

Avaliação da Sensibilidade de Sensores LGAD aos Efeitos da Radiação de Raios X de 10 keV

Thalia A.Silva

Orientadora: Marcilei A. Guazzelli.

Colaboradores: Alexis C. V. Bôas; Marco A. A. Melo; Marcelo A. Pavanello; Marco A. Leite; Renato Giacomini; Paulo R.G. Junior; Francisco Palomo, Rogélio.

SUMÁRIO

1. **Objetivo**
2. Introdução;
3. Estrutura do dispositivo;
4. Metodologia;
5. Resultados Preliminares.

OBJETIVO

Objetivo geral: Este estudo tem como objetivo explorar as diversas possibilidades de aplicação de um LGAD, estabelecendo uma metodologia de teste para avaliar as perdas na eficiência funcional de um detector de raios X na faixa de 10 keV.

SUMÁRIO

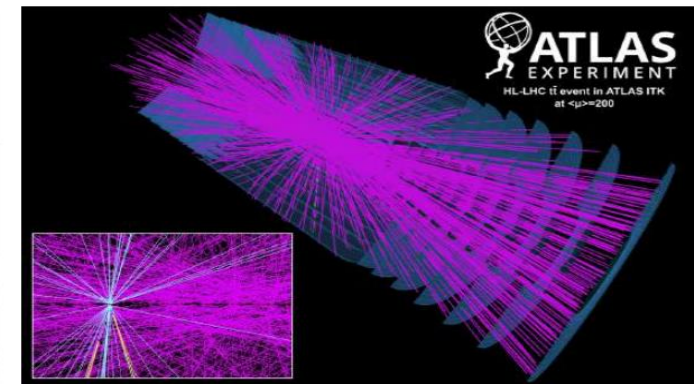
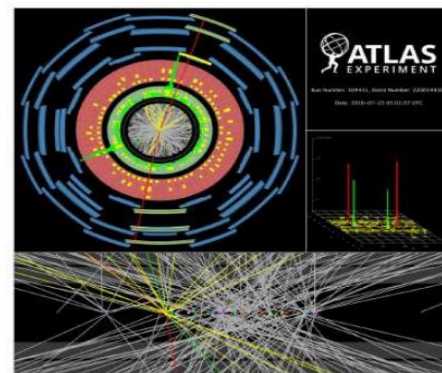
1. Objetivo
2. **Introdução;**
3. Estrutura do dispositivo;
4. Metodologia;
5. Resultados Preliminares.

INTRODUÇÃO

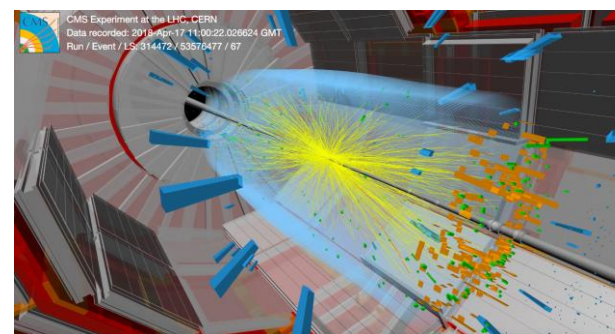
Está prevista uma atualização no *Grande Colisor de Hádrons* (LHC), que aumentará a luminosidade e permitirá a coleta de uma gama mais ampla de dados no experimentos.

Entretanto, é necessário contar com detectores de partículas que consigam medir com precisão a trajetória e o tempo em que as partículas carregadas passam por eles.

Com o objetivo de desenvolver detectores que funcionem em ambientes hostis sem perder a eficácia quando expostos a altos níveis de radiação, projetos como o RD50 têm se dedicado à criação de dispositivos semicondutores resistentes à radiação para colisores de alta luminosidade.



