

Simulação de Detectores de Nêutrons em Física de Altas Energias

Estudo de melhorias em resolução espacial de MPGDs
baseados em tecnologias GEM

Autor: Yam Artur Omoto Todorov (HEPIC)

Orientador: Marcelo Gameiro Munhoz (HEPIC)

Colaboradores: Renan Felix dos Santos (HEPIC) e Lucas de Arruda Serra Filho (HEPIC)

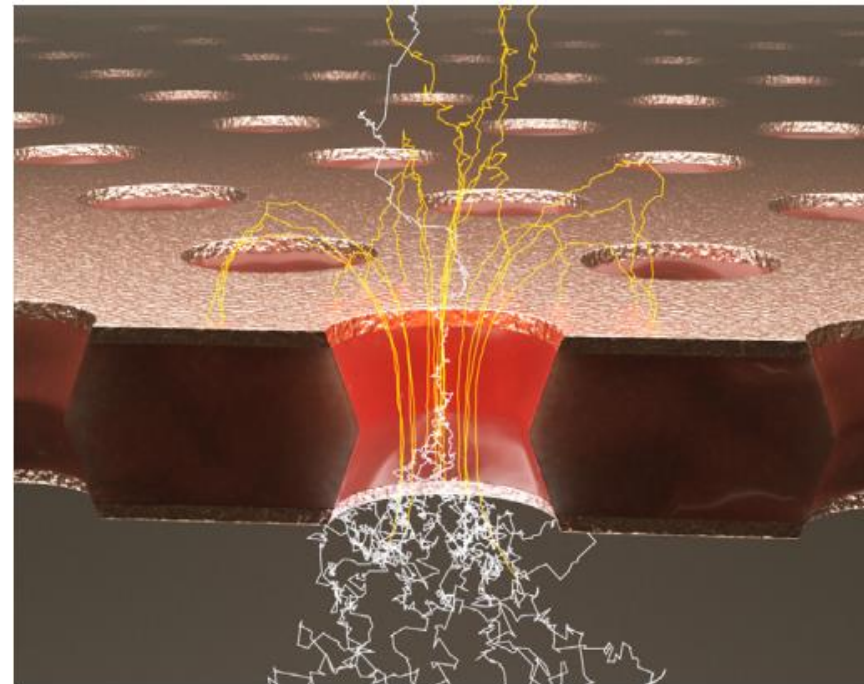
High Energy Physics Instrumentation Center Group (HEPIC), Departamento de Física
Nuclear (DFN) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP)

16 de outubro de 2024

VII Reunião Geral - Projeto Especial FAPESP "Física e Instrumentação de Altas Energias com o LHC-CERN"

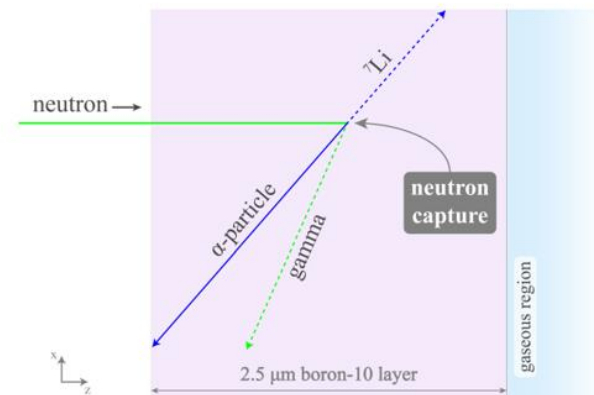
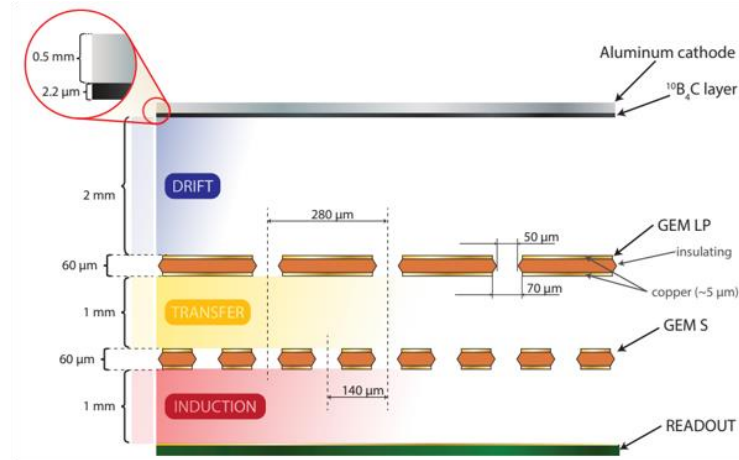
I. Objetivos da pesquisa

