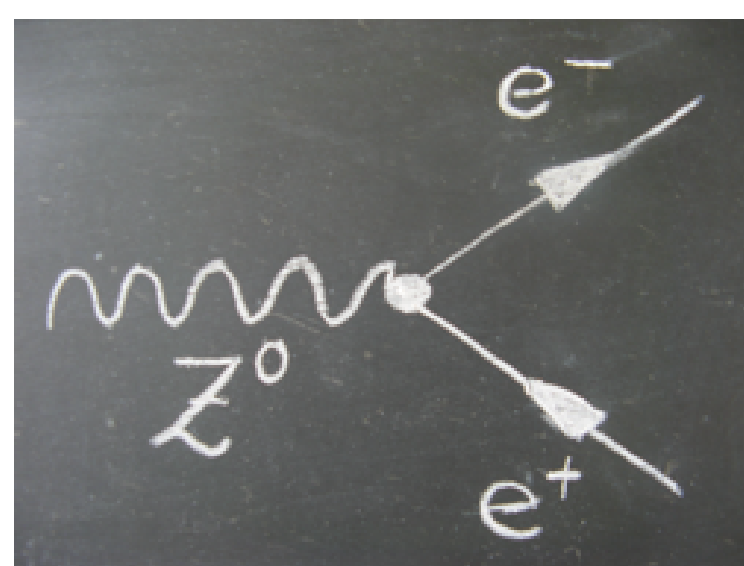


### 1. Objetivo

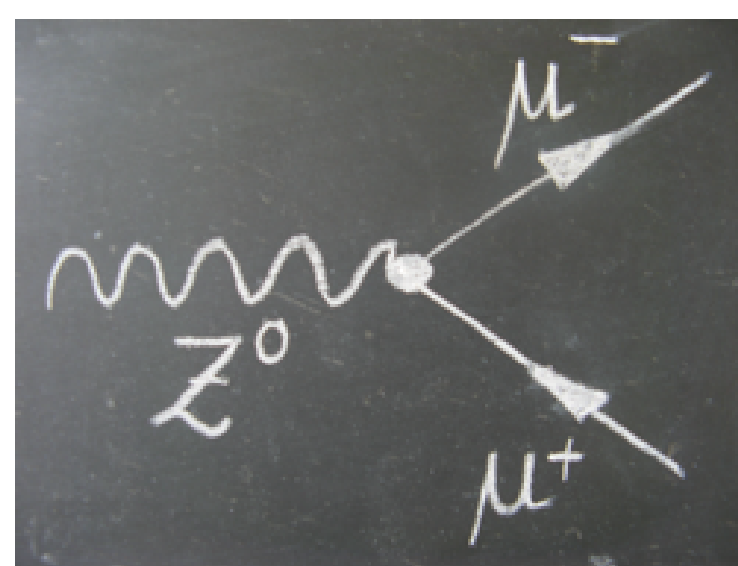
O objetivo desta atividade é proporcionar um aprendizado inicial sobre a Física de Altas Energias, por meio de uma análise de dados públicos do CMS [3].

### 2. Introdução Teórica

No contexto do Modelo Padrão (MP), o bóson  $Z^0$ , assim como os bósons  $W^+$  e  $W^-$ , desempenham o papel de partículas mediadoras da força eletrofraca, responsável pelo decaimento de partículas. O enfoque deste estudo concentrou-se no bóson Z, que é um bóson vetorial caracterizado por sua carga nula e uma massa de  $91,1876 \pm 0,0021 \text{ GeV}/c^2$  segundo *Particle data group* (PDG) [1]. O bóson Z apresenta uma variedade de modos de decaimento, porém esse estudo concentrou-se no canal de decaimento que envolve a produção de um lépton e seu antilépton correspondente, a figura 1 mostra dois exemplos de decaimento do bóson Z.



