolvimento da WWW, “World Wide Web”[3], e mais recentemente contribuindo no desenvolvimento da Computação Grid[5].

O CERN dispõe de diversos aceleradores, sendo o LHC “Large Hadron Collider” o mais potente de entre eles, concebido para acelerar protões até 7 TeV[5], originando colisões entre protões com 14 TeV no referencial do centro de massa. Cada feixe de protões passa por diversas fases de aceleração antes de ser injectado no LHC, utilizando os aceleradores mais pequenos já existentes para proceder às primeiras fases da aceleração. Para se obterem as colisões, são utilizados dois feixes que se deslocam em sentidos opostos, ao longo dos 27 km do acelerador. O LHC utiliza 1232 dipolos magnéticos, com o intuito de manter o feixe no seu percurso circular e 392 quadrupolos magnéticos, utilizados para manter os feixes focados, entre outros, totalizando mais de 9300 magnetos supercondutores que têm uma temperatura de funcionamento de 1.9 K[5].

Para retirar informação das colisões, existem seis detectores ao longo do LHC. Entre eles encontram-se o ALICE, “A Large Ion Collider Experiment”, o LHCb, “Large Hadron Collider beauty”, o CMS, “Compact Muon Solenoid” e o ATLAS, “A Toroidal LHC ApparatuS”[5].

O ATLAS foi concebido para detectar partículas de alta energia. Tal como o maioria dos detectores desta natureza, o ATLAS tem uma forma cilíndrica, sendo o maior detector de partículas alguma vez construído, com 46 metros de comprimento e 25 de diâmetro. Este pode ser dividido em quatro grandes secções que se dispõem em camadas em torno da zona central, na qual ocorrem as colisões. Assim o ATLAS é composto pelo detector interno, calorímetro, espectrómetro de muões e sistema magnético[6].

A TDAQ, “Trigger and Data Acquisition”, é responsável pela selecção e armazenamento dos dados provenientes do detector ATLAS. Prevê-se que este detector vá registar eventos a uma taxa de 40 MHz, o que significa um volume de dados demasiado elevado para ser armazenado. Assim existem três níveis de “trigger” por forma a seleccionar os eventos que possam ter interesse físico. O primeiro nível é de “hardware” e está embutido na electrónica do detector, os restantes dois são “software” e estão a correr num “cluster” próximo do detector, reduzindo assim a taxa de eventos aceites para cerca de 200 Hz[7].

Dentro da TDAQ encontra-se o grupo de monitorização, “Monitoring Working Group”, que tem como propósito fornecer um conjunto de ferramentas de monitorização não só do sistema de aquisição mas também dos eventos registados pelo ATLAS[8]. A importância deste tipo de ferramentas advém do facto de o ATLAS ser um vasto e complexo detector que se encontra numa caverna, a cerca de 100 metros de profundidade, num ambiente super arrefecido e em vácuo, ou seja num local remoto e inacessível ao ser humano. Como tal estas ferramentas são essenciais para garantir que o detector está a funcionar dentro dos parâmetros aceitáveis e permitir controlá-lo, actuando sobre alguns parâmetros[9].

É dentro deste grupo que se insere este trabalho, mais especificamente, no desenvolvimento da aplicação NODE2, “Online Object Extended Database” e das suas diversas ferramentas de visualização e análise. Este software tem como objectivo permitir uma fácil e rápida pesquisa e apresentação dos histogramas de monitorização e da respectiva informação relevante sobre o acelerador e detector, como é o caso das constantes de calibração. Os histogramas estão armazenados no sistema MDA/CoCa, ao passo que os dados de calibração encontram-se na base de dados COOL e alguma informação extra, relativa à cessão de aquisição de dados, pode ser obtida através do sistema Elog. A pesquisa e apresentação de histogramas e das constantes de calibração é feita através de um ambiente gráfico de utilização intuitiva. Esta aplicação encontra-se numa fase de adição de novas funcionalidades relevantes para a análise desses histogramas. Outra característica do NODE2 é permitir a análise local, num computador pessoal, dos histogramas pretendidos, tornando as ferramentas de análise muito mais fluidas[10].

2. Motivação

O CERN representa um dos primeiros grandes esforços de cooperação internacional ao nível da investigação científica. Para além de ser um exemplo de união em prol do conhecimento, apenas sob a forma de colaboração internacional é possível reunir as condições financeiras e técnicas suficientes para levar a cabo um projecto com a dimensão e complexidade do LHC.

Este projecto tem como base a teoria denominada de Modelo Padrão, procurando testá-la a um novo nível de energia por forma a poder confirmá-la ou por outro lado por em evidencia as suas falhas, possibilitando a descoberta de novos fenómenos que levem ao desenvolvimentos de teorias mais completas.

Por esta razão é importante fazer uma breve abordagem à teoria do Modelo Padrão, por forma a explicar um pouco os objectivos e motivações por de traz da construção do LHC e dos seus detectores.

2.1 Modelo Padrão

Qualquer teoria de física de partículas elementares tem de ser consistente com a teoria da relatividade restrita. Isto levou Dirac a combinar a mecânica quântica, o electromagnetismo e a relatividade restrita obtendo assim a equação de Dirac e, ao quantizar os campos, deu origem à teoria quântica do campo. Esta teoria teve como primeiro resultado o desenvolvimento da teoria da electrodinâmica quântica, que descreve a interacção do electrão com o campo electromagnético. O desenvolvimento desta teoria mostrou uma profunda concordância com os valores obtidos experimentalmente.

Na natureza são conhecidos quatro tipos de campos, o campo gravítico, o electromagnético, o forte e o fraco. A força gravítica é responsável pela atracção dos corpos com massa, a força electromagnética está envolvida nas interacções eléctricas e magnéticas, a força fraca é responsável por alguns dos decaimentos radioactivos e a força forte é a que mantém os quarks unidos, por forma a formarem partículas a que chamamos de hadrões, por exemplo o protão e o neutrão.

À escala da física de partículas a força gravítica pode ser desprezada, pois esta pode

chegar a ser dezenas de ordens de grandeza inferior a outras forças que actuem no sistema[11]. Assim, o Modelo Padrão exclui a força gravítica do seu formalismo mas procura conciliar as interacções electromagnéticas, fracas e fortes, conseguindo descrever as interacções das partículas a um nível subatómico. O Modelo Padrão incorpora ainda a electrodinâmica quântica e é sobretudo uma teoria da interacção de campos. Esta teoria começou a ser desenvolvida na segunda metade do sec. 20, com a descoberta feita por Sheldon Glashow's de uma forma de combinar a interacção electromagnética com a interacção fraca, em 1960. A esta descoberta seguiu-se o desenvolvimento de uma forma de lhe incorporar o mecanismo de Higgs, em 1967, por parte de Steven Weinberg e Abdus Salam.

O mecanismo de Higgs é uma peça fundamental do Modelo Padrão pois é este que permite atribuir massa aos bosões W e Z, bem como aos fermiões, algo que já foi observado experimentalmente e que não pode ser explicado pelo Modelo Padrão sem Higgs.

A descoberta experimental destes bosões ocorreu em 1983, numa experiência a decorrer no CERN, e foi uma descoberta muito importante para a teoria do Modelo Padrão pois as massas destes estão de acordo com o previsto pelo modelo. Outros acontecimentos importantes para a afirmação desta teoria ocorreram entre 1973 e 1974 com a descoberta das correntes fracas originadas pelos bosões Z, que reforçaram a teoria da interacção fraca, e a comprovação experimental de que os hadrões eram compostos por quarks com uma carga fracional da do electrão. Tendo sido em 1977 que foi descoberto o quark bottom, em 1995 o quark top.

Apesar desta teoria conseguir incluir diversos comportamentos observados, como a quebra espontânea de simetria, esta falha em incorporar, por exemplo, a interacção gravítica.

A teoria do Modelo Padrão define que a matéria, de que o universo é feito, é constituída por partículas elementares denominadas fermiões. Estas interagem entre si através de campos criados por elas próprias, utilizando partículas designadas de bosões como portadores das interacções. Assim, esta teoria comporta a existência de 12 partículas elementares, agrupadas em famílias, segundo a carga, e separadas por gerações. Os fermiões possuem spin $1/2$, tab. 2.1.

	Carga	Primeira Geração		Segunda Geração		Terceira Geração	
Quarks	+2/3	Up	u	Charm	c	Top	t
	-1/3	Down	d	Strange	s	Bottom	b
Leptões	-1	Electrão	e^-	Muão	μ^-	Tau	τ^-
	0	Neutrino do Electrão	ν_e	Neutrino do Muão	ν_μ	Neutrino do Tau	ν_τ

Tabela 2.1: Classificação dos Fermiões

Para cada uma das partículas, apresentadas na tabela anterior, existe uma correspondente anti partícula, com propriedades em tudo semelhantes, diferindo apenas por apresentarem uma carga eléctrica simétrica à da respectiva partícula.

Como se pode ver na tabela 2.1, os fermiões estão divididos em seis quarks, (up, down, charm, strange, top, bottom) e seis leptões, (electrão, muão, tau e respectivos neutrinos).

Os leptões não possuem uma propriedade chamada de cor e como tal não interagem através da força forte. Para além disso, os neutrinos não possuem carga eléctrica pelo que apenas sofrem interacções fracas. Na tabela 2.2 encontram-se alguns dados experimentais relativos aos leptões. A teoria também prevê correctamente a existência de anti-leptões, com a mesma massa e spin do correspondente leptão mas com carga oposta e momento magnético também oposto, relativamente à direcção do spin. Dos leptões com carga, apenas o electrão e a sua anti-partículas, o positrão, são estáveis. O muão, o tau e as respectivas anti-partículas diferem das suas versões mais leves, electrão e positrão, apenas pela massa e pelo facto de não serem estáveis, em condições normais, tab. 2.2. Apesar disso, todos os leptões aparentam ser partículas fundamentais e os dados experimentais parecem confirmar que existe um neutrino próprio para cada leptão com carga eléctrica.

Nome	Símbolo	Massa (MeV/c^2)	Tempo de vida média (s)
Electrão	e^-	0.5110	∞
Neutrino de electrão	ν_e	$< 3 \times 10^{-6}$	
Muão	μ^-	105.658	2.197×10^{-6}
Neutrino de muão	ν_μ		
Tau	τ^-	1777	$(291.0 \pm 1.5) \times 10^{-15}$
Neutrino de tau	ν_τ		

Tabela 2.2: Massa e tempo de vida média dos leptões.

O Modelo Padrão mantém a lei da conservação da carga e a conservação do número leptónico, pelo que nas interacções com leptões estes podem apenas transformar-se num outro leptão do mesmo tipo. Pela mesma razão, os leptões carregados apenas podem ser criados e aniquilados aos pares leptão/anti-leptão do mesmo tipo.

$$\begin{aligned}\mu^- &\rightarrow \nu_\mu + e^- + \bar{\nu}_e \\ \gamma &\rightarrow e^- + e^+\end{aligned}$$

Os quarks, ao contrario dos leptões, podem interagir através da interacção forte, para além da interacção electromagnética e da interacção fraca, visto possuírem cor, carga eléctrica e isospin. Como já referi, ao serem capazes de interagir através da força forte, os

quarks são definidos contendo uma nova propriedade denominada cor, esta pode ser “red”, r, “green”, g, “blue”, b. Tal como os leptões, os quarks podem transformar-se em outros do mesmo tipo através da interacção fraca, mudando de sabor. Os quarks agrupam-se por forma a formarem partículas, hádrons, de cor neutra. Estes podem ser compostos por dois quarks (um quark e um anti-quark), mesões, ou por três quarks, bariões, como é o caso dos protões e neutrões.

Os protões são constituídos por dois quarks up e um quark down, (uud), ao passo que os neutrões são constituídos por dois quarks down e um up, (udd), bastando esta pequena diferença entre um quark up e down para tornar o protão e o neutrão nas partículas muito distintas que são. O protão é uma partícula ligeiramente mais leve que o neutrão, cerca de $1.3MeV/c^2$ a menos, sendo também o único barião estável, num sistema isolado. Fora do núcleo o neutrão tem um tempo de vida médio de cerca de 15 *min.*, decaindo para um protão através da interacção fraca.

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

Por sua vez, todos os mesões são instáveis. O mesão mais leve é o pião, π , tendo este três formas distintas, π^+ , com carga $+e$ e formado por um quark up e um anti-quark down ($u\bar{d}$), π^- , com carga $-e$ e formado por um anti-quark up e um quark down ($\bar{u}d$) e o π^0 , de carga neutra e formado por uma combinação quark/anti-quark de up ($u\bar{u}$) ou down ($d\bar{d}$), com igual probabilidade. Os π^+ e π^- têm uma massa de $139.57MeV/c^2$ ao passo que o π^0 é ligeiramente mais leve, tendo uma massa de $134.98MeV/c^2$.

Durante a década de 1940 foram também descobertos mesões e bariões estranhos, logo após a descoberta dos piões. A descoberta destes hádrons levantou a suspeita da existência de um quark semelhante aos up e down, a este suspeito quark foi dado o nome de strange, s, visto aparentar ter uma massa estranhamente elevada, relativamente aos conhecidos quarks up e down. Essa descoberta mostrou ainda que esse quark strange podia substituir quer os quarks up quer os down para formar mesões e bariões. A elevada massa do quark strange torna-o instável e qualquer hádrão que contenha quarks strange vê-os decair para quarks u ou d, através da interacção fraca.

Os restantes quarks, charm, bottom e top são muito mais pesados que os anteriores, estando as suas massas na casa dos GeV/c^2 em vez dos MeV/c^2 . Aparentemente, qualquer combinação de quarks ou par quark/anti-quark permite formar mesões e bariões.

Os fermiões são ainda divididos em três gerações, as partículas de cada geração são idênticas às equivalentes das outras gerações, sendo que as principais diferenças são a massa, que aumenta com a geração e o facto de apenas as partículas da primeira geração serem estáveis em condições ditas normais. Sendo que as partículas da segunda e terceira

Nome	Símbolo	Massa (MeV/c^2)
Up	u	1.5 to 4
Down	d	4 to 8
Charm	c	1.15×10^3 to 1.35×10^3
Strange	s	80 to 130
Top	t	169×10^3 to 174×10^3
Bottom	b	4.1×10^3 to 4.4×10^3

Tabela 2.3: Nome, símbolo e massa dos quarks.

geração apresentam tempos de meia vida muito curtos. A exceção são os neutrinos, em que todos eles aparentam serem estáveis independentemente da geração a que pertencem.

Como já referi, o Modelo Padrão incorpora a existência de bosões, estes são definidos como os agentes transportadores da informação, responsáveis pelas interações das diversas forças fundamentais. Ou seja, os bosões são os responsáveis pelas partículas interagirem entre si. Estas interações são normalmente representadas, em física de partículas, recorrendo a diagramas de Feynman, fig. 2.1.

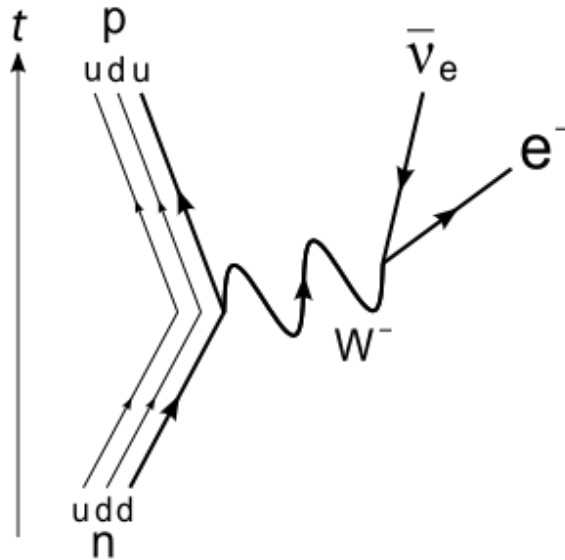


Figura 2.1: Diagrama de Feynman do decaimento beta menos de um neutrão para um próton, emitindo um bóson W virtual que decai num electrão e num anti-neutrino de electrão.[1]

Todos os bosões de gauge, do Modelo Padrão apresentam spin 1 pelo que não estão sujeitos ao princípio de exclusão de Pauli, ou seja, diversos bosões com os mesmos números quânticos podem ocupar o mesmo estado.

Existem diversos bosões de gauge a mediar as diversas forças.

Os fótons, os mais conhecidos, são os quanta que medeiam as interações electro-magnéticas entre as partículas carregadas electricamente. Estes não possuem massa e são bem descritos através da teoria electrodinâmica quântica.

Os bosões W^+ , W^- e Z são os quanta que medeiam as interações fracas entre as partículas com diferentes sabores. Estes bosões apresentam uma massa muito elevada sendo que o Z tem uma massa superior à do W^+ e do W^- . O facto de estes possuírem massa faz com que a interacção fraca apenas ocorra para pequenas distâncias. Pelo principio da incerteza, uma partícula de massa M pode existir, como parte de um estado intermédio, por uma quantidade de tempo \hbar/Mc^2 . Isto significa que a partícula não pode percorrer uma distância superior a \hbar/Mc . Como $M_W = 80.425 \pm 0.038 GeV/c^2$ e $M_Z = 91.1876 \pm 0.0021 GeV/c^2$, as interacção fracas apenas ocorrem a distâncias inferiores a $\approx 10^{-3} fm$ [12], tab. 2.4.

