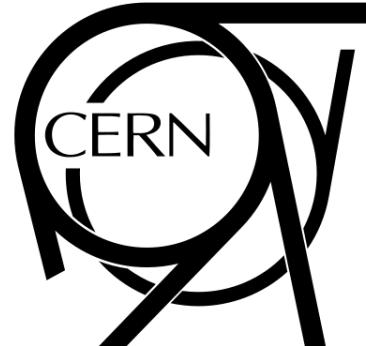


| | | |
|----------|-----------------|-----------------|
| <i>R</i> | <i>I</i> | <i>N</i> |
| <i>L</i> | <i>S</i> | <i>G</i> |
| 2 | <i>R</i> | <i>E</i> |



SISTEMA NEURAL PARA FILTRAGEM ONLINE EM UM DETECTOR FINAMENTE SEGMENTADO

João Victor da Fonseca Pinto

jodafons@cern.ch

Orientador: José Manoel de Seixas



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Engenharia Eletrônica e de Computação
Defesa de Projeto Final de Curso



- Introdução
 - CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*);
 - LHC (*Large Hadron Collider*);
 - Bóson de Higgs;
- Detector ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS*)
 - *Sistema de Calorimetria*;
- Sistema de Filtragem Online do ATLAS
- Proposta: Neural Ringer
 - Nova *chain*;
 - Implementação da ferramenta de treinamento;
- Resultados;
 - Escolha da arquitetura;
 - Medidas de Eficiência do Classificador;
 - Desempenho;
- Conclusão.



Introdução

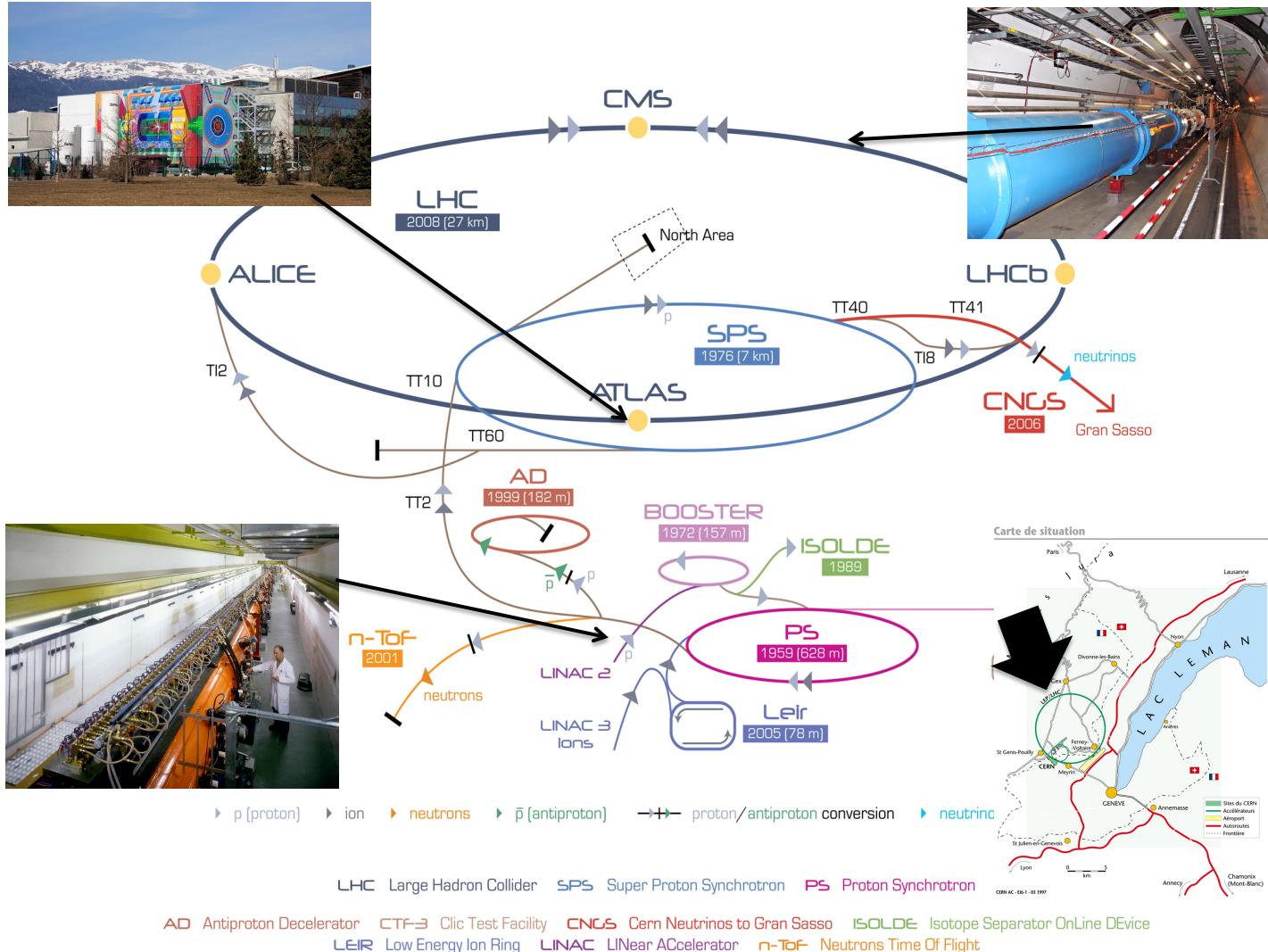




- É o maior laboratório de Física de Partículas do mundo, contando com a colaboração de cientistas de diversos países;
- Criado em 1954;
- Situado na fronteira da Suíça com a França;
- Referência de avanços tecnológicos:
 - Primeiro colisor de prótons-prótons (1971);
 - Descoberta da corrente de nêutrons (1973);
 - Descoberta das partículas W e Z (1983);
 - Invenção da Web (1990);
 - Descoberta do bóson de Higgs (2012);
- Principal experimento atual do CERN: o *Large Hadron Collider (LHC)*.



O LHC (*Large Hadron Collider*)





O LHC (*Large Hadron Collider*)

Um acelerador de partículas circular (dois feixes em sentidos opostos) que permite o estudo da Física de Partículas nas ordens mais altas de energias já obtidas experimentalmente;



LHC
2008 (27 km)

ALICE

North Area



LHCb
2006
neutrinos
CNGS
Gran Sasso

TT40 TT41
T18

ISOLDE
1989

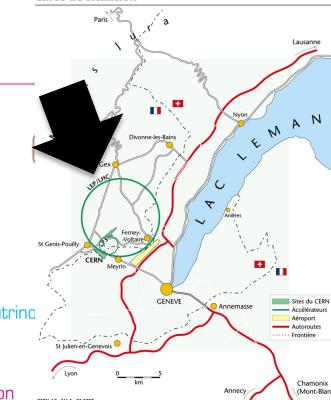
PS
959 (628 m)

LEIR
05 (78 m)

Antiproton conversion

neutrino

Carte de situation



LHC Large Hadron Collider

SPS Super Proton Synchrotron

PS Proton Synchrotron

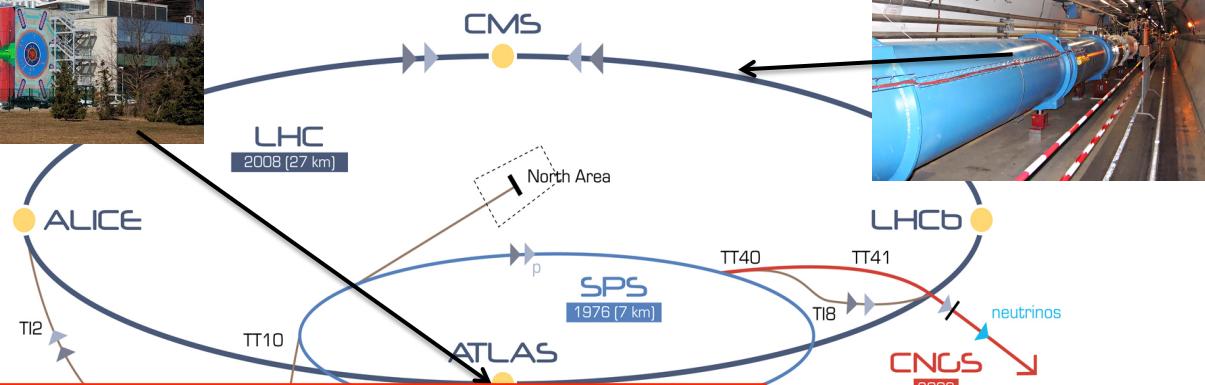
AD Antiproton Decelerator CTF-3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine Dvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LiNear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

CERN AC-15a-1 - 02 1997

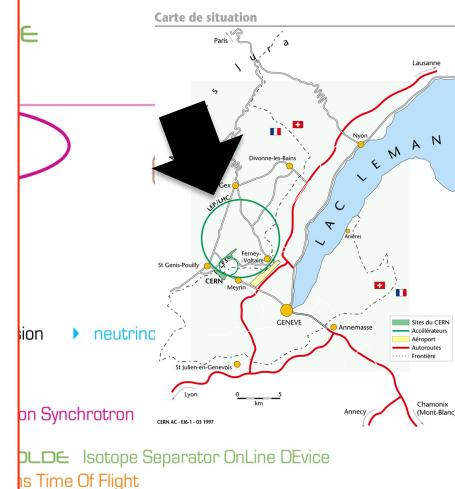


O LHC (*Large Hadron Collider*)



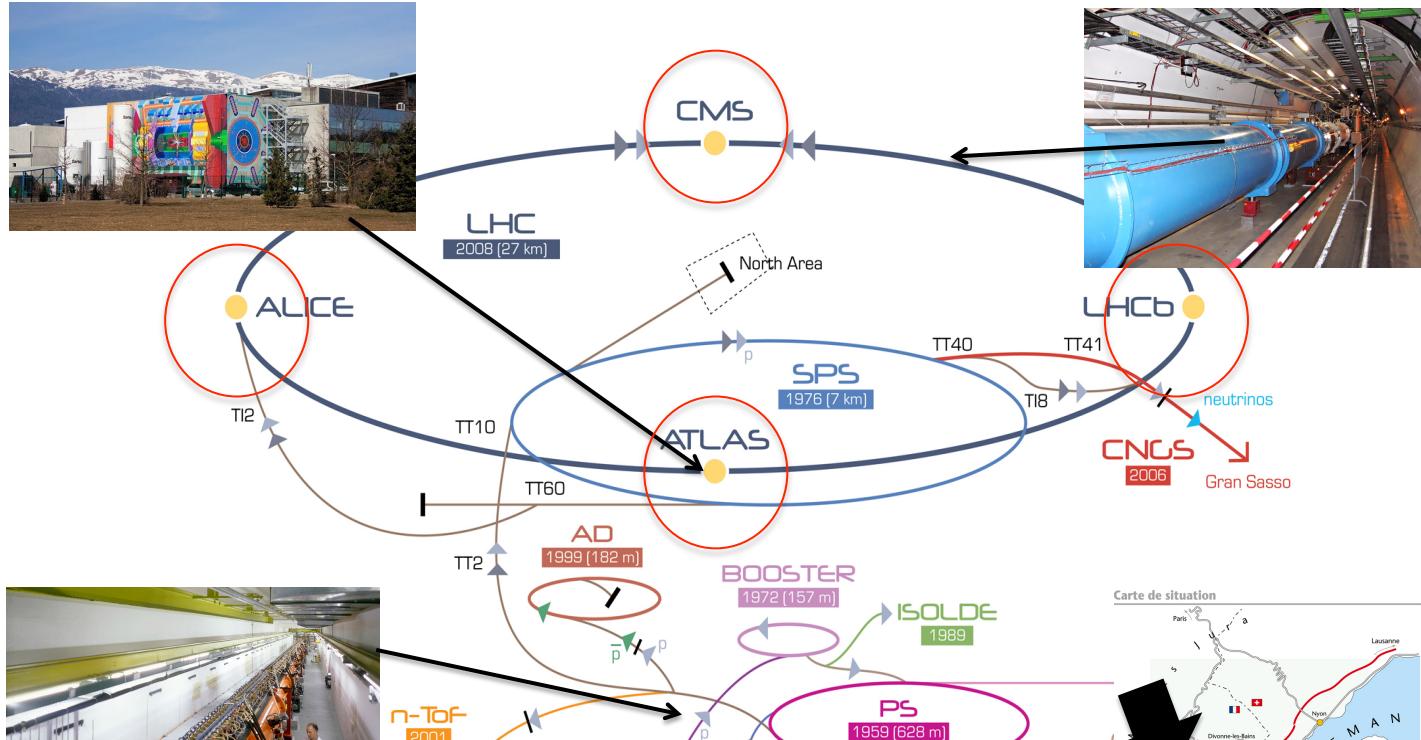
Algumas curiosidades:

- 27km de circunferência;
- Dentre 50 a 175m no subsolo;
- €3,03 Bi;
- O vácuo produzido nos tubos do feixe é o espaço mais vazio do Sistema Solar;
- ~700 GWh de consumo em 2009;
- Um dos pontos mais frios do Universo (2 K).





O LHC (*Large Hadron Collider*)

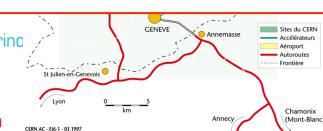


Possui 4 detectores de grande porte. Dois deles são utilizados para o estudo geral da matéria.

► p (proton) ► ion ► neutrons ► \bar{p} (antiproton) ►+ proton/antiproton conversion ► neutrinos

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF-3 Clic Test Facility CNOS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice
LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LiNear ACcelerator n-TOF Neutrons Time Of Flight





O LHC (*Large Hadron Collider*)

Os detectores registram dados sobre as colisões (tanto prótons quanto íons de chumbo) que podem ser utilizados em diversas áreas da Física;

Um dos tópicos principais é observar as diferentes interações do bóson de Higgs;

Esses detectores devem ser capazes de observar os diferentes “produtos finais” decorrentes dos decaimentos do bóson de Higgs;

Um dos decaimentos estudados nesse trabalho é: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4ee$

Outras partículas como fótons, múons ou léptons neutrinos e quarks também podem ocorrer como produto final;

| Three Generations of Matter (Fermions) | | | | Bosons (Forces) |
|--|---|---|---|-----------------------|
| I | II | III | | |
| mass → charge → spin → name → | 3 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up | 1.24 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm | 172.5 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top | |
| mass → charge → spin → name → | 6 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down | 95 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange | 4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom | |
| Quarks | ν_e electron neutrino | ν_μ muon neutrino | ν_τ tau neutrino | Z^0 weak force |
| Leptons | 0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron | 106 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon | 1.78 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau | W^\pm weak force |

Os detectores registram dados sobre as

- Grande parte das partículas são elétrons e fótons;
- Canal e/γ é o responsável pela identificação dessas partículas;
- É necessário formas de identificação dessas partículas.