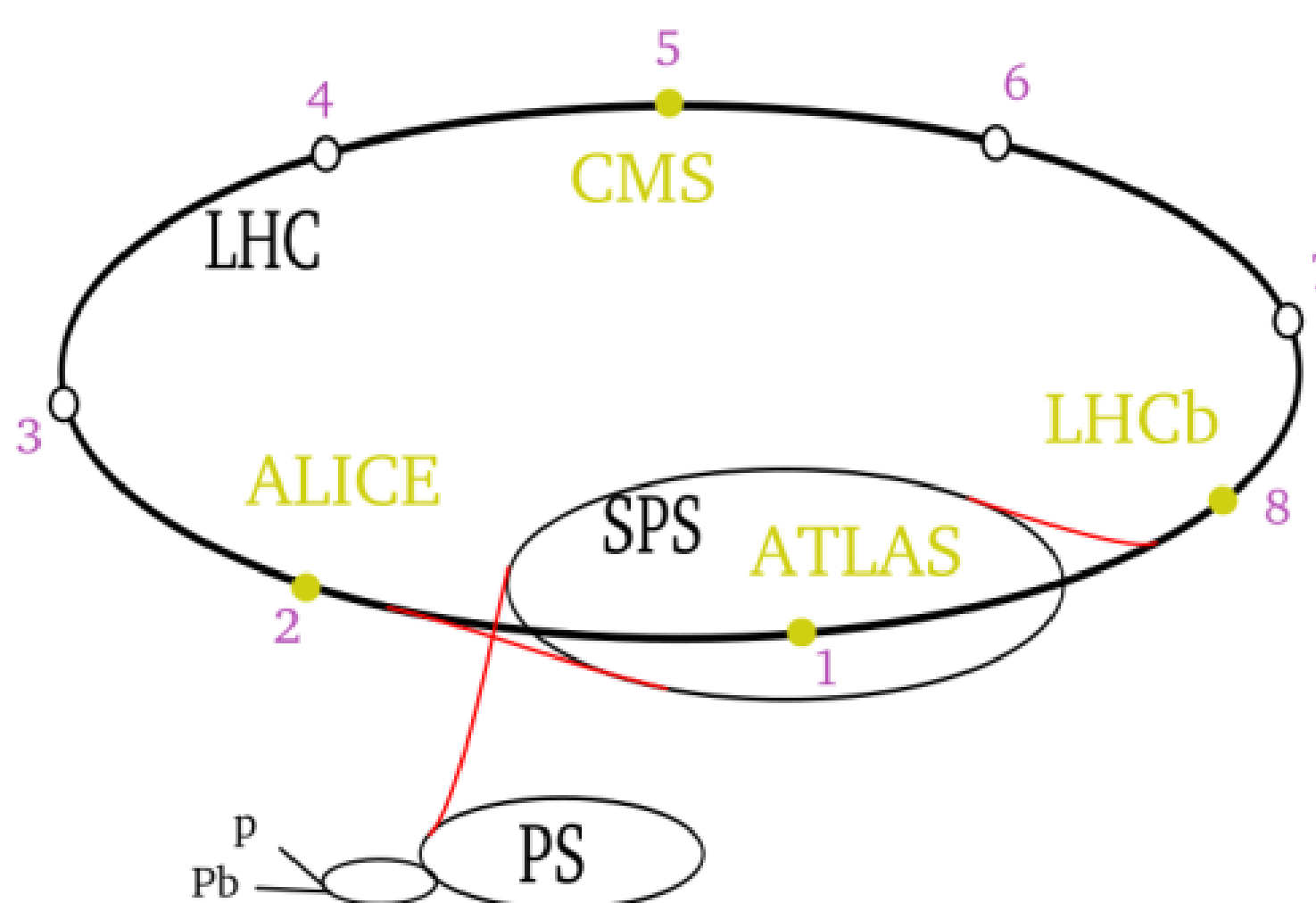
**Figura 1: (A)** Diagrama de Feynman do decaimento do bóson Z em um par de elétron-pósitron.



