

Reconstrução de Energia no Calorímetro Hadrônico do ATLAS no contexto do HL-LHC

Bernardo Sotto-Maior Peralva

Departamento de Modelagem Computacional
Instituto Politécnico (IPRJ/UERJ)

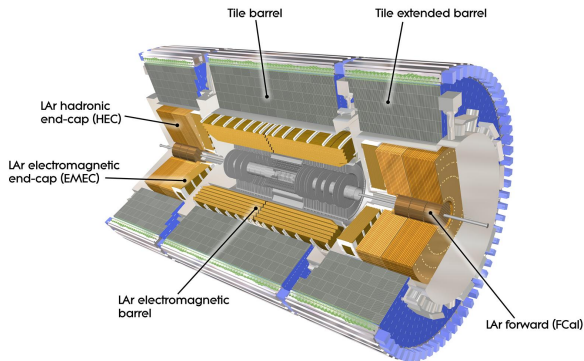
13 de julho, 2021



- Projeto: Física Experimental de Altas Energias e Tecnologias Associadas
Subprojeto: Reconstrução de energia para calorimetria de altas energias
- Colaboração ATLAS Brasil: UFRJ, USP, UFBA, UFJF, UERJ e UFRN
- Colaboração internacional: Sorbonne Université e Universität Bern
- Financiamento: Projetos CAPES/COFECUB e CNPq/SNSF, FAPEMIG e CERN
- Uso de técnicas de processamento de sinais e aprendizado de máquina para sistemas de calorimetria de altas energias

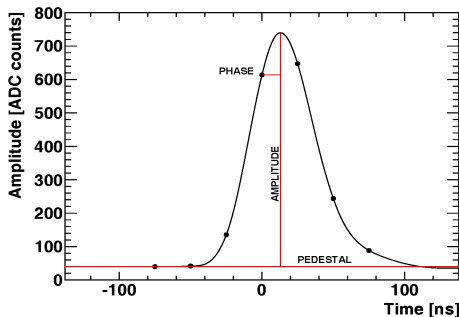
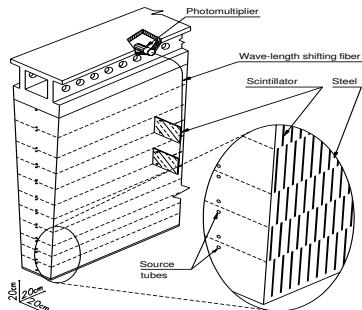
Sistema de calorimetria do ATLAS

- No ATLAS, o sistema de calorimetria é composto por dois componentes: o Calorímetro de Argônio Líquido, ou LAr e o Calorímetro Hadrônico de Telhas, ou TileCal, objeto deste trabalho.
- É segmentado em duas partições, Barril Central e Barril Estendido, separadas em dois lados, A e C.



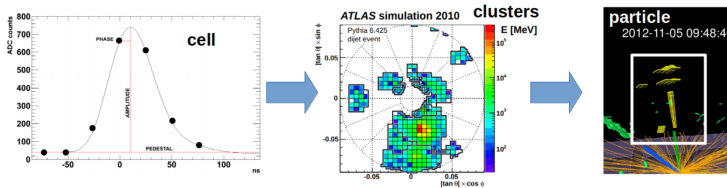
O Calorímetro de Telhas (TileCal)

- Baseado na técnica de amostragem que utiliza placas (ou telhas) de plástico cintilante como material ativo, intercalada com camadas de aço como material absorvente.
- Sinal luminoso convertido em elétrico (por fotomultiplicadoras), conformado, e digitalizado numa taxa de 40 MHz (7 amostras).

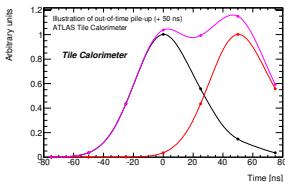


O problema de reconstrução da energia

- Os sinais de resposta do colarímetro são adquiridos dentro de uma janela de leitura (150 ns).
- Os parâmetros do pulso adquirido são estimados a partir das amostras temporais recebidas utilizando uma técnica de filtragem ótima.

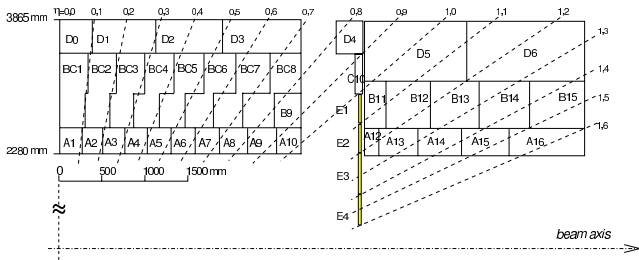


- **Problema:** O empilhamento de sinais devido ao aumento da luminosidade degrada a eficiência de métodos atualmente empregados.