- Instrumentação: estudar maneiras variadas e inovadoras de se aprimorar e otimizar dispositivos de detecção a gás microestruturados de partículas e/ou radiação baseados em tecnologias GEM para a detecção de nêutrons térmicos;
- Simulação e Análise de Dados: foi usado uma combinação de softwares e ferramentas de simulação computacionais e análise de dados construídos exatamente com o propósito de simular interação de partículas carregadas com a matéria e da própria estrutura desses detectores;
- Codificação e desenvolvimento de aplicações: testes de exaustão do Fast Simulator Felix++ desenvolvido pelo grupo;



II. MPGD baseado em GEM

- No projeto, foi simulado um MPGD cujo objetivo principal é a **detecção de nêutrons térmicos**.
- O princípio fundamental de detectores gasosos é a ionização do gás que os constituem, algo que os nêutrons não são capazes de fazer por não terem carga.
- Solução:** uso de um revestimento de Carbetto de Boro no cátodo do detector, chamado de Camada Conversora. O nêutron irá reagir com essa camada em uma reação de transmutação dada por



III. Fundamentos Teóricos

- **Resolução Espacial:** também denominada de Full Width at Half Maximum, ela é definida matematicamente como sendo:

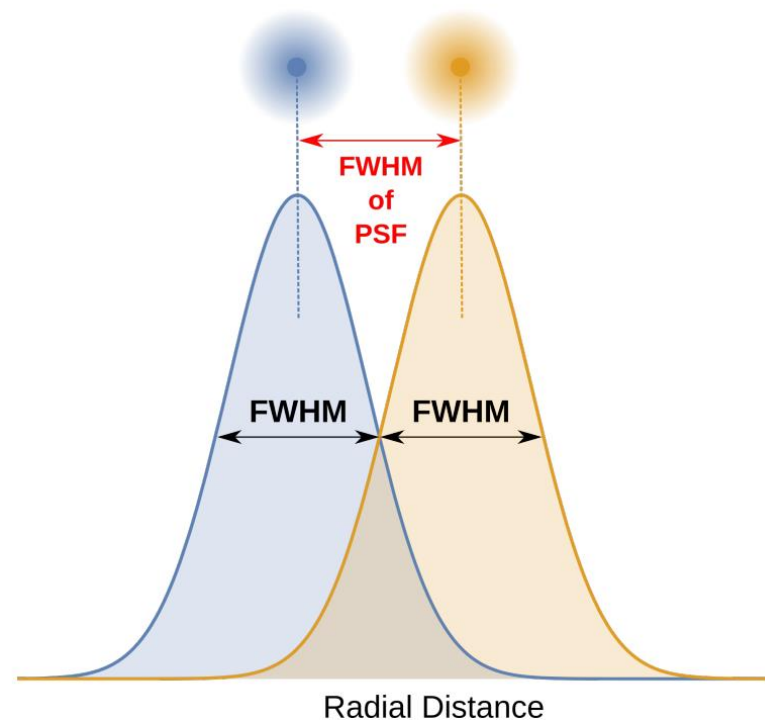
$$FWHM = 2\sigma_R\sqrt{2\ln 2}$$

sendo σ_R o desvio padrão do ajuste gaussiano unidimensional ao histograma da disposição dos elétrons no Readout.