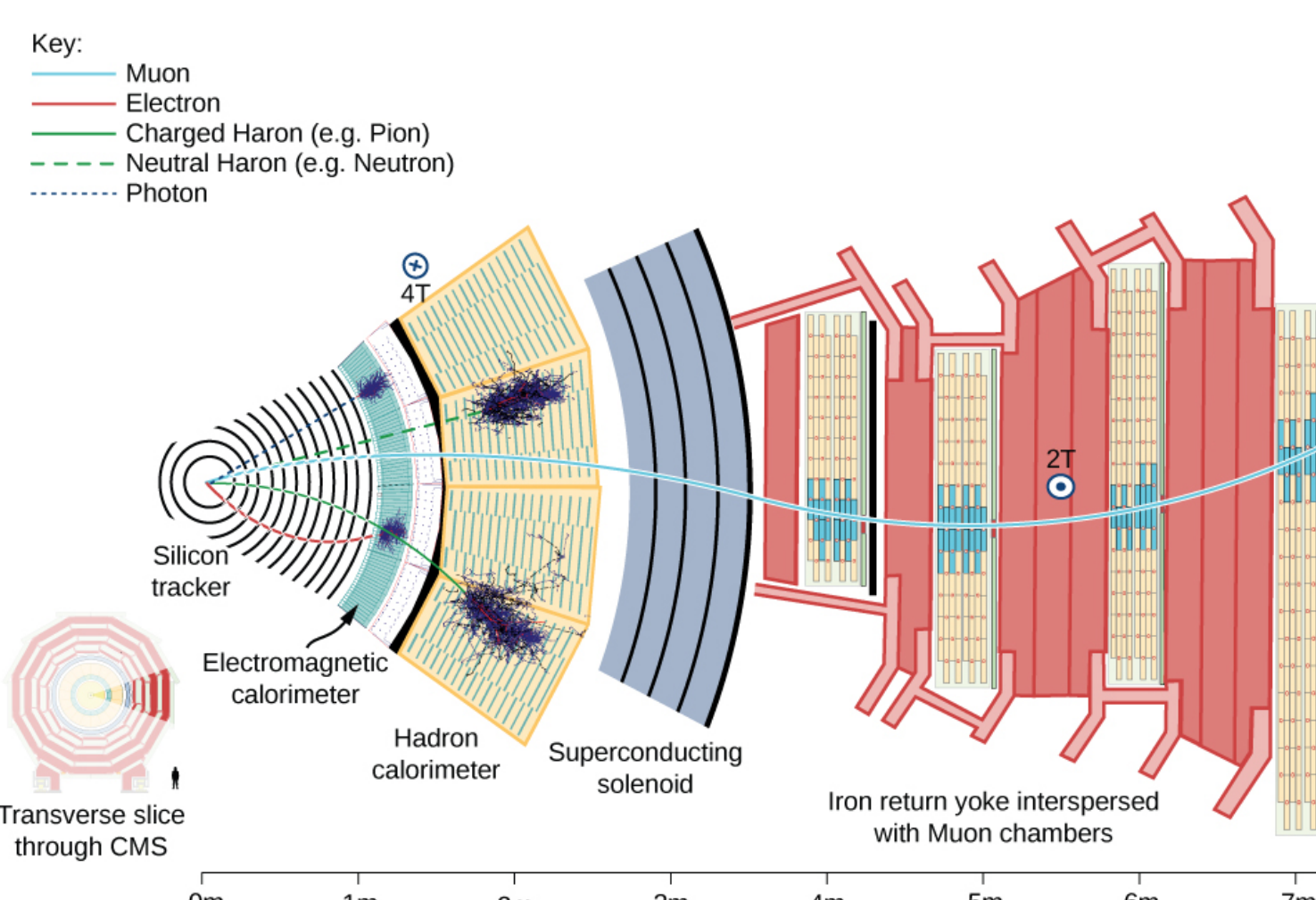
**Figura 1: (B)** Diagrama de Feynman do decaimento do bóson Z em um par de múon-anti múon.

### 3. Metodologia

Foram utilizados dados provenientes das colisões entre prótons do LHC (*Large Hadron Collider*) [2], figura 2, e detectados pelo experimento CMS (*Compact Muon Solenoid*) [3], figura 3, um detector de propósito geral composto por diversos subcomponentes. Eles foram disponibilizados no site Open Data [4] e filtrados para que possuíssem apenas eventos com quatro léptons. Essa assinatura é característica de eventos provenientes do decaimento do bóson de Higgs. Em seguida, empregado a linguagem de programação python para processar esses dados e realizar um estudo específico, focado na produção de bósons Z.

