

ESTIMAÇÃO DE ENERGIA DO CALORÍMETRO DE TELHAS DO ATLAS EM CONDIÇÕES SEVERAS DE EMPILHAMENTO DE SINAIS



Bernardo S. Peralva,
Guilherme I. Gonçalves, Marcia Begalli
Universidade do Estado do Rio de Janeiro



Augusto S. Cerqueira, Luciano M. A. Filho,
João Duarte
Universidade Federal de Juiz de Fora



Rodrigo Pereira, José M. Seixas
Universidade Federal do Rio de Janeiro

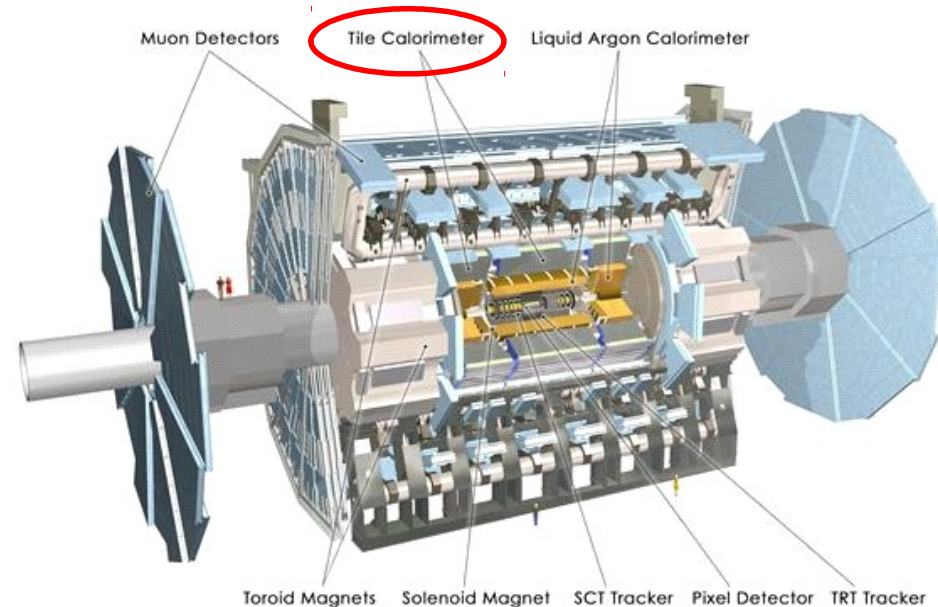
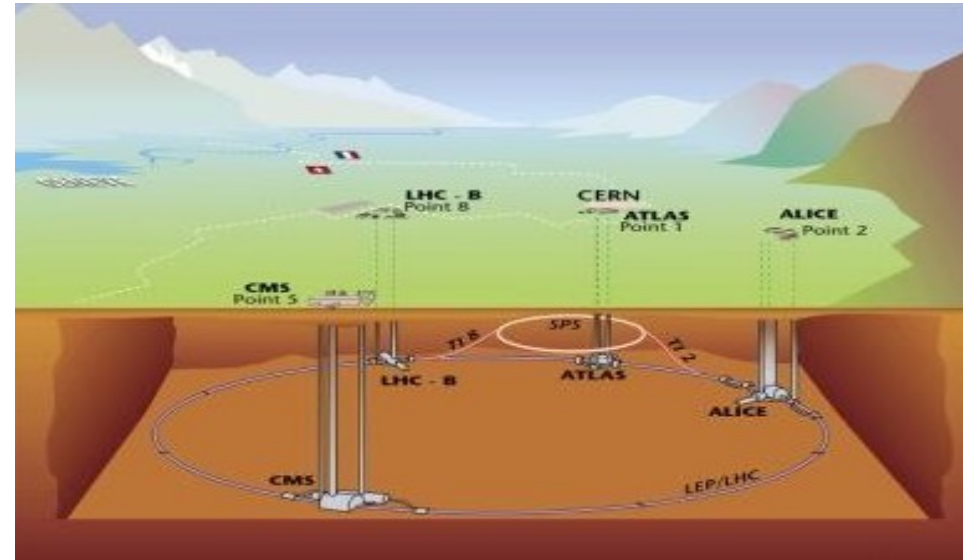