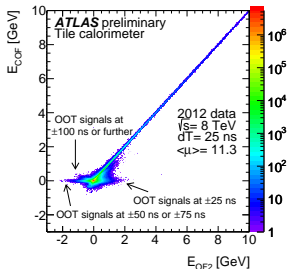
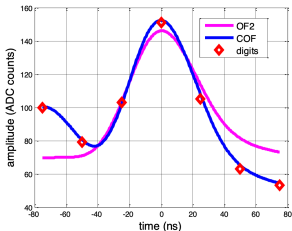
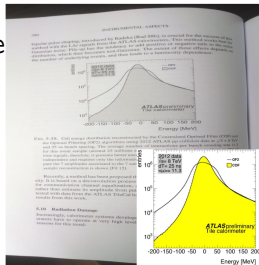
Técnicas de estimação da energia

- Atualmente, o TileCal possui três algoritmos disponíveis para o Run 3 considerando a estimação da energia em seus canais de leitura:
 - **OF2** (atualmente empregado): filtro linear baseado na minimização da variância do ruído sujeito a restrições.
 - **COF**: transformação linear que visa desconvoluir os sinais presentes numa mesma janela de leitura.
 - **Filtro de Wiener**: filtro linear que minimiza as incertezas presentes tanto no sinal quanto no ruído.
- O efeito de empilhamento de sinais afeta os canais do TileCal de forma diferente, dependendo da sua posição no calorímetro.



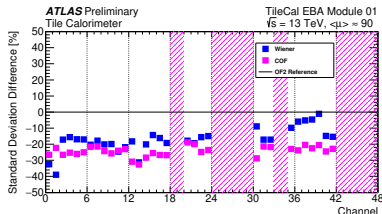
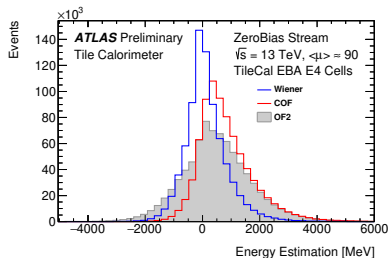
Método COF

- Visando aumentar a eficiência de estimação da energia em condições de empilhamento de sinais, uma abordagem nova foi introduzida baseada em desconvolução de sinais.
 - Não depende da luminosidade
 - Reconstrói sinais fora de fase presentes na janela de leitura
 - Citado no livro de Richard Wigmans (2nd edition)



Método Filtro de Wiener

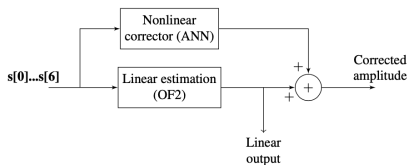
- Em condições muito severas de empilhamento de sinais (tais como as células E4 do TileCal), um método linear alternativo, baseado na filtragem de Wiener foi proposto.
- Este método não se apoiá em modelos e busca um conjunto de coeficientes que melhor se ajusta aos dados de referência, no sentido do erro médio quadrático.
- Para células com baixa ou média ocupação, o COF se mostrou mais eficiente.



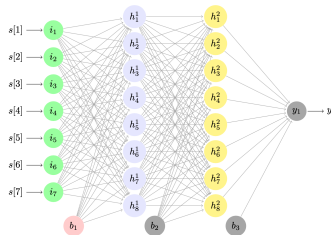
- No contexto do HL-LHC, algoritmos mais avançados podem ser avaliados, se beneficiando da atualização dos sistemas de leitura que permitirão tais aplicações.
- Três cenários possíveis para aplicação de estimação de energia:
 - Estimação de energia por cruzamento de feixes (free-running) a 40MHz, com deslocamento de registradores em FPGA. Experiência da TMDB com métodos de estimação baseado em filtragem casada e Wiener.
 - Estimação de energia na taxa do trigger no nível 1 (Filtro de Wiener, ANN).
 - Estimação offline (COF, Wiener, OF, ANN).

Perspectivas para HL-LHC

- No TileCal, uma abordagem combinada (OF2+ANN) tem sido testada visando aumentar a eficiência de reconstrução da energia em condições severas de empilhamento de sinais, considerando a operação durante o HL-LHC.

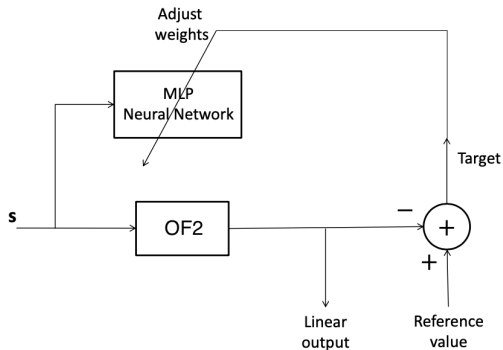


- Nesta proposta, uma ANN atua como um corretor não-linear assistindo a estimativa produzida pelo método linear OF2, que se mantém preservada.



