



**INTERNATIONAL**  
**MASTERCLASSES**  
hands on particle physics

## **Orientações Gerais para laboratórios**

1) Seu computador deve estar logado no simulador:

- <http://www.i2u2.org/elab/cms/event-display/>

2) A planilha dos eventos a ser analisado deve estar aberta no site:

(Será apresentado no dia do evento)

- Utilizar a planilha \_\_\_\_\_.

Sua equipe deve analisar os eventos (de \_\_\_\_\_).

3) Site principal (ler com atenção a aba 'Medidas de WZH'):

- <http://cms.physicsmasterclasses.org/cmspt.html>

- Você está recebendo uma cópia da aba 'Medidas de WZH'.

# CMS Masterclass - Medidas de WZH

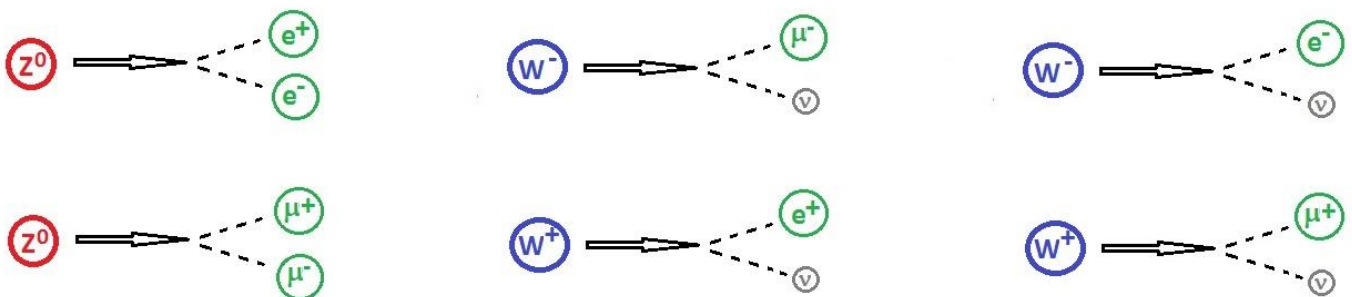
Vamos estudar eventos com múltiplas assinaturas:

- determine qual é o melhor candidato a  $W$ ,  $Z$  e bóson de Higgs
- separe os candidatos a  $W^+$  dos candidatos a  $W^-$ ,
- separe os decaimentos em elétrons dos decaimentos em múons,
- determine a razão entre eles,
- e construa o histograma com a distribuição de massa para os candidatos a  $Z$  e ao bóson de Higgs.

## Conceitos Básicos

Quando um bóson  $W$  ou  $Z$  decai, produz duas partículas chamadas *léptons*. Elétrons, múons e neutrinos são todos léptons, bem como suas antipartículas.

Visto que o bóson  $Z$  tem carga elétrica 0, ele pode decair em dois léptons com cargas opostas (por exemplo,  $e^+ e^-$ ). Os bósons  $W$  possuem carga +1 ou -1, por isso o bóson  $W$  decai em apenas um elétron ou um múon e mais seus respectivos neutrinos, que não tem carga. Essa história é bem mais profunda... mas, neste momento, isso é suficiente.



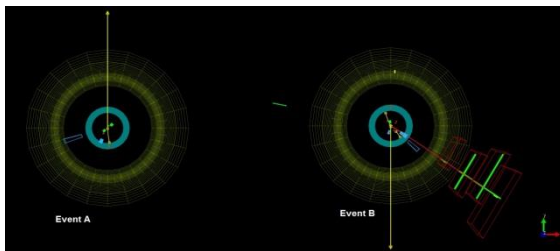
O bóson de Higgs tem vários modos de decaimento. Os dois que veremos são:

- bóson de Higgs decaindo em dois bósons  $Z^0$ .
- bóson de Higgs decaindo em dois fótons.

Existem poucos eventos com esses decaimentos nos nossos dados.

## Eventos candidatos ao bóson W

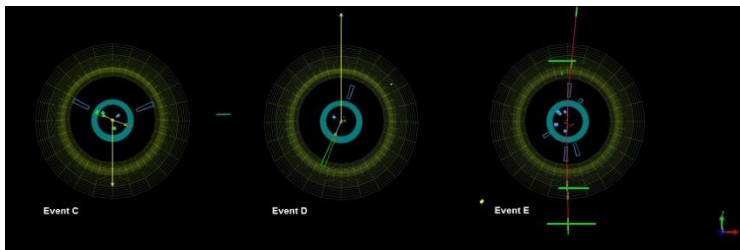
Quando um  $W^+$  ou  $W^-$  é produzido em uma colisão próton-próton dentro do CMS, o  $W$  decai imediatamente. Os dois léptons (elétron ou múon mais o neutrino) partem do ponto de decaimento a partir da linha do feixe em direção ao próprio detector. Elétrons e múons são revelados como traços no detector interno. Eles curvam no campo magnético forte no CMS: sentido horário para carga positiva ou sentido anti-horário para negativa, quando vistos no plano x-y (x-y view) na tela do evento. Neutrinos não são detectados; entretanto, o momento não medido no sistema é mostrado como uma seta amarela e geralmente atribuído ao neutrino.