Bosão	Carga e	Massa GeV/c^2	Tempo de vida (s)	Alcance (fm)
W^+	+1	80.425 ± 0.038	$\sim 8.184 \times 10^{-27}$	$\sim 2.455 \times 10^{-3}$
W^-	-1	80.425 ± 0.038	$\sim 8.184 \times 10^{-27}$	$\sim 2.455 \times 10^{-3}$
Z	0	91.1876 ± 0.0021	$\sim 7.2182 \times 10^{-27}$	$\sim 2.1655 \times 10^{-3}$

Tabela 2.4: Dados relativos aos bosões W^+ , W^- e Z .

As interacções fracas que evoluem os bosões W^+ e W^- afectam exclusivamente as partículas esquerdas e anti-partículas direitas. Para além disso, os bosões W transportam uma carga de +1 ou -1, pelo que incorporam ainda interacções electromagnéticas.

Os bosões Z são electricamente neutros e interagem com as partículas e anti-partículas esquerdas.

No conjunto, os fótons, W^+ , W^- e Z são os mediadores das interacções electro-fracas.

Os quanta, que mediam as interacções fortes entre partículas carregas com cor, são denominados de gluões, existindo oito gluões distintos. A força forte tem um comportamento diferente daquele a que a gravidade nos habituou. Tanto quanto sabemos, a gravidade trata-se de um campo puramente atractivo, qualquer que seja a escala. Por sua vez, a força forte apresenta um comportamento repelente a muito curtas distâncias, atractivo a distâncias superiores e deixa de ser sentida a partir de distâncias da ordem do tamanho do protão, ou seja, exhibe um comportamento análogo ao de uma mola[2]. Em ambas a intensidade da força aumenta com a deformação até ao ponto de ruptura, para o caso da excessiva distensão, a partir do qual a força deixa de ser sentida.

Os gluões são partículas que não possuem massa e são descritos por combinações linearmente independentes de cor e anti-cor, resultando de uma combinação de diferentes estados, tab. 2.5. Os gluões podem interagir entre si e são descritos pela cromodinâmica

quântica. Por estes não terem massa, tal como os fotões, seria de prever que a força forte tivesse um alcance infinito. Contudo, ao contrário do campo electromagnético, o campo dos gluões está confinado, tornando o alcance da força forte limitado.

n°	cor	n°	cor
1	$(r\bar{b} + b\bar{r})/\sqrt{2}$	5	$-i(r\bar{b} - b\bar{r})/\sqrt{2}$
2	$(r\bar{g} + g\bar{r})/\sqrt{2}$	6	$-i(r\bar{g} - g\bar{r})/\sqrt{2}$
3	$(b\bar{g} + g\bar{b})/\sqrt{2}$	7	$-i(b\bar{g} - g\bar{b})/\sqrt{2}$
4	$(r\bar{r} - b\bar{b})/\sqrt{2}$	8	$(r\bar{r} + b\bar{b} - 2g\bar{g})/\sqrt{6}$

Tabela 2.5: Diferentes combinações, linearmente independentes, de estados dos gluões.

As interacções entre as diversas partículas descritas pelo Modelo Padrão podem ser resumidas pela figura 2.2.

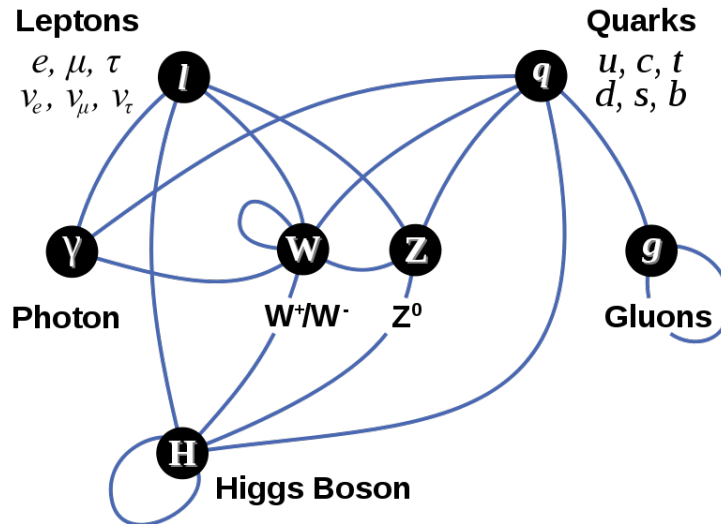


Figura 2.2: Sumario das diversas interacções entre as partículas descritas pelo Modelo Padrão.

Para completar este quadro e esta breve introdução do Modelo Padrão, falta falar sobre o mecanismo de Higgs. Este teve origem em 1964, por parte de Peter Higgs, seguindo uma sugestão de Phillip Anderson, e que sugere a existência de um novo campo, o campo de Higgs. Este novo campo seria o responsável pelas partículas terem massa, propriedade que adviria de algumas partículas poderem interagir com este campo, estando o valor da massa relacionado com a força da interacção entre a partícula e o campo de Higgs. Desta forma este novo campo teria a habilidade de poder explicar porque razão algumas partículas têm massa e outras não e ainda a razão de as partículas terem a massa que têm.

Do desenvolvimento deste novo e hipotético campo resulta o aparecimento de um novo bosão, o bosão de Higgs. Este trata-se de uma hipotética e massiva partícula que constitui um elo fundamental na atribuição de massa a outros bosões e fermiões, pelo que é uma peça fundamental do Modelo Padrão.

Teoricamente, esta partícula não tem carga eléctrica, volume e estrutura pelo que se trata de uma partícula fundamental e escalar, sem spin e com massa elevada, como já referi. O modelo prevê ainda que se trata de uma partícula instável, com um tempo de vida muito curto, pelo que a medição desta não é feita directamente mas sim através da reconstrução dos eventos que deram origem às partículas medidas. Assim, a medição do bosão de Higgs requer uma base teórica muito forte, com a previsão dos diversos decaimentos prováveis do Higgs, bem como um conhecimento experimental bastante preciso dos decaimentos subsequentes, devidos não só às partículas a que o Higgs deu origem mas também do decaimento dos seus produtos.

Desta forma, prevê-se que o bosão de Higgs decaia principalmente em pares de partículas de carga oposta, partícula/anti-partícula, com alguma preferência para as partículas mais massivas que estejam ao seu alcance, ou seja, que tenham a massa do par partícula/anti-partícula elevada mas inferior à massa do Higgs, havendo outros factores a influenciar a forma como o Higgs decai.

Por exemplo, se a massa do Higgs for superior a 9GeV este pode decair num par bottom/anti-bottom, se a massa for superior a 160GeV este passa a poder decair num par W^+W^- , para o caso do valor da massa ser maior do que 182GeV o bosão de Higgs passa a poder decair num par de Z e se a massa do Higgs tiver um valor acima de 350GeV é ainda possível que este decaia para um par de top/anti-top. Estes são, segundo o que a teoria prevê, quatro dos principais tipos de decaimentos do bosão de Higgs, sendo que se a massa do Higgs for inferior a 135GeV espera-se que o decaimento principal seja através do par quark/anti-quark bottom e no caso de a massa do Higgs ser superior a 135GeV espera-se que o decaimento principal seja através dos par de bosões W^+W^- .

Os quark top decaem em quarks bottom e bosões W , pelo que no final, o detector deverá conseguir ter uma grande W e Z podem decair para quarks, sendo que estes irão dar origem a jactos de partículas, ou em leptões, tab. 2.6.

Assim a baixa probabilidade de ocorrerem os eventos mais interessantes, aliada à baixa razão sinal/ruído, faz com que a detecção do bosão de Higgs requeira uma elevada luminosidade a fim de se obter suficiente estatística. A previsão de que este bosão possui uma massa elevada requer ainda uma enorme quantidade de energia por forma a que o acelerador possa dotar os protões, que nele circulam, de energia suficiente para poderem gerar bosões de Higgs a quando das colisões.

Decaimentos do W	
Tipo de decaimento	Probabilidade
$W \rightarrow quark + anti - quark$	67%
$W \rightarrow e + \nu_e$	11%
$W \rightarrow \mu + \nu_\mu$	11%
$W \rightarrow \tau + \nu_\tau$	11%
Decaimentos do Z	
Tipo de decaimento	Probabilidade
$Z \rightarrow quark + anti - quark$	70%
$Z \rightarrow \nu + \bar{\nu}$	20%
$Z \rightarrow e^- + e^+$	3%
$Z \rightarrow \mu + \bar{\mu}$	3%
$Z \rightarrow \tau + \bar{\tau}$	3%

Tabela 2.6: Probabilidade dos diversos decaimentos dos bosões W e Z[2]

Como referi é através do mecanismo de Higgs que se consegue construir um modelo em que o fóton não tem massa mas que ao mesmo tempo permite que o bosão W e Z tenham a elevada massa que lhes foi medida. Este mesmo mecanismo é também responsável por atribuir massa aos electrões, muões, tau e aos quarks.

2.2 Outras questões em aberto

Para além de procurar o bosão de Higgs e assim completar mais uma pouco o Modelo Padrão, o LHC procura também responder a diversas outras questões sobre a natureza do universo que nos rodeia.

Uma dessas importantes questões é a razão de vivermos num mundo de matéria e não de anti-matéria. Este mundo de matéria não se restringe localmente ao nosso sistema solar mas estende-se a todo o universo que conseguimos ver. O problema advém do facto de em laboratório, os processos de criação de matéria geram também anti-matéria em quantidade igual, pelo que o universo deveria apresentar iguais quantidades de matéria e anti-matéria. A resposta para esta assimetria poderá estar no decaimento dos mesões K e B neutros. A força fraca parece tratar de forma diferente a matéria e a anti-matéria e o actual estudo do decaimento destes mesões aponta para o favorecimento da produção de matéria, principalmente por parte dos mesões B, que contêm quarks bottom, para os quais os dados apontam para um relativo favorecimento do decaimento em matéria. Assim, um dos detectores do LHC, o LHCb “Large Hadron Collider beauty”, foi projectado com a função principal de estudar detalhadamente, com grande precisão, o decaimento dos

mesões B, aprofundando assim o nosso conhecimento, ajudando a confirmar e a detalhar os dados já existentes, contribuindo desta forma para a resolução do problema da assimetria matéria/anti-matéria.

Outra e intrigante questão que se espera que o LHC possa trazer alguns dados novos é a razão da existência de pelo menos três gerações de fermiões.

Espera-se também que o LHC possa confirmar um novo estado da matéria, o plasma de quarks, estado que terá existido nos primeiros instantes do universo, logo após o big bang, e no qual os quarks passam a comportar-se como partículas livres e independentes, não estando restritos a existirem apenas em aglomerados, hádrões. Para este estudo o LHC vai também fazer colidir partículas mais pesadas, iões de chumbo, sendo que o detector ALICE, “A Large Ion Collider Experiment”, foi desenhado a pensar neste tipo de colisões.

Outra questão que o LHC irá estudar, a uma nova escala, é a estrutura ou falta desta das partículas por agora consideradas fundamentais, como é o caso dos quarks. Podendo descobrir que afinal estes não são partículas fundamentais, possuindo volume e estrutura, ou por outro lado concluir que a existir estrutura esta será inferior a $2 \times 10^{-19}m$ [2].

O LHC poderá ainda ajudar a compreender melhor a verdadeira natureza das forças fundamentais que nos rodeiam, estudando a possibilidade de essas forças poderem ser diferentes representações do mesmo efeito fundamental.

3. ATLAS

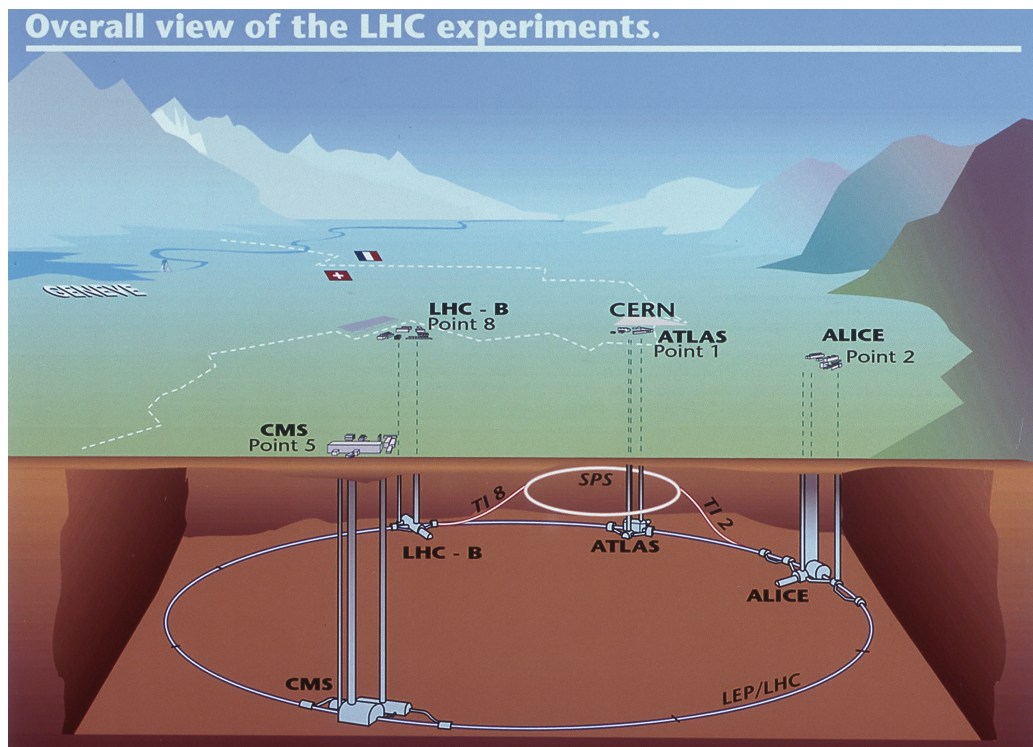


Figura 3.1: Os quatro detectores principais do LHC e o acelerador auxiliar SPS. A componente vertical não está na mesma escala que a horizontal. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

3.1 LHC

O LHC, “Large Hadron Collider”, é o maior e mais potente acelerador de partículas alguma vez construído pelo homem. Este encontra-se na fronteira entre a Suíça e a França, formando um anel com cerca de 27 Km de comprimento e está a uma profundidade que varia entre 50 m e 150 m abaixo do solo, Fig. 3.1. O LHC foi projectado para poder acelerar protões até 7 TeV, cerca de 99,999999% da velocidade da luz, podendo também acelerar iões de, por exemplo, chumbo. Ao longo do acelerador circulam dois feixes em

sentidos contrários, permitindo assim gerar colisões com 14 TeV de energia, no caso de choques entre prótons e para o referencial do centro de massa.

Provocar choques entre partículas com esta energia representa um enorme desafio tecnológico e de engenharia.

Em primeiro lugar, a aceleração das partículas carregadas é feita através do uso de campos eléctricos alternos muito intensos, contudo, ao serem alternos estes campos apenas permitem acelerar feixes discretos, compostos por pacotes de partículas. Este tipo de aceleradores requer ainda uma grande sincronização, por forma a que as partículas atravessem o campo eléctrico quando este se encontra com a intensidade máxima, ou seja, altura em que a aceleração induzida nas partículas é máxima.

Outro aspecto importante está relacionado com a geometria do acelerador. Por se tratar de um acelerador circular este tem a vantagem de poder ser mais compacto e potencialmente menos dispendioso que um acelerador equivalente mas linear, a razão para isso prende-se simplesmente com o facto de a mesma secção, de um acelerador circular, poder ser utilizada diversas vezes, uma por ciclo, até que as partículas adquiram a energia pretendida. Contudo isto exige que a trajectória das partículas seja alterada. Para tal são utilizados campos magnéticos gerados por enormes electroímans. O LHC utiliza 1232 dipolos magnéticos para guiar o feixe e 392 quadrupolos magnéticos para focar o feixe, entre outros, num total de mais de 9300 magnetos supercondutores. Estes têm de ser super condutores pois só assim os electroímans podem atingir as altas correntes necessárias para gerar campos magnéticos suficientemente fortes, capazes de manter os feixes na trajectória correcta[5].

Além de acelerar e manter as partículas na trajectória correcta, o LHC tem de garantir que elas se mantêm dentro do pacote e que colidem com as partículas que circulam em sentido contrário, no outro feixe. Por se tratarem de pacotes de partículas de carga igual, o feixe tem uma tendência natural para alargar, formando um cone. Assim, para manter o feixe a circular, bem como para maximizar a probabilidade de colisão, são utilizados quadrupolos magnéticos, estes funcionam como uma lente com o intuito de focar o feixe. Desta forma consegue-se que a secção dos feixes, nas zonas de colisão, seja inferior à espessura de um cabelo humano. Assim, tudo tem de ser controlado e sincronizado com grande precisão por forma a que as colisões ocorram e que ocorram apenas nas zonas próprias, no interior dos detectores.

Para além disto, os prótons e iões apenas podem ser acelerados a tais energias se estiverem num ambiente de alto vácuo, de outra forma perderiam rapidamente toda a energia em choques com as moléculas de ar. Isto significa que existe um tubo, dentro do qual as partículas se deslocam, com mais de 27 Km de comprimento que tem de

ser mantido em alto vácuo. Por fim, é ainda necessário manter algumas componentes a temperaturas criogénicas, componentes tanto dos detectores como do próprio LHC, como é o caso dos magnetos supercondutores que referi anteriormente.