- **Eficiência Intrínseca:** é definida matematicamente como sendo:

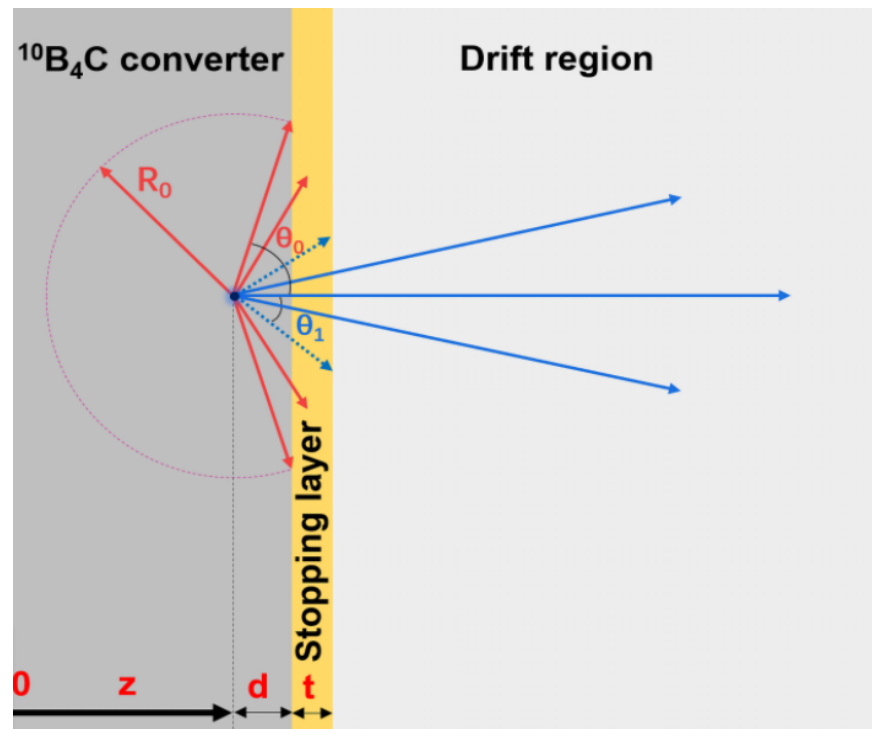
$$\epsilon_{int} = \frac{\text{número de pulsos}}{\text{número de partículas incidentes no detector}}$$

sendo essa uma grandeza que determina e mede, de fato, o quão eficiente é o detector, demarcando a quantidade de nêutrons que entram dentro do detector e que conseguem produzir pulsos no Readout.