*Escolha a imagem da esquerda para ter uma visão ampla e ser capaz de uma inspeção mais rigorosa. Você pode localizar o vetor do momento não medido (missing momentum) em cada um desses eventos? Olhe atentamente para a curvatura do “outro” traço em cada evento. O que é mais provável, o decaimento de um  $W^+$ ? ou de um  $W^-$ ? O pequeno traço amarelo no evento A indica um elétron. O longo traço vermelho no evento B que penetra até as caixas vermelhas indica um múon.*

## Eventos candidatos ao bóson Z

Quando um bóson Z é produzido no CMS, ele também decai imediatamente. Aqui, os dois léptons são ou um par de múons ( $\mu^-\mu^+$ ) ou um par de elétrons ( $e^-e^+$ ). Não há produção de neutrinos, então não há nenhuma medida do momento perdida. Na prática, há muita coisa acontecendo em um evento e o detector pode perder alguma coisa, desse modo alguma medida do momento pode ser perdida, gerando um “missing momentum” no evento.



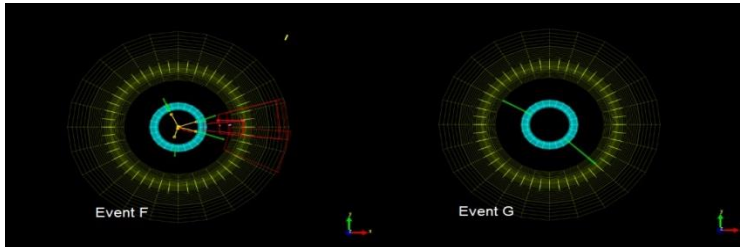
*Não há produção de neutrinos, então não há nenhuma medida do momento é perdida. Na prática, há muita coisa acontecendo em um evento e o detector pode perder alguma coisa, desse modo alguma medida do momento pode ser perdida, gerando um “missing momentum” no evento.*

## Eventos candidatos a bóson de Higgs

Existem vários modos de decaimento do bóson de Higgs. Nós vamos nos concentrar em dois casos:

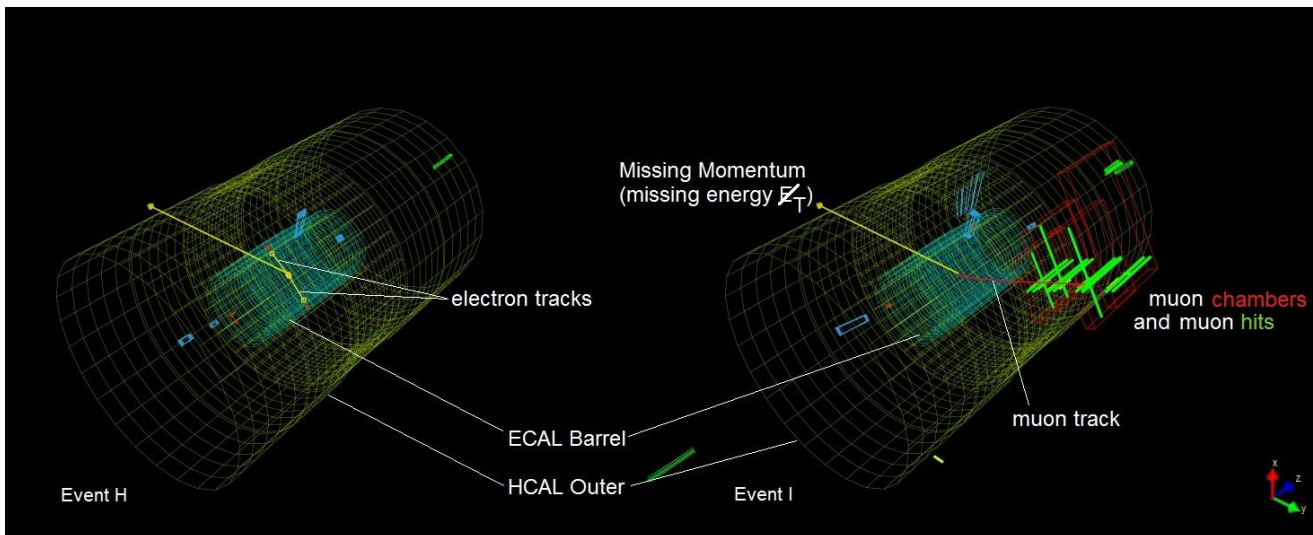
- O bóson de Higgs decai em dois bósons Z. As partículas Z decaem em léptons, como já falamos acima, então teremos 4 traços: 2 pares de múons ( $2 \times \mu^-\mu^+$ ), 2 pares de elétrons ( $2 \times e^-e^+$ ), ou um par de múons e um par de elétrons ( $\mu^-\mu^+e^-e^+$ ).
- O bóson de Higgs decai em dois fótons. Fótons não tem carga elétrica, portanto não são

vistos nos detectores de traços (tracker). Eles depositam toda sua energia no calorímetro eletromagnético ECal.