Eduardo Simas, Paulo Farias, Igo A. Luz,
Silas Carvalho
Universidade Federal da Bahia



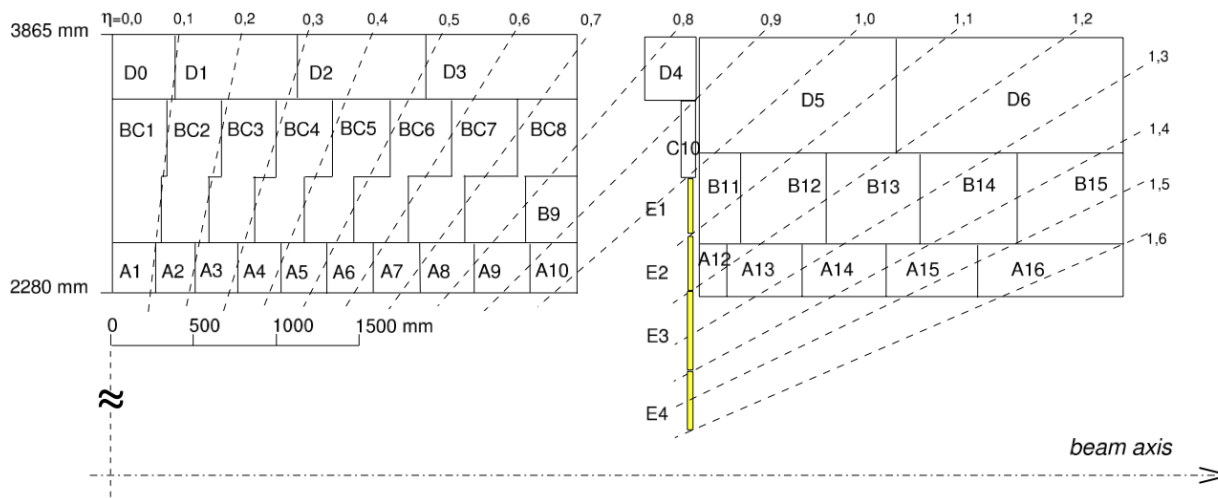
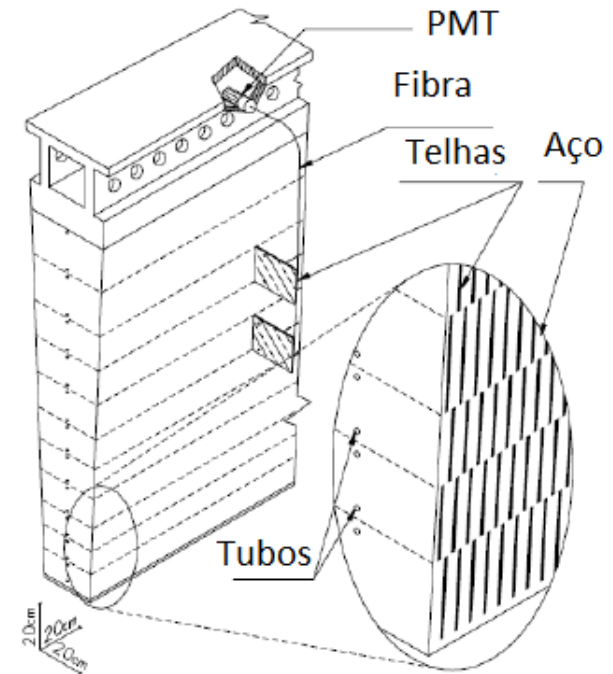
O LHC e ATLAS

- LHC: Maior acelerador de partículas do mundo, projetado para observar colisões com energia de 14 TeV a cada 25 ns.
- Este trabalho é desenvolvido no contexto do experimento ATLAS.
- Milhares de canais de leitura.
- Reconstrução da energia destes canais é fundamental para a análise física.
- Técnicas desenvolvidas aplicadas ao Calorímetro de Telhas do ATLAS (*TileCal*, *Tile Calorimeter*).