Decaimentos dos decaimentos do boson de Higgs;

Um dos decaimentos estudados nesse trabalho é: $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4ee$

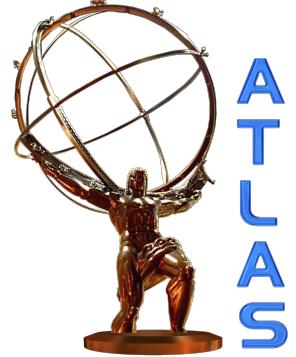
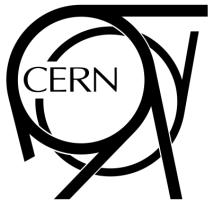
Outras partículas como fótons, múons ou léptons neutrinos e quarks também podem ocorrer como produto final;

| Leptons | electron neutrino 0.511 MeV $-1 \frac{1}{2}$ electron | muon neutrino 106 MeV $-1 \frac{1}{2}$ muon | tau neutrino 1.78 GeV $-1 \frac{1}{2}$ tau | weak force 80.4 GeV ± 1 W^+ weak force | Bosons (Forces) |
|---------|--|--|---|--|-----------------|
|---------|--|--|---|--|-----------------|

'GeV
H
ggs

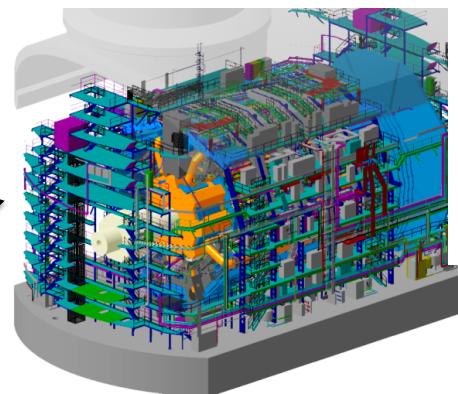
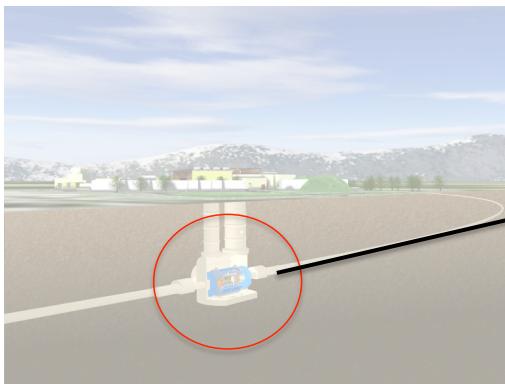
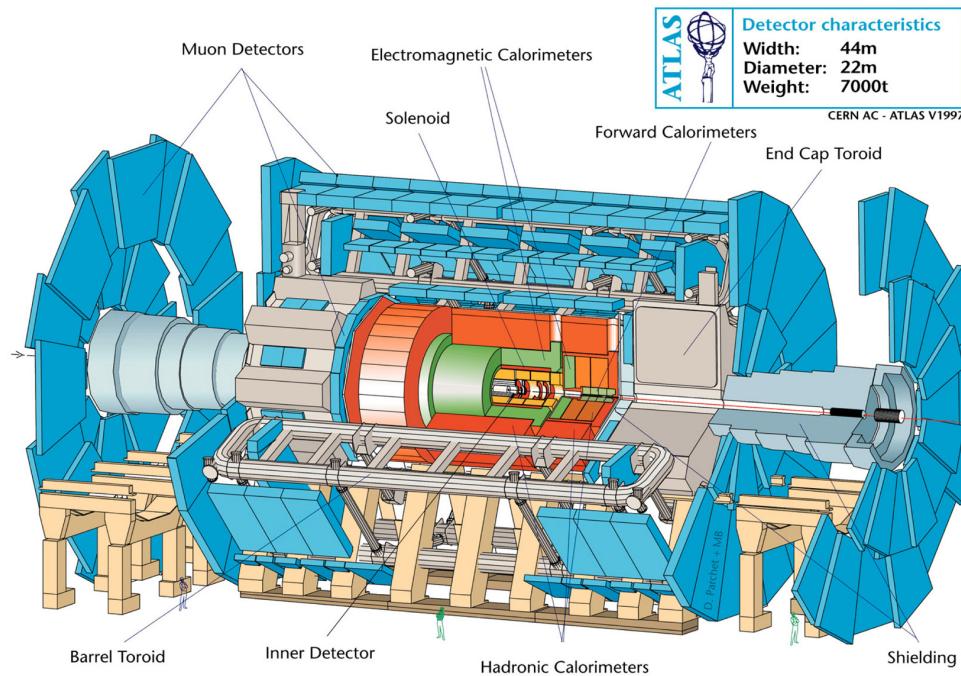


ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS)





ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS)

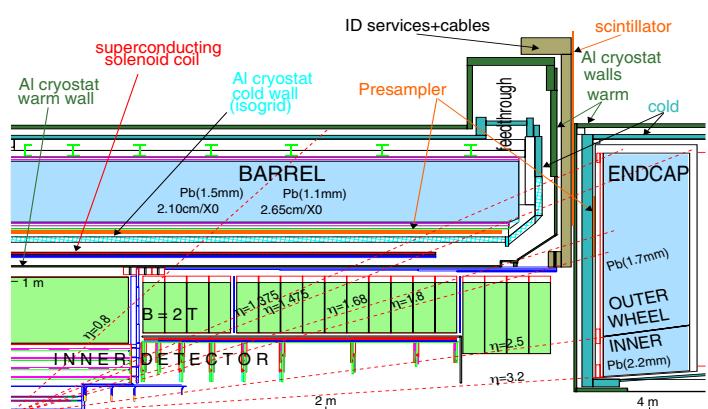
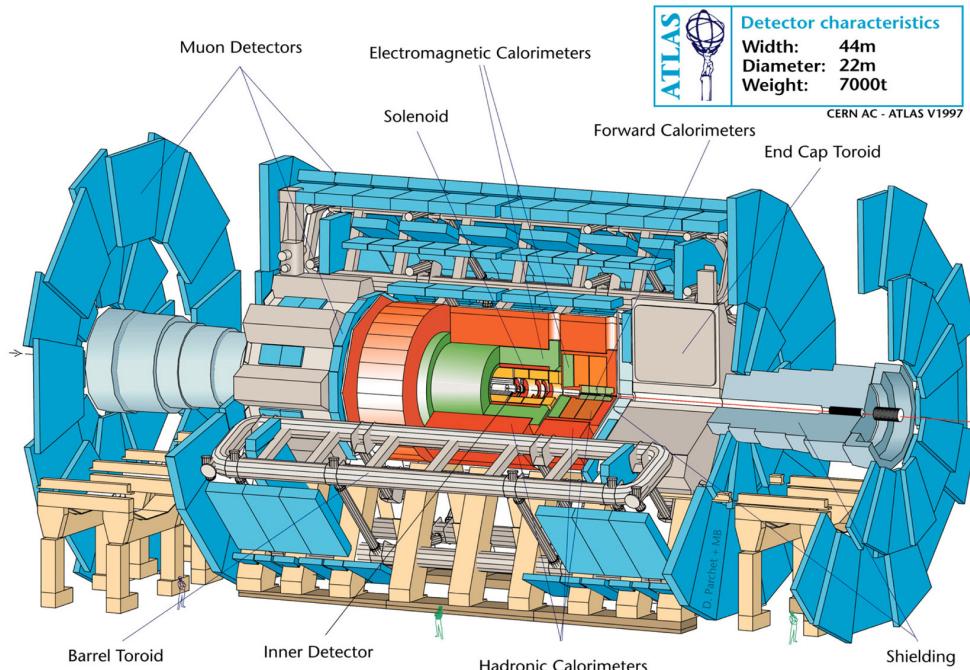


- É o maior dos detectores do LHC, medindo 45 m de comprimento e 25 m de altura e largura;
- Cerca de 2500 físicos de 174 institutos e 38 países compõe uma colaboração internacional responsável pelo experimento;
- Localizado na sede do CERN em Genebra.

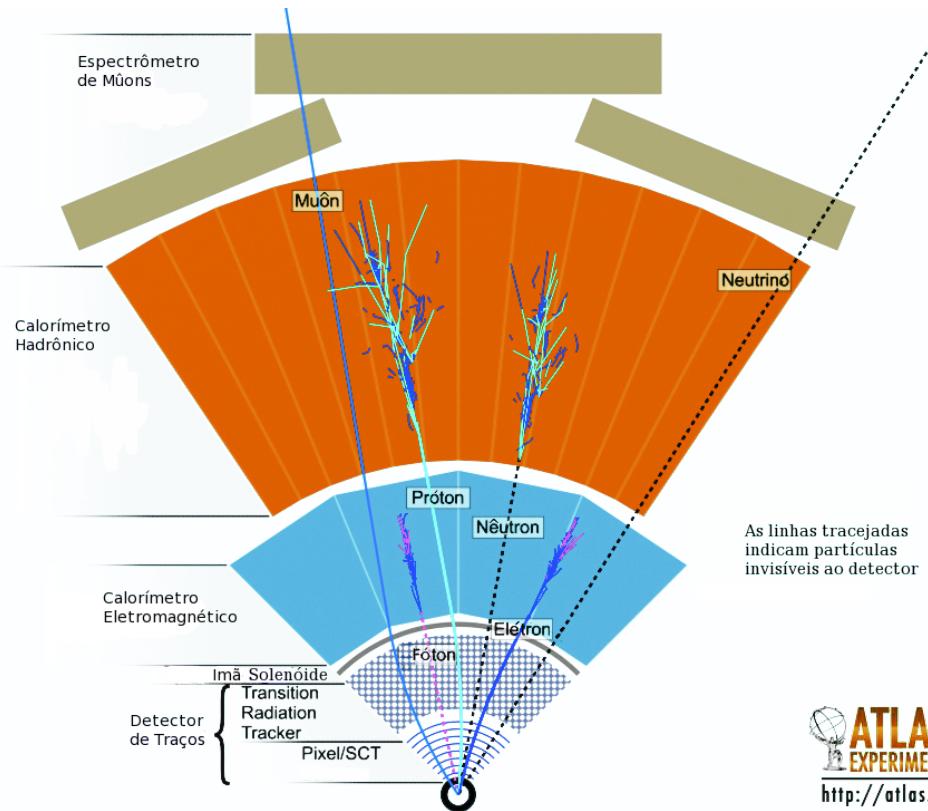


ATLAS: Subdetectores

- O detector tem formato cilíndrico, composto pelo barril na parte central, e duas tampas em suas extremidades;
- Ele possui 4 subdetectores com um total de 140 M de canais de leitura, são eles:
 - Detector de Traços: identificação da trajetória e momento de partículas carregadas;
 - Calorímetro Eletromagnético: absorção total da energia de elétrons e fótons;
 - Calorímetro Hadrônico: absorção total da energia de partículas hadrônicas (como prótons, nêutrons, etc.);
 - Espectrômetro de Múons: similar ao detector de traços mas específico para múons.



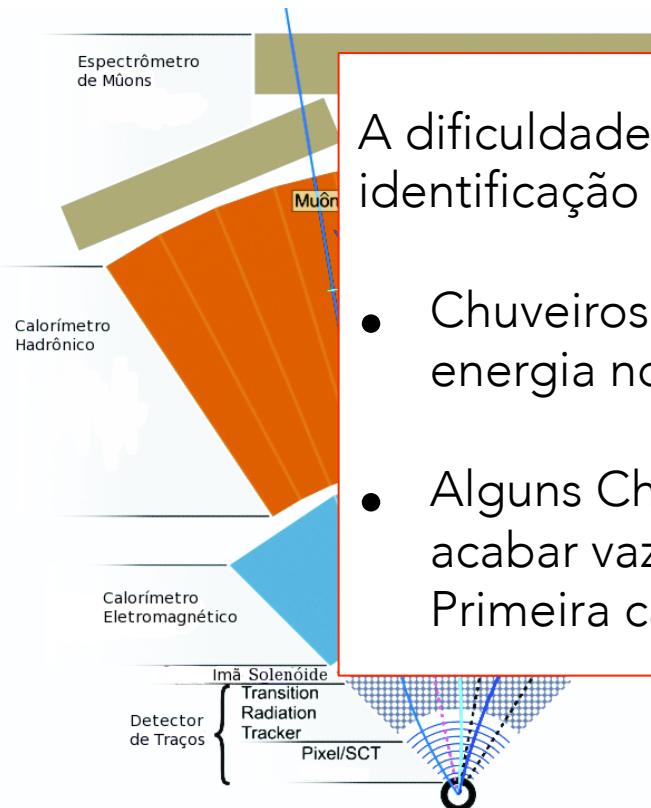
Calorimetria: Identificação de partículas



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

- O processo de interação das partículas com o Sistema de Calorimetria gera um processo de multiplicação de partículas, chamado de chuveiro de partículas;
- Chuveiros iniciados por elétrons e fôtons são chamados Chuveiros Eletromagnéticos, enquanto no caso de hadrons, Chuveiros Hadrônicos;
- Chuveiros Eletromagnéticos devem depositar toda sua energia no Calorímetro Eletromagnético;
- Chuveiros Hadrônicos devem depositar a maior parte de sua energia no Calorímetro Hadrônico;

Calorimetria: Identificação de partículas



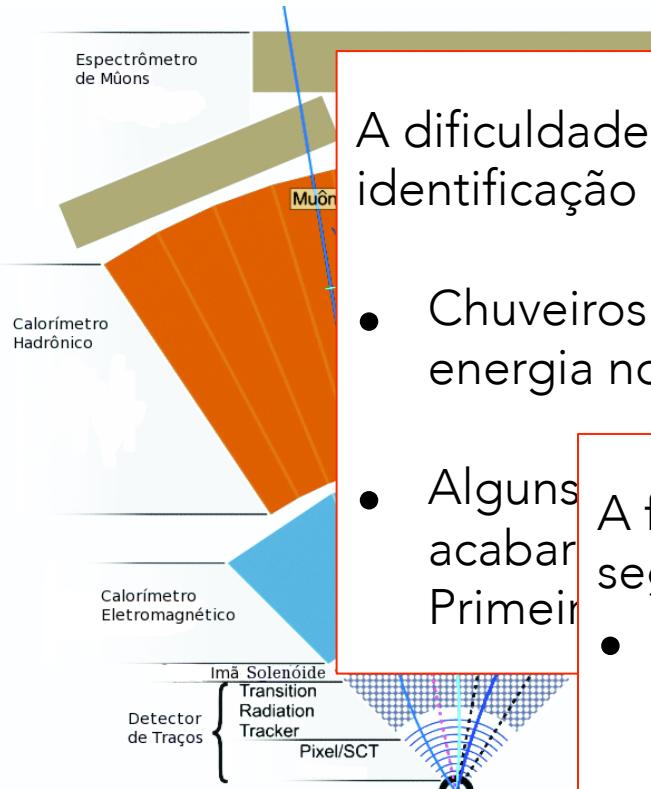
A dificuldade do Canal e/γ é devido a tarefa de identificação dos chuveiros não ser trivial:

- Chuveiros Hadrônicos também depositam energia no Calorímetro Eletromagnético;
- Alguns Chuveiros Eletromagnéticos podem acabar vazando e depositando energia na Primeira camada do Calorímetro Hadrônico.



- O processo de interação das partículas deve ser capaz de distinguir entre os diferentes tipos de chuveiros, baseado nas diferenças de energia depositada em cada tipo de calorímetro;
- Chuveiros Eletromagnéticos devem depositar toda sua energia no Calorímetro Eletromagnético;
- Chuveiros Hadrônicos devem depositar a maior parte de sua energia no Calorímetro Hadrônico;

Calorimetria: Identificação de partículas



A dificuldade do Canal e/γ é devido a tarefa de identificação dos chuveiros não ser trivial:

- Chuveiros Hadrônicos também depositam energia no Calorímetro Eletromagnético;

- Alguns acabam Primeir

A fim de se diferenciar os chuveiros, faz-se mão das seguintes propriedades:

- Chuveiros Hadrônicos são mais largos que os chuveiros Eletromagnéticos, distribuindo sua energia em uma região maior do detector;
- Os Chuveiros Hadrônicos irão depositar a maior parte de sua energia no Calorímetro Hadrônico;

depositar a maior parte de sua energia no Calorímetro Hadrônico;

- O processo de interação das partículas é o processo de identificação de partículas;
- A energia depositada por elétrons e muões é menor



Sistema de Filtragem Online do ATLAS





ATLAS: Sistema de Filtragem

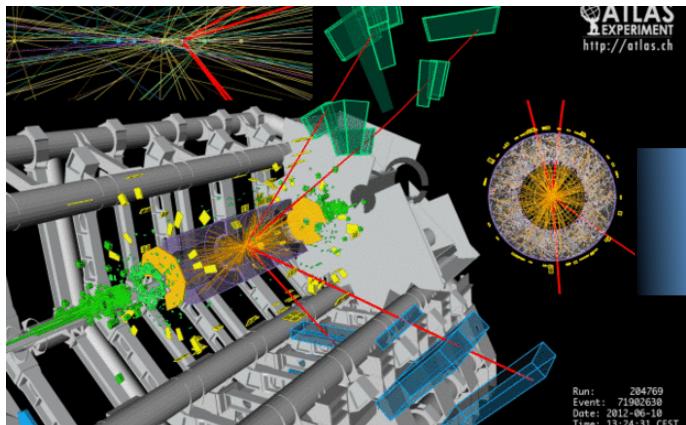
A taxa de cruzamentos de pacotes é de 40 MHz, e são necessários cerca de 1,5 MB para armazenar cada evento:

- Seria necessário armazenar 60TB/s!