O Instituto de Microeletrônica de Barcelona (CNM), como parte do projeto RD50, o IMB-CNM desenvolveu detectores LGAD e 3D para os experimentos ATLAS e CMS, que serão aprimorados e ajustados para o HL-LHC.^[1]



https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplorasinc/una-nueva-particula-planea-tras-los-ultimos-resultados-del-lhc_2015121857fceb40cf2fd8cc6b16d15.html



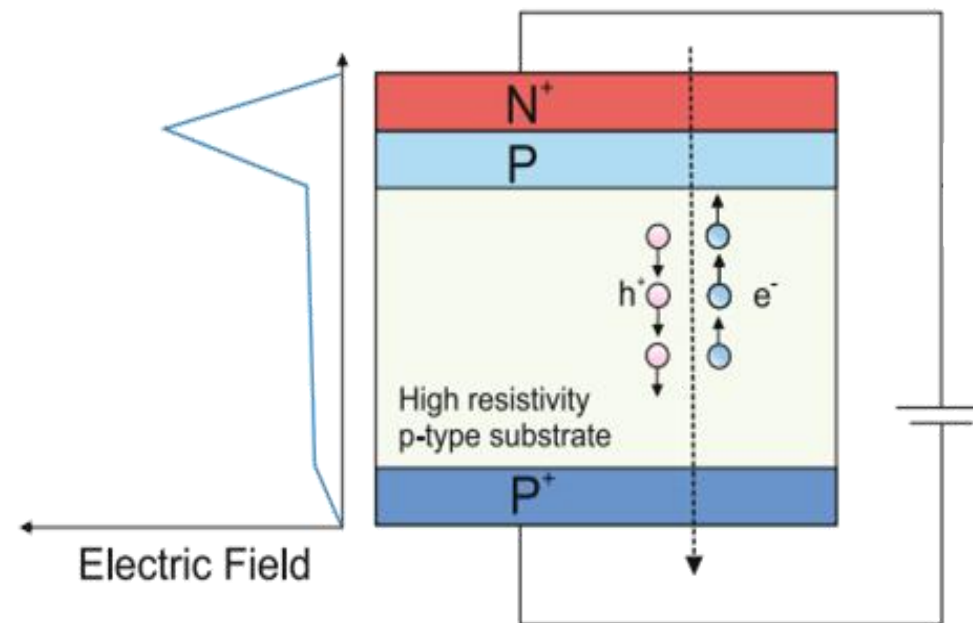
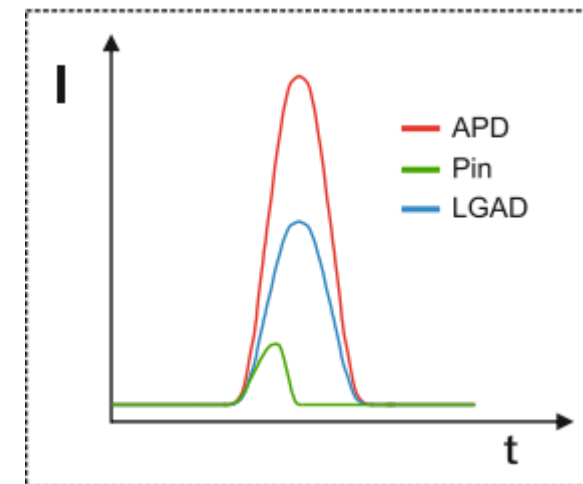
Diodos detectores de partículas

O **Low Gain Avalanche Detector (LGAD)**, combina as características do diodo PIN (P-Intrínseco-N) e do APD (Avalanche Photo Diode).

Enquanto os APDs podem detectar sinais muito fracos, sua resposta é binária, exigindo a montagem em matrizes, como os SiPMs (Fotomultiplicadores de silício), para registrar informações sobre a energia armazenada.

Por outro lado, o diodo PIN oferece uma resposta linear, mas requer amplificadores para aumentar o sinal, o que pode introduzir ruídos indesejados.

O LGAD, por sua vez, integra as vantagens de ambos os tipos de diodos, apresentando um ganho interno moderado (na ordem de 5 a 20) e uma resposta quase linear, o que elimina a necessidade de amplificadores de alto ganho.