*Escolha a imagem à esquerda a fim de obter uma visão ampliada, que permite inspecionar a figura bem de perto. Os dois eventos são candidatos a Higgs. Um deles mostra dois fótons (duas torres de energia do ECal, em verde, sem traços ligados a elas). O outro mostra um possível decaimento do Higgs em dois bósons Z (neste caso, cada Z decaiu em dois elétrons, na verdade no par elétron-pósitron, imediatamente após ser produzido). Qual evento é qual, na sua opinião?*

## Elementos dos Eventos no iSpy-online



*Para cada evento, a linha do feixe é ao longo do eixo comum à estrutura cilíndrica onde está montado o ECAL, bem como à estrutura cilíndrica onde está montado o HCAL. Qual é o melhor candidato a W? Qual é o melhor candidato a Z? Em cada evento onde ocorre a colisão e onde ocorre o decaimento da partícula? [Aprenda mais sobre os eventos do CMS.](#)*

## Antes de iniciar suas atividades

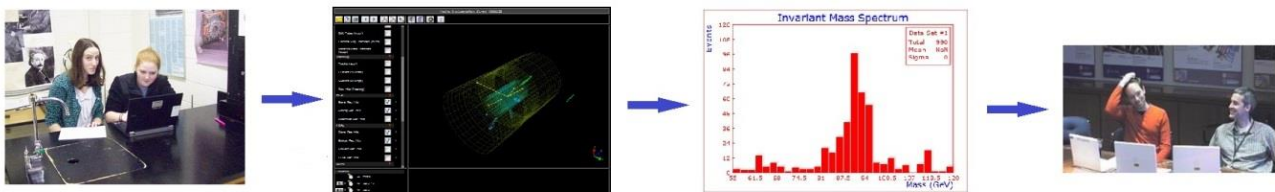
Se você não está familiarizado com o [iSpy Online](#), vá para a [introdução](#) ou pergunte ao seu mentor ou professor.

## Analisar os eventos

Você terá os seguintes itens:

- Display de Eventos ([iSpy Online](#))
- Planilha (folha de dados)
- Seu parceiro

Você e seu parceiro examinarão o display de eventos, interpretarão os eventos, e usarão a spreadsheet para registrar suas observações. A planilha irá auxiliar na obtenção das razões entre os diferentes tipos de eventos observados e no cálculo das massas dos candidatos a bóson Z. Os valores obtidos para a massa serão combinados com todos os resultados dos institutos participantes do Masterclass e serão colocados em um gráfico (histograma). Seu mentor auxiliará todo o grupo a entender os resultados antes que sejam enviados aos moderadores da videoconferência.



Você e seu parceiro terão 100 eventos para examinar. Quando observar um evento, pergunte:

- São os traços de léptons observados múons ou elétrons?
- Isso é um candidato a W, um candidato a Z, ou um candidato a bóson de Higgs? Ou isto é um evento a ser classificado como “zoo”?
- Se é provavelmente um W, é um W+ ou um W-?
- Se é provavelmente um Z ou um bóson de Higgs, qual é sua massa invariante em GeV (veja o valor na planilha)?

Existem locais específicos na planilha para se registrar todas essas informações.

## Resultados

Seu mentor irá lhe ajudar a combinar seus resultados com todos os estudantes (até 3000 eventos) para obter os seguintes parâmetros para o Masterclass como um todo:

- a razão W/Z ( não é tão fácil como parece).
- a razão W+/W-.
- a razão e/μ.
- a massa do Z, e de outras partículas com decaimentos similares, a partir de uma combinação estatística de todas as massas em um gráfico (histograma). Você consegue



encontrar um sinal do bóson de Higgs nesse gráfico?

Seu Instituto no CMS-Masterclass irá combinar os resultados obtidos com os outros institutos participantes em uma vídeo-conferência. As atividades da vídeo-conferência são:

- Cada Instituto do Masterclass irá apresentar *resumidamente* seus resultados.
- Os moderadores irão combinar os dados de todos os Institutos e mostrar o gráfico resultante com a distribuição de massa.
- A sessão Q&A – Perguntas e Respostas, na qual você poderá perguntar questões sobre qualquer coisa desde como o LHC funciona até o que um físico de partículas faz para se divertir.