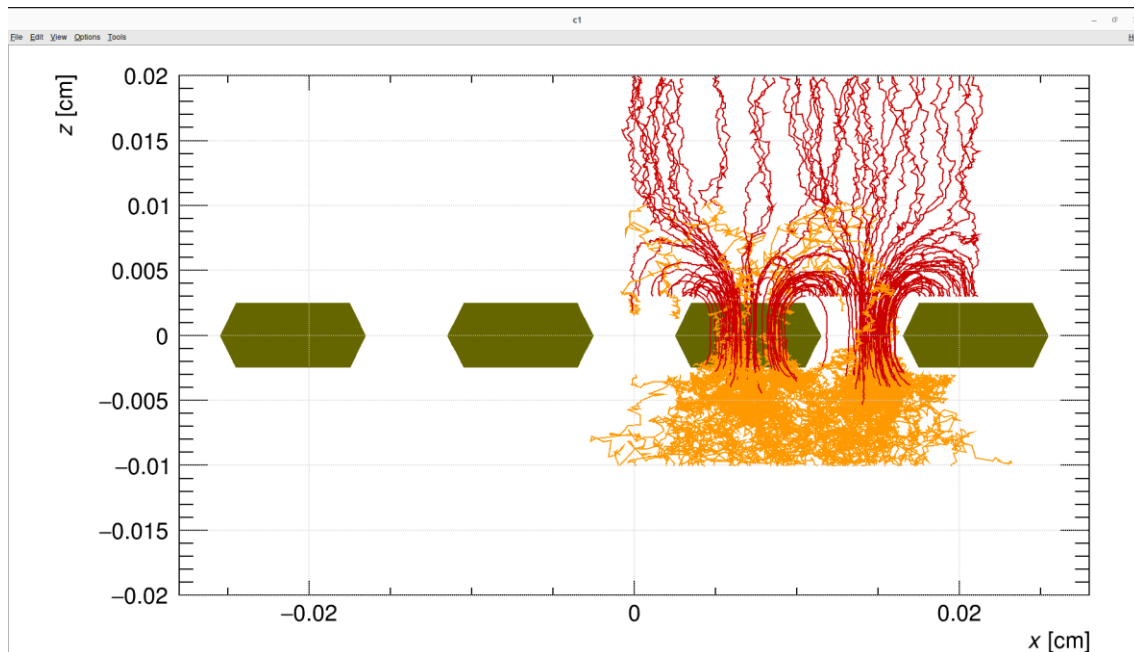
IV. O Conceito de Stopping Layer

- Neste projeto foi estudada a influência de uma nova camada adicionada ao detector, denominada de Stopping Layer (Tao Yang et al).
- Sua função é “parar” os produtos da reação dos nêutrons com a camada conversora de Carbetto de Boro cujas energias são baixas demais e os ângulos de incidência em relação ao plano do detector muito altos, o que faz com que tenhamos sinais muito dispersos e, portanto, resoluções espaciais piores.



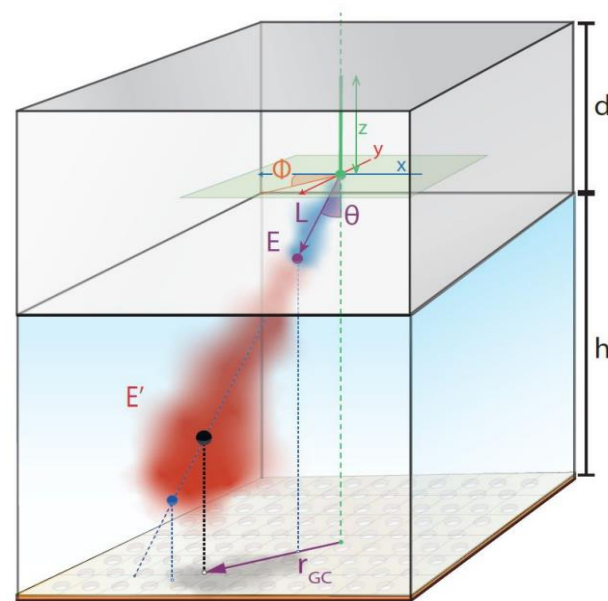
V. Simuladores

- **Geant4:** para simular a entrada dos nêutrons, suas interações com o cátodo sólido de alumínio e com a camada conversora de Carbetto de Boro
- **Garfield++:** nos permite simular todo o restante do detector, incluindo as interações das partículas carregadas com o meio gasoso presente nas regiões entre as folhas GEM e a própria interação dos elétrons e íons com essas folhas, e as consequentes avalanches de elétrons formadas.



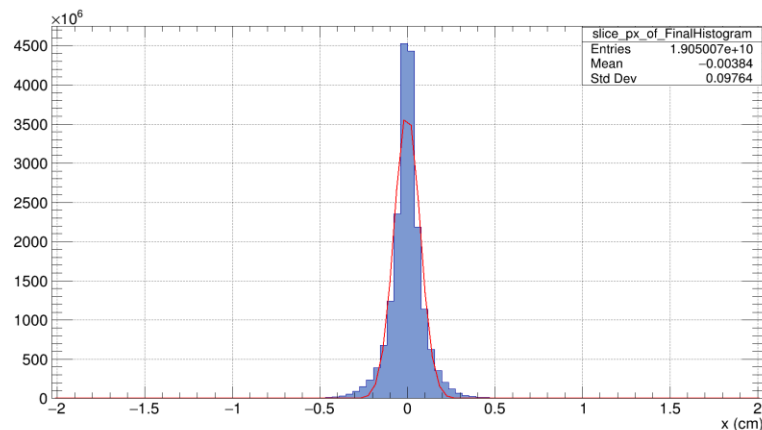
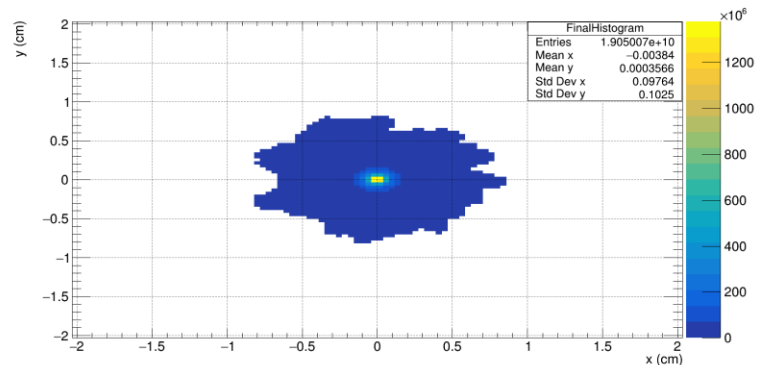
VI. Fast Simulator: Felix++