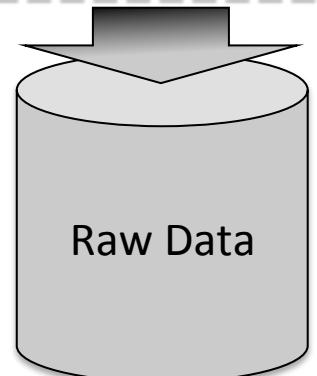
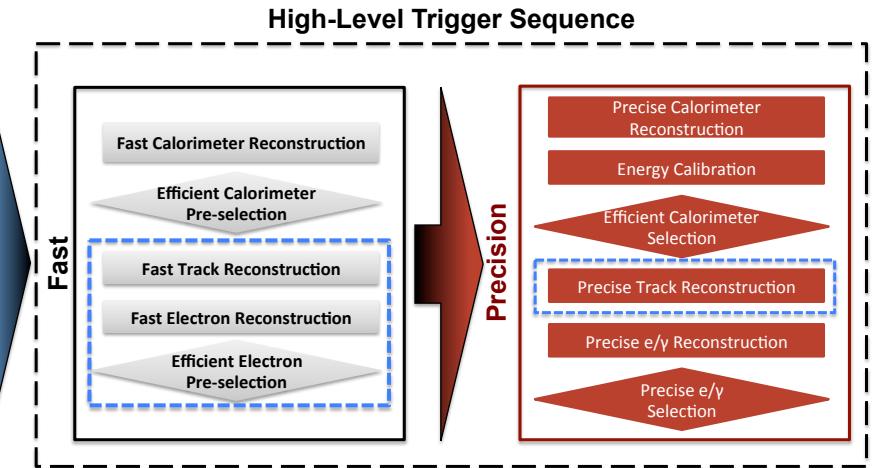
O Sistema de Filtragem Online, chamado de trigger, irá selecionar os eventos de interesse, reduzindo a taxa de armazenamento para cerca de 100 Hz na saída do sistema.



ATLAS: Sistema de Filtragem



L1 Calo

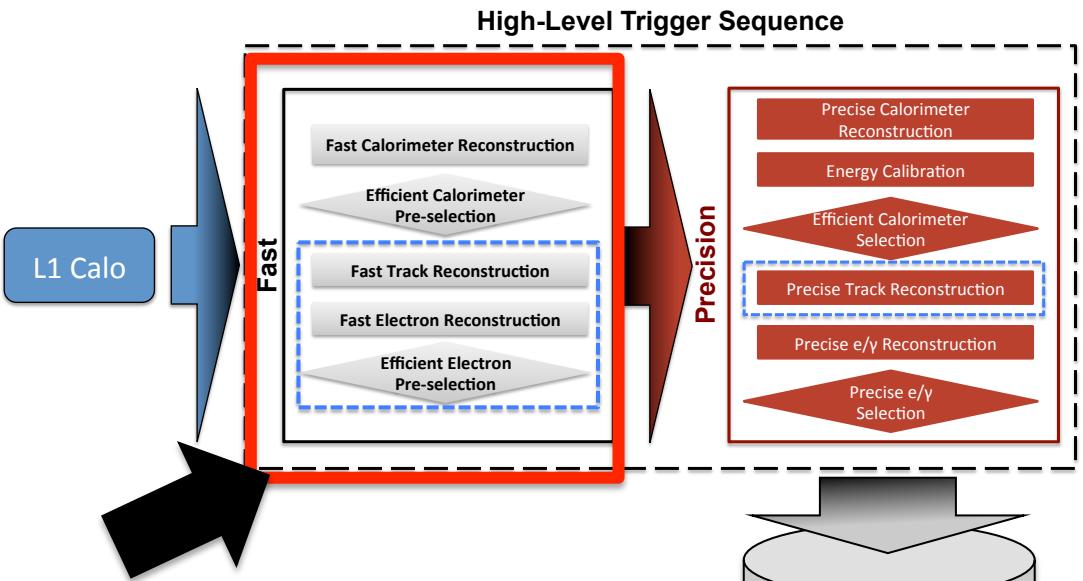
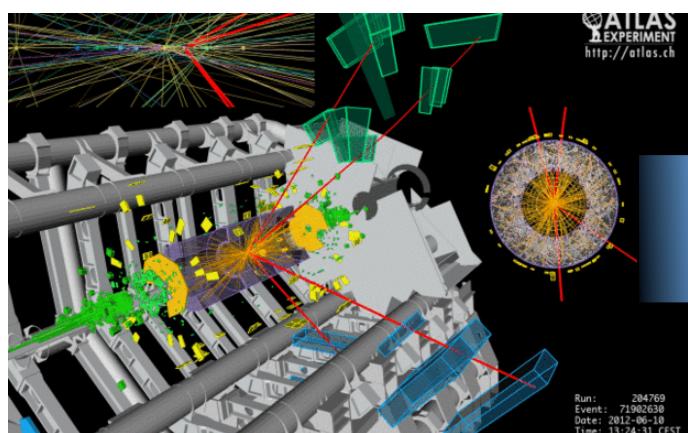


Analysis

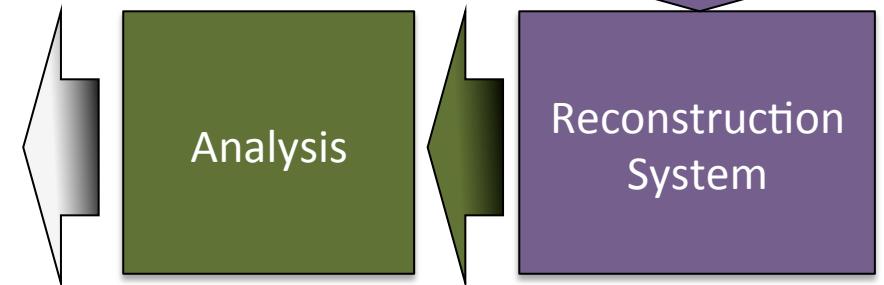
Reconstruction System



ATLAS: Sistema de Filtragem

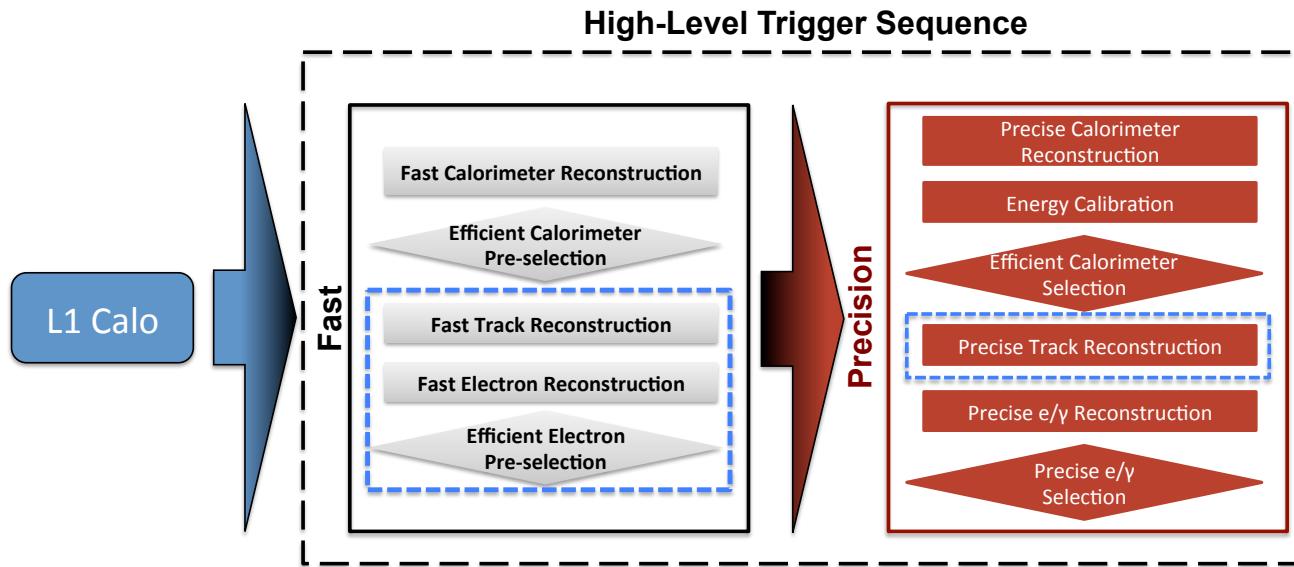


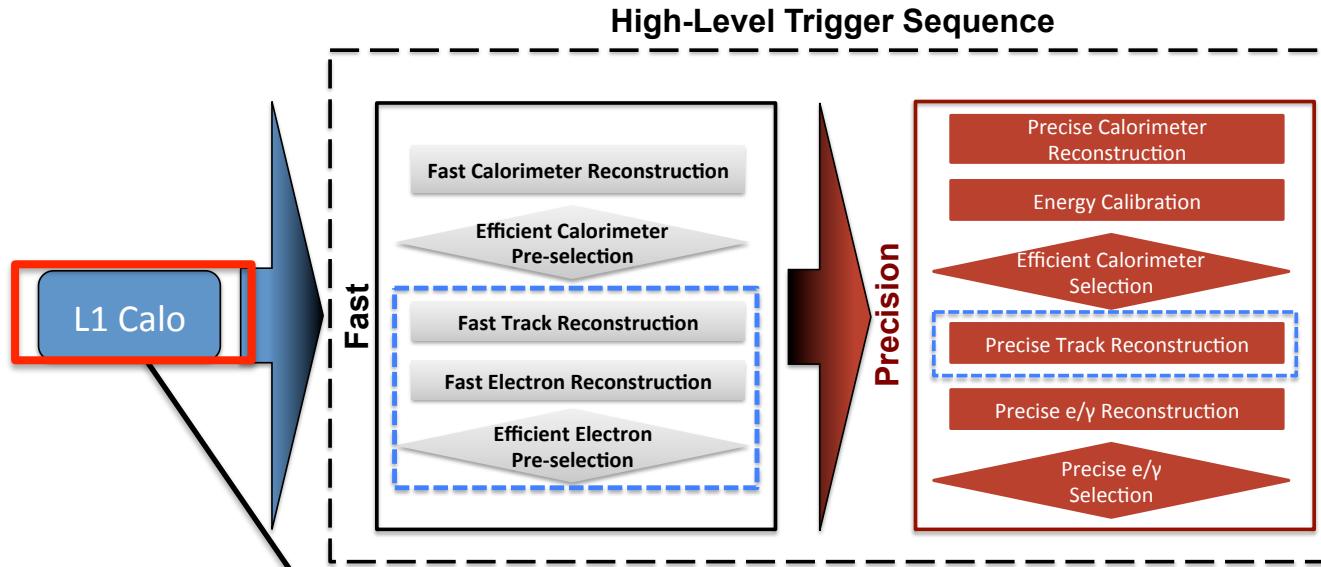
Otimização para o sistema de
Trigger rápido do canal e/γ





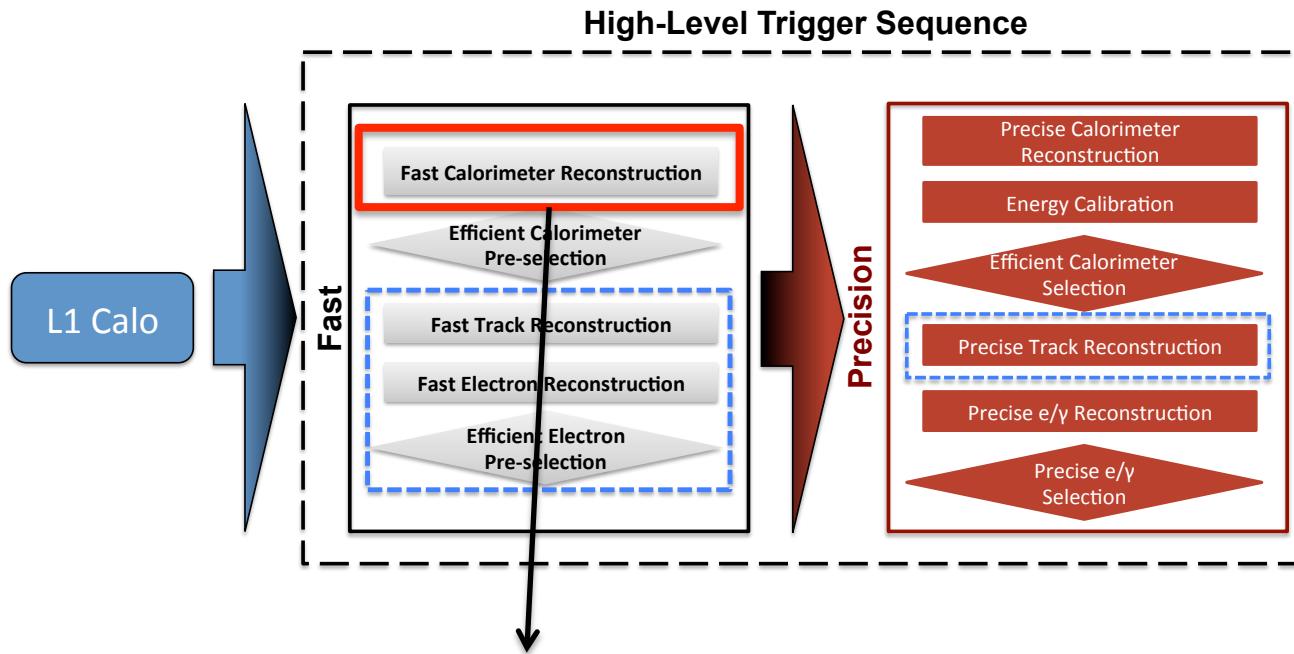
ATLAS: Sistema de Filtragem Online





L1 Calorimeter Step:

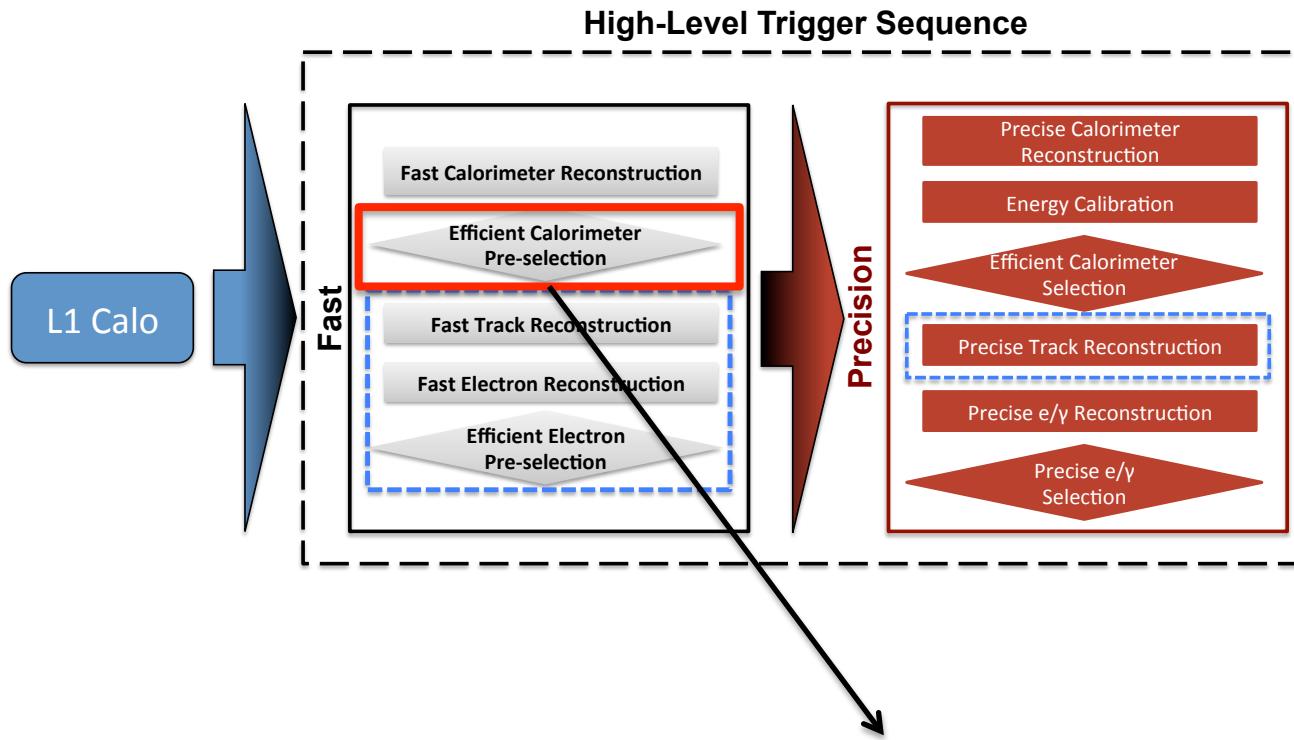
- Implementado em FPGA (circuitos integrados com portas lógicas), com um tempo de 2 μ s para realizar a decisão, reduzindo a taxa (de 40 Mhz) para 100 kHz;
- Granularidade de células reduzidas;
- Algoritmo: cortes lineares de energia.



Fast Calorimeter Reconstruction Trigger:

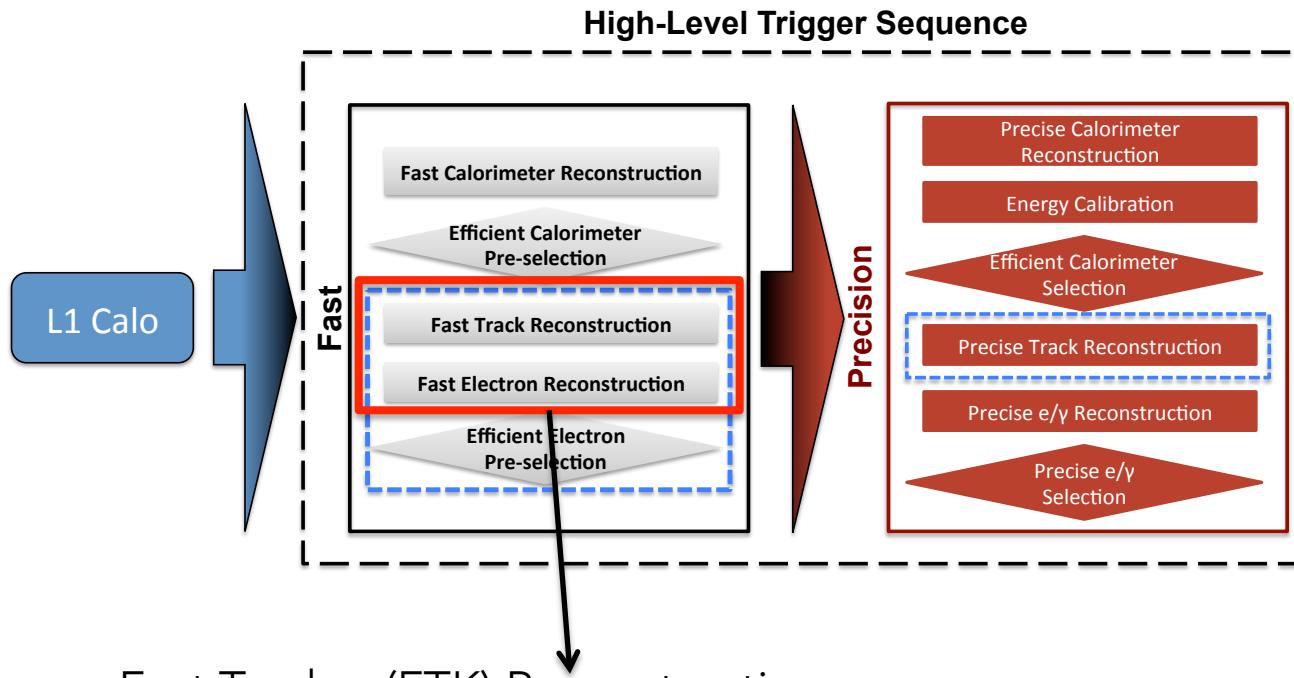
- Reconstrução rápida do Calorímetro: Eventos aceitos pelo nível 1 são reconstruídos pela FEX baseada em shower shapes;
- Informações de energia, tamanho do chuveiro hadrônico e eletromagnético, razões de energia entre camadas, etc são extraídas nessa etapa;
- As células não são calibradas nessa etapa.

ATLAS: Sistema de Filtragem Online



Efficient Calorimeter Pre-selection:

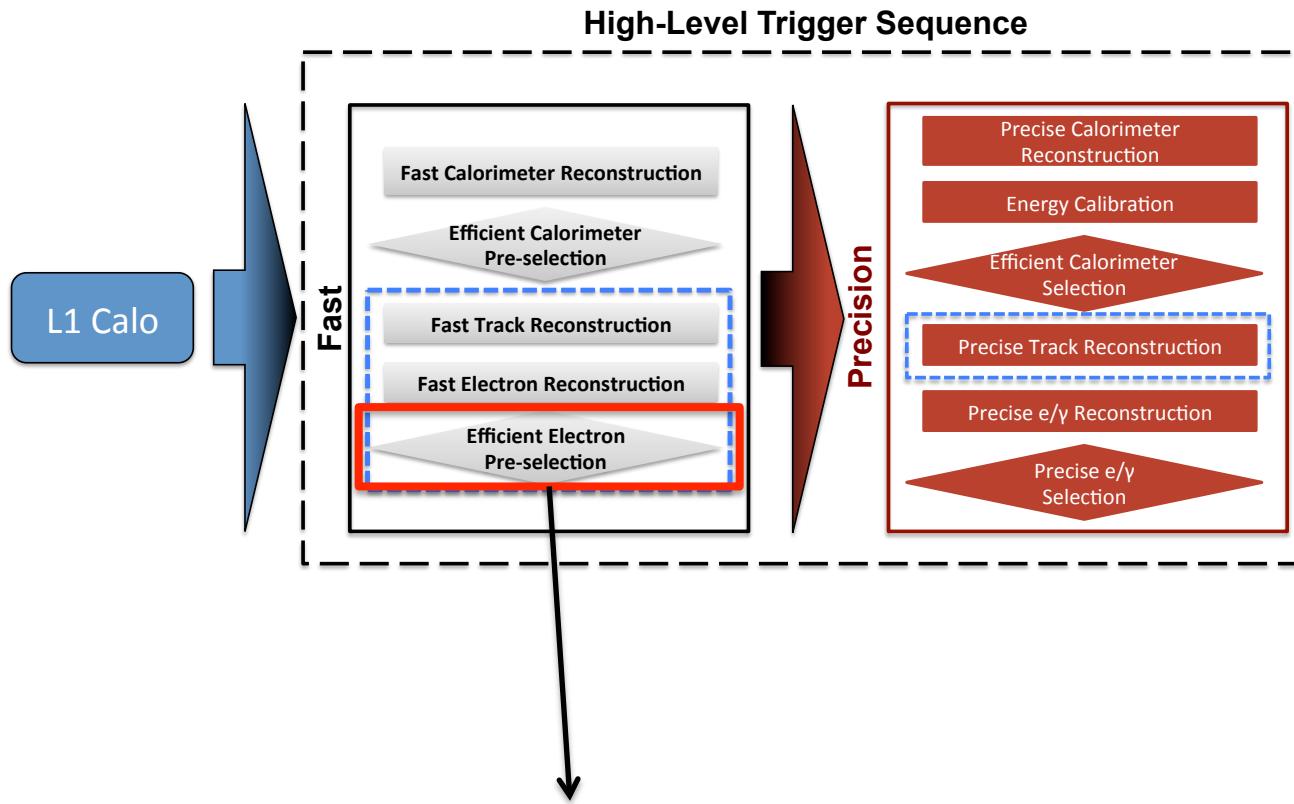
- Algoritmo de Hipótese (T2Calo) baseado nas informações de shower extraídas na etapa da FEX;
- O T2Calo aplica sequencialmente cortes lineares para cada uma das variáveis extraídas pela FEX.



Fast Tracker (FTK) Reconstruction:

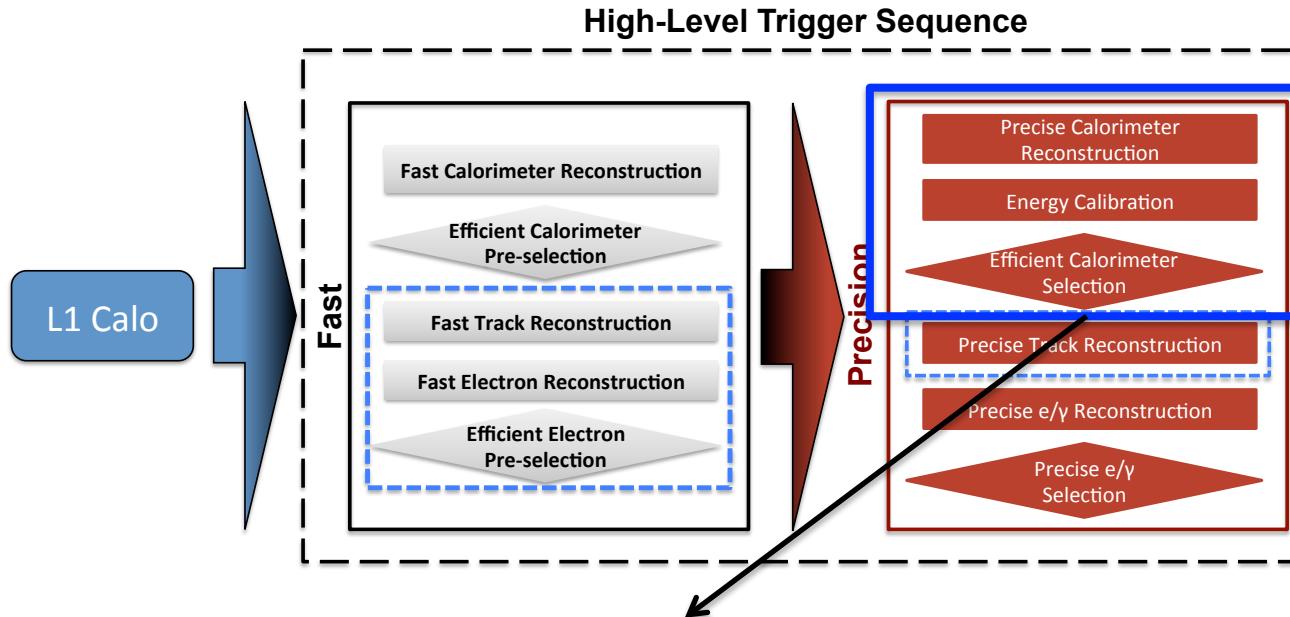
- Utiliza o detector de traço para calcular o momento transverso, número de pontos, carga da partícula, etc;
- Elevado número de canais;
- Algoritmo de reconstrução de alto custo computacional;
- Alto tempo de latência;

ATLAS: Sistema de Filtragem Online



Efficient Electron Reconstruction:

- Algoritmo de hipótese (T2Calo) que combina as variáveis de calorimetria calculadas na reconstrução do calorímetro mais as de tracker geradas na etapa de reconstrução do FTK;

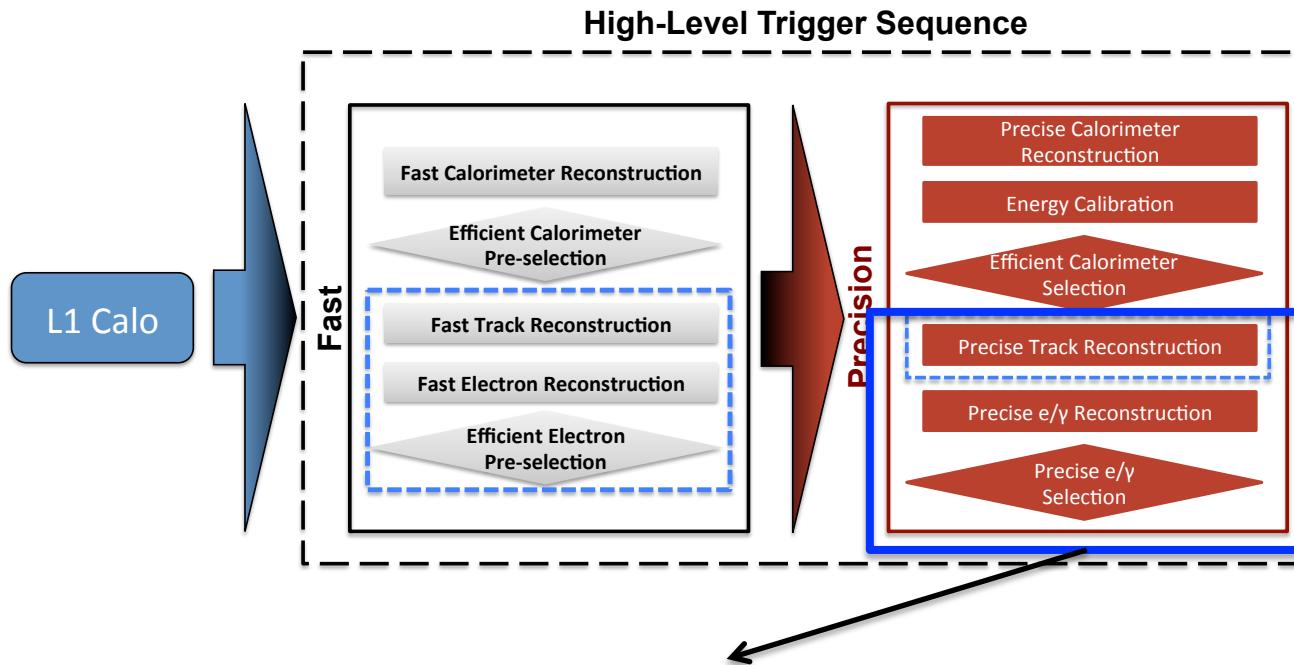


Extração de características (Calibration+Reconstruction):

- Calibração das células do Calorímetro;
- Extração de caricterísticas baseada em shower shape;
- O Algoritmo tenta ser o mais próximo o possível do offline inclusive utilizando o mesmo software desse;

Decisão (Selection):

- Utiliza as variáveis baseadas em shower shape para tomar a decisão;
- Nesta etapa, duas propostas de classificadores podem ser utilizadas:
 - O Classificador baseado no algoritmo do T2Calo;
 - A outra opção é utilizar um Naïve Bayes como discriminador.