Resumindo, tem de se conseguir fazer com que dois feixes, que se deslocam em sentidos opostos, atinjam a sua alta velocidade, que estes se mantenham dentro do acelerador, que se cruzem num local preciso e numa secção muito pequena.

No processo de aceleração dos iões, o LHC conta ainda com o auxílio de outros quatro aceleradores mais pequenos, Fig. 3.2. Estes são responsáveis pelas primeiras fases de aceleração das partículas, como analogia podemos olhar para este sistema como as mudanças de um veículo, em que se vai aumentando gradualmente a mudança com a velocidade. A injeção dos pacotes no LHC é feita preenchendo primeiro um dos sentidos, com o número de pacotes programado, e só depois é preenchido o sentido oposto.

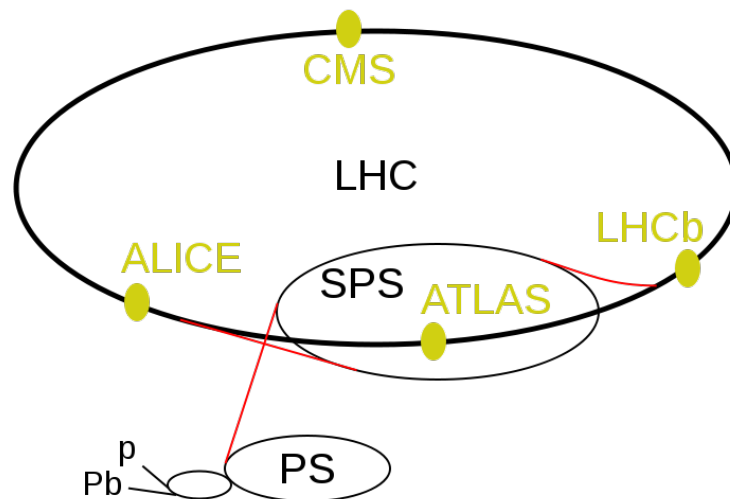


Figura 3.2: Representação dos diversos aceleradores responsáveis pela aceleração dos prótons e iões até atingirem a sua energia final no LHC.

Assim, para o caso dos prótons, o processo começa com a ionização de átomos de hidrogénio. De seguida os prótons são injectados, com 100 KeV, no primeiro acelerador, o Linac2 “Linear Accelerator”. Como o nome indica, este é um acelerador linear, tem 78 m de comprimento e acelera os prótons até aos 50 MeV. Ao saírem do Linac2 os prótons passam para o PSB, “Proton Synchrotron Booster”, este é um acelerador circular, assim como são os restantes aceleradores desta cadeia. O PSB tem uma circunferência com 157 m de perímetro e acelera os prótons até 1.4 GeV, altura em que os transmite ao PS, “Proton Synchrotron”, que tem 610 m de circunferência e acelera os prótons até 25 GeV antes de os transmitir ao ultimo acelerador antes do LHC. Esse acelerador é o SPS,

“Super Proton Synchrotron”, tem 6.3 Km de circunferência e acelera os prótons até aos 450 GeV[2], tab. 3.1.

Acelerador	Entrada	Saída
Linac2	100 KeV	50 MeV
PSB	50 MeV	1.4 GeV
PS	1.4 GeV	25 GeV
SPS	25 GeV	450 GeV
LHC	450 GeV	14 TeV

Tabela 3.1: Aceleração induzida em prótons por parte dos diversos aceleradores que trabalham em conjunto com o LHC.

Ao conseguir acelerar e colidir os prótons com estas energias, o LHC vai permitir estudar o comportamento da matéria a temperaturas (energias), nunca antes testadas pelo homem. Para além disso, a utilização dos feixes de iões pesados, como por exemplo iões de chumbo, vai permitir estudar outros fenómenos que possam ocorrer quando se aumenta a quantidade de matéria sujeita a tais temperaturas, como é o caso da hipótese do plasma de quarks.

Quando o LHC estiver a trabalhar à potência para que foi projectado irá lidar com uma enorme quantidade de energia. Como já referi, o LHC foi projectado para permitir a aceleração de feixes de prótons e de iões pesados. Para o caso dos prótons, dentro do LHC podem circular 2808 pacotes em cada feixe, sendo que cada pacote contém 1.15×10^{11} prótons, pelo que em cada sentido circulam cerca de 3.2292×10^{14} prótons. No total o LHC irá fazer circular cerca de 6.4584×10^{14} prótons. Quando este estiver totalmente operacional, acelerando os prótons a 7 TeV em vez dos actuais 3.5 TeV, a energia armazenada dentro do acelerador, nos feixes, será de uns impressionantes 724 Mj, 362 Mj em cada feixe. Isto equivale a cerca de 160 Kg de TNT ou 900 carros de 2 toneladas a deslocarem-se a 100 Km/h[13].

Devido a tudo o que já foi referido, controlar esta enorme quantidade de energia é uma tarefa complicada, pelo que ao mínimo sinal de perda de controlo os feixes têm de ser parados. Assim existem sistemas de segurança que permitem absorver rapidamente a energia do feixe, por forma a que este não destrua nenhum equipamento.

3.2 ATLAS

Para que o LHC tenha utilidade no estudo de física de partículas é necessário que existam detectores. Assim, e mantendo a escala, o LHC possui diversos detectores sendo que os quatro principais são também máquinas enormes, por restrições físicas que irei abordar

mais à frente. Destes detectores requer-se que sejam ultra rápidos, pois os eventos ocorrem em intervalos de tempo muito curtos, possuam alta resolução e grande precisão, por forma a que possam medir os eventos com o detalhe necessário para se conseguir retirar a informação presente nos acontecimentos. Isto tornou o projecto e construção destes detectores num grande desafio tecnológico e de engenharia. De entre as quatro principais experiências encontram-se o ALICE, “A Large Ion Collider Experiment”, desenhado com a função principal de estudar o plasma de quarks-gluões, o LHCb, “Large Hadron Collider beauty”, projectado para estudar a diferença entre a quantidade de matéria e antimatéria, e os dois grandes detectores genéricos, o ATLAS, “A Toroidal LHC Apparatus” e o CMS, “Compact Muon Solenoid” [5]. Este trabalho está integrado no grupo ATLAS pelo que me vou restringir a a este detector.

Como já referi, o ATLAS foi concebido para detectar diversos tipos de partículas. Na física de partículas de alta energia não é possível medir directamente os choques entre as partículas. O que os detectores podem medir são algumas grandezas presentes na maioria das partículas que resultam dos eventos, bem como nas partículas descendentes destas. De notar apenas que partículas como os neutrinos atravessam o detector sem interagirem com este, logo sem serem directamente detectados. Assim as principais partículas que serão detectadas são os fótons, electrões, muões e hádrons e as principais medidas serão o momento, a origem e a trajectória de cada partícula.

O grupo responsável pelo ATLAS nasce da fusão de duas colaborações, a EAGLE, “Experiment for Accurate Gamma, Lepton and Energy Measurements” e a ASCOT, “Apparatus with Super COnducting Toroids” [4].

O ATLAS é um vasto detector de forma cilíndrica, à semelhança da maioria dos detectores desta natureza, sendo que é o maior detector do seu tipo alguma vez construído, tendo 46 metros de comprimento e 25 de diâmetro. Como já referi, o ATLAS é composto por quatro grandes secções, o detector interno, o calorímetro, o espectrómetro de muões e o sistema magnético, que se dispõem em camadas em torno da zona onde ocorrem as colisões, Fig. 3.3. A informação das diversas secções complementa-se e é utilizada para a reconstrução de cada evento [6].

Este encontra-se numa caverna com 53 metros de comprimento, 35 metros de altura e 30 metros de largura, estando o chão a 92 metros de profundidade. Tirando as fases de construção e manutenção, a caverna encontra-se interdita. Não só devido ao elevado nível de radiação mas também devido à muito baixa temperatura e ao vácuo que o detector requer. Assim, a monitorização e controlo do detector têm de ser feitas remotamente, tendo ainda de se ter em conta as restrições de acesso, anteriormente referidas, ao se projectarem os mecanismos que actuam no detector a fim de o controlar. Como tal

existem mais de 100 milhões de canais electrónicos no ATLAS. Esta enorme quantidade de canais é essencial para que se conheça o estado de todo o detector, contudo, isto representa uma enorme quantidade de informação o que requer “software” especialmente desenhado, por forma a que o operador receba toda a informação importante de uma forma quase instantânea. Podendo assim inferir, quando necessário, a forma mais correcta de actuar sobre o detector. Toda esta monitorização é também essencial para garantir a qualidade dos dados recolhidos, por exemplo, que todas as componentes necessárias para reconstruir um evento estavam operacionais e calibradas, nesse instante, e que o número de erros digitais está dentro de um valor aceitável.

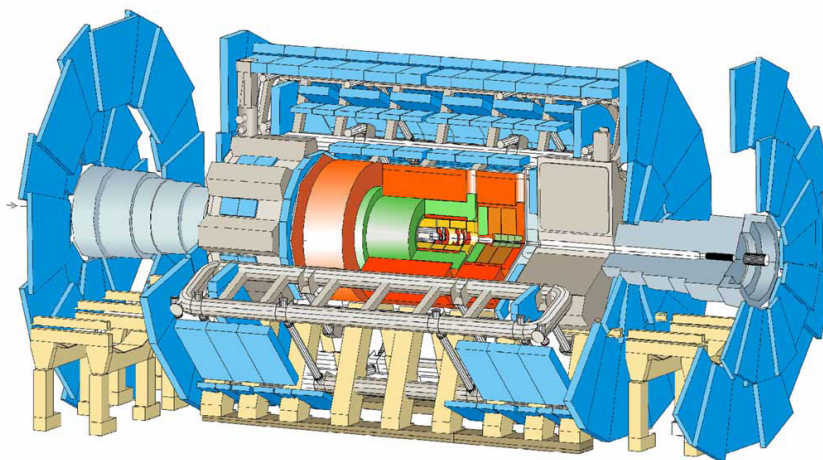


Figura 3.3: Imagem virtual do detector ATLAS. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

3.2.1 Detector interno

Este detector tem como função identificar a trajectória, o momento e o sinal da carga das partículas electricamente carregadas que o atravessam, também pode ser designado por detector de traços. O detector interno tem 7 metros de comprimento e um raio de 1.15 metros, envolvendo o tubo central por onde circulam os protões e iões pesados. Em torno do detector interno encontra-se um dos sistemas magnéticos, responsável por fazer mudar a direcção da trajectória das partículas carregadas, o que torna possível determinar a carga da partícula, consoante a direcção da curva, e o momento, que está relacionado com o raio de curvatura da trajectória. A origem das trajectórias também contém informação, podendo indicar que a partícula resultou do decaimento de uma partícula secundária, caso a origem da trajectória não coincida com o local da colisão entre os protões[6].

Este detector está subdividido em três partes, detector de pixeis, “Semi-Conductor Tracker” e “Transition radiation tracker”, Fig. 3.4.

A secção mais próxima do feixe é um detector de pixeis, contendo 1744 módulos dispostos em três camadas. Cada modulo mede 21.4 X 62.4 mm e contém 16 chips sendo que cada chip controla uma matriz de 18 por 160 pixeis, resultando em 46080 pixeis por modulo e um total de mais de 80 milhões de pixeis no detector. Cada pixel mede 50 X 400 μm^2 e possui uma resolução de 14 X 115 μm^2 .

A segunda secção é o SCT, “Semi-Conductor Tracker”, é semelhante à anterior mas utiliza tiras em vez de pixeis. Cada modulo mede 6.36 x 6.40 cm e tem 780 tiras, totalizando 4088 modulo e 6 milhões de tiras. Os módulos estão dispostos em quatro camadas duplas.

A terceira secção é a TRT, “Transition radiation tracker”, é constituída por tubos, com 4 mm de diâmetro e comprimento que pode chegar a 144 cm, num total de 370000 tubos. Cada tubo está preenchido com uma mistura de gases que ficam ionizados com a passagem de partículas carregadas[6]. No interior de cada tubo encontra-se um fio de tungsténio revestido a ouro, com uma diâmetro de 0,03 mm. Os iões produzidos deslocam-se para esse fio dando origem a uma corrente que pode então ser medida.

Como já referi, entre o detector interno e o Calorímetro encontra-se um solenóide super condutor, do qual falarei adiante com mais detalhe.

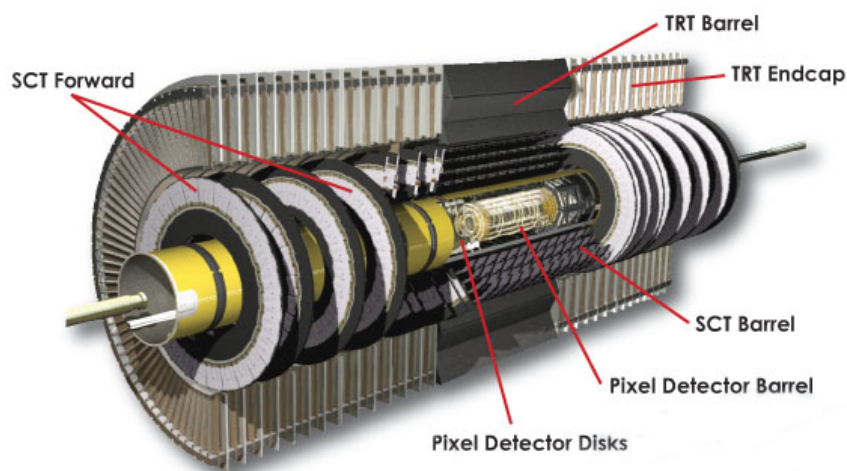


Figura 3.4: Imagem virtual do detector detector interno. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

3.2.2 Calorímetro

O calorímetro tem como função medir a energia contida nas partículas. O ATLAS utiliza dois tipos distintos de calorímetros, o LAr, “Liquid Argon Calorimeter” e o TileCal, “Tile Calorimeter”. Na camada interna encontra-se o calorímetro electromagnético, inserido no

LAr, e na segunda camada o calorímetro hadrónico, fazendo parte dos sistemas LAr e TileCal.

O LAr envolve o detector interno, tem 6.4 m de comprimento, uma espessura de 53 cm e possui 110000 canais. Como o nome indica, utiliza Árgon no estado líquido, a -183° C.

O calorímetro electromagnético absorve e mede a energia das partículas que interagem electromagneticamente, como é o caso dos electrões e dos fótons, que são parados neste detector. O calorímetro electromagnético tem bastante precisão quer em termos da quantidade de energia depositada bem como na posição em que foi depositada. Este é composto por diversas camadas de chumbo, com cerca de 1.5 mm de espessura, alternadas com camadas de material detector. As camadas de chumbo têm como finalidade dar origem a chuveiros de partículas. Desta forma a energia contida na partícula mãe é dividida pelas diversas partículas descentes, podendo estas por sua vez dar origem a outros chuveiros de partículas. Como a distância percorrida por uma partícula, num dado material, está relacionada com a energia da partícula é então fácil de perceber que a indução dos chuveiros de partículas permite reduzir bastante a espessura dos detectores, permitindo torná-los mais compactos e baratos.

O calorímetro hadrónico absorve e mede a energia dos hadrões que o atravessam. Este é composto por camadas de aço intercaladas com cintiladores plásticos. Neste calorímetro o aço tem a mesma função e propósito que o chumbo no calorímetro electromagnético, ao incidirem no aço os hadrões originam um chuveiro hadrónico, que é detectado pelos cintiladores plásticos, permitindo assim tornar o calorímetro mais compacto[6].

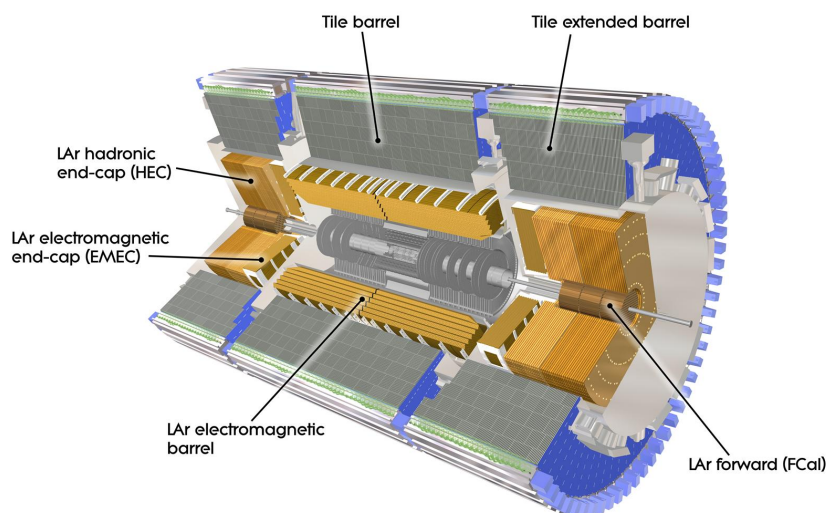


Figura 3.5: Imagem virtual do detector calorímetro. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

3.2.3 Espectrómetro de muões

Esta é a secção que ocupa o maior volume do ATLAS, começando aos 4.25 m de raio e terminando nos 11 m, Fig. 3.6.

Os muões perdem relativamente pouca energia ao atravessarem a matéria, por exemplo, um muão de 5 GeV consegue penetrar 5 m de aço. Assim sendo, são necessárias diversas camadas de material para que os muões sejam medidos com a precisão requerida, sendo esta a razão que tornando espectrómetro de muões bastante volumoso, como referi anteriormente.