- **Limitação:** simulações completas são extremamente demoradas devido à complexidade das interações e ao grande número de eventos microscópicos necessários para modelar a avalanche eletrônica e a difusão de cargas.
- **Felix++:** é criado para resolver essa limitação, usando parametrizações baseadas em simulações anteriores para evitar o cálculo detalhado de cada evento.
- **Como Funciona:** o software aproveita os dados do Geant4 para modelar as interações iniciais e aplica funções parametrizadas (baseadas no Garfield++) para simular rapidamente a distribuição de carga.
- **Vantagem:** reduz o tempo de processamento, permitindo simulações eficientes e flexíveis para otimização do detector em diversas condições. Principalmente no que tange a minimização do valor de r_{GC}



VII. Metodologia

- **Resolução:** os valores foram conseguidos através de ajustes Gaussianos feitos aos histogramas 1D para cada valor de espessura da Stopping Layer. Esses histogramas são obtidos diretamente através de projeções em x do histograma 2D plotado pelo Felix++ (com os dados recebidos antes do Geant4).
- **Eficiência intrínseca:** a quantidade de partículas incidentes no detector e o número de pulsos detectados são grandezas já fornecidas automaticamente pelo Geant4 e pelo Felix++.



VIII. Resultados Parciais: Resolução

Gráfico 1: Resolução Espacial em função da Espessura da Stopping Layer

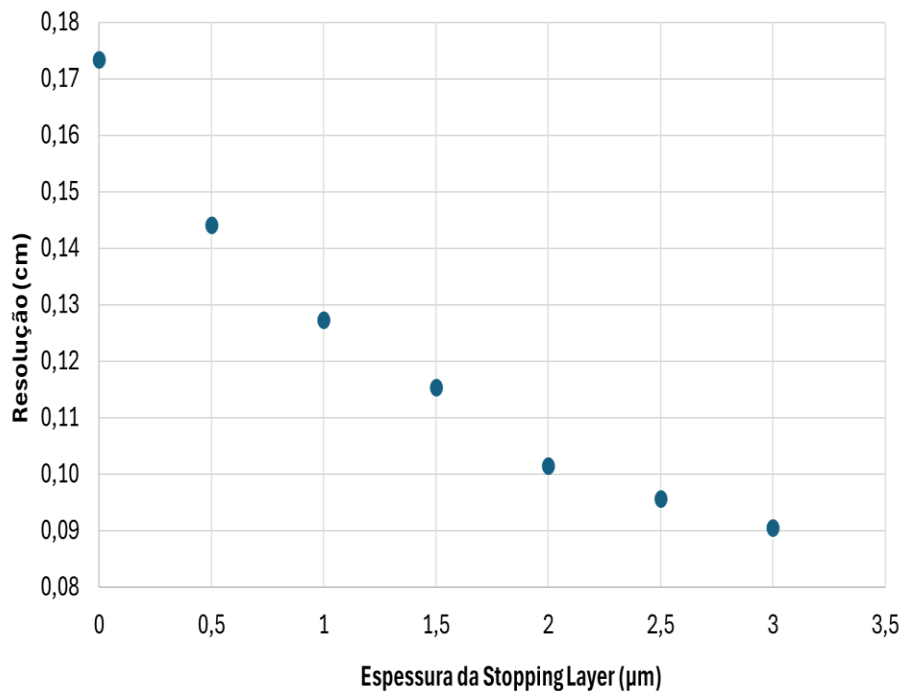
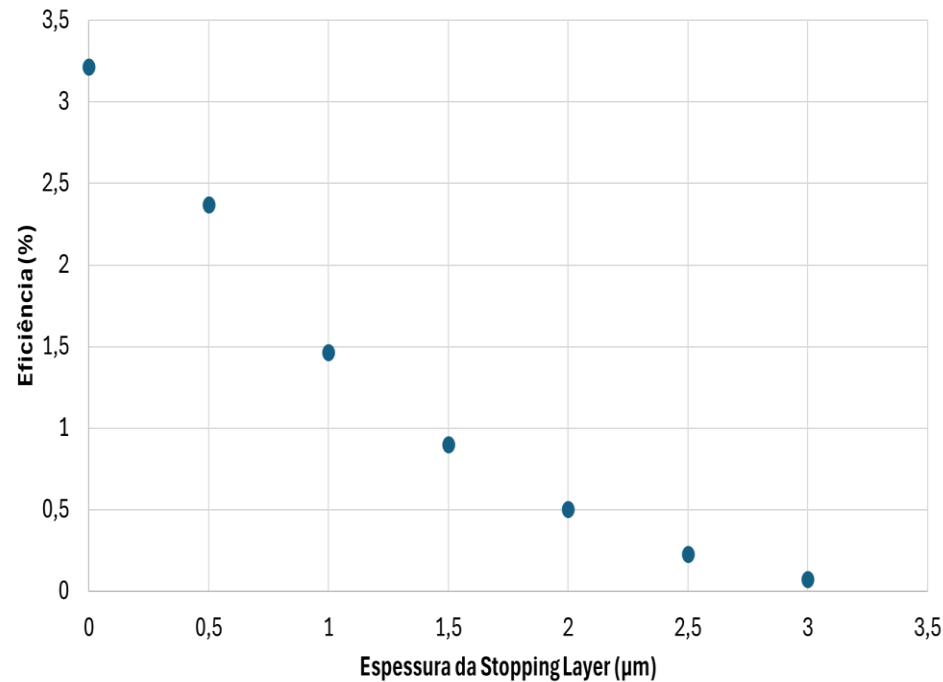