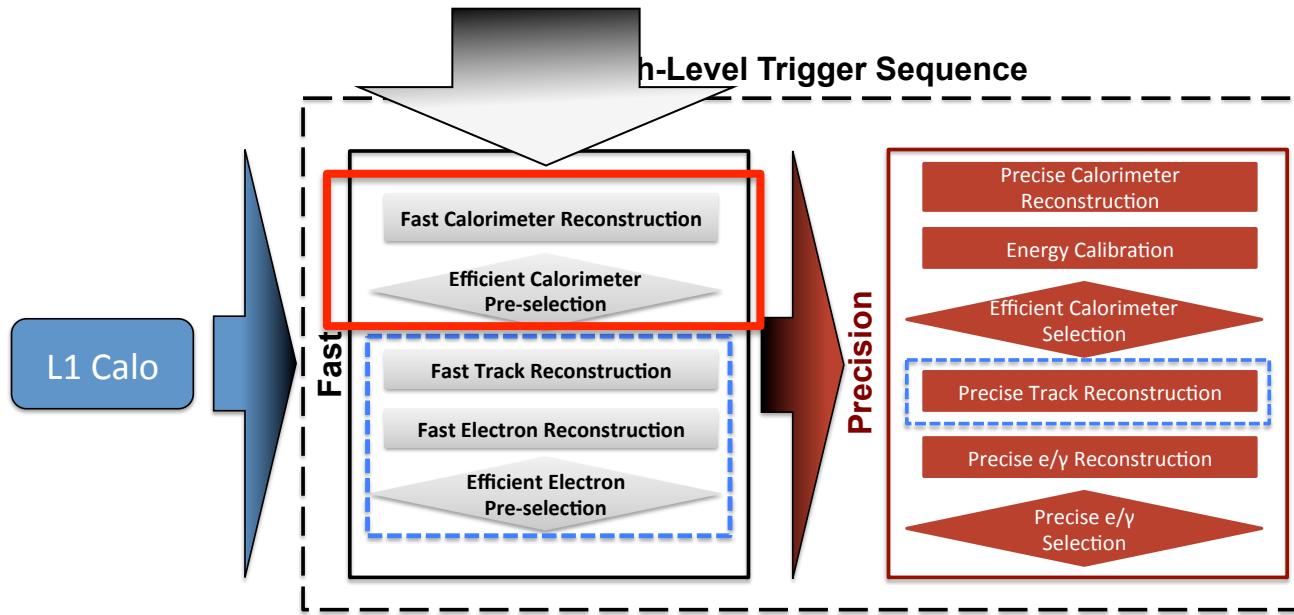
Extração de Características (Tracker):

- Reconstrói o traço da partícula utilizando o tracker;

Decisão (Precise Selection)

- Utiliza as variáveis baseadas em shower shape para tomar a decisão;
- Combina as variáveis de tracker com as de calorimetria;
- Nesta etapa, duas propostas de classificadores podem ser utilizadas:
 - O Classificador baseado no algoritmo do T2Calo;
 - A outra opção é utilizar um Naïve Bayes como discriminador.
- Gera ~1k Hz de saída.

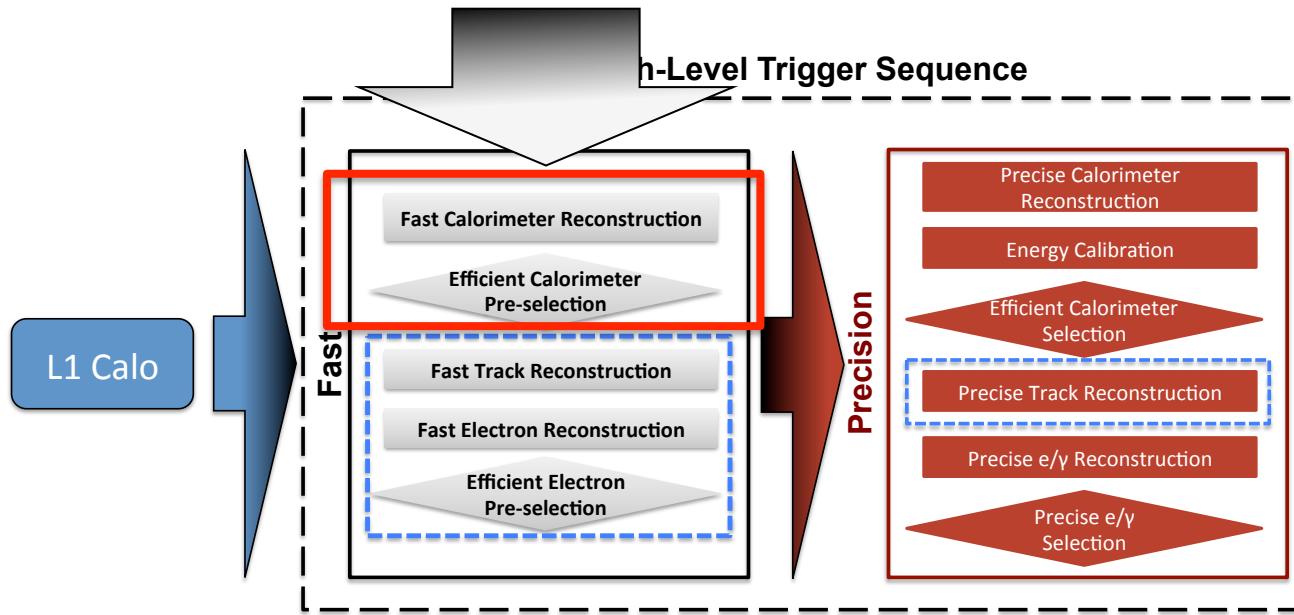
Proposta de otimização



Proposta (Neural Ringer):

- Utilizar uma abordagem de extração de características anelada das células do calorímetro na etapa rápida de trigger (RingerFex);
- Utilizar um classificador neural previamente treinado para tomar a decisão de aceitação nesta primeira etapa de corte.

Proposta de otimização



A otimização nesta etapa de trigger na rejeição de eventos não interessantes leva a uma redução do número de vezes que o algoritmo de tracker (FTK) será executado.

(Ringgerrex);

- Utilizar um classificador neural previamente treinado para tomar a decisão de aceitação nesta primeira etapa de corte.

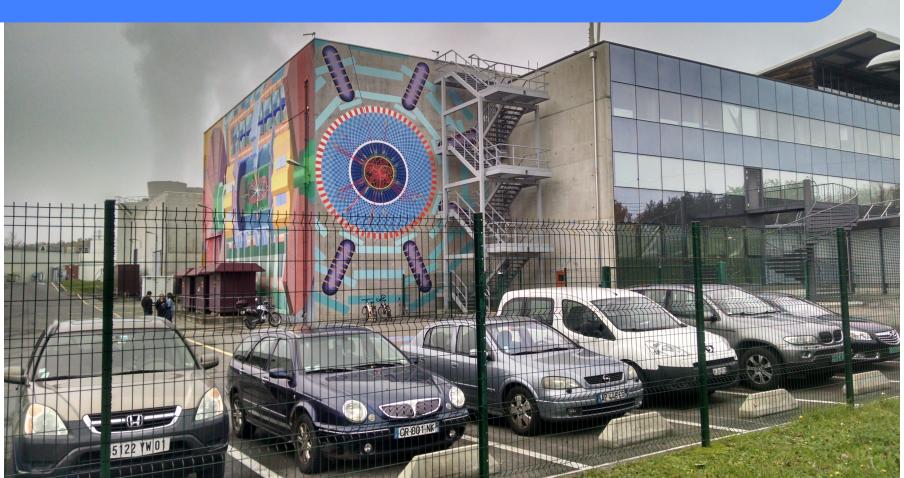


Proposta: Neural Ringer



T Tools

| | | |
|---|---|---|
| R | I | N |
| L | S | G |
| 2 | R | E |



L1Calo



Proposta: Neural Ringer

RingerFex

Processamento

Rede Neural

Limiar de Corte

Fast Tracker (FTK)

FEX

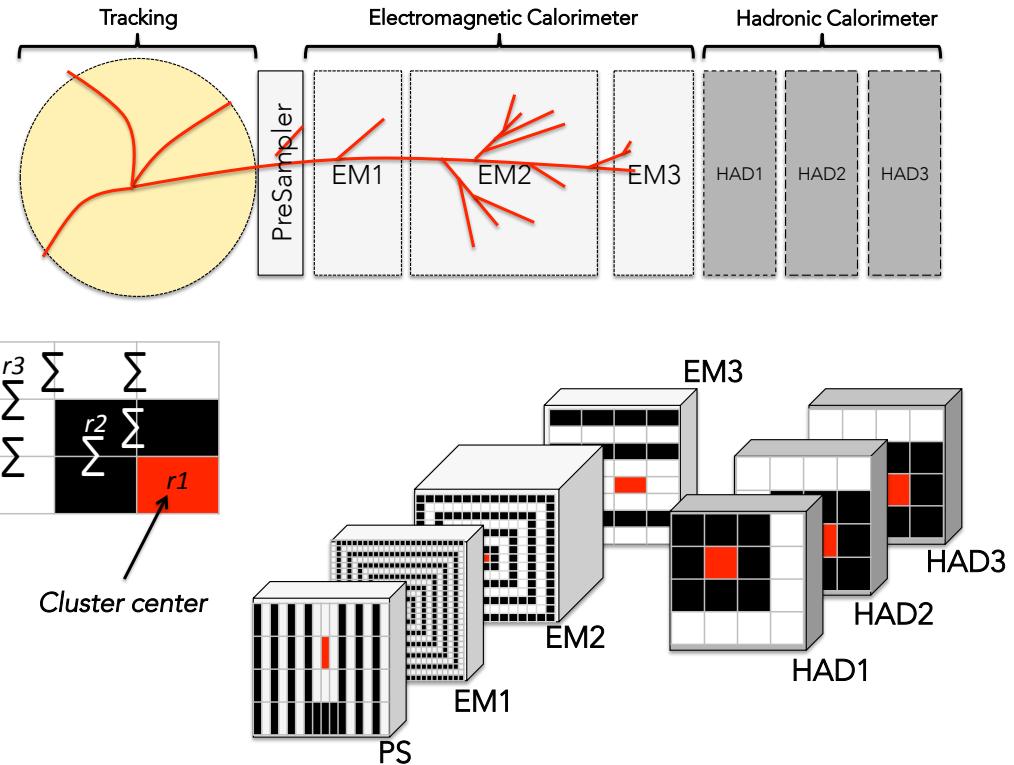
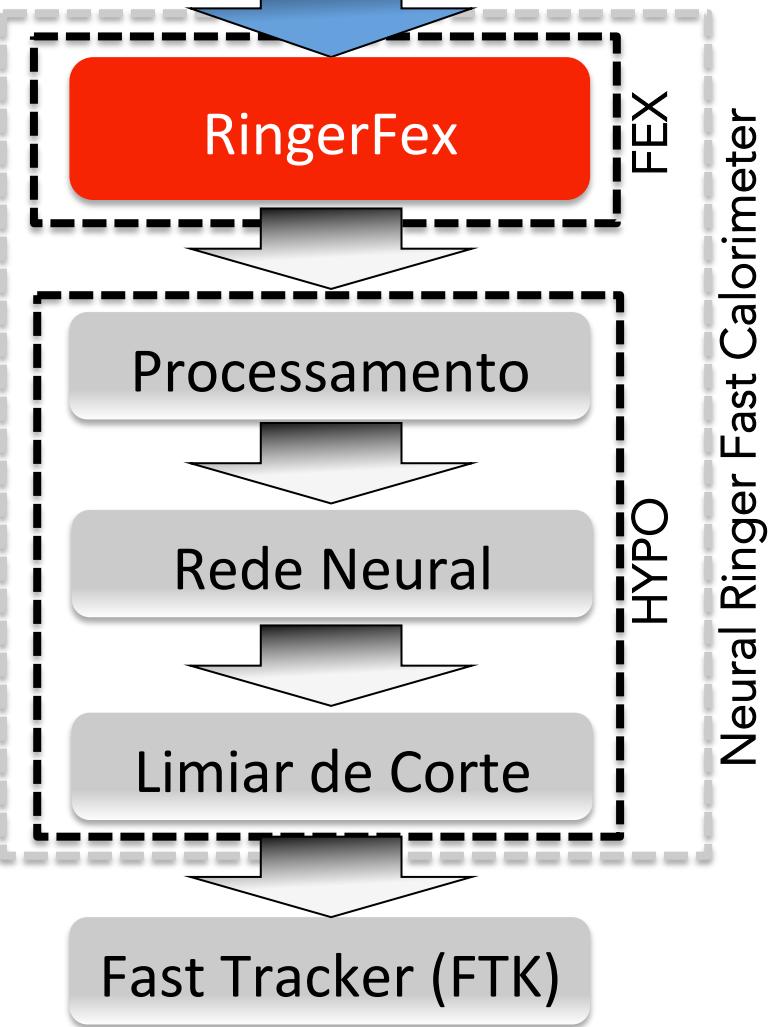
HYPO

Neural Ringer Fast Calorimeter

L1Calo



Proposta: Neural Ringer

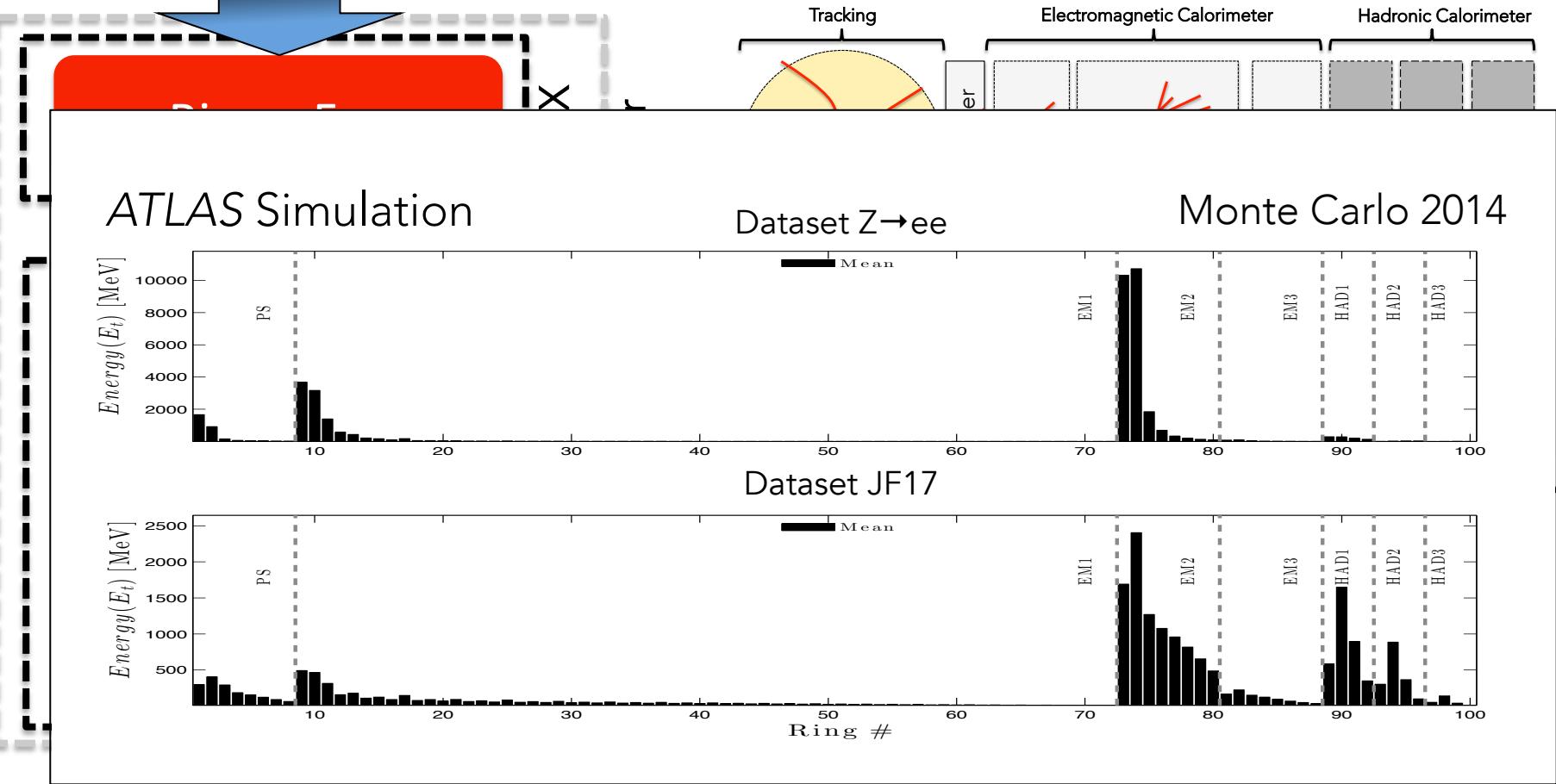


- Algoritmo alternativo do trigger rápido do e/ γ ;
- A extração baseada na informação anelada das células do calorímetro