O TileCal

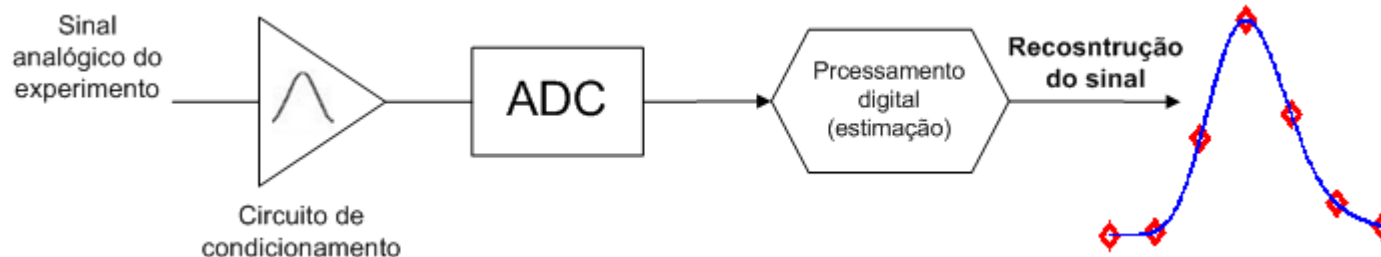
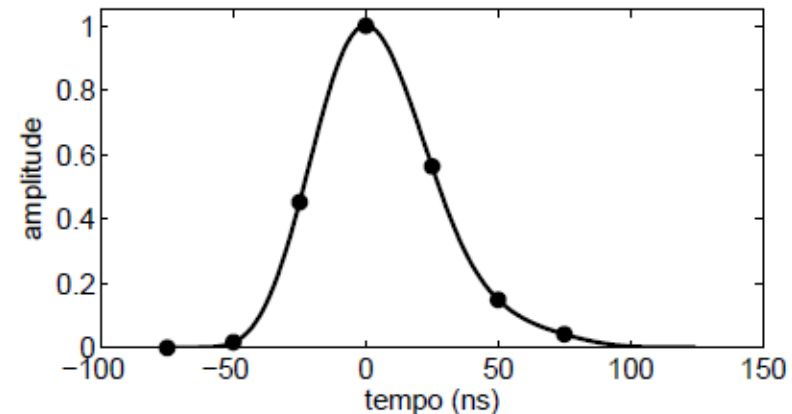
- Calorímetro hadrônico do ATLAS.
- Aço como material absorvedor e telhas cintilhantes como amostrador.
- Contribui para reconstrução da energia dos jatos
- Finamente segmentado.
 - 4 partições, 64 módulos por partição.
 - Ao todo, aprox. 10.000 canais de leitura.



Cadeia de processamento

- Luz proveniente das telhas é transmitida para as PMTs, alocadas em compartimentos dentro das estruturas rígidas dos módulos.
- Processamento analógico:
 - Os sinais das PMTs são transmitidos para um circuito de condicionamento do pulso.
 - Objetivo de fornecer um pulso estável e de forma fixa (150 ns), com amplitude proporcional à energia do sinal.
 - Digitalização (40 MHz) seguido de estimação de parâmetros.

Pulso de referência
(resposta do TileCal)



Estimação da energia no TileCal

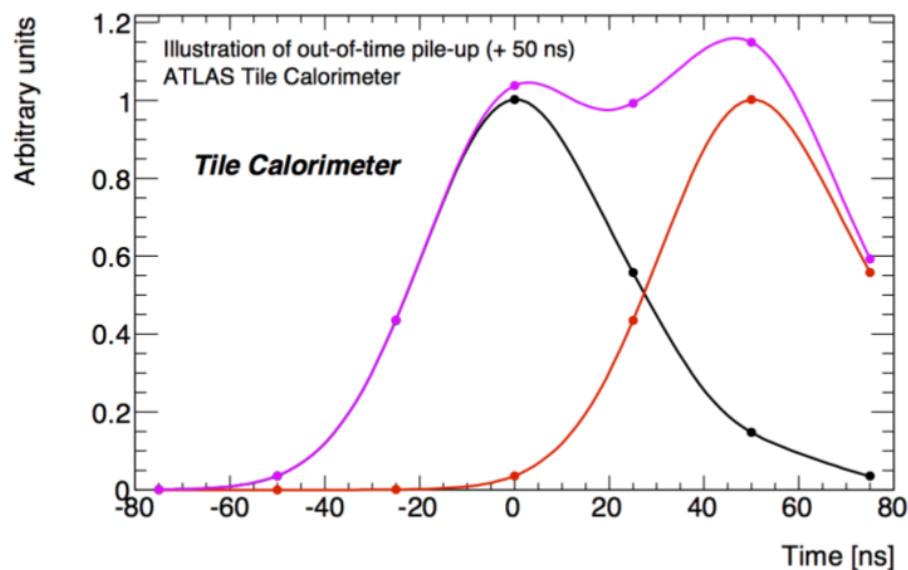
- Filtro tipicamente utilizado em calorimetria, chamado de Filtro Ótimo (OF).