Tal como o detector interno, também o detector de muões está envolto num campo magnético intenso, por forma a que a trajectória dos muões seja alterada, permitindo assim medir o momento que estes transportam. A detecção é feita através de tubos metálicos, com 3 cm de diâmetro, preenchidos com gás e contendo um fio condutor no seu interior. A alta diferença de potencial entre o fio e a superfície faz com que a passagem de um muão origine uma descarga eléctrica. Controlando o tempo de chegada dos sinais, às extremidades dos tubos, pode-se calcular a posição da interacção com uma precisão de 0.1 mm[6].

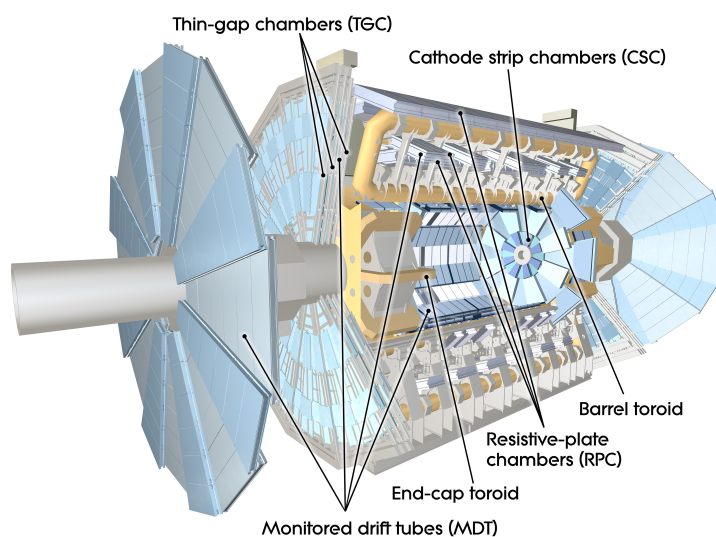


Figura 3.6: Imagem virtual do detector de muões. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

3.2.4 Sistema magnético.

Como já referi, o ATLAS possui dois sistemas magnéticos. Um solenoide que envolve o detector interno e dois conjuntos de oito magnetos toroidais, colocados no interior do espectrómetro de muões, Fig. 3.7.

O solenoide tem um comprimento de 5.3 m, 2.4 m de diâmetro e 4.5 cm de espessura. Utiliza 9 km de fio super condutor e é capaz de produzir um campo magnético de 2 T.

Os magnetos toroidais também são feitos de um material supercondutor, tendo uma temperatura de funcionamento de 4.7 K. Os toroides maiores têm um comprimento de 25.3 m e 10,7 m de largura, ao paço que os mais pequenos têm um comprimento axial de 5 m. Estes foram concebidos para produzir um campo magnético de 4 T[6].

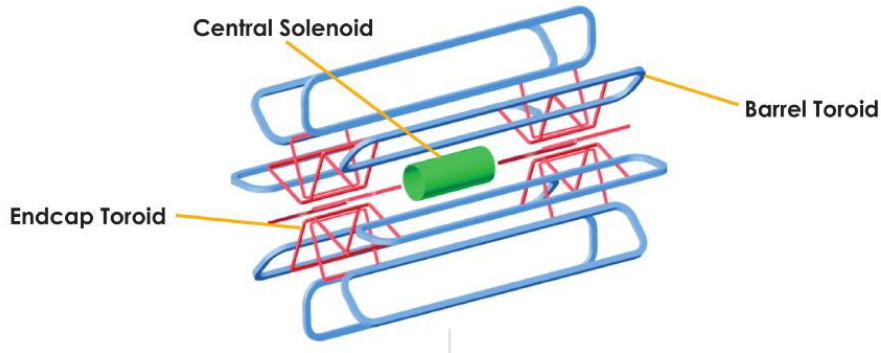


Figura 3.7: Imagem virtual dos sistemas magnéticos. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

3.2.5 Reconstrução

Posto isto, estamos perante um enorme aparato experimental, composto por vários milhares de módulos de detecção representado um número igual de canais electrónicos. Cada um destes módulos por si só não contém informação que permita analisar um evento. No geral, estes módulos apenas transmitem informações simples como “fui ionizado”. Isso deve-se à necessidade de que a leitura e análise desses sinais seja feita a frequências muito elevadas.

Assim para que os diversos sinais passem a ter significado físico é necessário proceder à reconstrução do evento. Isto requer, em primeiro lugar, que se tenha o conhecimento exacto sobre a posição de cada modulo no detector, convém lembrar que existem centenas de milhões de módulos no ATLAS. A outra dificuldade está em identificar os sinais que estão relacionados, pertencendo ao mesmo evento.

Após a reconstrução dos eventos procedesse à análise dos mesmos, identificando as partículas presentes no evento reconstruído. A identificação das partículas mais comuns segue algumas regras simples.

Os fótons são invisíveis para o detector de traços mas ao chegarem ao calorímetro electromagnético rapidamente dão origem a um chuveiro de partículas, sendo parados por este detector.

Os electrões deixam um rasto no detector de traços e tal como os fotões dão origem a um chuva de partículas quando atingem o calorímetro electromagnético. Também os electrões depositam toda a energia que lhes resta neste detector.

Os hadrões subdividem-se em dois grupos. Os hadrões com carga eléctrica, deixam rasto no detector de traços, depositam energia no calorímetro electromagnético e param no calorímetro hadrónico. Apenas ao atingirem este ultimo dão origem a um chuva hadrónico. Os hadrões sem carga não são detectados nem pelo detector de traços nem pelo calorímetro electrónico. Contudo ao atingirem o calorímetro hadrónico dão também origem a um chuva de partículas e são totalmente absorvidos neste detector.

Os muões deixam um rasto em todos os detectores sendo os únicos a atingir o detector de muões, Fig. 3.8 e 3.9.

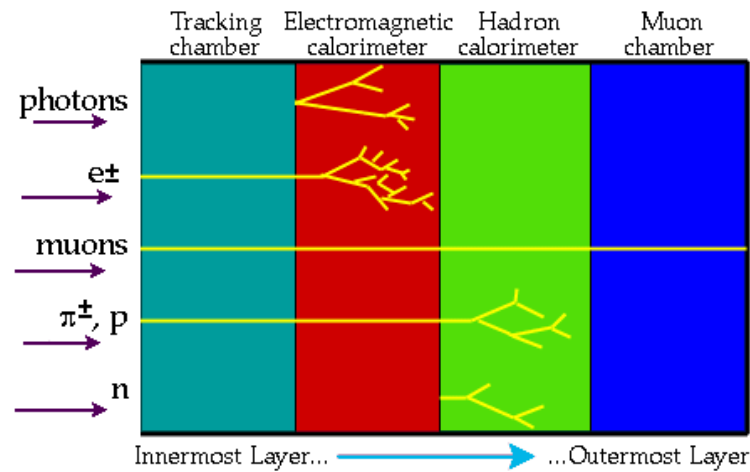


Figura 3.8: Esquema conceptual das interacção das diferentes partículas com os diversos tipos de detectores presentes no ATLAS. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

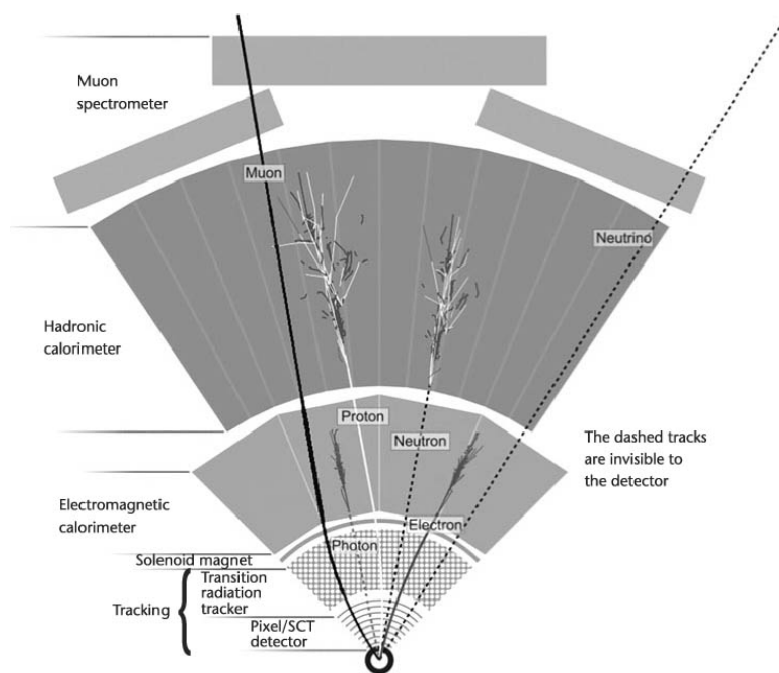


Figura 3.9: Representação de uma secção transversal do detector ATLAS contendo o sinal deixado por diferentes partículas nas diferentes componentes do detector. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

4. TDAQ

No capítulo anterior falei de alguns dos impressionantes aspectos técnicos do LHC e do ATLAS. Como referi, no LHC circulam 2808 pacotes em cada feixe, cada pacote contém cerca de 1.15×10^{11} protões, e estes deslocam-se a uma velocidade de 99,999999% a da luz no vázio. Isto faz com que os pacotes dos feixes opostos se cruzem, nas zonas dos detectores, a uma taxa de 40 MHz. Graças à focagens dos feixes, por cada encontro de pacotes ocorrem em média 20 colisões entre protões. Assim, o ATLAS tem de ser capaz de lidar com cerca de $20 \times 40 \times 10^6 = 800 \times 10^6$ colisões por segundo[2].

Para tornar o caso ainda mais complicado, cada colisão pode fazer disparar uma grande quantidade de módulos do detector, todos aqueles que detectaram a passagem de uma das muitas partículas geradas pelo choque.

Assim, juntado os sinais de todos os módulos, cada embate entre protões representa em média cerca de 1.6 MB de dados. No total o ATLAS vai gerar uma média de $1.6 \times 10^6 \times 20 \times 40 \times 10^6 = 1,28 \times 10^{15}$ Bytes/s ou seja 1.28 PB/s, petabytes por segundo[13]. Para dar significado a este valor, são 1280 discos externos de 1 TB cheios a cada segundo. Se cada disco pesar 1020 g[14] seriam 1,28 toneladas de discos rígidos por segundo ou ainda, sendo o volume de cada disco externo de $(165 \times 135 \times 48)mm = 1069200mm^3 \approx 1dm^3$ [14] totalizando $1,28m^3$, o que equivale à capacidade de carga de um veículo comercial ligeiro. Ou seja, em bruto, o ATLAS gera um volume de dados suficiente para ocupar um comercial ligeiro com discos rígidos a cada segundo.

A boa notícia para as equipas responsáveis pela aquisição, processamento e armazenamento dos dados é que a esmagadora maioria dos acontecimentos gerados pelo LHC não têm interesse para a física de partículas que o ATLAS procura estudar. Este procura estudar sobretudo os eventos extremamente violentos em que os protões embatem frontalmente resultando na fragmentação de ambos e dando origem a uma “explosão” de partículas. No entanto a situação mais comum é a ocorrência de choques relativamente suaves em que os protões não colidem de forma totalmente frontal, resultando na preservação de pelo um dos protões. Isto permite que se utilize uma das técnicas mais comuns nestes sistemas, a filtragem de dados. Só desta forma é possível reduzir o enorme volume de informação que referi para valores razoáveis, dada a tecnologia que actualmente

temos ao nosso dispor.

Desta forma surgiu a necessidade de criar um grupo responsável pelo desenvolvimento, implementação e manutenção desse sistema de filtros e armazenamento, nascendo assim a TDAQ, “Trigger and Data Acquisition”.

4.1 TDAQ

Como referi em cima, este grupo nasceu da necessidade prática de reduzir o volume de dados a serem processados e armazenados. Tendo como uma das tarefas reduzir dos já referidos 20×40 MHz, a frequências de eventos que se espera que ocorra quando o LHC estiver totalmente operacional, para uns tratáveis 100 a 200 eventos por segundo (Hz) a serem armazenados[15].

O “trigger” do ATLAS foi projectado utilizando três níveis distintos, utilizando algoritmos muito simples por forma a garantir que a selecção dos eventos com interesse ocorre dentro do intervalo de tempo previsto. Os diferentes níveis do “trigger” relacionam-se de forma sequencial, ou seja, a saída do primeiro “trigger” está ligada à entrada do segundo nível de “trigger” e a saída do segundo nível está ligada à entrada do terceiro. Este tipo de implementação permite obter grandes benefícios em termos de desempenho do sistema, colocando os algoritmos mais rápidos e selectivos no início da cadeia. Assim, como a taxa de eventos que chegam ao nível seguinte é menor este passa a poder despende mais tempo a processar os dados, o que se traduz na possibilidade de utilização de algoritmos mais sofisticados e que dão origem a uma selecção mais fina.

O primeiro nível de “trigger”, LVL1, está integrado na electrónica do próprio detector, tratando-se de uma implementação em suporte físico, “hardware”. Os outros dois níveis de “trigger”, segundo nível e filtro de eventos, respectivamente LVL2 e EF, estão implementados em suporte virtual, “software”, sendo considerados do tipo HLT, “High-Level Trigger”, Fig. 4.1. Estes foram escritos em c++ e utilizam o ambiente ATHENA[16]. O desenho destes níveis do HLT assentou no conceito de “Step Processing”, que consiste em dividir os diversos algoritmos em passos lógicos. Em cada passo as condições testadas pelos algoritmos são refinadas, requerendo o acesso a informação proveniente de um conjunto cada vez maior de secções do detector. No fim é tomada uma decisão relativa à continuação para o teste seguinte ou rejeição do evento. A vantagem deste conceito prende-se com o facto de permitir que os algoritmos mais rápidos, com maior poder de selecção e que requerem menor transferência de dados corram em primeiro lugar, maximizando a redução de eventos a serem tratados pelos passos seguintes e minimizando assim o tempo de análise[15]. Por estarem implementados em “software”, tanto o LV2 como o EF

requerem a utilização de um “cluster”, que se encarrega de seguir as instruções contidas nos algoritmos por forma a analisar e seleccionar os eventos. Este “cluster” encontra-se instalado próximo do detector, o que permite melhorar a performance do sistema.

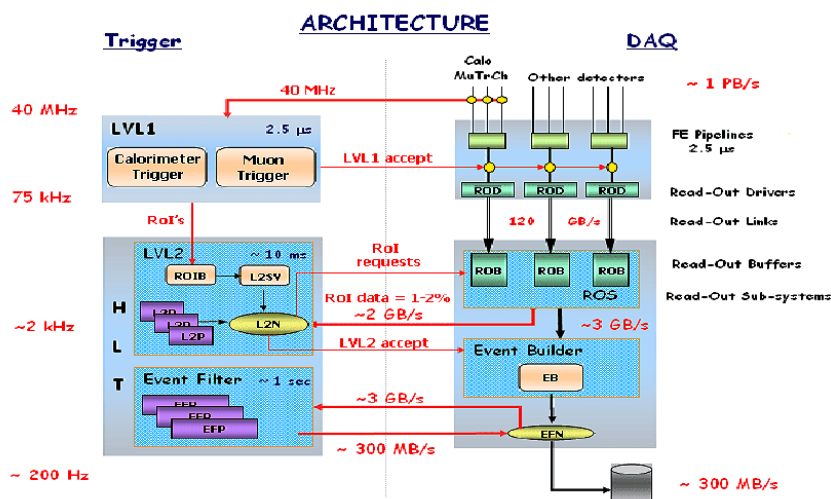


Figura 4.1: Esquema do sistema de “trigger” do detector ATLAS. Fonte: ATLAS Experiment ©2011 CERN

De forma um pouco mais detalhada, cada um dos níveis apresenta as seguintes características.

- O primeiro nível do “trigger” reduz a taxa de eventos em cerca de quatro ordens de grandeza. Passando dos cerca de 20 eventos a 40 MHz para cerca de 75 kHz de eventos filtrados, com potencial interesse para física. Contudo esta taxa ainda representa um volume de dados de cerca de 120 GB/s, tab. 4.1. Esta selecção é feita utilizando critérios de coincidências e de tempos de passagem. A satisfação destes critérios tanto pode traduzir uma aceitação como uma rejeição do evento. O LVL1 é composto por três componentes o “trigger” do calorímetro, L1Calo, o “trigger” de muões, L1Mu, e o “trigger” central, TC. O L1Calo lida com os dados provenientes do calorímetro, o L1Mu identifica a informação relativa aos candidatos a muões e o TC reúne e avalia a informação obtida pelos dois primeiros, sendo portanto o responsável pela tomada de decisões[17]. Assim o LVL1 permite identificar as denominadas regiões de interesse, RoIs, ou seja o conjunto de sinais que são coerentes com a assinatura, deixada no detector, de uma das diversas partículas que se pretende identificar e analisar. Neste nível de “trigger” as decisões têm de ser tomadas num tempo máximo de 2.5 μ s[7]. Para proteger o sistema contra perdas de informação os sinais são armazenados em “pipelines”, que funcionam como memórias e nos quais os sinais são empilhados enquanto aguardam até que possam ser processados.