L1Calo



Proposta: Neural Ringer



Fast Tracker (FTK)

- do e/ γ ;
- A extração baseada na informação anelada das células do calorímetro

L1Calo



Proposta: Neural Ringer

RingerFex

Processamento

Rede Neural

Limiar de Corte

Fast Tracker (FTK)

FEX

HYPO

Neural Ringer Fast Calorimeter

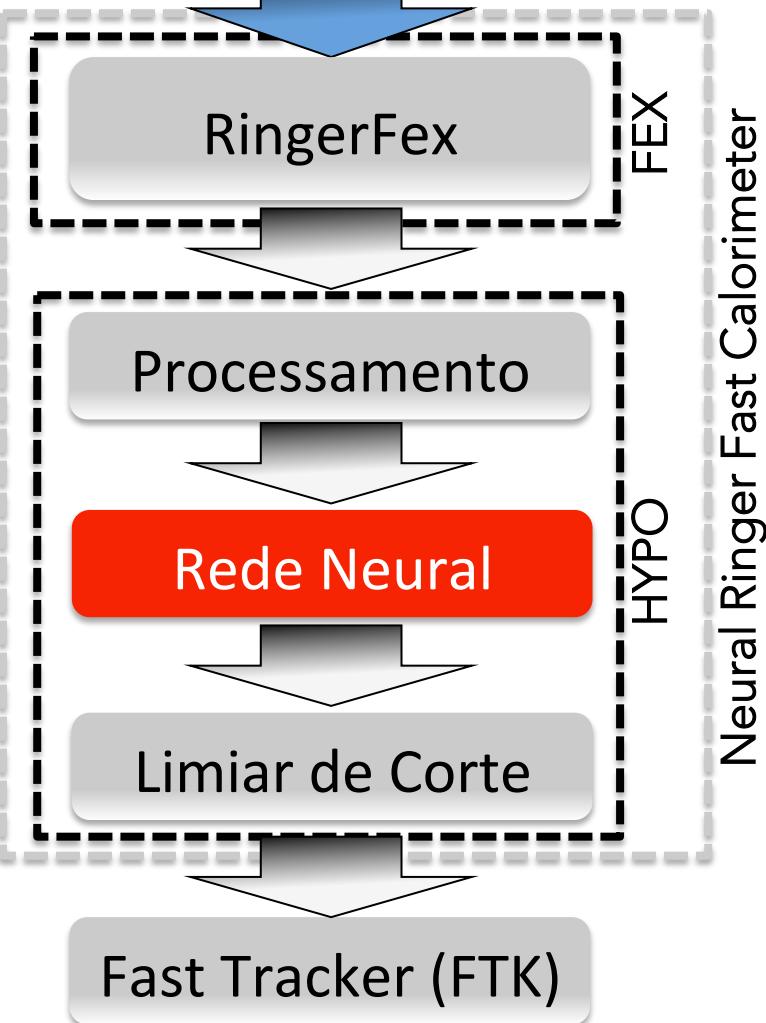
Processamento:

- Para manter os dados dentro do alcance dinâmico da função de ativação da rede neural foi utilizada a normalização Norm1;
- Dividir cada observação pela soma de seus componentes.

L1Calo

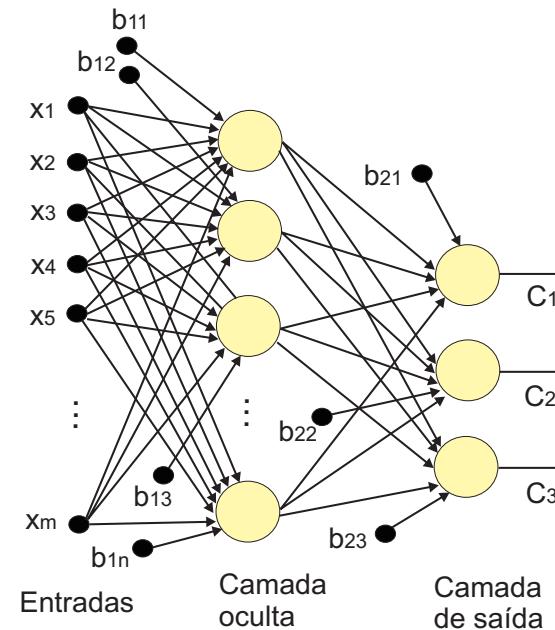


Proposta: Neural Ringer



Redes neurais artificiais (RNAs):

- Modelos computacionais inspirados pelo sistema nervoso central;
- São capazes de realizar o aprendizado de máquina bem como o reconhecimento de padrões.



L1Calo



Proposta: Neural Ringer

RingerFex

Processamento

Rede Neural

Limiar de Corte

Fast Tracker (FTK)

FEX

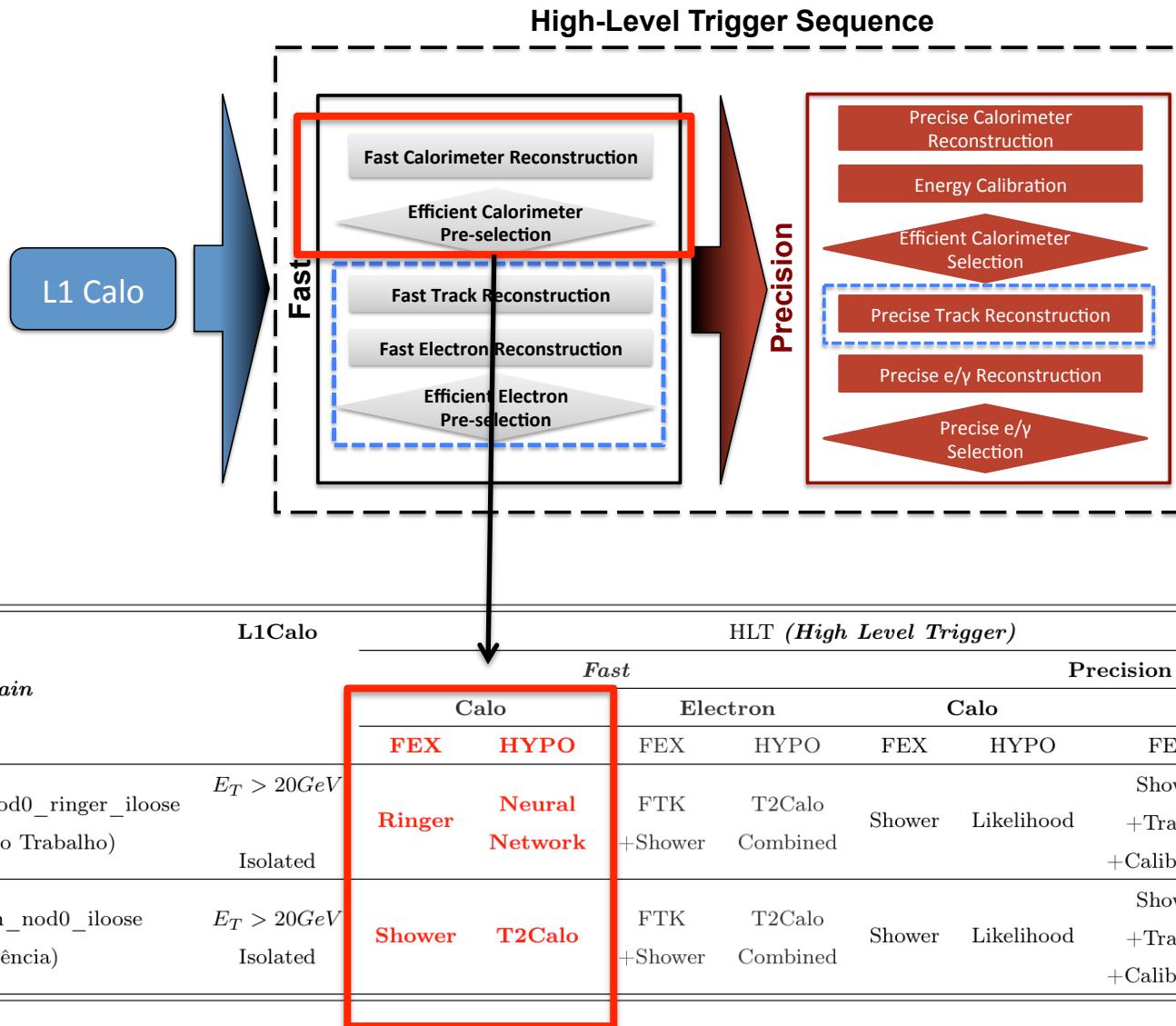
HYPO

Neural Ringer Fast Calorimeter

- As 100 entradas da rede serão mapeadas em um único valor no intervalo de [-1,1];
- Os elétrons tendem a ficar próximos de 1;
- As partículas hadrônicas (jatos) tendem para -1;
- Um limiar de corte é aplicado:
 - Valores maior ou igual ao corte serão classificados como elétrons;
 - Valores inferiores são classificados como jatos;
- A eficiencia da rede (DET, FA) pode ser ajustada variando o valor do corte.



Proposta da chain do ringer





Treinamento do Classificador

- O conjunto de dados foi dividido em:
 - 60% para treino;
 - 40% para teste
- Rede com 100 entradas, n neurônios na camada escondida e um neurônio na saída;
- Função tangente hiperbólica como função de ativação em todos os neurônios;
- 100 inicializações randômicas dos pesos para escapar do mínimo local;
- Método de validação cruzada foi utilizado para estimar a flutuação estatística dos dados no treinamento:
 - 50 sorteios com 10 caixas cada. (6cx para treino e 4cx para teste)
- Testes para encontrar o melhor número de neurônios na camada escondida variando no intervalo de [5, 20] neurônios;



Treinamento do Classificador

- O conjunto de dados foi dividido em:
 - 60% para treino;
 - 40% para teste
- Rede com 100 entradas, n neurônios na camada escondida e um neurônio na saída;
- Função tangente hiperbólica;
 $100 \times 50 \times 16 = 80000$ treinamentos; neurônios
- 100 inicializações randomicas locais;
- Método de validação cruzada estatística dos dados no treinamento
 - 50 sorteios com 10 caixas cada. (6cx para treino e 4cx para teste)
- Testes para encontrar o melhor número de neurônios na camada escondida variando no intervalo de [5, 20] neurônios;

Como treinar essa grande quantidade de forma rápida e automática?



Ferramenta: TuningTools

- Ferramenta inspirada no framework Athena;
- O core de treinamento, implementado em C++, foi portado do antigo FastNet. (Ferramenta criada por um aluno de doutorado do LPS que possui interface para o matlab)
- O python foi utilizado como interface de configuração do treinamento, monitoramento e análises;
- Para treinar a grande quantidade de classificadores o TuningTools possui integração com a computação paralela do CERN:
 - Exemplo: 50 sorteios X 16 topologias = 800 jobs, na grid do CERN, cada uma dessas jobs será executada em uma máquina (instância) na grid onde serão treinados 100 classificadores utilizando um sorteio e um determinado número de neurônios na camada escondida;
 - Antes, o tempo de treinamento era de 2-3 semanas;
 - Hoje, esse tempo é de em média 10 horas.
- Github: <https://github.com/wsfreund/TuningTools>



Ferramenta: TuningTools

- Ferramenta inspirada no framework antigo FastNet.
- O core de treinamento, implementado em LPS que possui interface para Python.
- O python foi utilizado como interface para treinamento, monitoramento e avaliação.
- Para treinar a grande quantidade de classificadores possuir integração com a distribuição CERN:
 - Exemplo: 50 sorteios X 100 classificadores na CERN, cada uma dessas jobs sera executada em uma máquina (instância) na grid onde serão treinados 100 classificadores utilizando um sorteio e um determinado número de neurônios na camada escondida;
 - Antes, o tempo de treinamento era de 2-3 semanas;
 - Hoje, esse tempo é de em média 10 horas.
- Github: <https://github.com/wsfreund/TuningTools>



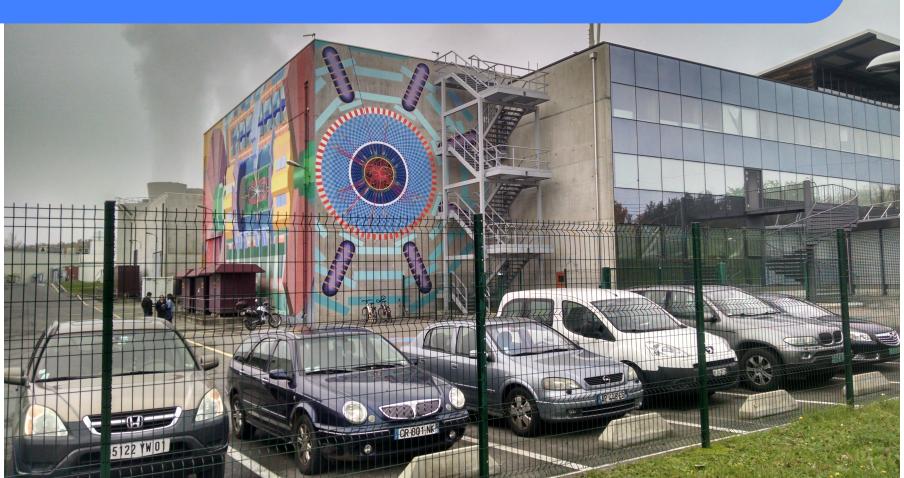


Resultados



T Tools

| | | |
|---|---|---|
| R | I | N |
| L | S | G |
| 2 | R | E |





Resultados: Notação

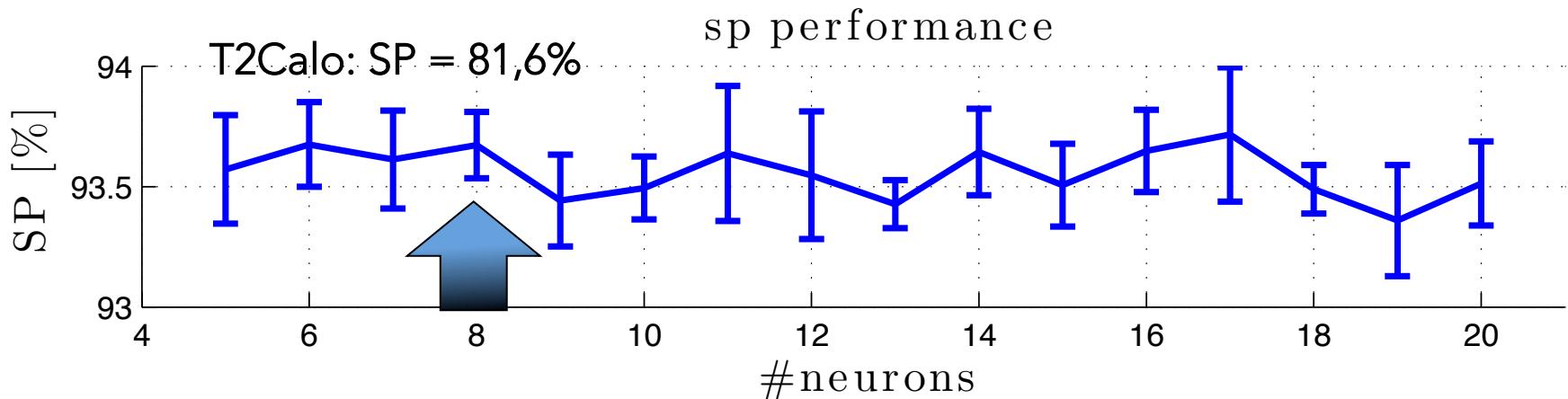
Notações:

- Detecção (DET, P_d): Taxa de detecção do conjunto de partículas e/ γ corretamente identificadas;
- Falso Alarme (F_a): Taxa de detecção do conjunto de jatos identificados erroneamente como partícula e/ γ .
- Produto SP: Indica o ponto de distinção máxima entre os conjuntos, calculado através de:

$$SP = \sqrt{\sqrt{P_d \times (1 - F_a)} \times \frac{(P_d + (1 - F_a))}{2}}$$

- Detecção pelo método Tag-and-Probe (T&P):
 - Avalia a eficiência de amostras de elétrons pertencentes ao decaimento $Z \rightarrow ee$;
 - Forma-se possíveis pares que juntos reconstruem a massa do bóson Z ;
 - O elétron tag é identificado por um trigger de alta qualidade;
 - O segundo elétron (probe) é usado para avaliar a eficiência do trigger a ser testado;
 - Quantos mais probes identificados melhor será a eficiência do trigger na identificação desses decaimentos.