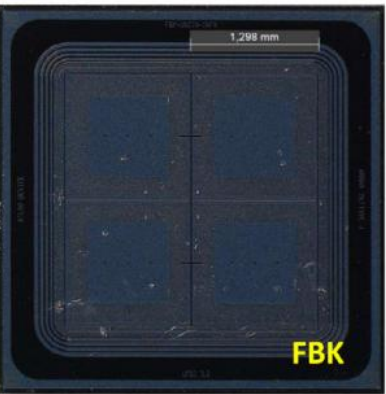


Fabricantes de LGAD

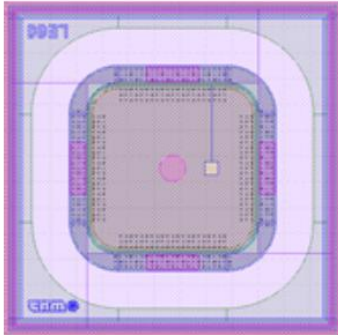
Todas as fabricantes possuem amostras em versão *single-pad* ou *Multi-pad*.



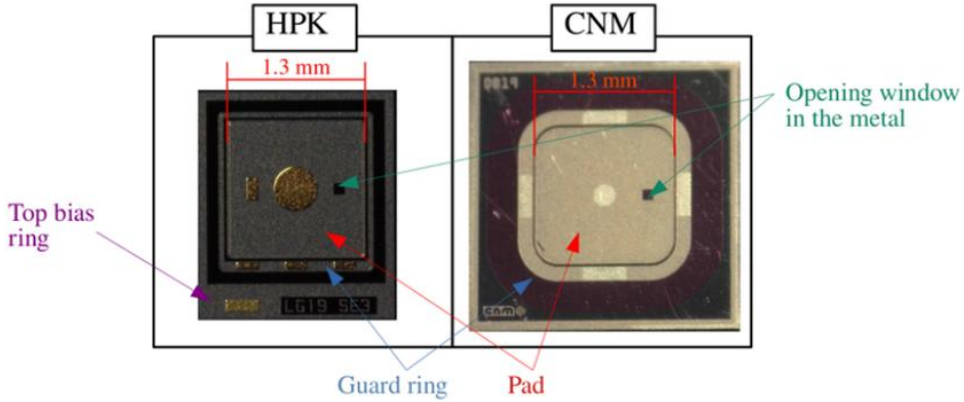
Modelo do fabricante HPK 3.2
(Hamamatsu Photonics,
Japan)
multi-pad