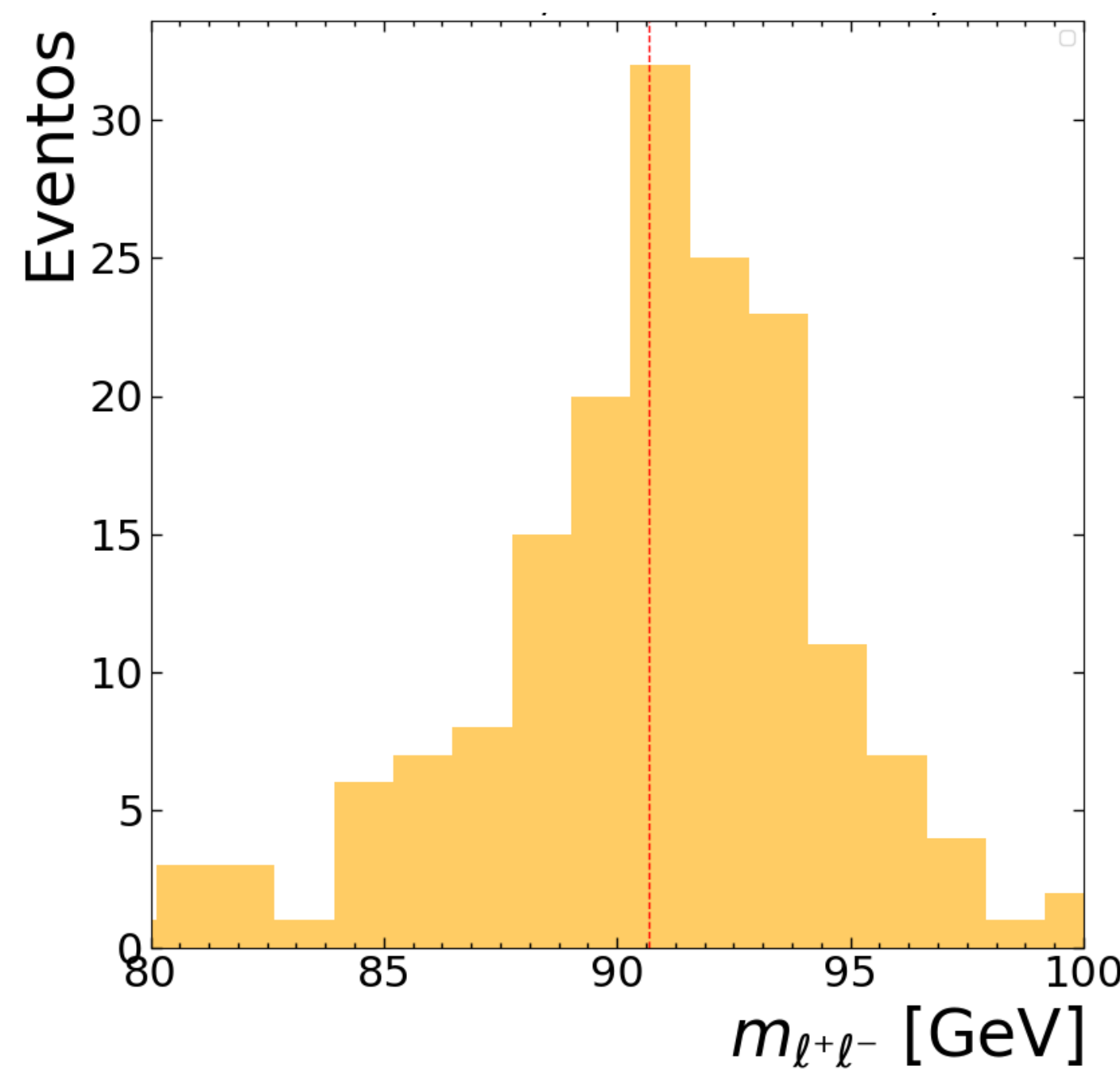


**Figura 2:** Representação da seção transversal do detector CMS.



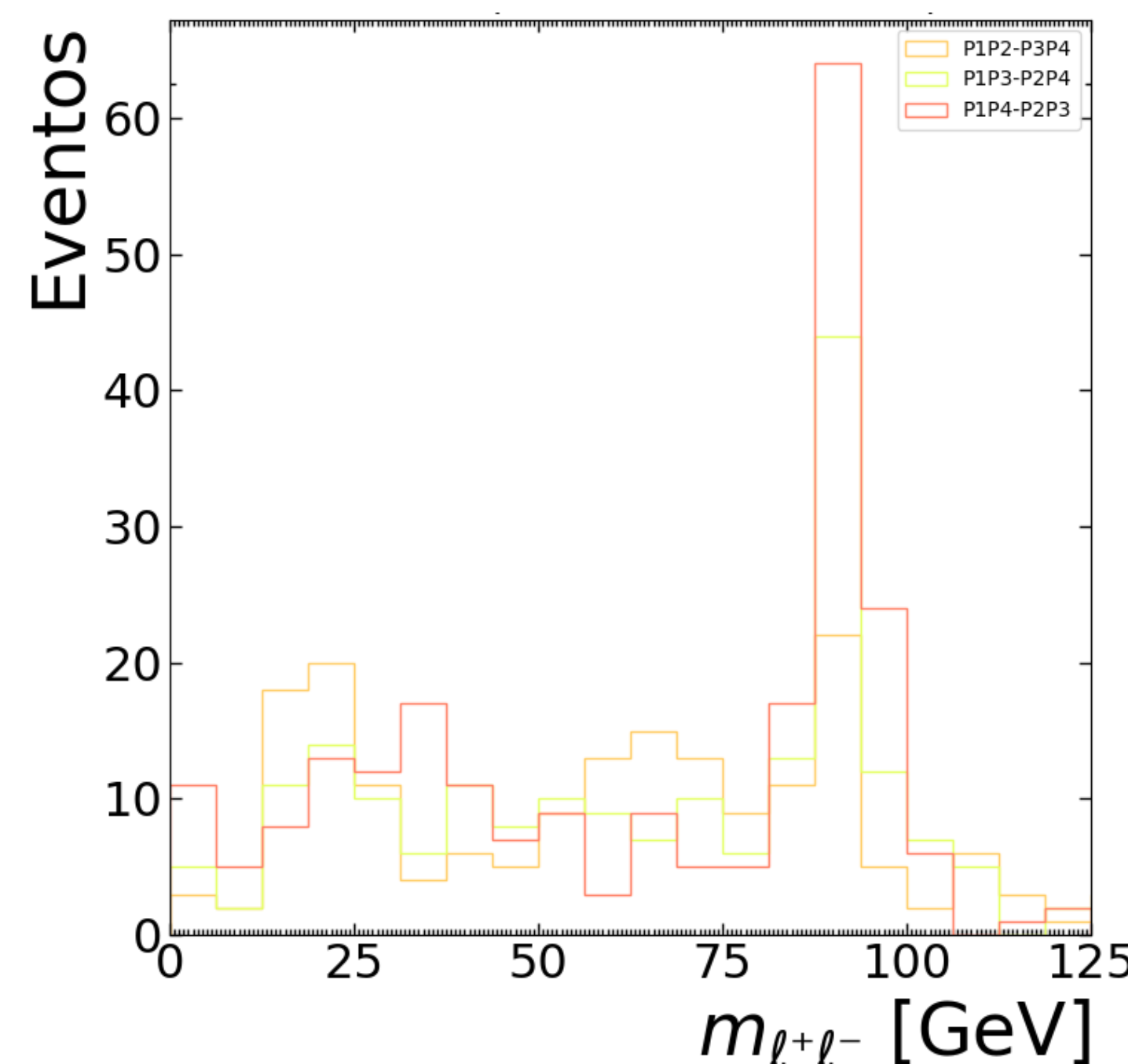
**Figura 3:** Representação da seção transversal do detector CMS.

No arquivo fornecido, havia um conjunto de dados contendo um total de 468 eventos, incluindo elétrons, pósitrons, múons e anti-múons no estado final. Para realizar o cálculo da massa invariante do bóson Z, era crucial identificar os pares apropriados de partículas e suas correspondentes antipartículas, que se originaram a partir do decaimento do bóson Z que será reconstruído. A figura 4 apresenta a massa invariante das partículas com mesmo sabor e cargas opostas.