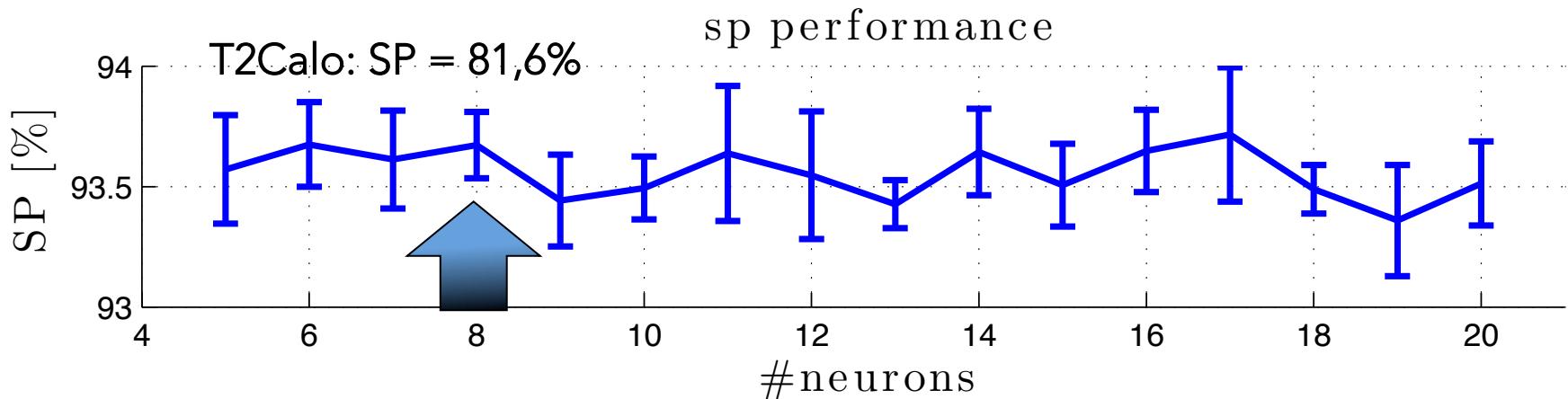
Resultados: Escolha da topologia



Valores de eficiência pela validação cruzada para 8 neurônios na camada escondida:

| | DET [%] | SP [%] | FA [%] |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ringer (pd) | 99.6343 ± 0.0034 | 90.4081 ± 0.2422 | 18.3691 ± 0.4603 |
| ringer (sp) | 96.6829 ± 0.3708 | 93.5197 ± 0.2046 | 9.5902 ± 0.4719 |
| ringer (fa) | 99.9665 ± 0.0048 | 81.7590 ± 0.0315 | 34.6105 ± 0.0566 |
| T2Calo | 99.6349 | 81.6081 | 34.6124 |

Resultados: Escolha da topologia

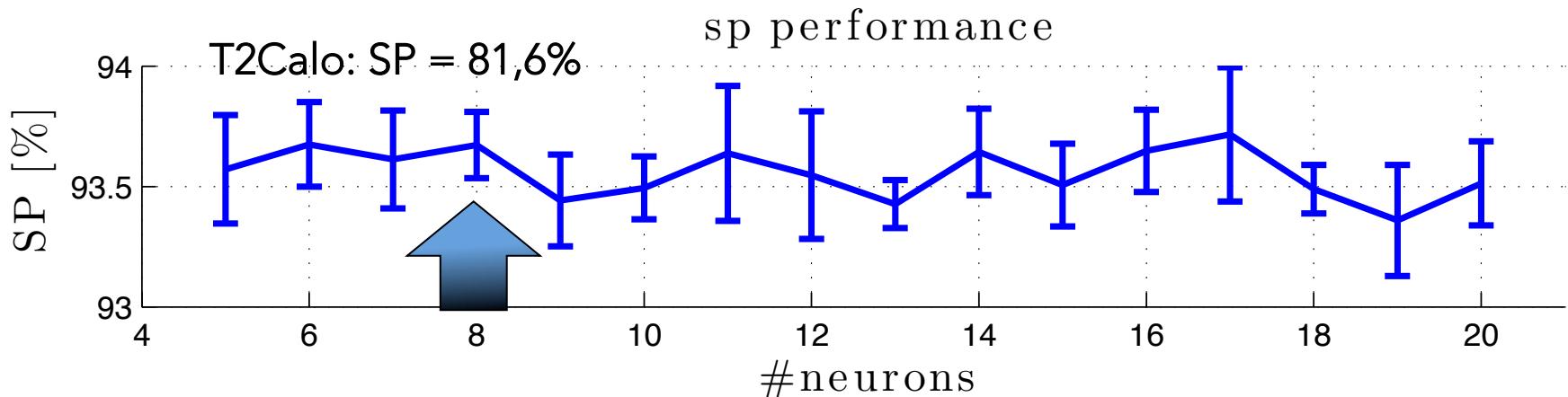


Valores de eficiência pela validação cruzada para 8 neurônios na camada escondida:

| | DET [%] | SP [%] | FA [%] |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| ringer (pd) | 99.6343±0.0034 | 90.4081±0.2422 | 18.3691±0.4603 |
| ringer (sp) | 96.6829±0.3708 | 93.5197±0.2046 | 9.5902±0.4719 |
| ringer (fa) | 99.9665±0.0048 | 81.7590±0.0315 | 34.6105±0.0566 |
| T2Calo | 99.6349 | 81.6081 | 34.6124 |

Valores de referência do algoritmo padrão

Resultados: Escolha da topologia

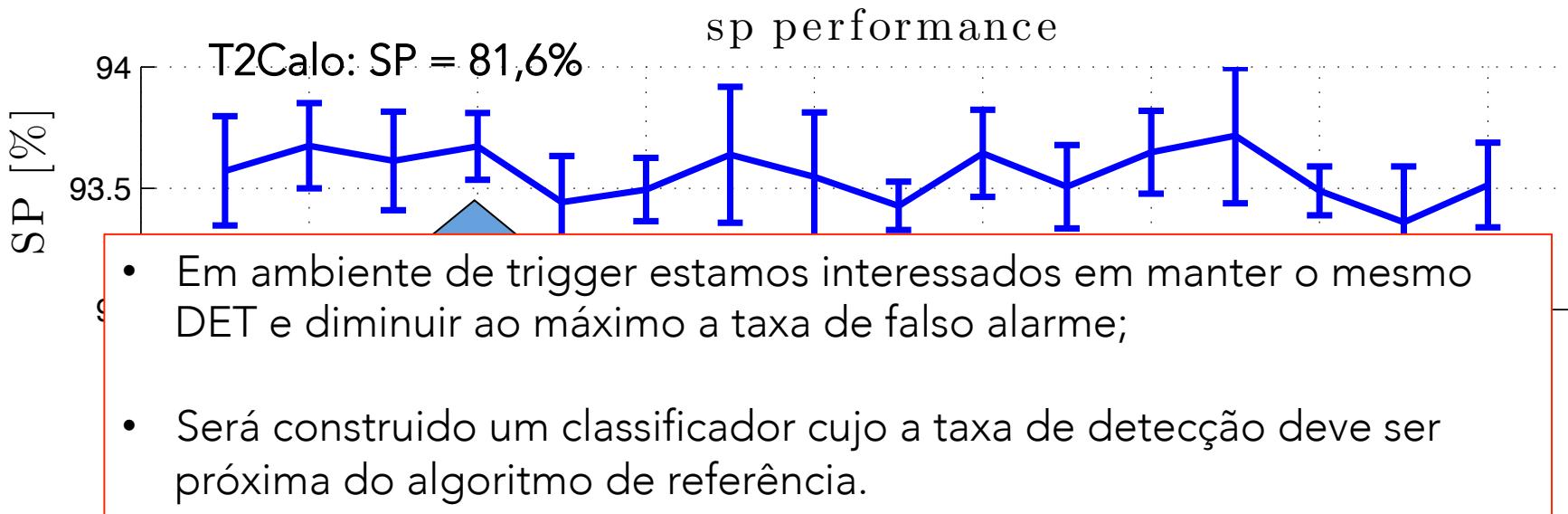


Valores de eficiência pela validação cruzada para 8 neurônios na camada escondida:

| | DET [%] | SP [%] | FA [%] |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| ringer (pd) | 99.6343±0.0034 | 90.4081±0.2422 | 18.3691±0.4603 |
| ringer (sp) | 96.6829±0.3708 | 93.5197±0.2046 | 9.5902±0.4719 |
| ringer (fa) | 99.9665±0.0048 | 81.7590±0.0315 | 34.6105±0.0566 |
| T2Calo | 99.6349 | 81.6081 | 34.6124 |

Redes treinadas e ajustados pelo DET ou Fa da referência

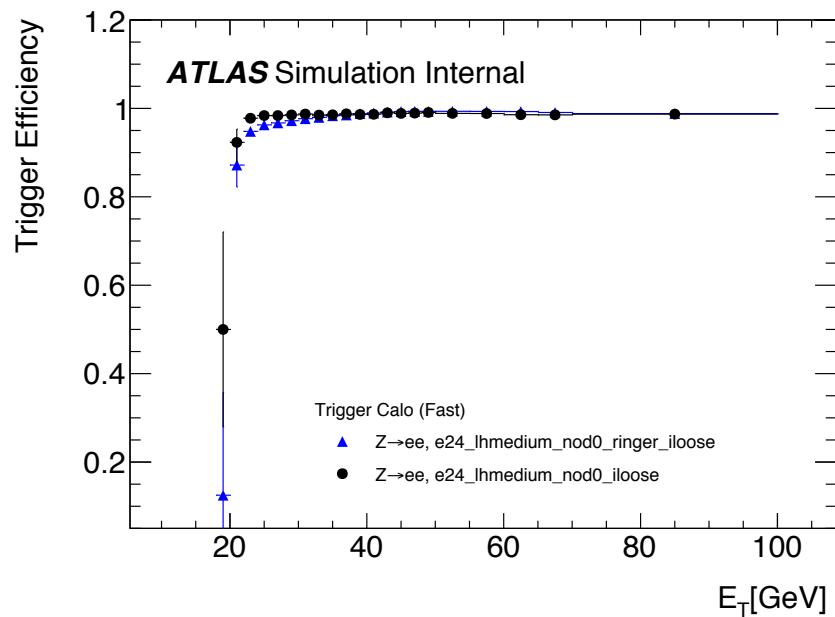
Resultados: Escolha da topologia



| | DET [%] | SP [%] | FA [%] |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| ringer (pd) | 99.6343±0.0034 | 90.4081±0.2422 | 18.3691±0.4603 |
| ringer (sp) | 96.6829±0.3708 | 93.5197±0.2046 | 9.5902±0.4719 |
| ringer (fa) | 99.9665±0.0048 | 81.7590±0.0315 | 34.6105±0.0566 |
| T2Calo | 99.6349 | 81.6081 | 34.6124 |

Resultados: Eficiências pelo T&P

Eficiência em função da energia da partícula:



Eficiência em função da região do calorímetro:

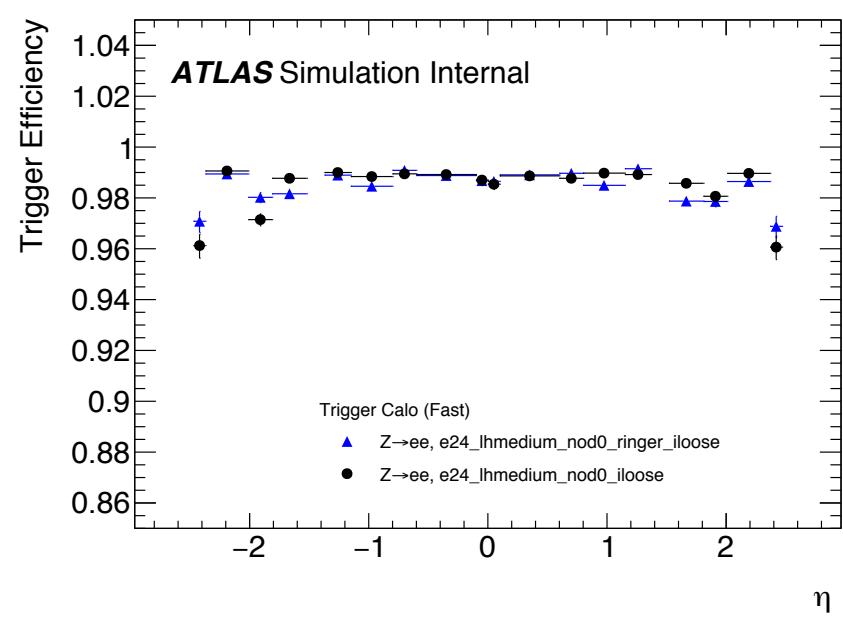
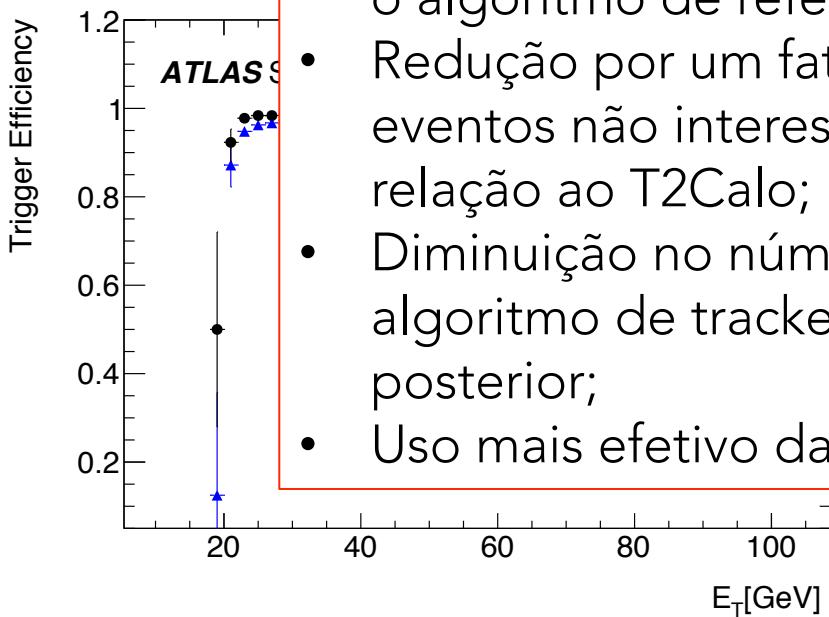