- O LVL2 reduz a taxa de eventos dos 75 kHz, que saem do LVL1, para os 2 kHz. Isto representa uma redução no volume de dados para cerca de 3 GB/s, tab. 4.1. Os algoritmos presentes neste nível têm a tarefa de combinar e analisar os dados provenientes de diferentes RoIs, identificados pelo LVL1. Podendo assim avaliar os eventos como um objecto mais completo. O agrupamento dos RoIs relacionados é feito num sistema chamado “RoI Builder”. Após estarem agrupados os dados são enviados para o “cluster”, para uma máquina disponível, onde são avaliados pelo LVL2, estando a gestão desse processo entregue ao L2SV, “LVL2 Supervisor”. No LVL2 cada decisão tem de ser tomada em menos de 10 ms. É também no LVL2 que os eventos aprovados por todos os níveis de “trigger” começam a ser reconstruídos, sendo que aqui se procede a uma reconstrução local[7]. A reconstrução de eventos não é mais do que agrupar todos os sinais do detector que estão relacionados com um dado acontecimento.
- O EF tem a capacidade de reduzir a taxa de eventos para apenas 200 Hz, atingindo assim o volume de dados pretendido de cerca de 300 MB/s, tab. 4.1. Tratando-se do ultimo nível este tem à sua disposição cerca de 1 a 2 segundos por evento para tomar decisões, podendo assim utilizar algoritmos mais sofisticados. O EF começa por reavaliar a escolha feita pelo LVL2 e só depois dá início à sua avaliação dos eventos aprovados. O facto de este nível poder contar com muito mais tempo para avaliar os eventos permite a utilização de critérios de selecção mais refinados, abrangentes e com um número maior de condições. Sendo assim, o EF faz as suas avaliações com base em critério relativos, por exemplo, ao momento transversal, p_T , ou à não conservação da energia transversal, E_T . É também neste nível que é feita a reconstrução total dos eventos aprovados, utilizando para esse fim a reconstrução local anteriormente realizada no LVL2.

“Trigger“	Taxa de entrada	Taxa de saída	Tempo para decisão	Fluxo de dados
Bruto	—	40 MHz	—	1,28 PB/s
LVL1	40 MHz	75 kHz	$2.5 \mu s$	120 GB/s
LVL2	75 kHz	2 kHz	10 ms	3 GB/s
EF	2 kHz	200 Hz	1 a 2 s	300 MB/s

Tabela 4.1: Capacidade de selecção dos diferentes “trigger” do ATLAS.

Os eventos aprovados e reconstruídos são armazenados em sistemas magnéticos, com grande capacidade de armazenamento localizados em estruturas denominadas de “Farms”. Ficando assim disponíveis para serem analisados pelas equipas de investigação. Mais adiante irei descrever um destes sistemas de armazenamento com mais detalhe.

É desta forma que a TDAQ consegue cumprir a tarefa de reduzir o volume de dados para valores tratáveis. Conseguindo portanto passar dos 1.28 PB/s para umas meras centenas de megabytes por segundo[7].

Contudo a tarefa de criar este sistema de “trigger” não é tão simples como possa parecer à primeira vista. Em primeiro lugar à que notar que cada nível possui diferentes requisitos e implementações. Desta forma cada nível conta com os seus próprios algoritmos, desenhados e otimizados especificamente para fazer face às diferentes restrições, como por exemplo o tempo disponível para avaliar cada evento. Porem além disso a tarefa de desenhar os algoritmos é por si só um enorme e estimulante desafio. Levantando diversas questões como:

- Quais são os critérios que se podem utilizar por forma a excluir/seleccionar os eventos sem/com interesse físico?
- Serão os critérios utilizados muito restritos ou demasiado permissivos?
- Poderão estar a ser excluídos eventos imprevistos e com potencial valor científico?

A resposta à primeira questão faz uso de tudo aquilo que já sabemos sobre a física de partículas, nomeadamente, dos estudos detalhados das diferentes formas de decaimento das diversas partículas. Para além disso, volta a ser necessário conhecer muito bem a geometria do detector, sabendo onde se encontra cada modulo de detecção. Assim é possível saber quais os padrões de sinais que se têm de verificar para que um sinal tenha ou não interesse.

A resposta à segunda questão tem de ter em conta com o jogo entre reduzir efectivamente o número de eventos aceites, correndo o risco de perder eventos interessantes, ou garantir que todos os eventos com interesse são identificados, correndo no entanto o risco de se tornar um algoritmo muito permeável a eventos sem interesse e consequentemente não cumprindo os requerimentos de redução de eventos. Tudo isto dentro da limitação inicial de manter o tempo de decisão dentro dos valores exigidos pelo projecto. Sendo este um factor extra a ter em conta no jogo de compromissos que o desenho do algoritmo requer.

A ultima questão talvez seja a mais difícil de responder visto nunca se terem realizado em laboratório colisões de protões a estas energias. Pelo que se joga com aquilo que se conhece e com o que a teoria prevê.

A história da TDAQ não acaba após os eventos saírem do ultimo “trigger”. É necessário ainda conhecer o estado de inúmeros parâmetros de funcionamento do detector e actuar sempre que necessário sobre aqueles que o permitam. Podem por tanto ser

parâmetros apenas de leitura ou parâmetros de controlo que permitam escrita e leitura. Como exemplo de parâmetros de leitura temos a temperatura e a voltagem das componentes, pacotes descartados, erros de comunicações, tempos inactivos, entre outros. Os parâmetros de controlo existem em muito menor quantidade e, como o nome indica, estes permitem executar algumas funções de controlo como ligar, desligar, reiniciar, ou mudar de posição. Sendo também utilizados para configurar o detector para diferentes modos de operação como calibração ou aquisição de dados para análise, estando essas configurações armazenadas em tabelas específicas. Desta forma é possível manter o detector a funcionar dentro dos parâmetros previstos. Para além disso, o conhecimento destes parâmetro é essencial para se poder validar os eventos que foram identificados pelo “trigger” como podendo conter informação com interesse. Apenas sabendo os dados de calibração, factores de escala, percentagens de erros entre outros é possível normalizar os dados dos eventos e extrair a física que eles contêm. Para fazer face a esta necessidade nasceu um sub grupo da TDAQ, o MWG “Monitoring Working Group”.

4.2 Monitoring Working Group

O MWG “Monitoring Working Group” foi formado em 2005 a quando de uma reorganização da TDAQ. A este grupo foi incumbida a tarefa de desenvolver e divulgar aplicações de “software” que permitam a monitorização “online” do estado de funcionamento do detector, dos seus diversos módulos, e também a monitorização dos eventos reconstruídos. Sendo requerido que as aplicações desenvolvidas estejam acessíveis a utilizadores que se encontrem fora da sala de controlo e que o funcionamento das mesmas não interferira com a aquisição de dados[18]. O MWG tem também a função de manter uma estreita colaboração com os diversos grupos da TDAQ, de operação e manutenção do detector e com os grupos de análise “offline”. Desta forma o MWG criou e mantém um fórum para discussão e divulgação das suas actividades[19], pretendendo desta forma identificar as necessidades dos diversos grupos e calcular os recursos necessários para satisfazer essas necessidades, percebendo também qual a melhor forma de dar respostas aos diversos pedidos.

As aplicações desenvolvidas têm de respeitar algumas normas por forma a que se mantenham coerentes. Como os dados identificados como importantes para monitorização podem provir de qualquer um dos níveis de “trigger”, para além dos óbvios dados relativos ao estado do detector, as aplicações desenvolvidas pelo MWG necessitam de acesso privilegiado ao detector e aos sistemas de “trigger”[20].

O MWG tem ainda de trabalhar em conjunto com o grupo responsável pelo armaze-

namento de dados, definindo os requerimentos e protocolos a seguir por forma a garantir um armazenamento eficiente e coerente dos histogramas de monitorização.

Esse sistema de arquivo de dados tem de ser capaz de responder às seguintes questões:

- onde armazenar os dados de monitorização “online”?
- quais os dados de monitorização que devem ser guardados?
- durante quanto tempo têm de ser guardados esses dados?
- que tipo de acesso tem de ser disponibilizado ao gestor dos arquivos de monitorização?

Para dar resposta a estas questões o MWG criou diversas normas e aplicações. Assim nasceu o projecto para um sistema de armazenamento a longo termo dos dados de monitorização “online”, composto pelo MDA, “Monitoring Data Archiving” e pelo CoCa, “Collection and Cache”. O MDA possui uma API que permite interagir com a base de dados, podendo essa interacção ser feita através da linha de comandos ou de uma aplicação gráfica como o NODE2, da qual irei falar no próximo capítulo[21].

O MWG divide os dados de monitorização em dois grupos, os dados de condições, contendo objectos simples como parâmetros, comentários e “flags”, e os histogramas em si. Os primeiros são armazenados numa base de dados denominada de COOL, “Conditions Database”, ao passo que os segundos passam por um processo mais complexo, Fig. 4.2. O sistema começa por agrupar conjuntos de histogramas do mesmo período de aquisição, “run”, em ficheiros do tipo ROOT. Como o armazenamento final é realizado num sistema de cassetes magnéticas, é conveniente que os ficheiros armazenados sejam compactados em grandes arquivos, assim existe um segundo sistema que agrupa diversos ficheiros ROOT em arquivos do tipo ZIP e envia-os para o armazenamento final.

O MDA encarrega-se da gestão dos dois tipos de dados anteriormente referidos. Sendo que os dados de condições são armazenados na própria base de dados, na COOL, ao paço que dos histogramas a base de dados guarda apenas a informação da sua localização. O MDA é portanto o primeiro sistema referido anteriormente, responsável por reunir os dados provenientes do OHS “Online Histogram Service”, agrupá-los coerentemente em ficheiros ROOT e transmitir esses ficheiros ROOT ao CoCa.

O CoCa é o segundo sistema referido anteriormente. Esta trata-se de um sistema independente, responsável por reunir ficheiros e agrupá-los, segundo critérios pré-estabelecidos, em grandes arquivos do tipo ZIP. Isto implica o uso de um sistema de “cache” no qual os ficheiros são temporariamente guardados, enquanto o sistema aguarda que seja atingindo o volume de dados mínimo para poder ser feito o arquivo ZIP, algumas centenas de MB.

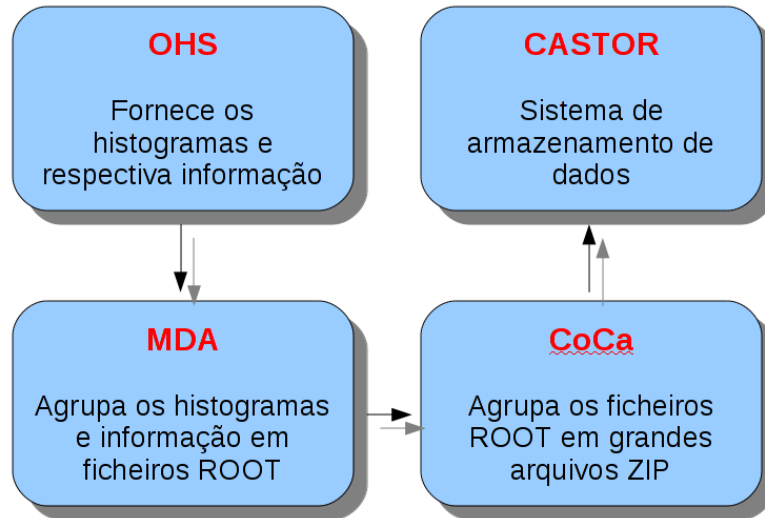


Figura 4.2: Arquitectura do sistema de armazenamento a longo termo dos dados de monitorização “online”. O MDA agrupa os histogramas em ficheiros ROOT e o CoCa junta esses ficheiros ROOT em grandes arquivos ZIP.

Desta forma o CoCa inclui um sistema de gestão de “cache” que utiliza parâmetros como data de criação, prioridade e tempo útil. Como já referi, a necessidade de criar estes grandes arquivos prende-se com as características do sistema de armazenamento a longo termo utilizado, o CASTOR, “CERN Advanced STORage manager”.

O CASTOR é um sistema de armazenamento a longo prazo de alta capacidade, 40543.80 TB[22], que utiliza cassetes de fita magnética para armazenar os dados. O tamanho destas cassetes varia entre os 200 GB e os 700 GB[23], estado as cassetes armazenadas num sistema totalmente automatizado. O uso de cassetes tem a vantagem de requer menos energia para operar e de ser mais duradouro que um equivalente em discos rígidos, o que o torna num sistema de armazenamento potencialmente mais barato, por TB. O sistema de casseres possui também uma velocidade de leitura e escrita muito elevada. O grande problema deste sistema é o tempo de acesso, não só devido a possíveis mudanças de cassete mas principalmente devido à necessidade de deslocar a fita até ao ponto correcto. Por estas duas razões, velocidade de leitura/escrita elevada e tempo de acesso muito longo, é conveniente a utilização de arquivos relativamente grandes, mais de 200 MB. Assim diminui o número de ficheiros existentes em cada cassete o que minimiza o ponto fraco deste sistema.

No seu conjunto, o MDA e o CoCa armazenam a informação relativa à localização dos ficheiros, localização no CASTOR, arquivo dentro da cassete e ficheiro ROOT dentro do arquivo. Na nova versão do MDA, os histogramas são identificados segundo “Partition”, pode identificar uma subdivisão física ou lógica do ATLAS, “RunNumber”, valor

que corresponde a uma sessão de aquisição de dados, “OHSServer” e “OHSPProvider”, componente do detector que publicou o histograma, “Folder” e “Histogram”, representam o nome do histograma que, por defeito, está associado à informação que contém e “LuminosityBlock”, que consiste numa subdivisão de um “RunNumber”, representando um intervalo de tempo mais pequeno de aquisição de dados.[24].

5. A aplicação NODE2

5.1 Discussão

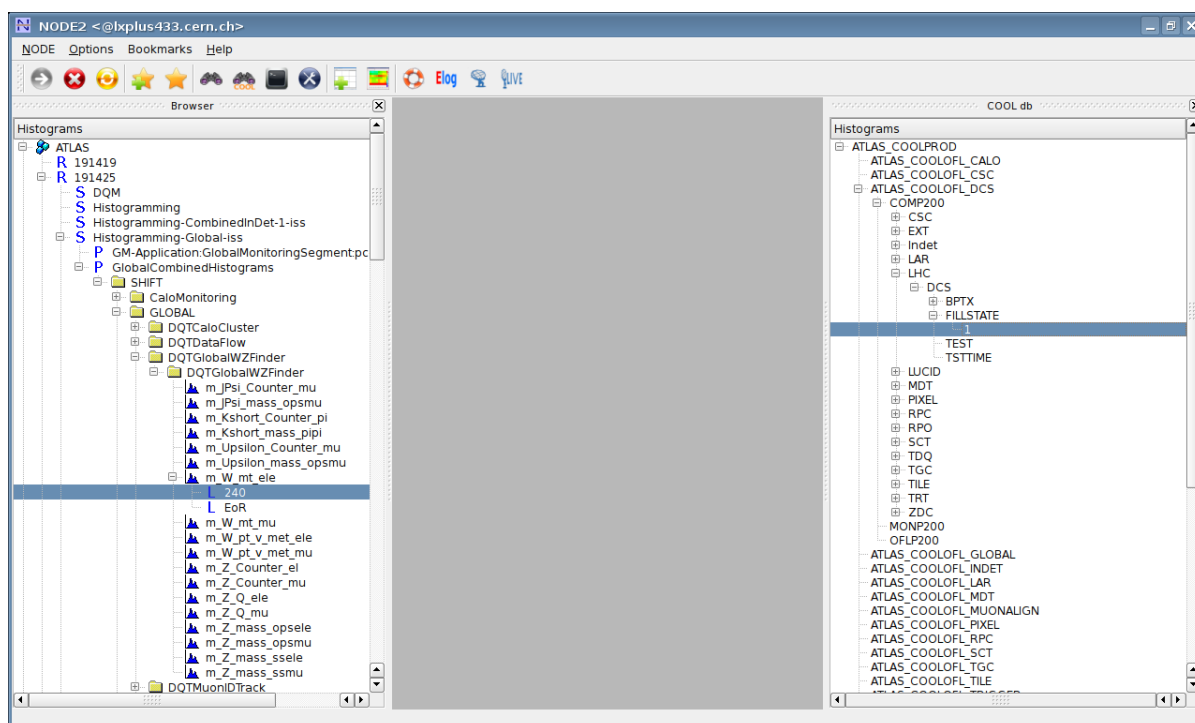


Figura 5.1: Ambiente principal do NODE2. A árvore do lado esquerdo permite navegar pela base de dados do MDA ao passo que a árvore do lado direito permite navegar pela base de dados COOL.

O NODE, “Online Object Extended Database”, é uma aplicação que está a ser desenvolvida dentro do MWG da TDAQ. Este projecto foi proposto em 2006 e teve a sua primeira implementação em 2008, contendo algumas limitações. Actualmente encontra-se na sua segunda versão, NODE2, com inúmeros melhoramentos, mais opções e novas ferramentas. Este projecto é a continuação do trabalho desenvolvido no grupo de trabalho do ATLAS TDAQ.¹

¹O código começou a ser escrito pelo Ricardo Neves e tem contado com o enorme contributo do

O NODE2 está escrito em C++ e permite navegar através do MDA/CoCa, fazendo-o utilizando um ambiente gráfico, que descreverei mais à frente, desenvolvido recorrendo às bibliotecas e ferramentas disponibilizadas pela Qt4. A aplicação permite obter e apresentar, nesse mesmo ambiente gráfico, os histogramas de monitorização que se encontram referenciados pelo MDA/CoCa e armazenados no CASTOR. De lembrar apenas que estes histogramas encontram-se no formato próprio do “framework” de software ROOT. Por esta razão o NODE2 utiliza também as bibliotecas fornecidas pelo pacote ROOT, que também será introduzido na secção 5.2. Este inclui suporte para o Qt, através do QtROOT, o que permite criar janelas de Qt mas com o ambiente ROOT. Os histogramas são apresentados directamente no seu ambiente natural, o que permite que estes possam ser analisados utilizando todas as funcionalidades que o ROOT oferece. O acesso aos serviços do MDA/CoCa e do CASTOR pode ser feito não só através da rede interna do CERN mas também em qualquer outra parte do mundo, utilizando para tal o NODE2PROXY. O NODE2PROXY foi desenvolvido pelo grupo e é parte fundamental do projecto NODE2.