Modelo do fabricante FBK
(A Fondazione Bruno
Kessler, Italian)
multi-pad



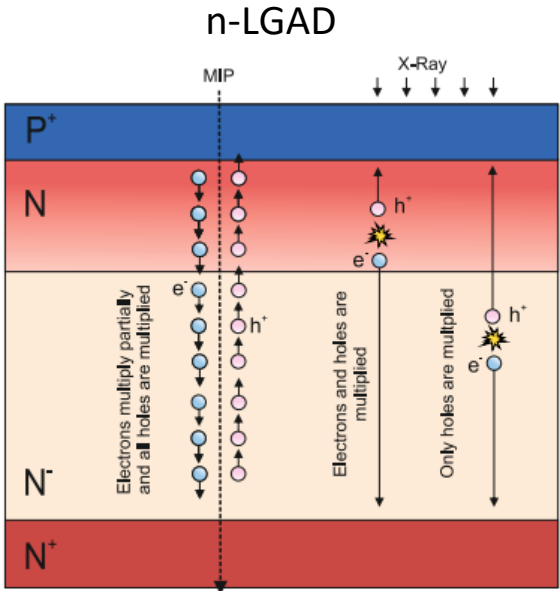
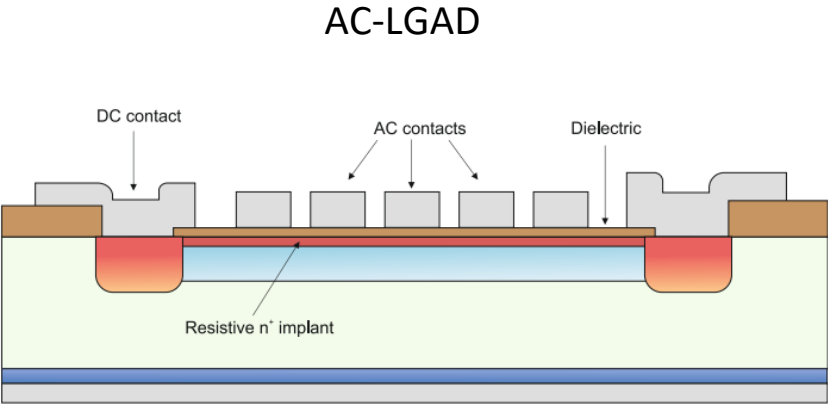
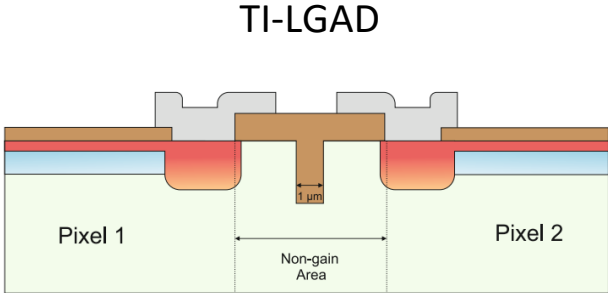
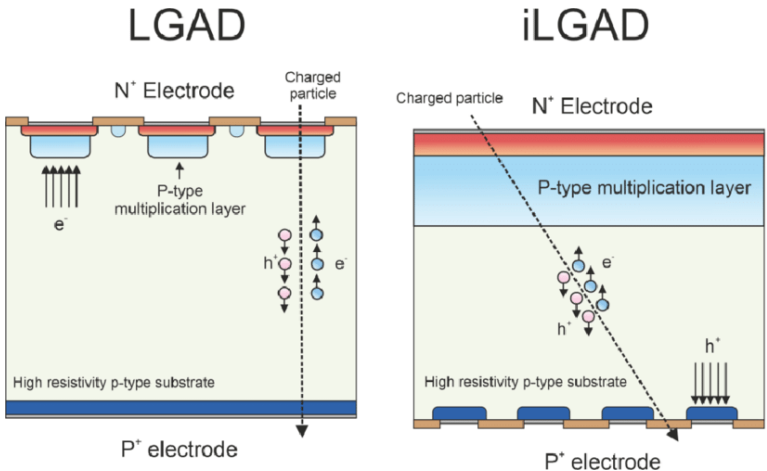
Modelo do fabricante CNM
(Centro Nacional de
Microelectrónica, Spain)
Single-pad



TIPOS DE LGADs

Tipos de LGADs desenvolvidos.