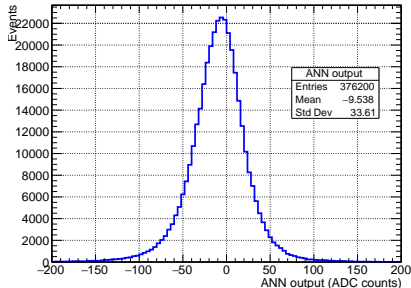
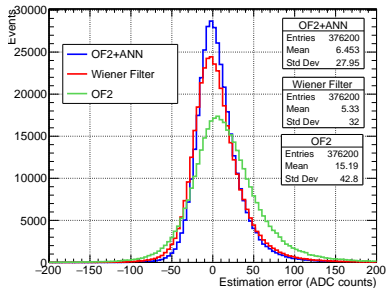
Estratégia de treinamento para a ANN

- A ANN é treinada de modo a compensar as componentes não-lineares introduzidas no ruído devido ao empilhamento de sinais.
- Portanto, o alvo corresponde à diferença entre a estimativa linear e o valor de referência.



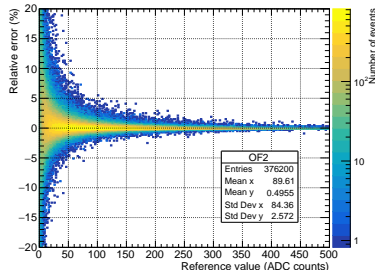
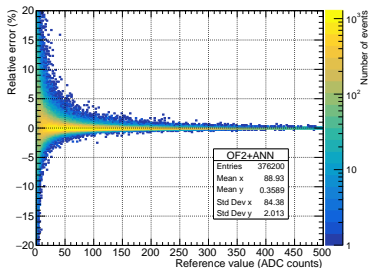
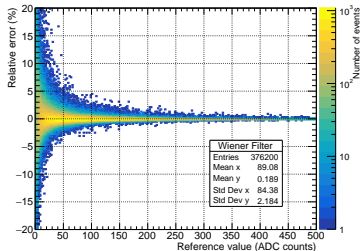
Testes preliminares

- Testes preliminares foram realizados utilizando dados reais em condições $\langle \mu \rangle = 90$ para uma célula de alta ocupação (células E4).
- O método OF2 assistido por redes neurais apresentou uma eficiência 35% e 13% maior que o método OF2 e o Filtro de Wiener, respectivamente.
- Nestas condições a saída da rede neural apresenta uma dispersão significativa, indicando a correção não-linear aplicada ao método OF2.



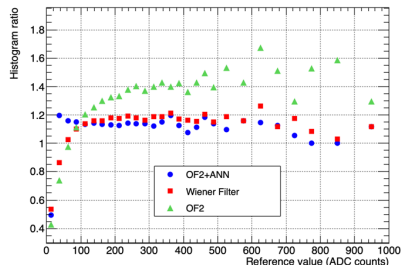
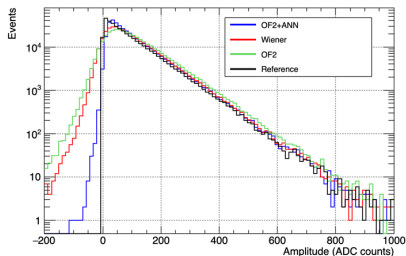
Testes preliminares

- O erro relativo, em função do valor de referência, mostra que o método combinado apresenta uma menor dispersão, principalmente para valores negativos de energia.
- A linearidade do método também é confirmada.



Testes preliminares

- A reconstrução da amplitude (energia) apresenta um melhor ajuste ao valor de referência, com menor dispersão para valores negativos.
- Também pode ser confirmada verificando a razão entre os histogramas de amplitude, onde novamente o método OF2+ANN mostra uma capacidade melhor de recuperar o valor de referência.



- O uso de ANN para estimação de energia é introduzido no calorímetro de telhas do ATLAS (TileCal).
- Na proposta combinada (OF2+ANN), a rede neural apresentou boa capacidade de lidar com as componentes não-lineares.
- A estimativa linear (OF2) é preservada.
- Testes considerando condições mais severas de $\langle \mu \rangle$ estão sendo realizados.
- Estruturas de rede profunda estão sendo avaliadas para a mesma aplicação.
- O método OF2+ANN será incorporado ao software de reconstrução de energia do TileCal e estará disponível para uso offline.

Muito obrigado!