Anteriormente referi que o NODE2 utiliza os pacotes Qt4 e ROOT, de seguida irei fazer uma muito breve abordagem a estes pacotes.

5.2 Arquitectura de software utilizada.

O Qt4 é um pacote desenvolvido pela Nokia, anteriormente pela Trolltech, sendo gratuito quando o fim não é comercial. Este trata-se de um sistema multi plataforma e compatível com diversas linguagens de programação diferente, no caso do NODE2 foi utilizado o C++[25]. O facto de ser um sistema multi plataforma é muito importante pois permite que o mesmo código funcione em qualquer dos principais sistemas operativos, requerendo apenas alguns ajustes pontuais. Isto facilita muito a tarefa de desenvolvimento do NODE2 e da sua distribuição nas principais plataformas, indo de encontro com os requerimentos da grande maioria dos utilizadores. O Qt4 consiste num pacote que permite criar ambientes gráficos, tendo também suporte para processamento paralelo e para acesso a paginas de Internet, de entre outras funcionalidades menos exploradas pelo NODE2. Este disponibiliza ainda uma aplicação gráfica, o Qt 4 Designer, que permite criar interactivamente alguns dos ambientes gráficos[26],[27],[28]. A possibilidade de utilizar processamento paralelo tornou o uso do Qt4 numa componente fundamental do programa. Apenas desta forma o NODE2 exhibe um comportamento fluido durante os acessos à base de dados, prin-

Lourenço Lopes e do Professor Doutor António Amorim, que ajudaram imenso e de forma decisiva no desenvolvimento deste pacote bem como na minha formação e ambientação ao código já desenvolvido.

principalmente durante a fase de aquisição de histogramas. Num sistema mono tarefa, como o nome indica, apenas se realiza um processo de cada vez. Num sistema destes o ambiente gráfico ficaria “congelado” enquanto qualquer processo estivesse a correr. Como referi o acesso à base de dados é feito remotamente pelo que pode ter um tempo de resposta relativamente longo, dependendo da velocidade de ligação e da carga dos servidores. A agravar esta situação temos o facto de o CASTOR utilizar um sistema de cassetes, pelo que por vezes o tempo de resposta deste pode ser relativamente longo, principalmente quando se procuram histogramas mais antigos. Em qualquer das situações os tempos de resposta poderiam atingir vários minutos, durante os quais o programa deixaria de responder. Assim, a colocação dos pedidos à base de dados num processo paralelo permite que o utilizador possa continuar a trabalhar enquanto espera pela resposta do servidor. O NODE2 faz ainda uso, de uma forma essencial, das funcionalidades de comunicação “web” que o Qt4 oferece.

O ROOT é um pacote desenvolvido pelo CERN composto por um conjunto de bibliotecas e por um interface próprio, sendo distribuído de forma gratuita. Este foi desenvolvido com o intuito de fornecer um vasto e completo leque de ferramentas de visualização e análise, especialmente desenhadas para a física de partículas. O ROOT oferece, entre outras funções, suporte para a criação e análise de histogramas de várias dimensões, análise estatística, álgebra matricial e ferramentas para a simulação espacial da interacção de partículas com diferentes materiais e geometrias[29]. Como já referi, recentemente foi desenvolvido um pacote que permite integrar o ambiente de ROOT dentro de um ambiente gráfico de Qt4[30].

5.3 Descrição funcional.

O funcionamento base do NODE2 é relativamente simples e segue os seguintes passos:

- Estabelece uma ligação com o MDA para localizar em que ficheiro ROOT está guardado o histograma
- Identifica o arquivo em que o ficheiro ROOT se encontra
- Contacta o CoCa a fim de saber onde está guardado o arquivo
- Obtém e apresenta o histograma, após transferir o arquivo e extrair o ficheiro ROOT

Como referi, os histogramas são apresentados num ambiente gráfico que permite a visualização de vários histogramas em simultâneo. A esta aplicação têm sido adicionadas

diversas ferramentas, sendo que o objectivo é tornar o NODE2 num ambiente de trabalho no qual um utilizador possa encontrar toda a informação de que necessite e ainda disponha de um vasto leque de ferramentas de análise. Tudo isto num ambiente gráfico que se quer simples, prático e intuitivo.

O pacote desenvolvido é composto por quatro partes:

- node2: Que contém as bibliotecas base do programa e que permitem a comunicação com o MDA, CoCa e CASTOR.
- node2gui: Que contém as bibliotecas que implementam o ambiente gráfico e as suas funções, sendo também aqui que se encontra o sistema multi-tarefa.
- node2query: Aplicação da linha de comandos que realiza os pedidos às bases de dados.
- node2proxy: Servidor remoto que permite utilizar o NODE2 fora da rede do CERN.

Actualmente este pacote contém dezenas de bibliotecas e vários milhares de linhas de código, apresentá-los nestes trabalho estaria fora do contexto contudo irei proceder a uma descrição mais cuidada das diferentes funções implementadas.

O NODE2 começa por verificar a identidade do utilizador, pedindo o “user name”, “password” e confirmando a validade do par. Desta forma é garantido que apenas os utilizadores com permissões de ATLAS têm acesso ao conteúdo da base de dados MDA. A autenticação é feita utilizando um endereço “online”, Fig. 5.2, algo perfeitamente aceitável excepto para utilizadores que o corram num computador dentro da sala de controlo, pois estes não têm acesso à Internet. Essa situação não é problemática visto que todos os utilizadores presentes na sala de controlo do ATLAS possuem garantidamente permissões para aceder ao MDA.

Após a confirmação de acesso é apresentado o ambiente principal ao utilizador, Fig. 5.1, caso o utilizador assim o defina é feita também a ligação automática à base de dados. O ambiente principal apresenta uma barra de ferramentas com diversos botões e duas janelas que permitem navegar pelas bases de dados. A janela do lado esquerdo permite navegar pela base de dados do MDA ao paço que a janela do lado direito permite navegar pela base de dados COOL. Em ambos os casos a navegação pela base de dados é feita através de um sistema de árvore, sendo que cada expansão representa um novo pedido à base de dados, requisitando a informação sobre o conteúdo desse novo nível.

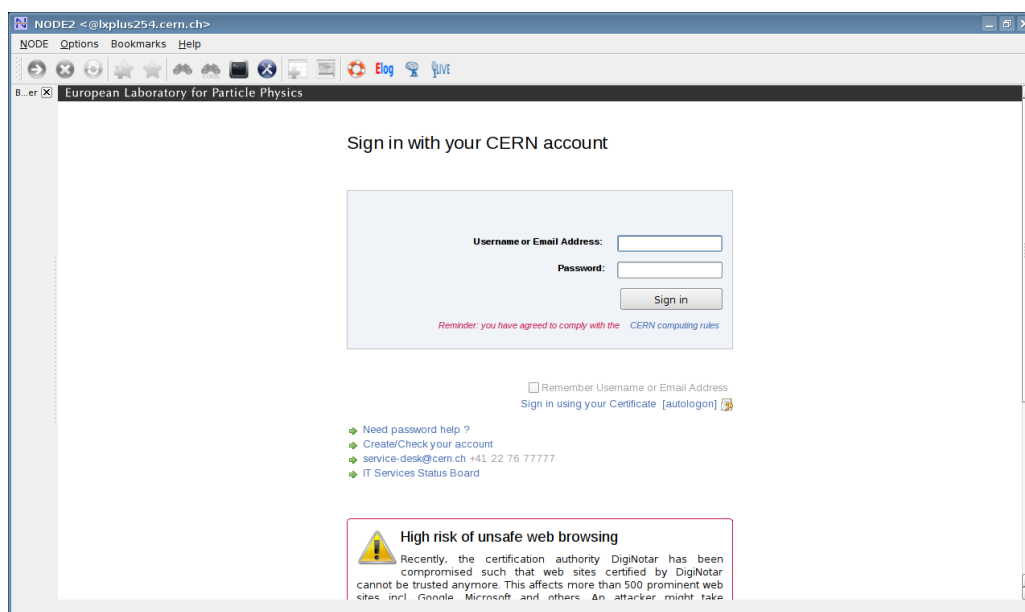


Figura 5.2: Menu de autenticação do NODE2.

5.4 Apresentação de histogramas simples.

No caso do MDA os histogramas são guardados segundo:

Partition/RunNumber/OHSServer/OHSPProvider/Folder/Histogram/LuminosityBlock

Sendo que cada secção representa um nível da árvore. A razão pela qual a árvore da Fig. 5.1 possui mais do que 7 níveis prende-se com o facto de que os nomes dos histogramas são do tipo a/b/c. Isto tornava-os difíceis de ler para além de que existem nomes comuns. Assim nasceu a necessidade de os agrupar da seguinte forma:

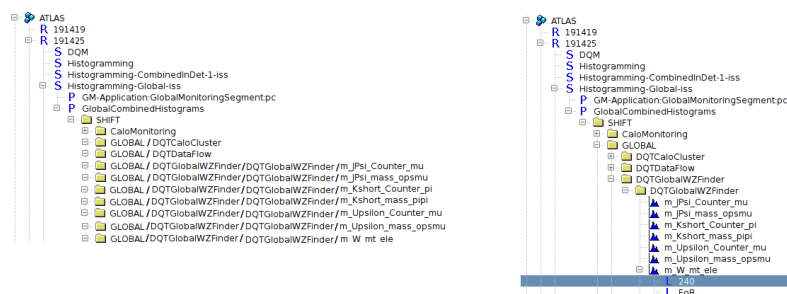


Tabela 5.1: Conversão entre o nome dos histogramas guardado pelo MDA e o nome apresentado no NODE2, na vista em árvore.

O algoritmo desenhado divide o nome do histograma armazenado no MDA em vários sub nomes, sendo que a divisão é feita sempre que exista uma barra no nome do histograma

e cria a estrutura em forma de árvore apresentada na figura 5.1. Para além de subdividir o nome dos histogramas o algoritmo tem ainda de os agrupar sempre que existam sub nomes comuns, criando desta forma a estrutura apresentada na figura 5.1. Esta é a razão pela qual a árvore apresenta mais níveis que aqueles que o MDA guarda. A mesma situação acontece para o “folderPath” da base de dados COOL.

Por sua vez a árvore do COOL apresenta os histogramas segundo:

server/schema/dbname/folderPath/channels

Em ambos os casos foi implementado um menu com opções extra e que aparece carregando com o segundo botão do rato. A expansão da árvore termina quando a base de dados devolveu todos os valores das diferentes secções que constituem o nome dos dados. Assim, quando se chega ao fim de um ramo, o NODE2 tem de perceber que o nome está completo e automaticamente começa o processo de recolha e apresentação da informação correspondente.

A apresentação dos histogramas referenciados pelo MDA/CoCa é feita numa janela própria, Fig. 5.3. Esta possui quatro separadores entre os quais se encontra o próprio histograma, informação sobre as propriedades do histograma, a referencia para um conjunto de histogramas similares e a informação colocada no sistema “online” Elog. Este último contém informação de monitorização e de qualidade de dados relativa ao “run” em que foi obtido o histograma apresentado. Como já referi, os histogramas apresentados nesta janela podem ser analisados utilizando as ferramentas disponibilizadas pelo ROOT ou serem guardados localmente para posterior análise, neste caso o utilizador terá de recorrer directamente ao ROOT para proceder à análise. O NODE2 permite ainda que estes histogramas sejam adicionados aos favoritos e possam ser visualizados numa janela especial para múltiplos histogramas.

A janela de múltiplos histogramas permite visualizar diversos histogramas lado a lado, Fig. 5.4. Esta é uma ferramenta de análise importante visto que de outro modo tornava-se difícil a visualização simultânea de mais do que um histograma. O número de histogramas a serem visualizados é definido interactivamente pelo utilizador até um máximo de 16, numa matriz de 4 x 4. Ao se reduzir o número máximo de histogramas é necessário ter em conta a possibilidade de deixar de haver espaço para todos os histogramas adicionados, ou seja, o número máximo de histogramas passa a ser inferior ao número de histogramas existentes. Neste caso o utilizador é avisado e se prosseguir com a operação os histogramas mais recentes são descartados. Esta janela permite ainda que sejam eliminados histogramas que já não tenha interesse, independentemente da posição em que se encontram.

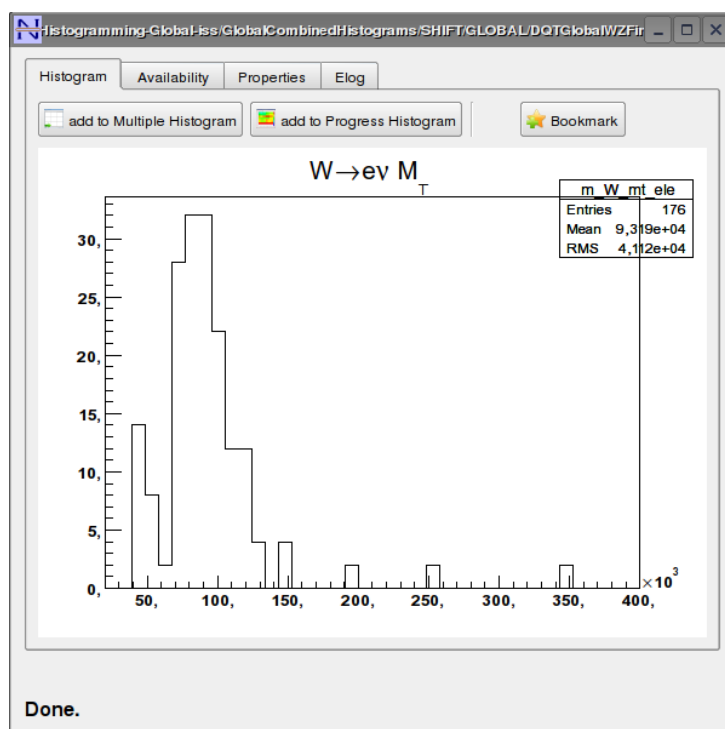


Figura 5.3: Janela de apresentação de histogramas, neste caso é apresentado um histograma com a massa do W obtido no “run” 191425 e no “LuminosityBlock” 240.

O sistema de favoritos permite guardar a referência, nome completo, quer de histogramas individuais quer de grupos de histogramas, provenientes de uma janela de múltiplos histogramas, sendo que neste caso guarda não só o nome completo de todos os histogramas mas também a configuração da janela, número de linhas e colunas, Fig. 5.5. Ao guardar um favorito o utilizador pode escolher o nome a dar, sendo que para o caso dos histogramas individuais o NODE2 automaticamente sugere o nome do histograma como nome a dar ao favorito. Para guardar esta informação o NODE2 utiliza uma função do Qt4 que permite guardar informações de configuração, por exemplo no registo do sistema quando a utilização é feita no Windows. Esta função tem suporte de escrita, leitura e edição sendo que o local e o formato com que a informação é armazenada fica ao encargo do Qt4, sendo feita de acordo com o modelo utilizado pelo sistema operativo, o que torna este sistema mais simples e totalmente independente da plataforma em que o NODE2 está a correr. Este sistema tem ainda a vantagem de permitir que as configurações possam ser guardadas, num “back up”, e partilhadas entre utilizadores.

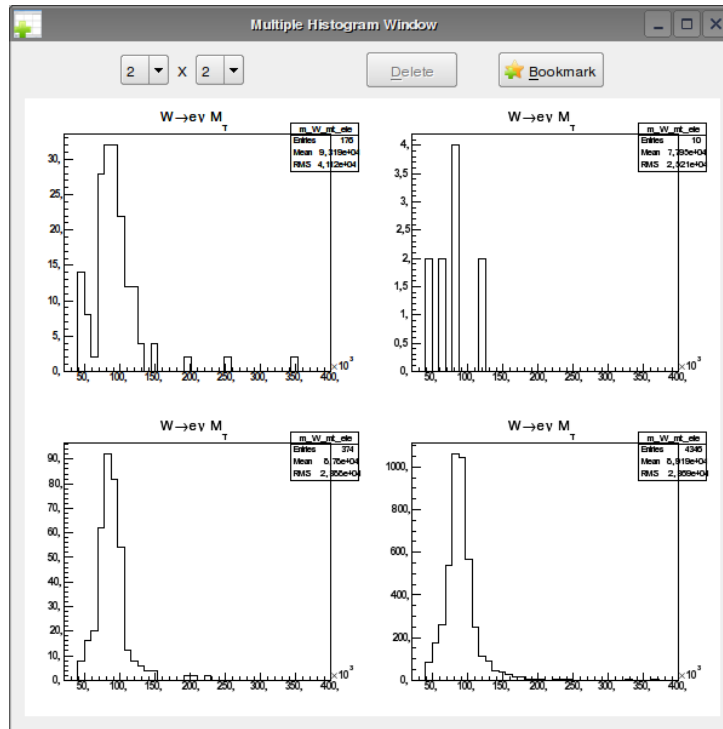


Figura 5.4: Janela de apresentação de múltiplos histogramas, nesta janela estão presentes histogramas com a massa do W obtidos no “run” 191425 nos “LuminosityBlock” 240, EoR e no “run” 191426 nos “LuminosityBlock” 240 e 540.