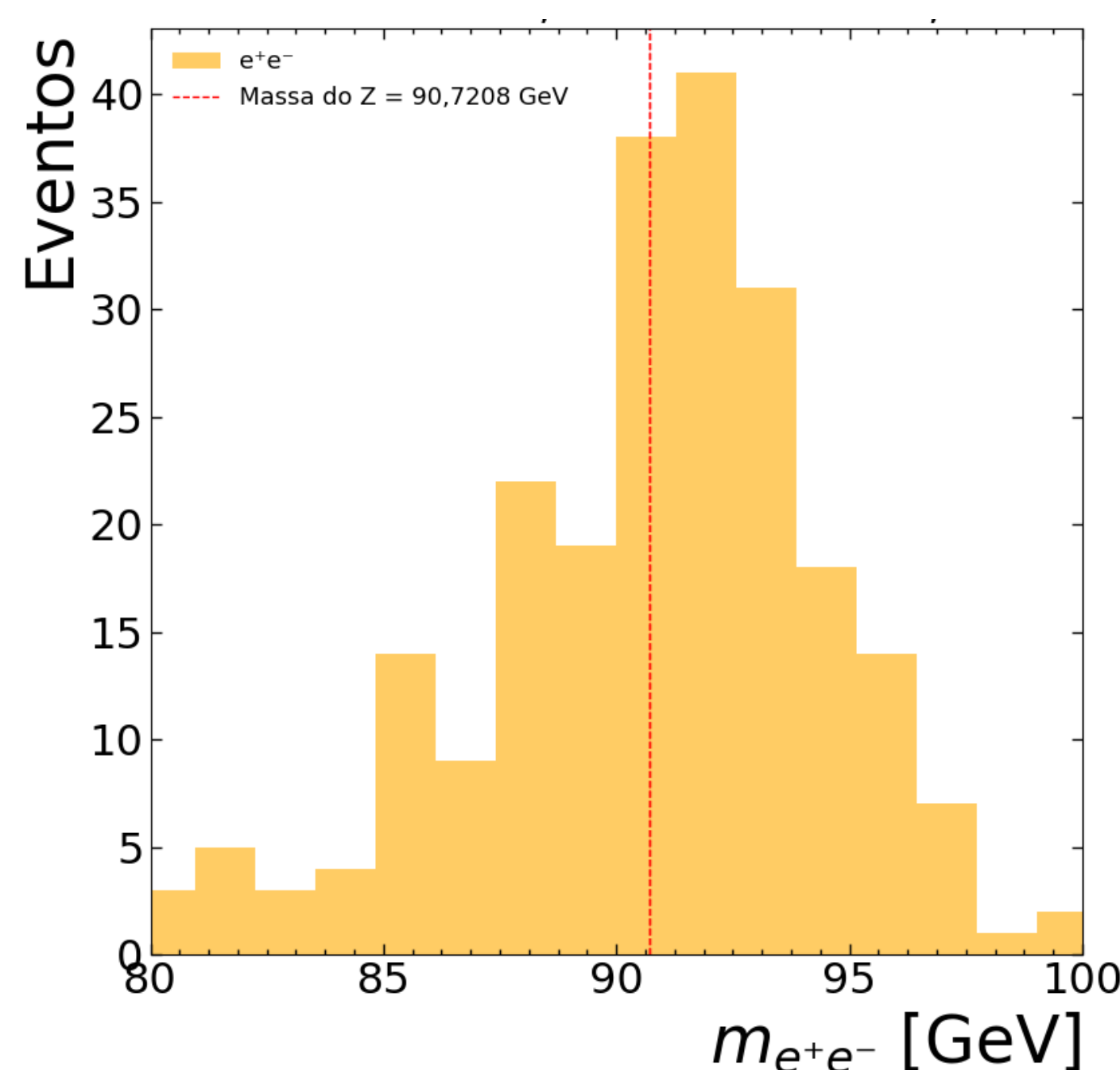


**Figura 4:** Gráfico mostrando a combinação de partículas utilizando o critério de terem cargas opostas.

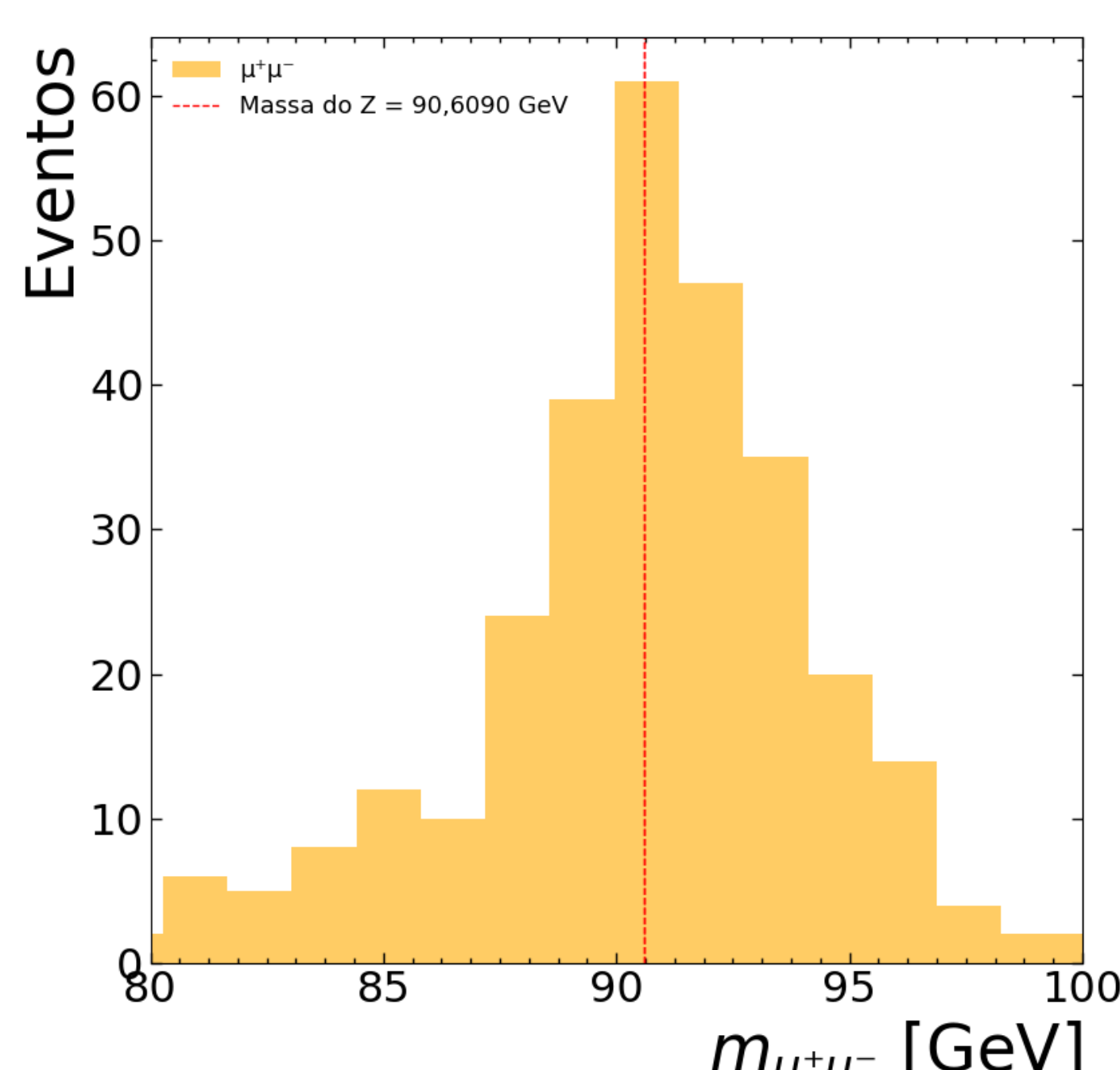
Para os eventos cujos 4 léptons sejam do mesmo sabor verifica-se que é possível termos diferentes combinações para a massa invariante do bóson Z, como apresentada na figura 5. Para realizar um estudo abrangente de todos os dados, foi necessário empregar outros critérios na seleção das combinações, tal como o melhor resultado para a massa invariante das combinações geradas, assim obtivemos os resultados nas figuras 6 e 7.