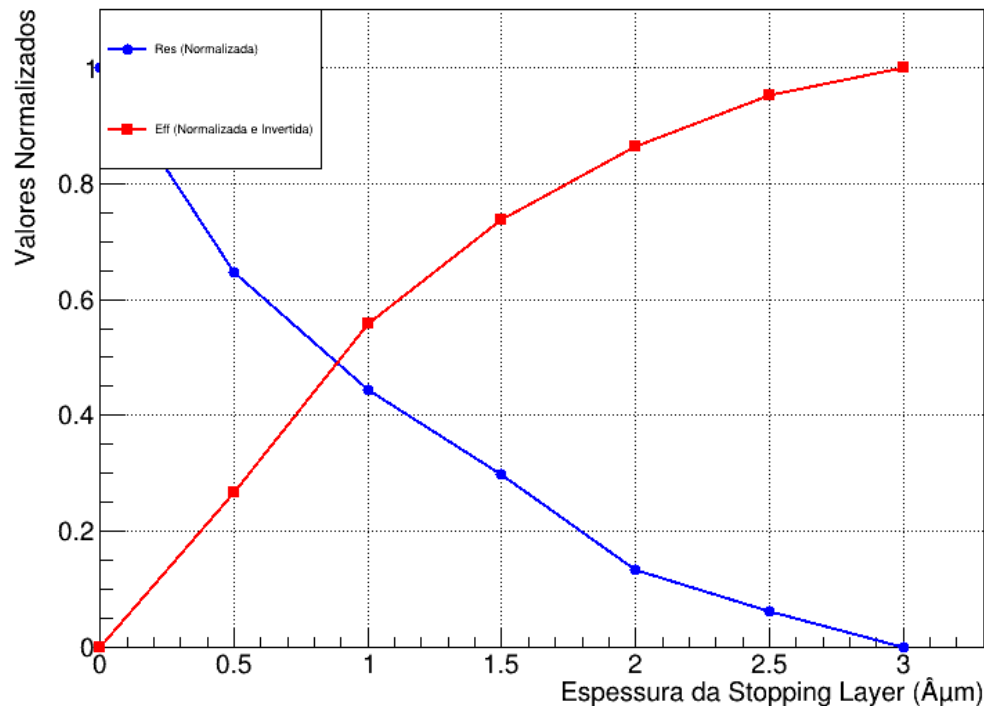
Gráfico 2: Eficiência intrínseca em função da Espessura da Stopping Layer