$$\hat{A}_{OF} = \sum_{k=0}^6 c[k]s[k]$$

- Método baseado na minimização da variância do parâmetro de interesse (amplitude), em que os coeficientes $c[k]$ são calculados utilizando as seguintes informações:
 - Pulso de referência
 - Matriz de covariância do ruído
- Simples e rápido
 - Adequado para DSPs
- Ou seja, o método OF se apóia em um modelo determinístico do sinal, corrompido por um ruído descrito por uma função gaussiana.
 - Particularmente no TileCal, uma restrição adicional é imposta no processo de otimização a fim de tornar o estimador insensível à variações na linha de base do sinal, o método é chamado de OF2.

O problema

- Devido à alta taxa de eventos do LHC (40 MHz), e a resposta lenta do sistema de calorimetria do ATLAS, sinais provenientes de colisões adjacentes podem ser observados numa mesma janela de leitura.
- Desta forma, o sinal recebido é deformado e a estimativa da amplitude do pulso de interesse é comprometida.
- Além disso, a operação atual do LHC em “trens de colisões” introduz ruído de empilhamento de sinais com descrição diferente no início e fim do trem de colisões.
- O empilhamento de sinais é um problema atual nos canais de leitura do TileCal e tende a crescer com o aumento da luminosidade do LHC previsto para os próximos períodos de operação.



Método alternativo

- Método linear baseado no Filtro de Wiener, recentemente proposto:
 - Não utiliza um modelo para estimar os coeficientes.
 - Interessante em condições severas de empilhamento de sinais, em que o uso de um modelo é impraticável.
 - Os coeficientes \mathbf{w} são calculados diretamente dos dados (simulação), minimizando o erro quadrático, resultando em:

$$\mathbf{w} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{p}$$

onde \mathbf{R} corresponde à matriz de correlação entre os sinais de entrada e \mathbf{p} é a correlação cruzada entre os sinais de entrada e o vetor de valores desejados (amplitude conhecida da simulação).

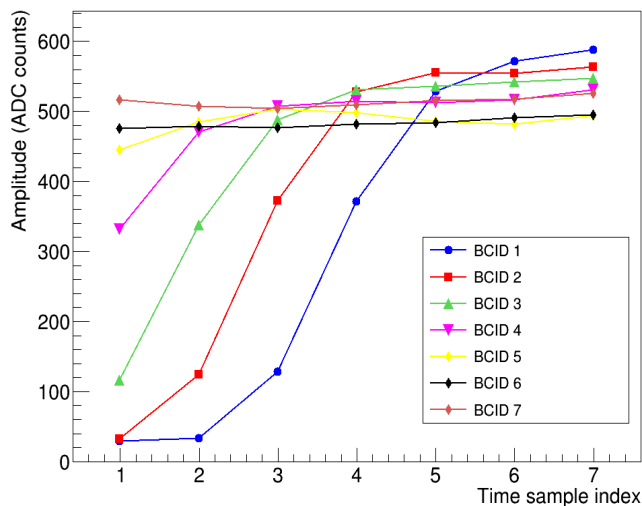
- No processo de otimização para encontrar \mathbf{w} , um coeficiente adicional pode ser incluído, visando absorver a linha de base que pode flutuar devido ao empilhamento de sinais.
- Desta forma, para amostras digitais $x[k]$ recebidas, temos no TileCal:

$$\hat{A}_{FW} = \left[\sum_{i=0}^{N-1} w[i]x[i] \right] + w[N]$$

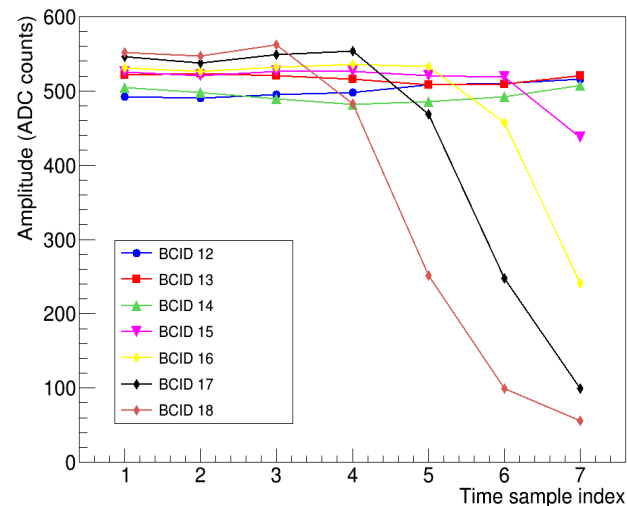
Testes de eficiência

- Dados de Monte Carlo produzidos pela colaboração ATLAS:
 - Ruído: Número médio de interações por colisão igual a 200 (*Minimum bias*).
 - Configuração do LHC:
 - 18 (com colisão) – 4 (sem colisão) – 18 (com colisão)
 - O ruído apresenta características diferentes em cada amostra em uma mesma janela de leitura, prejudicando a estimação de energia pelo método OF.