**Figura 5:** Gráfico mostrando as possíveis combinações das partículas, utilizando apenas o critério de terem cargas opostas.



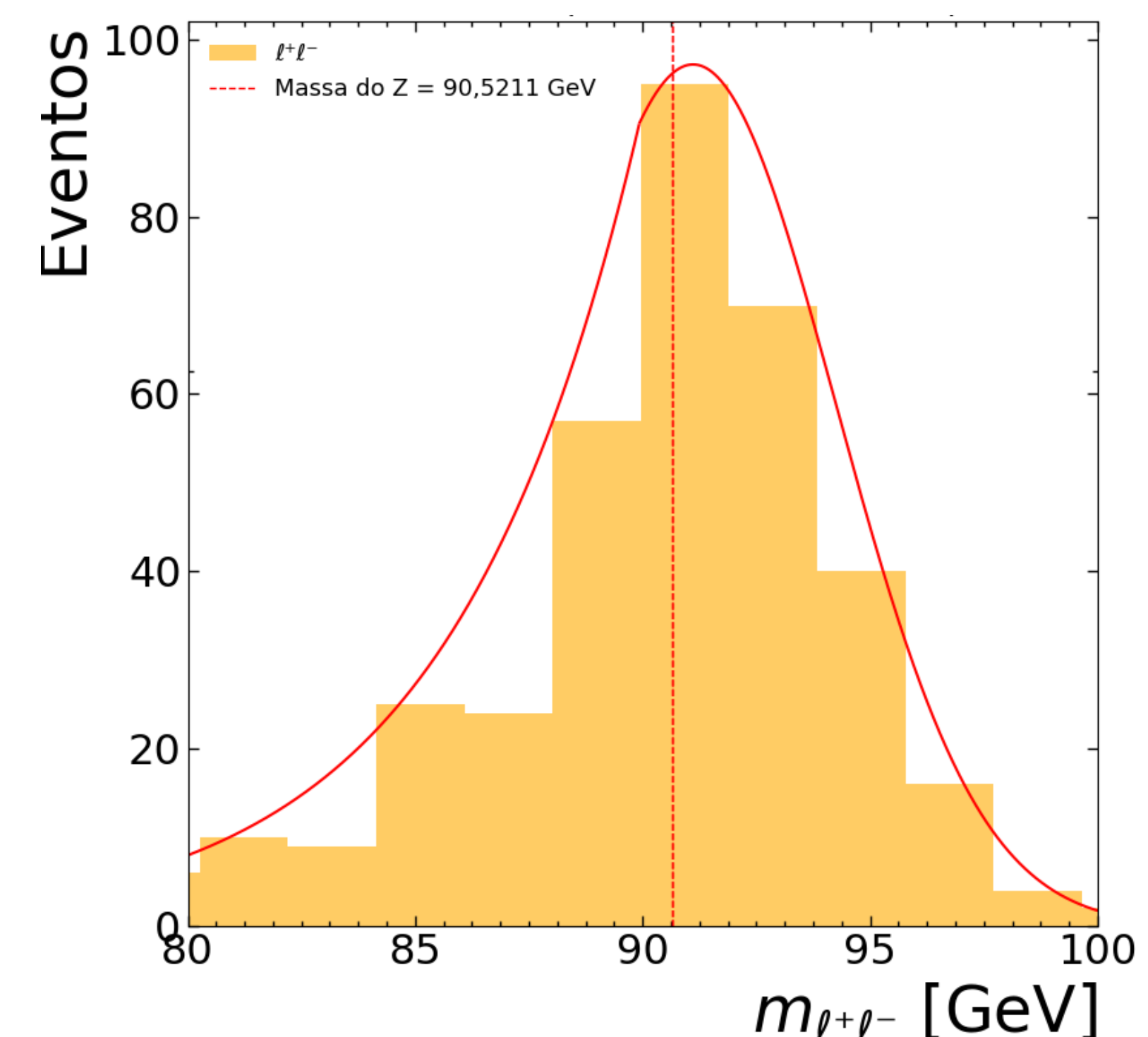
**Figura 6:** Gráfico contendo a distribuição da massa invariante do bóson Z no canal de elétrons.