Tabela de eficiências de detecção e falso alarme para a chain proposta:

| <i>Fast Calorimeter step</i> | DET T&P [%] | FA [%] |
|---------------------------------|-------------|---------|
| e24_lhmedium_nod0_iloose | 98.7221 | 17.8995 |
| e24_lhmedium_nod0_ringer_iloose | 98.6269 | 34.6124 |

Resultados: Eficiências pelo T&P

Eficiência
partícula:



- Manteve aproximadamente a mesma taxa de detecção dos elétrons quando comparado com o algoritmo de referência;
- Redução por um fator de ~ 2 na aceitação de eventos não interessantes para a Física com relação ao T2Calo;
- Diminuição no número de vezes que o algoritmo de tracker será aplicado na etapa posterior;
- Uso mais efetivo da banda passante.

região do

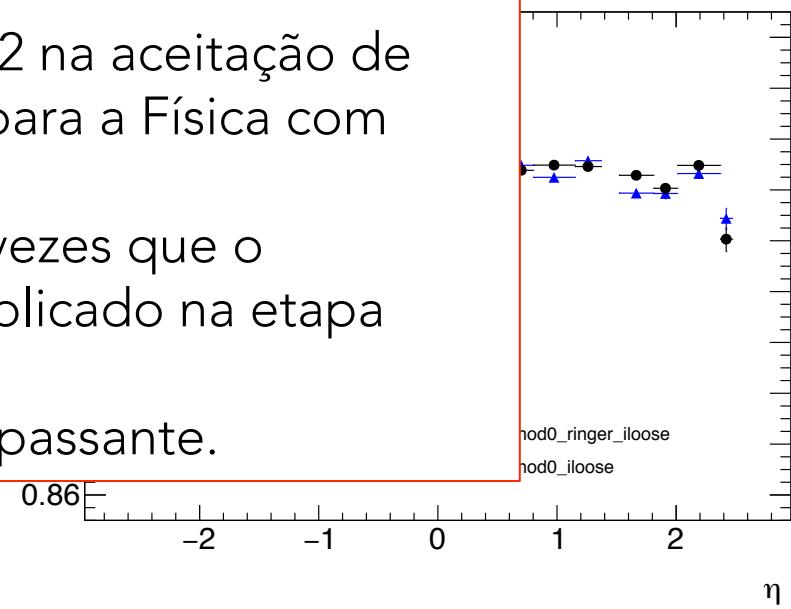
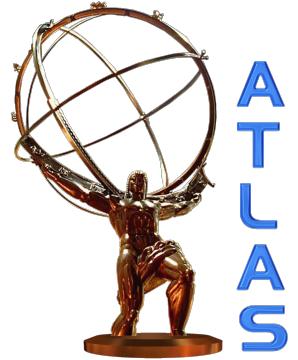


Tabela de eficiências de detecção e falso alarme para a chain proposta:

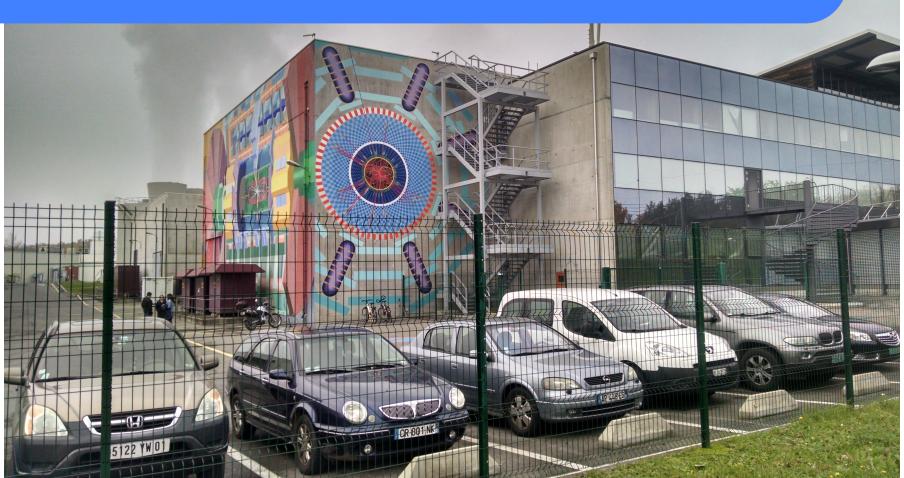
| <i>Fast Calorimeter step</i> | DET T&P [%] | FA [%] |
|---------------------------------|-------------|---------|
| e24_lhmedium_nod0_iloose | 98.7221 | 17.8995 |
| e24_lhmedium_nod0_ringer_iloose | 98.6269 | 34.6124 |



Conclusão



| | | |
|----------|-----------------|-----------------|
| <i>R</i> | <i>I</i> | <i>N</i> |
| <i>L</i> | <i>S</i> | <i>G</i> |
| 2 | <i>R</i> | <i>E</i> |





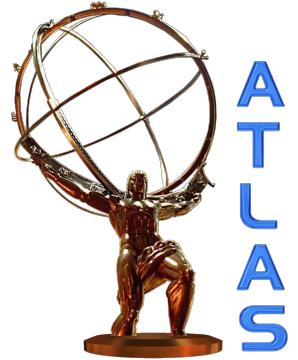
Conclusão

- Classificador implementado possui uma redução por um fator de ~2 na taxa de falso alarme;
- Redução no número de execuções do algoritmo de tracker na etapa posterior à fast calorimeter reconstruciton;
- Redução no tempo de treinamento dos inúmeros classificadores com a utilização do framework TuningTools;
- Sistema implementado no trigger online do ATLAS.

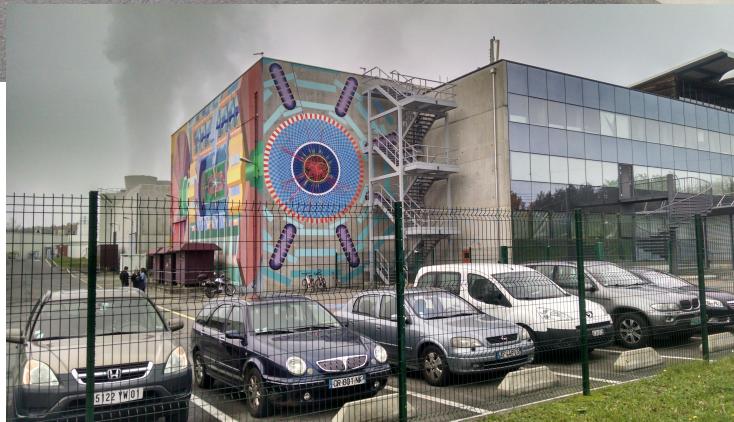


Perspectivas

- Construção de classificadores especialistas em cada faixa de energia e região do calorímetro;
- Utilização de diferentes tipos de pre-processamento como: PCA, ICA, Diferentes tipos de normalização, etc;
- Criação de novas chains no trigger;
- Melhorias nos algoritmos de treinamento e análises do TuningTools.

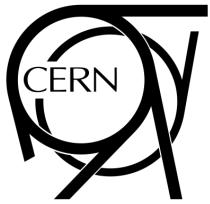


| | | |
|---|---|---|
| R | I | N |
| L | S | G |
| 2 | R | E |





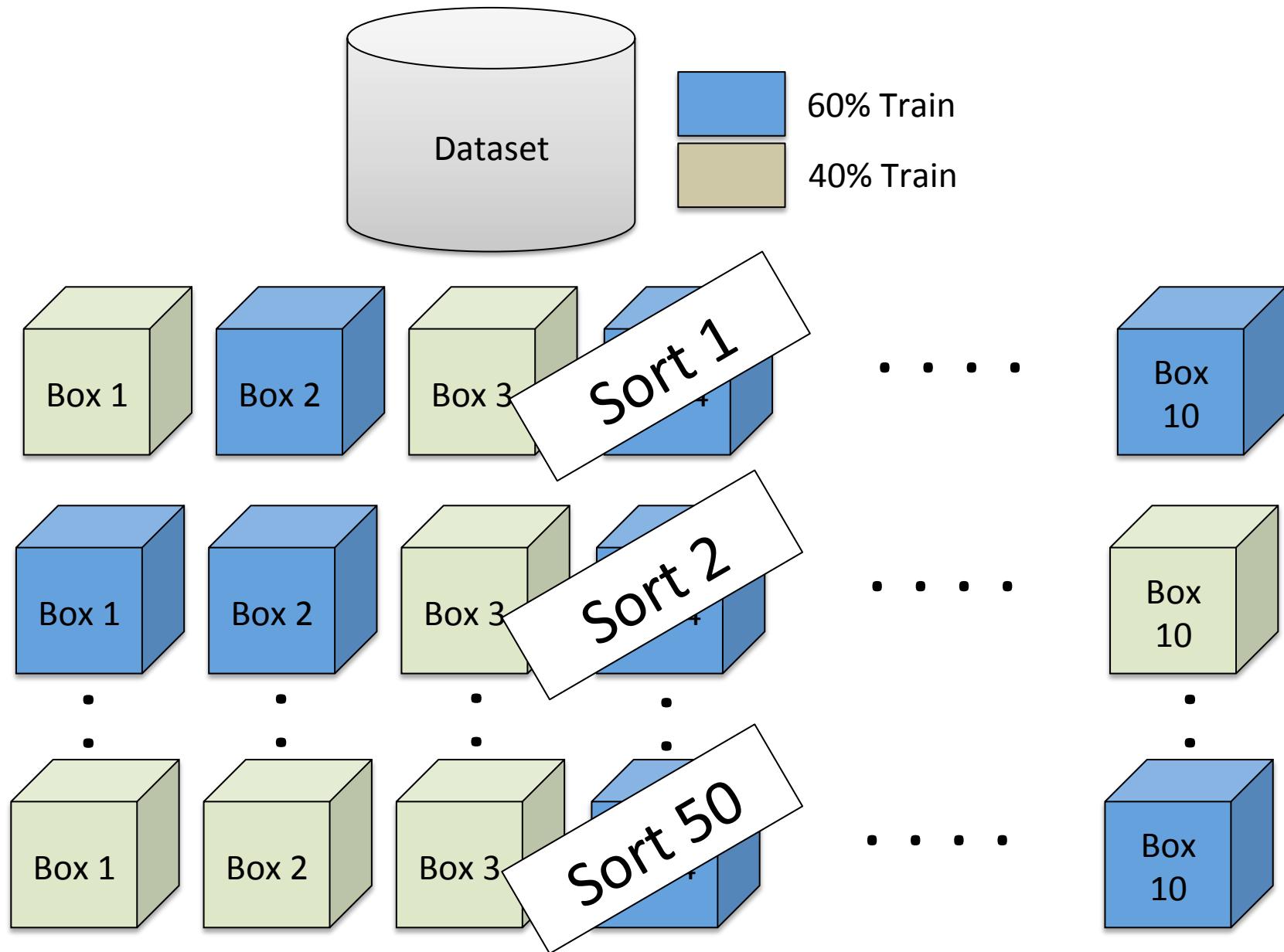
Backup



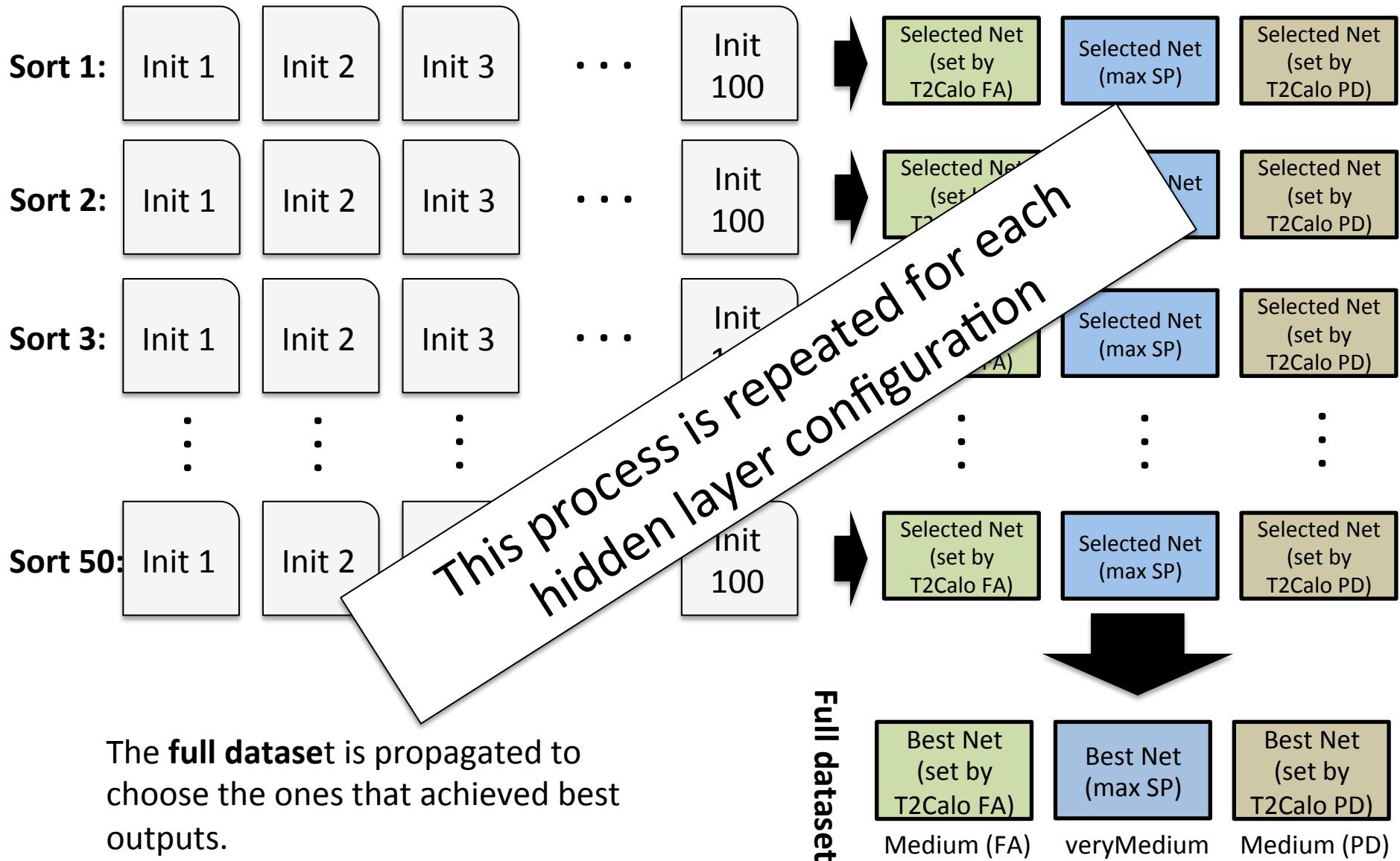
| | | |
|----------|----------|----------|
| <i>R</i> | <i>I</i> | <i>N</i> |
| <i>L</i> | <i>S</i> | <i>G</i> |
| 2 | R | E |



Validação Cruzada



Método de ajuste





Resultados: Treinamento