Ruído médio no início do trem de colisões



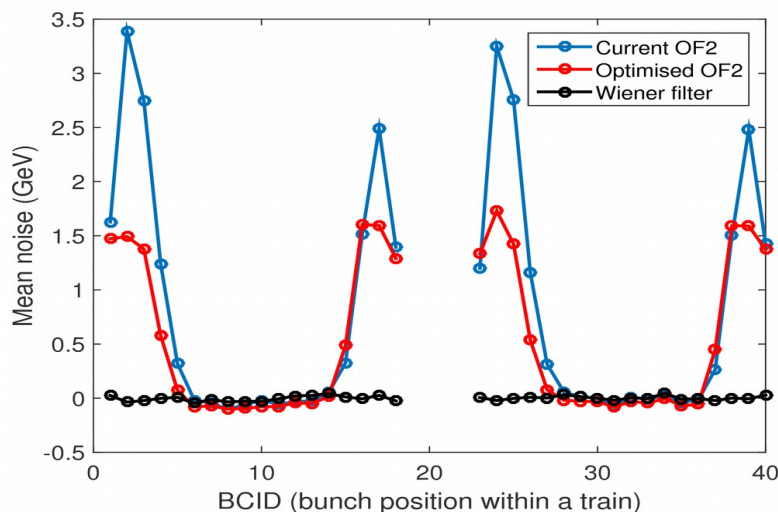
Ruído médio no fim do trem de colisões



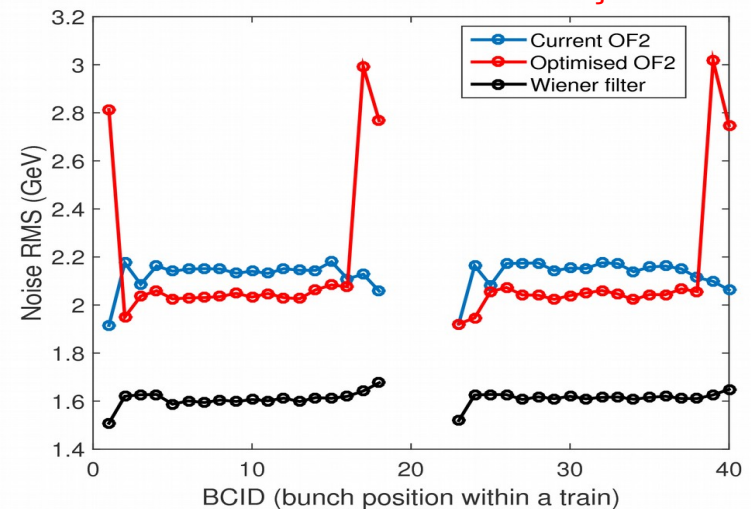
Testes de eficiência

- Dados de Monte Carlo produzidos pela colaboração ATLAS:
 - Ruído: Número médio de interações por colisão igual a 200 (*Minimum bias*).
 - Configuração do LHC: 18 (com colisão) – 4 (sem colisão) – 18 (com colisão).
 - Célula de maior incidência de partículas (células E) foi utilizada.
 - Sinal de interesse adicionado de amplitude (energia) conhecida.
 - Média e RMS do erro de estimação foram utilizados para avaliar a eficiência.

Média do erro de estimação



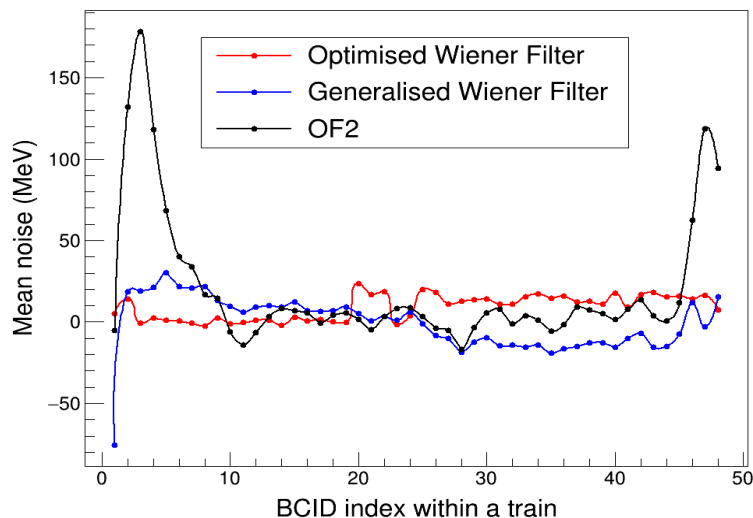
RMS do erro de estimação



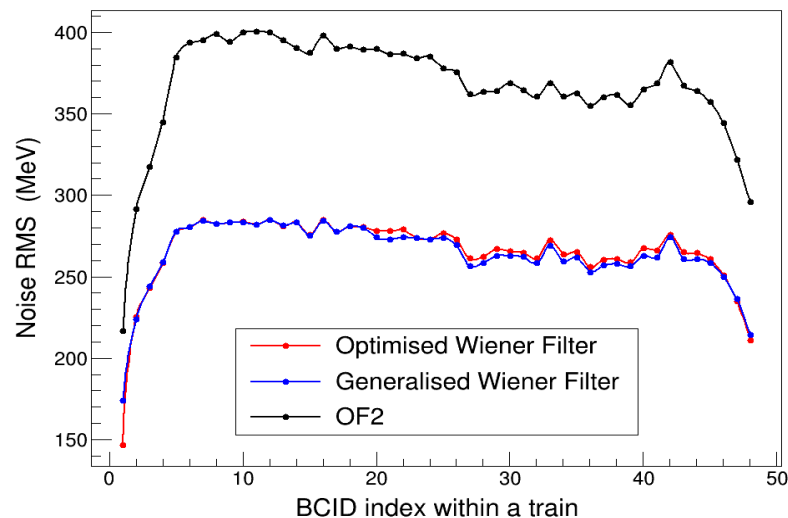
Testes de eficiência

- Dados reais de colisões recentes adquiridas pelo ATLAS:
 - O número médio de interações varia entre 50 e 30. Desta forma, foram utilizados dados com número médio de interações igual a 40. Aproximadamente 1 milhão e 500 mil sinais foram adquiridos, sendo metade utilizado para calcular os coeficientes e a outra metade para avaliar a eficiência.
 - Configuração do LHC: 48 (com colisão) – 7 (sem colisão) – 48 (com colisão).
 - Célula de maior incidência de partículas (células E) foi utilizada.
 - Sinal de interesse adicionado de amplitude (energia) conhecida.
 - Média e RMS do erro de estimação foram utilizados para avaliar a eficiência.