**Figura 7:** Gráfico contendo a distribuição da massa invariante do bóson Z no canal de múons.

### 4. Resultados

Após aplicarmos os critérios mencionados, foi gerado um único gráfico com todas as combinações possíveis para os 4 léptons presentes na figura 8. Assim, foi possível, a partir de um ajuste de uma função gaussiana, representando o sinal, e uma exponencial, representando um fundo, determinar os parâmetros físicos, como a massa invariante do bóson Z, resultando em um valor estimado de  $90,5211 \pm 0,0553 \text{ GeV}/c^2$ , com esse valor encontrado, foi realizado o cálculo da compatibilidade com o valor de referência da massa do bóson Z segundo o PDG [1],  $M_Z = 91,1876 \pm 0,0021 \text{ GeV}/c^2$ .  $C = 0,77\sigma$



**Figura 8:** Gráfico contendo a distribuição da massa invariante do bóson Z no canal de 4 léptons, elétrons e múons.

### 5. Conclusão

Com os resultados encontrados para a massa invariante do bóson Z e a compatibilidade com o valor de referência, pode-se afirmar que o cálculo da massa invariante foi realizado corretamente. Adicionalmente, é importante ressaltar todas as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento desse cálculo. Além do estudo prático da linguagem de programação empregada, foi conduzido também um estudo teórico. Os próximos objetivos serão aperfeiçoar as escolhas de combinações desse conjunto de dados e estudar a produção do bóson de Higgs e iniciar a utilização de ferramentas de análise mais específicas como o ROOT [5]. Tendo em vistas essas observações, ainda é possível considerar que os cálculos e estudos realizados foram agregadores para a evolução no meu estudo em física de altas energias.

### 6. Agradecimentos

Ao auxílio financeiro da FAPERJ através da bolsa, a UERJ e aos meus professores de iniciação científica que sempre estão dispostos ajudar e solucionar as eventuais dúvidas.



### 7. Referências

- [1] Particle Data Group (PDG), "Review of Particle Physics," Online. Disponível em: <http://pdg.lbl.gov/>.
- [2] Berkeley Lab, Particle Adventure. Disponível em: A Aventura das Partículas (particleadventure.org). Acesso em: 20 set. 2023.
- [3] CMS CERN, 2023, CERN (virtual). Disponível em: | CMS CERN (home.cern). Acesso em: 20 set. 2023.
- [4] <http://opendata.cern.ch/record/5500> Jomhari, Nur Zulaiha; Geiser, Achim; Bin Anuar, Afiz Aizuddin; (2017). "Higgs-to-four-lepton analysis example using 2011-2012 data. CERN Open Data Portal". DOI:10.7483/OPENDATA.CMS.JKB8.RR42.
- [5] ROOT. Disponível em: <https://root.cern>. Acesso em: 20 set.2023.