5.5 Novas ferramentas de visualização da evolução temporal.

Outra ferramenta adicionada recentemente foi a janela de progresso de histogramas, a qual irei passar a referir simplesmente por “banana-plot”. Nesta janela é possível observar a evolução temporal dos histogramas, colocando-os lado a lado num novo histograma do tipo “banana-plot”, Fig. 5.6. Desta forma o utilizador pode observar, de uma forma rápida e intuitiva, as variações que ocorreram num dado histograma com o passar do tempo. Quer em diferentes sessões de aquisição de dados, “run”, ou em diferentes momentos, “Luminosity Block”, do mesmo “run”. Neste ultimo caso é importante referir que apenas alguns histogramas são guardados segundo intervalos de “Luminosity Block”, os restantes possuem apenas a versão de final de “run”. Esta ferramenta apenas permite a adição de histogramas de uma dimensão, (com dois eixos), de uma forma mais técnica, histogramas ROOT do tipo TH1[31]. Foi portanto necessário dotar esta ferramenta de um mecanismo capaz de identificar qual o tipo de histograma que o utilizador pretendia adicionar, aceitando apenas a adição dos histogramas do tipo correcto. Consoante as opções definidas pelo utilizador, os histogramas podem ou não ser normalizados e a

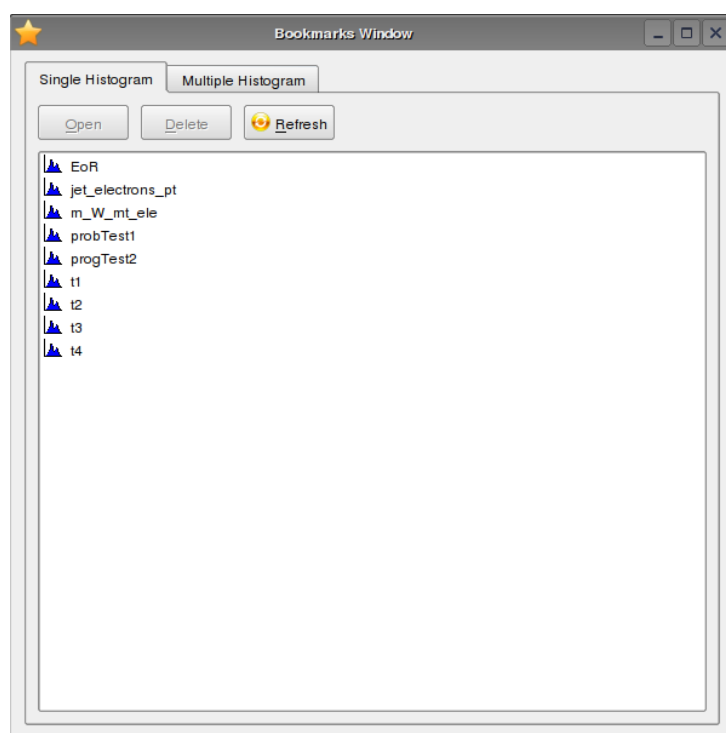


Figura 5.5: Janela que permite aceder e editar os histogramas guardados como favoritos.

adição de novos histogramas pode ser automática, neste caso são adicionados os histogramas com o mesmo nome mas com “Luminosity Block” diferente, quando o tipo de histograma o permita. A normalização dos histogramas adicionados permite uma análise da variação relativa dos histogramas. Isto é bastante importante tendo em conta que ao longo do “run” os histogramas guardados vão tendo um maior número de contagens, assim a comparação directa pode não ser possível pois a escala de cores é definida utilizando intervalos regulares entre o mínimo e o máximo. Ou seja, quando o número de contagens aumenta muito, os primeiros histogramas podem passar a ser representados apenas pelos primeiros intervalos da escala, ficando relativamente uniformes, o que resulta na perda de informação que estes continham.

A construção deste histograma é feita recorrendo a uma mudança de eixos. Designando o histograma do tipo “banana-plot” por `prog_hist` e os histogramas originais por `raw_hist`, a criação do `prog_hist` é feita da seguinte forma, Fig. 5.7:

- O utilizador escolhe um `raw_hist` para ser adicionado ao `prog_hist`.
- O eixo `xx` do `raw_hist` passa a ser o eixo `yy` do `prog_hist`.
- O eixo `yy` do `raw_hist` passa a ser codificado através da tabela de cores do `prog_hist`.

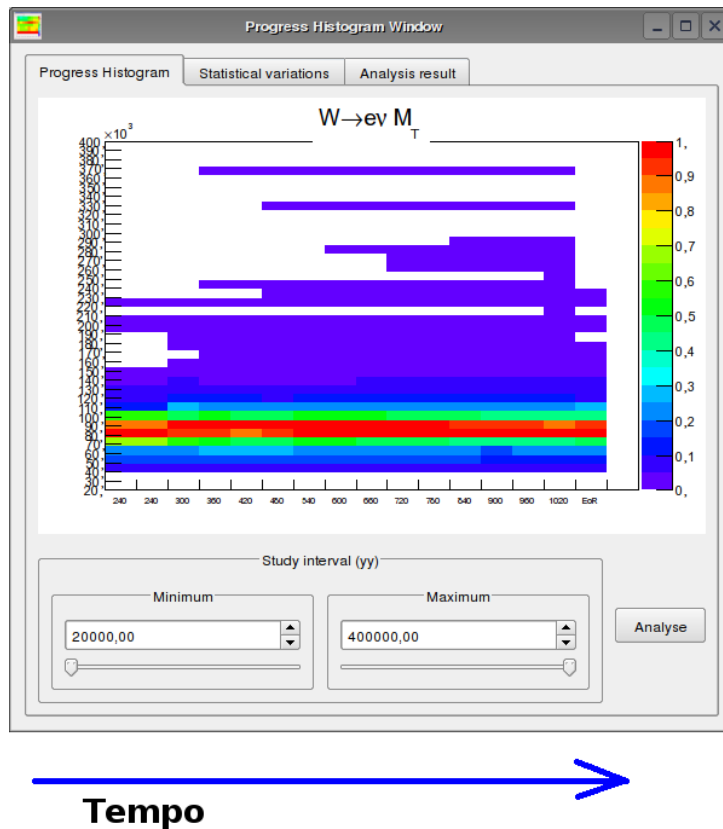


Figura 5.6: Janela que permite visualizar a evolução temporal de histogramas num formato do tipo “banana-plot”, neste caso é apresentada a variação dos histogramas com a massa do W obtidos no “run” 191426.

- O eixo xx do prog_hist contém os diferentes histogramas adicionados, cada entrada representa um histograma.

A esta ferramenta foram adicionados dois novos separadores que permitem visualizar algumas das variáveis estatísticas do conjunto de histogramas presentes no “banana-plot”. A apresentação dessas variáveis é feita tanto em formato de tabela, Fig. 5.8, como através de um novo histograma, Fig. 5.9, que designei de histograma das variação estatísticas. Os valores calculados são relativos ao eixo yy do “banana-plot”, que corresponde ao eixo xx dos histogramas individuais. Podendo representar, por exemplo, o valor do momento transversal ou da massa.

Os valores apresentados na tabela e no histograma de variação estatística são relativos a cada um dos histogramas adicionados ao “banana-plot”, de forma individual. No caso da tabela a identificação do histograma é feita utilizando o nome da coluna ao passo que o histograma de variação estatística utiliza uma representação análoga ao “banana-plot”, em que o eixo dos xx representa os histogramas adicionados. Em ambos os casos os valores

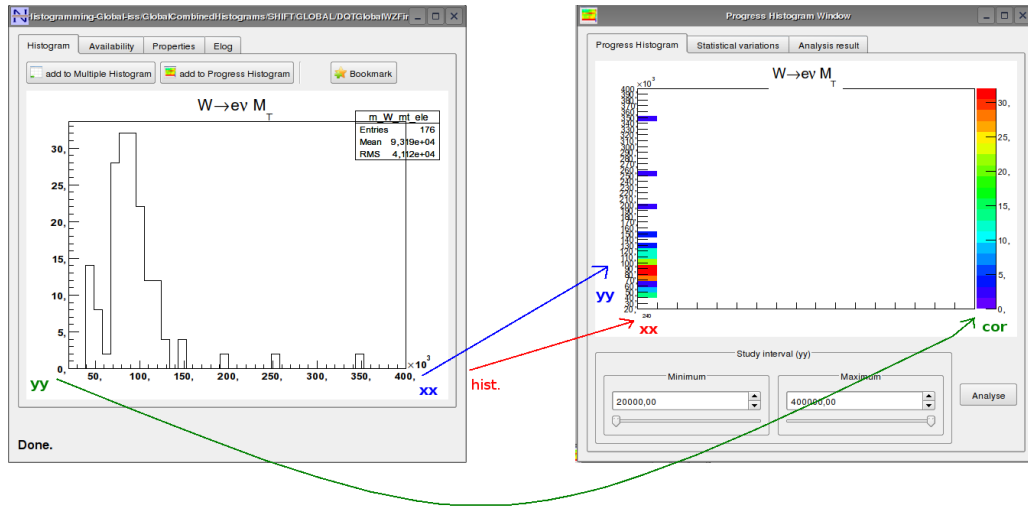


Figura 5.7: Manipulação feita num histograma por forma a o adicionar ao histograma do tipo “banana-plot”.

são calculados apenas quando o utilizador prime o botão “Analyse”.

Para calcular os valores apresentados, tanto na tabela como no histograma de variação estatística, o NODE utiliza algumas funções que o ROOT disponibiliza. A utilização destas funções implica conhecer a forma como estas funcionam e que equações utilizam para realizarem os cálculos. Assim os valores obtidos através destas funções e apresentados no NODE são obtidos da forma que irei descrever de seguida.

O cálculo da média é feito utilizando a função do ROOT *GetMean()*. Esta função faz a divisão entre a soma do valor mediano de cada “bin”, pesado pelo número de eventos correspondentes, e o total de eventos registados, seguindo a equação apresentada abaixo. A obtenção do somatório dos eventos e dos eventos multiplicados pelo valor mediano do “bin” é feita percorrendo ciclicamente todos os “bins” presentes no histograma.

$$\bar{y} = \frac{\sum_i w_i \cdot y_i}{\sum_i w_i}$$

Em que \bar{y} representa o valor da média, w_i o número de eventos presentes no “bin” i e y_i o valor mediano do “bin” i .

O desvio padrão é calculado utilizando a função do ROOT *GetRMS()*, sendo a variância o quadrado deste valor, como vem da sua definição. Esta função utiliza a equação do desvio padrão para variáveis discretas[32] seguinte[33]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

Para realizar este cálculo o ROOT utiliza rotinas semelhantes às utilizadas no cálculo da média. O σ representa o desvio padrão e o N representa o número de eventos. As

restantes variáveis têm o significado anteriormente definido. Como referi e é sabido, a variância é o σ^2 .

O “Skewness” e o “Kurtosis”, obliquidade e curtose, representam dois tipos de análise mais restritos, com a validade destes valores a estar circunscrita a um relativamente pequeno grupo de histogramas. Compete ao utilizador saber se os valores são aplicáveis ou úteis para a análise que pretende efectuar. A obliquidade é uma medida de assimetria das caudas de uma distribuição[34]. O ROOT calcula a obliquidade recorrendo à seguinte equação:

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} = \frac{\mu_3}{\sigma^3}$$

O curtose representa uma medida de dispersão da distribuição[34]. O cálculo do curtose é feito pelo ROOT recorrendo à equação seguinte. A subtracção de três unidades trata-se de uma convenção, servido apenas para que o curtose da distribuição normal seja 0.

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3$$

O μ_n é denominado de momento central de ordem n da distribuição e é calculado através da equação[34]:

$$\mu_n = E\{[x - E(x)]^n\}$$

Sendo que o σ é calculado pela mesma forma anteriormente apresentada. Para calcular o momento central o ROOT utiliza um sistema iterativo em que percorre todos os “bins”, realizando o seguinte cálculo:

$$\mu_n = \frac{\sum_i w_i (y_i - \bar{y})^n}{\sum_i w_i}$$

A notação é a mesma que tem vindo a ser utilizada.

Como é óbvio, os histogramas de ROOT tratam de valores discretos pelo que o cálculo dos integrais é na realidade um somatório “bin” a “bin”. Este pode ser feito somando apenas o valor das entradas de cada “bin” ou pesando as entradas com o valor mediano do “bin”. Geralmente, o primeiro caso traduz o total de eventos registados no histograma. O cálculo do integral permite escolher o intervalo de “bins” a integrar.

O máximo e mínimo representam os valores absolutos do máximo e mínimo.

Como já referi, a geração do histograma de variação das estatísticas é feito analisando individualmente cada um dos histogramas presentes no “banana-plot”. Para cada histograma que é adicionado ao “banana-plot” é calculado e armazenado o valor da média e

	540	480	420	360	300	240	240
Mean	89850.1	89890.5	89780.4	89800.9	89644.3	89481.9	89614.8
Standard Deviation	24565.4	24840.3	24309.7	24404.5	24001.5	23483.5	23629
Variance	5.92188e+08	6.02759e+08	5.90114e+08	5.9298e+08	5.81972e+08	5.66549e+08	5.68337e+08
Skewness	2.4718	2.55493	2.45904	2.55278	2.45614	2.40727	2.36299
Kurtosis	15.8491	15.8238	15.265	15.8937	15.0255	14.9113	14.2245
Integral (with width)	5.8539e+07	6.5056e+07	7.7501e+07	8.1586e+07	9.6786e+07	1.08623e+08	1.16679e+08
Integral (without width)	6162	6848	8158	8588	10188	11434	12282
Maximum	1522	1728	2076	2256	2718	3082	3316
Minimum	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5.8: Separador com algumas das variáveis estatísticas do conjunto de histogramas presentes no histograma do tipo “banana-plot”, neste caso é apresentada a variação dos histogramas com a massa do W obtidos no “run” 191426.

desvio padrão. Quando o utilizador pretender visualizar estes dados terá de seleccionar o botão “Analyse”, dando início ao processo de preenchimento do histograma de variação das estatísticas. Neste histograma a média é apresentada a azul e utiliza a escala da esquerda ao paço que o desvio padrão é apresentado a vermelho e o seu valor é relativo à escala apresentada à direita. Assim, cada histograma presente no “banana-plot” é representado por uma entrada no eixo dos xx de forma análoga ao que acontece no próprio “banana-plot”.

O histograma de variação das estatísticas permite ao utilizador visualizar o modo como a média e desvio padrão de um dado histograma varia com o tempo. A utilização deste histograma permite que essa informação seja transmitida ao utilizador de uma forma rápida, simples e intuitiva, à semelhança do que acontece com o “banana-plot”, complementando assim a informação que esse contem.

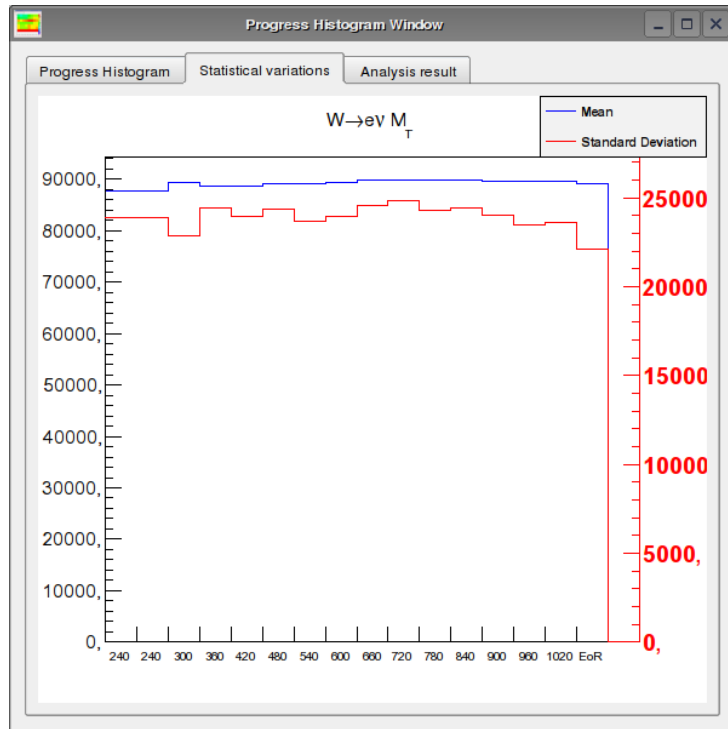


Figura 5.9: Separador onde é apresentado o histograma de variação das estatísticas, neste caso é apresentada a variação dos histogramas com a massa do W obtidos no “run” 191426.

6. O NODE na análise de dados de física de ATLAS.

Como referi o ATLAS é um vasto detector e a validação dos dados que este obtém está dependente da garantia e conhecimento da sua calibração. Devida à sua dimensão e complexidade, esta tarefa encontra-se ao encargo dos diversos sub grupos responsáveis pelas diversas secções do detector, de que já falei no capítulo 2.