Média do erro de estimação



RMS do erro de estimação



Método COF

- Método implementado no software de reconstrução do ATLAS e proposto para operação offline no TileCal, baseado na desconvolução linear de sinais:
 - Trata o empilhamento de sinais como uma soma de sinais, buscando uma transformação para recuperar a amplitude dos sinais sobrepostos.
 - Dado o sincronismo do LHC, o sinal pode ser modelado como:

$$\mathbf{s}_{7x1} = \mathbf{H}_{7x7} \mathbf{a}_{7x1} + \mathbf{w}_{7x1}$$

em que a matriz \mathbf{H} corresponde a versões do pulso de referência defasadas em 25 ns. Assumindo o ruído eletrônico representado por uma distribuição gaussiana, temos:

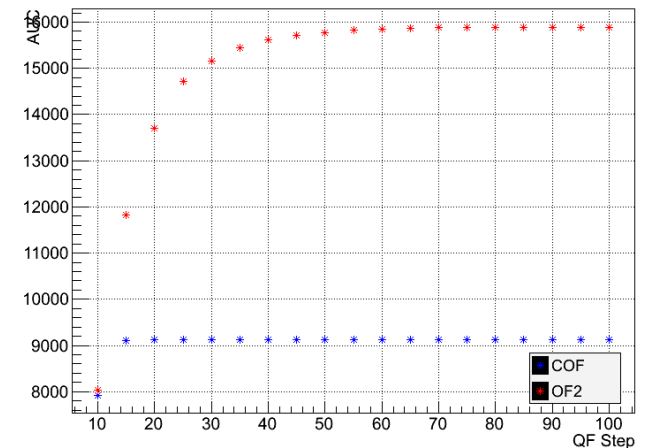
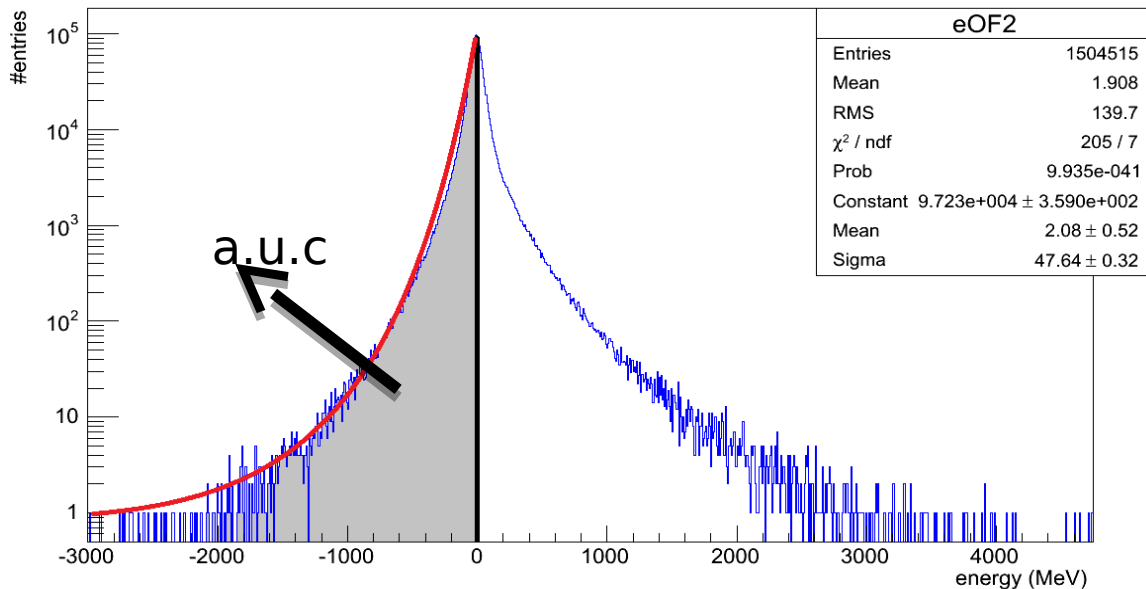
$$E\{\mathbf{s}_{7x1}\} = E\{\mathbf{H}_{7x7} \mathbf{a}_{7x1} + \mathbf{w}_{7x1}\} = \mathbf{H}_{7x7} \mathbf{a}_{7x1}$$

em que as amplitudes dos sinais defasados $\hat{\mathbf{a}}$ podem se estimadas encontrando a matriz inversa de \mathbf{H} .