IX. Conclusão

- Pelo gráfico normalizado da Resolução Espacial em função da Espessura da Stopping Layer (cm) e da Eficiência em função da Stopping Layer (%), podemos notar um valor normalizado de cruzamento de aproximadamente 0,48 o que nos fornece **uma primeira aproximação de um valor ótimo de Espessura da Stopping Layer entre $0,5 \mu\text{m}$ e $1 \mu\text{m}$** , com uma resolução espacial de 0,14 cm e eficiência intrínseca de 1,7%.

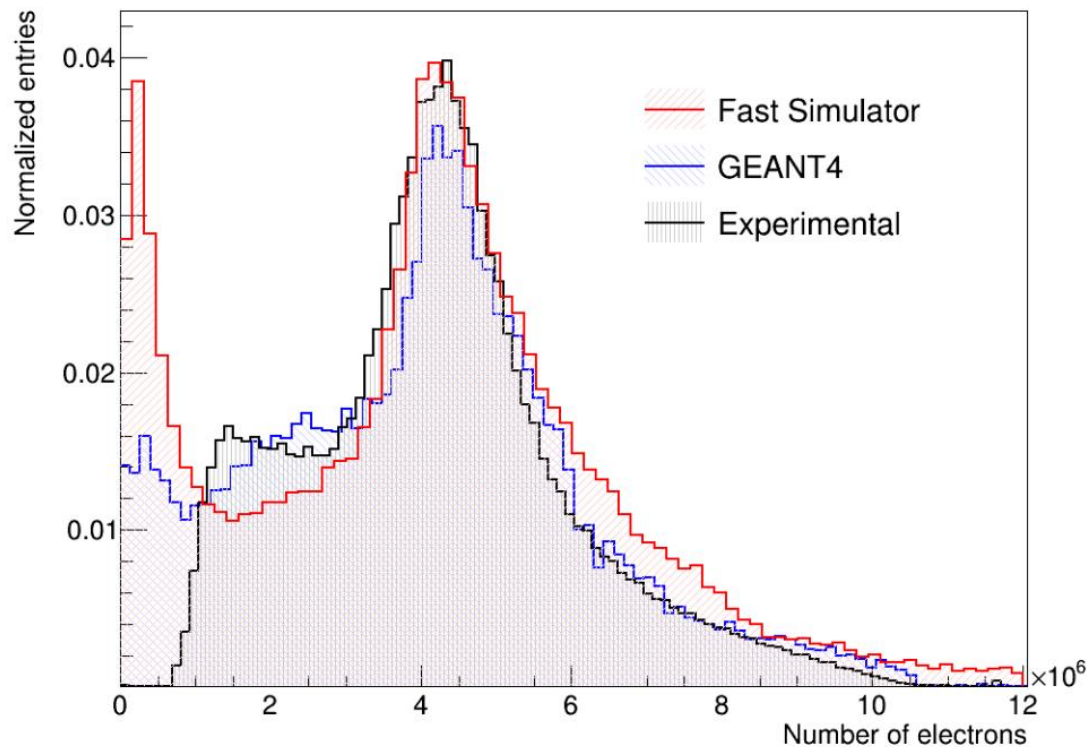
Res. e Eff (Normalizados) vs Espessura Stopping Layer



X. Próximos Passos e Perspectivas Futuras

i. **Seleção de canais de energia:** ao invés de aplicarmos a Stopping Layer, que sempre incluirá numa perda em eficiência intrínseca, tentaremos fazer essa seleção das partículas de maior energia diretamente pelo código, excluindo as partículas de menor energia mas sem perder esses dados por completo.

ii. **Melhoramento dos valores de resolução espacial:** o ajuste feito diretamente no painel do ROOT não é o ideal. Para obter valores melhores serão feitos os códigos em C++ utilizando-se da biblioteca para fazer esses ajustes com adequação manual.



Muito obrigado!