Como exemplo desta tarefa temos a calibração do calorímetro electromagnético. Este calorímetro requer-se que tenha uma resolução muito boa, por forma a medir com grande precisão parte da energia contida nos diversos eventos. A necessidade de ter um calorímetro electromagnético com muito boa resolução é acentuada pelo facto de que um dos canais, que a teoria prevê para o decaimento do Higgs, é o $H \rightarrow \gamma\gamma$ e espera-se que o sinal produzido seja um ligeiro pico. Requerendo portanto uma grande definição para que possa ser observado claramente, acima do ruído. Assim é necessário que o calorímetro electromagnético esteja constantemente muito bem calibrado.

A calibração deste pode ser feita utilizando diversos processos diferentes, um desses processos requer a medição do par electrão-positrão resultante do decaimento de um Z. Este processo tem a vantagem de utilizar uma situação real de funcionamento para proceder à calibração de calorímetro, evitando tempos de paragens do detector e utilizando desta forma chuviscos com uma dimensão e energia normal. A vantagem da utilização do bosão Z para este fim prende-se com o facto de que este possui uma elevada massa, é produzido no LHC em quantidades razoáveis e os principais canais do seu decaimento não envolvem neutrinos.

Desta forma escolhi mostrar a medição da massa do bosão Z como exemplo de dados com um interesse físico, mostrando também as ferramentas desenvolvidas e a forma como estas tornam mais simples a visualização e análise desses dados. Como referi anteriormente, o bosão Z possui uma massa de $91.1876 \pm 0.0021 GeV/c^2$ e decai para um par de fermião e anti-fermião. Assim, no seguimento da abordagem feita no paragrafo anterior relativa à calibração do calorímetro electromagnético, escolhi apresentar alguns histogramas relativos ao canal em que o Z decai para um par e^-e^+ , sendo que são estas

duas partículas que o ATLAS consegue detectar e que o “trigger” selecciona, o par, como tendo potencial interesse.

Assim, utilizando o NODE para aceder à base de dados do MDA/CoCa seleccionei um “run” no qual foram gerados os denominados histogramas globais, no caso apresentado o “run” seleccionado foi o 191426. Esta medida apresenta diversas versões, “Luminosity Block” do grupo, na Fig. 6.1 é apresentado o “Luminosity Block” 240 ao paço que na Fig. 6.2 estão presentes os “Luminosity Block” 240, 540, 840 e EoR.

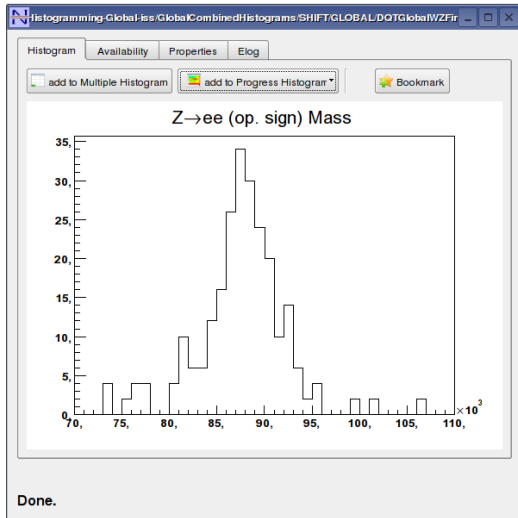


Figura 6.1: Massa do Z obtida através da medição do seu decaimento num par electrão-positrão resultante, referente ao “Luminosity Block” 240.

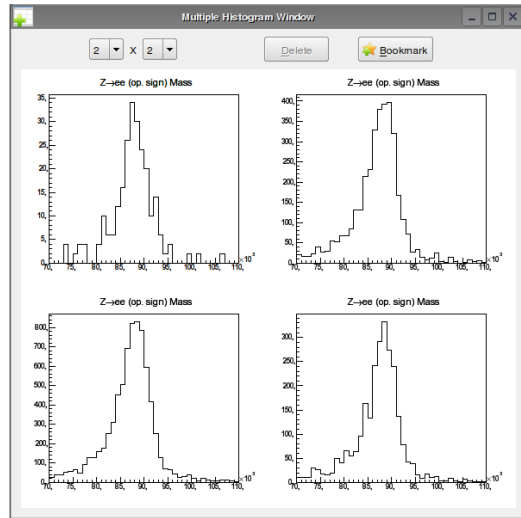


Figura 6.2: Múltiplo Histograma com um conjunto de histogramas da massa do Z, para os “Luminosity Block” 240, 540, 840 e EoR.

Ao adicionar este histograma a um “Banana-plot”, Fig. 6.3, e a um histograma de variação das estatísticas, Fig. 6.4, torna-se então simples de observar que a média do valor da massa do Z, ao longo do “run”, se situou próxima dos $88\text{GeV}/c^2$ e que o desvio padrão se situou nos $5\text{GeV}/c^2$. Este valor é um pouco diferente do valor tabelado para a massa do Z, contudo trata-se apenas de um pequeno conjunto de histogramas aos quais falta ainda proceder a uma análise mais aprofundada relativamente ao estado do detector a quando deste “run”, verificando os valores de calibração e de qualidade. Para além disso este trabalho não tem como finalidade validar a massa do Z ou estudá-la com mais precisão, mas sim desenvolver ferramentas de visualização e análise que permitam realizar, entre outras coisas, esse tipo de estudos. O caso apresentado serve principalmente para demonstrar algumas das ferramentas desenvolvidas e a sua utilidade no que toca à visualização e análise dos histogramas que o MDA/CoCa referenciam.

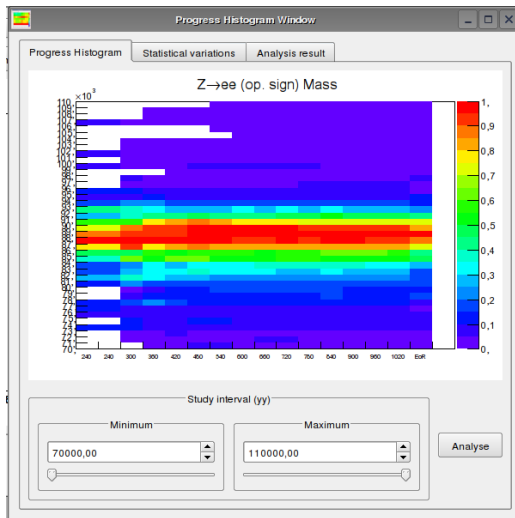


Figura 6.3: “Banana-plot” do conjunto de histogramas da massa do Z par o canal electrão-positrão, relativos ao “run” 191426.

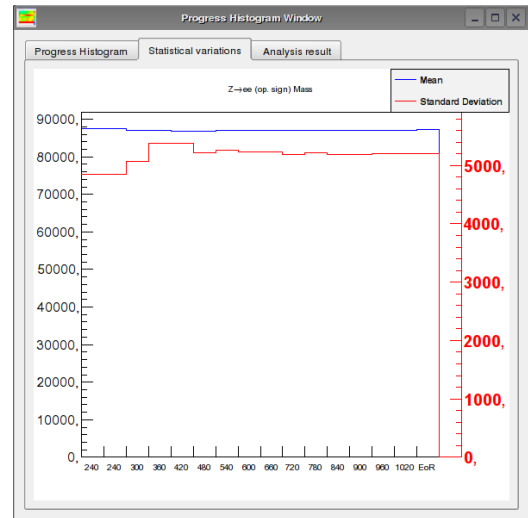


Figura 6.4: Histograma de variação das estatísticas do conjunto de histogramas da massa do Z par o canal electrão-positrão, relativos ao “run” 191426.

Para completar a apresentação deste exemplo decidi apresentar também os conjunto de histogramas, para o mesmo “run”, mas referentes ao canal em que o bóson Z decai em em muão-“anti-muão”, Fig. 6.5 e 6.6.

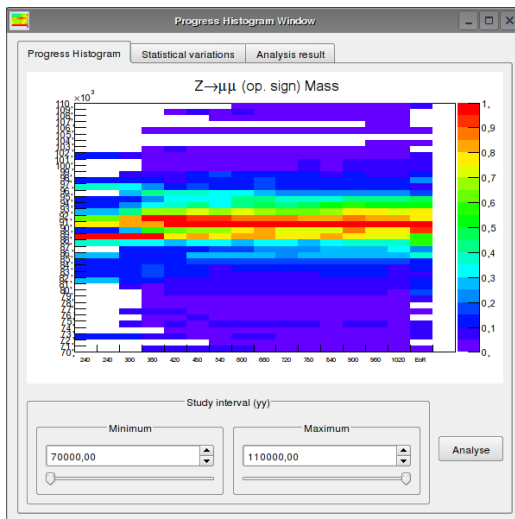


Figura 6.5: “Banana-plot” do conjunto de histogramas da massa do Z par o canal muão-“anti-muão”, relativos ao “run” 191426.

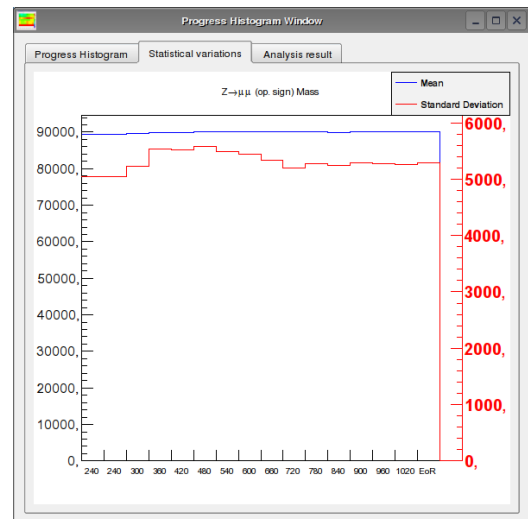
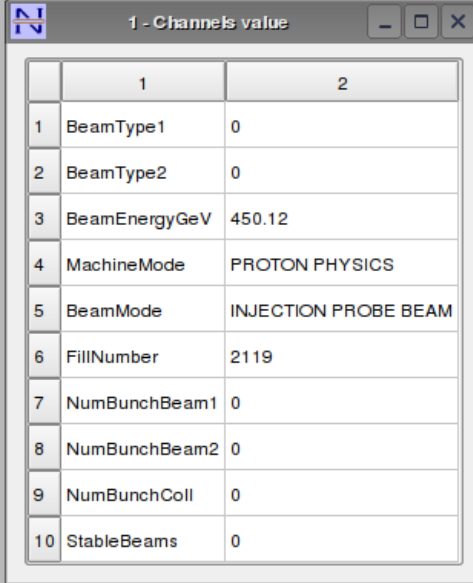


Figura 6.6: Histograma de variação das estatísticas do conjunto de histogramas da massa do Z par o canal muão-“anti-muão”, relativos ao “run” 191426.

Os eventos apresentados nos histogramas anteriores foram seleccionados pelo “trigger” utilizando um valor de corte de 20 GeV para a energia transversa dos electrões. Para os

muões foi utilizado um valor de corte de 2.0 no eta e de 20 GeV no momento transverso.

Como já referi, o NODE2 permite ainda aceder à base de dados COOL e apresentar os dados que esta referencia, sendo apresentados numa janela com o formato de tabela, Fig. 6.7. Este é o formato mais indicado tendo em conta que se tratam de dados de calibração[35]. A quantidade e tipo de campos a apresentar varia consoante a origem dos dados apresentados, pelo que o número de linhas é ajustado automaticamente e o preenchimento dos campos é feito de acordo com o requerido para cada caso.



	1	2
1	BeamType1	0
2	BeamType2	0
3	BeamEnergyGeV	450.12
4	MachineMode	PROTON PHYSICS
5	BeamMode	INJECTION PROBE BEAM
6	FillNumber	2119
7	NumBunchBeam1	0
8	NumBunchBeam2	0
9	NumBunchColl	0
10	StableBeams	0

Figura 6.7: Janela de apresentação dos dados referenciados pelo COOL, neste caso são apresentados os dados relativos ao estado de funcionamento do LHC numa dada altura.

O NODE2 oferece ainda a possibilidade de acesso a diversas páginas de Internet com informação útil sobre os histogramas, como é o caso da já referida Elog. Permite ainda ao utilizador ajustar algumas opções e guarda as configurações definidas.

The screenshot shows the NODE2 interface with the following components:

- Left Panel (Histograms):** A directory tree with folders like SHIF, CaloMonitoring, GLOBAL, GLOBAL2, IDAlignMon, IDPerMon, InDetGlobal, JetTagging, and sub-folders like DO_Cutflow, Jet_Cutflow, NTrackParticle, and various global hits folders.
- Center Panel (1 - Channels value):** A table with 10 rows and 2 columns.

	1	2
1 BeamType1	0	
2 BeamType2	0	
3 BeamEnergyGeV	3500.04	
4 MachineMode	PROTON PHYSICS	
5 BeamMode	STABLE BEAMS	
6 FillNumber	2197	
7 NumBunchBeam1	1381	
8 NumBunchBeam2	1381	
9 NumBunchColl	1318	
10 StableBeams	1	
- Right Panel (Histograms):** A directory tree for the COOL database, including folders like ATLAS_COOL_PROD, ATLAS_COOL_OF_CALO, ATLAS_COOL_OF_CSC, ATLAS_COOL_OF_DCS, COMP200, CSC, EXT, InDet, LAR, LHC, DCS, BPTX, FILLSTATE, TEST, TSTIME, LUCID, MDT, PIXEL, RPC, RPO, SCT, TDO, TGC, TILE, TRT, ZDC, MONP200, OFLP200, and ATLAS_COOL_OF_GLOBAL.

Figura 6.8: Vista geral do NODE2 com destaque para as árvore de directorias que acede ao COOL, do lado direito, e a tabela onde são apresentados os dados.

Bibliografia

- [1] wikipedia.org, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Beta_Negative_Decay.svg.
- [2] LINCOLN, D., *The quantum frontier: the large hadron collider*, Johns Hopkins Univ Pr, 2009.
- [3] CERN, <http://public.web.cern.ch/public/en/About/>.
- [4] wikipedia.org, <http://www.wikipedia.org>.
- [5] LHC, <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/>.
- [6] ATLAS , <http://www.atlas.ch/>.
- [7] SEGURA, E., Overview of the trigger & data acquisition system in ATLAS, ATLAS ifae meeting, 2005.
- [8] TDAQ MWG, <http://atlas-tdaq-monitoring.web.cern.ch/atlas-tdaq-monitoring/>.
- [9] BOYER, S., *Supervisory control and data acquisition*, Isa, 1999.
- [10] NODE2, <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/Node2Monitoring>.
- [11] BEECH, M., *The Large Hadron Collider:Unraveling the Mysteries of the Universe*, Springer, 2010.
- [12] COTTINGHAM, W. et al., *An introduction to the standard model of particle physics*, Cambridge Univ Pr, 2007.
- [13] ATLAS fact sheets, http://www.atlasexperiment.org/pdf/ATLAS_fact_sheets.pdf.
- [14] Western digital, <http://www.wdc.com/en/products/catalog/?segment=2#jump1>.
- [15] Dos Anjos, A. et al., Nuclear Science, IEEE Transactions on **53** (2006) 990.

- [16] HALLER, J. et al., Steering, configuration and implementation of HLT trigger menus, Technical report, CERN - ATLAS, 2005.
- [17] ZHANG, J., ATLAS TDAQ integration and commissioning, in *Proceedings of the Topical Workshop on Electronics for Particle Physics, TWEPP-08, Naxos, Greece, 15-19 September 2008*, page 388, CERN, 2008.
- [18] KOLOS, S., ATLAS TDAQ monitoring working group - summary of the monitoring requirements, Technical report, TDAQ Monitoring Working Group, 2005.
- [19] KOLOS, S., Monitoring and data quality, Technical report, UCI/PNPI, 2005.
- [20] KOLOS, S. et al., ATLAS TDAQ - monitoring task force report, Technical report, UCI, 2005.
- [21] ZEMA, F., Monitoring data archiving, collection and caching service, reference histogram management, Technical report, Università della Calabria, 2006.
- [22] CASTOR, <http://castor.web.cern.ch/castor/>.
- [23] CASTOR, <http://castorold.web.cern.ch/castorold/>.
- [24] AMORIM, A. et al., A Database Visualization Tool for ATLAS Monitoring Objects, in *Real-Time Conference, 2007 15th IEEE-NPSS*, pages 1–4, IEEE, 2007.
- [25] Qt4, <http://qt.nokia.com/>.
- [26] MOLKENTIN, D., *The book of Qt 4: the art of building Qt applications*, No Starch Pr, 2007.
- [27] THELIN, J., *Foundations of Qt development*, Springer, 2007.
- [28] Jasmin Blanchette, M., *C++ GUI Programming with Qt 4*, Prentice Hall, USA, 2008.
- [29] ROOT, <http://root.cern.ch/>.
- [30] QtRoot, <http://root.bnl.gov/QtRoot/html/doc/ClassIndex.html>.
- [31] ROOT users guide, <http://root.cern.ch/drupal/content/users-guide>.
- [32] BEVINGTON, P. et al., *Data reduction and error analysis for the physical sciences*, volume 336, McGraw-Hill New York, 1969.

- [33] ROOT class index, <http://root.cern.ch/root/html/ClassIndex.html>.
- [34] EADIE, W. et al., *Statistical methods in experimental physics*, World Scientific Pub Co Inc, 2006.
- [35] Conditions database (COOL), <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/viewauth/Atlas/ConditionsDB>.