- O procedimento é otimizado considerando somente os sinais defasados detectados na janela de leitura (adotando-se um patamar para as estimativas $\hat{\mathbf{a}}$).

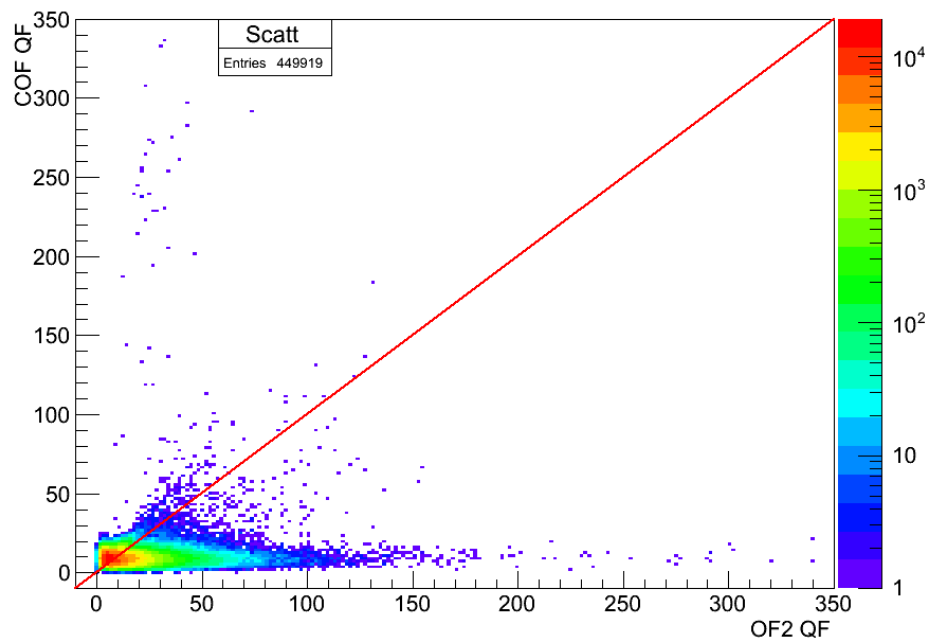
Testes de eficiência

- Dados reais adquiridos pelo ATLAS:
 - A cauda negativa da distribuição de energia é utilizada para avaliar a eficiência na estimação.
 - Quanto maior a área da cauda negativa (a.u.c., *area under the curve*), maior a contribuição do empilhamento de sinais no erro de estimação da energia.



Testes de eficiência

- Dados reais adquiridos pelo ATLAS:
 - O fator de qualidade da reconstrução do sinal é usado para avaliar a eficiência.
 - Erro quadrático entre as diferenças das amostras digitais reconstruídas e recebidas.
 - Pode ser usado para detectar sinais corrompidos, ou validar sinais.
- Quanto maior o fator de qualidade, pior é a reconstrução do sinal.
- Pode ser observado uma dispersão maior no fator de qualidade do método OF2, indicando uma pior reconstrução, devido principalmente à presença de empilhamento de sinais.
- Em células de baixa incidência de partículas, o método COF apresentou uma boa eficiência.



Conclusões

- As técnicas atuais de estimação da amplitude (energia) não incorporam o empilhamento de sinais em seus projetos, degradando o desempenho do estimador sob tais condições.
- Este trabalho apresentou métodos alternativos que estão sendo testados para operarem no TileCal em condições de empilhamento de sinais, *online* e *offline*.
- O método baseado no filtro de Wiener apresentou uma eficiência superior ao OF2, e pode ser utilizado na sua versão generalizada, em que apenas um conjunto de coeficientes são utilizados.
- O método baseado em desconvolução de sinais está sendo avaliado para operar em células de baixa incidência de partículas.

Obrigado!