- **LGAD**
- n-LGAD
- iLGAD
- AC-LGAD
- TI-LGAD



Doblas Moreno, Albert, 2022

SUMÁRIO

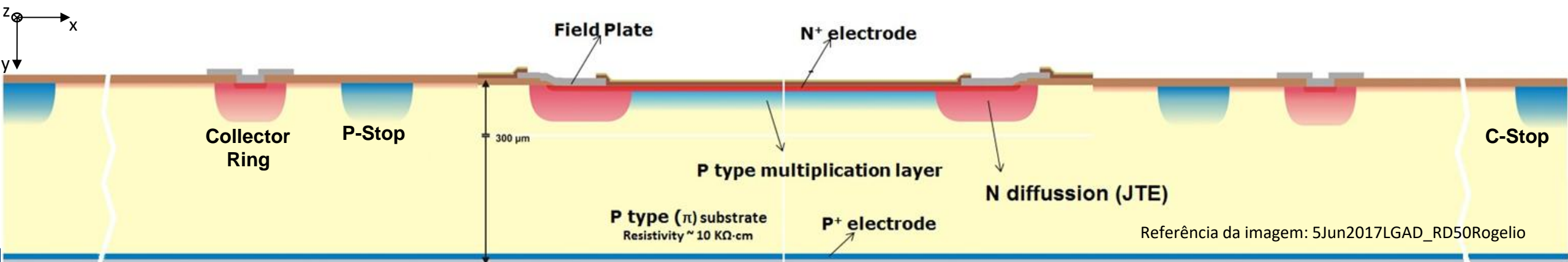
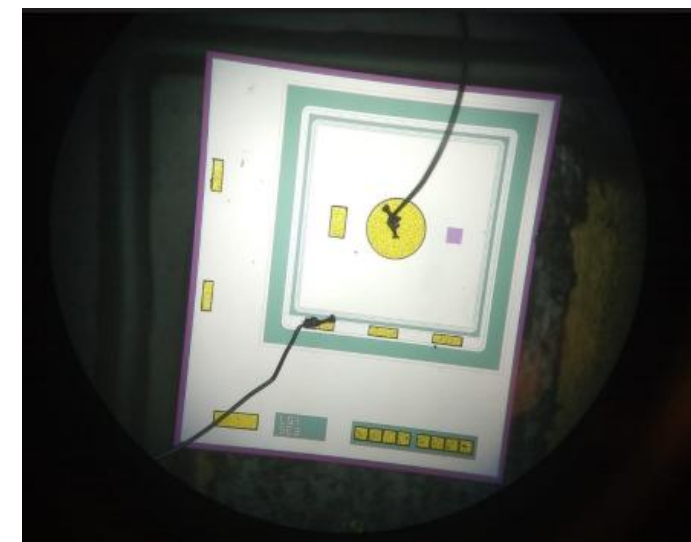
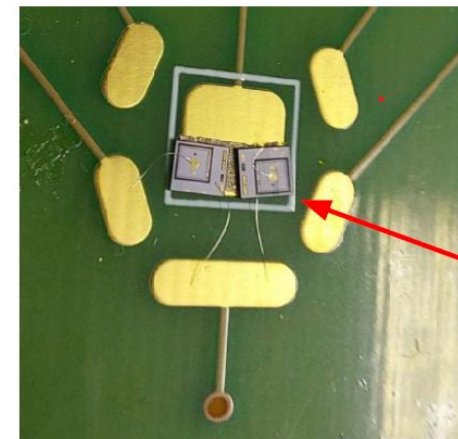
1. Objetivo
2. Introdução;
3. **Estrutura do dispositivo;**
4. Metodologia;
5. Resultados Preliminares.

Dispositivo de estudo

Layout do LGAD - Modelo HPK (Hamamatsu Photonics, Japan)

Layout do LGAD – Modelo HPK 3.2 single-pad

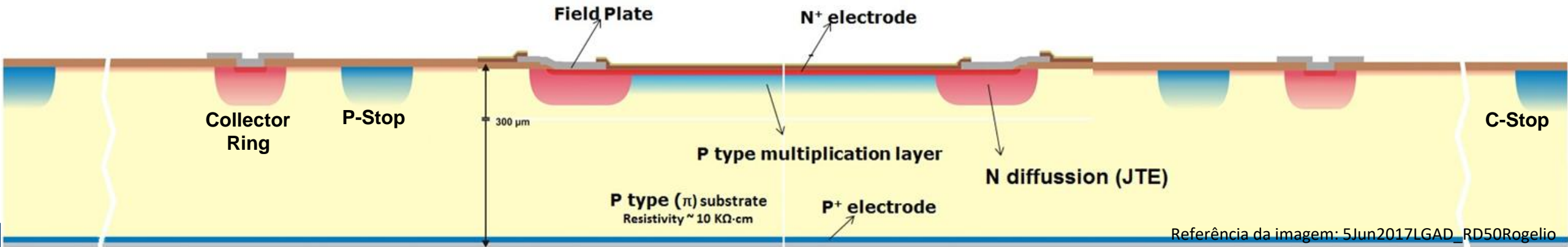
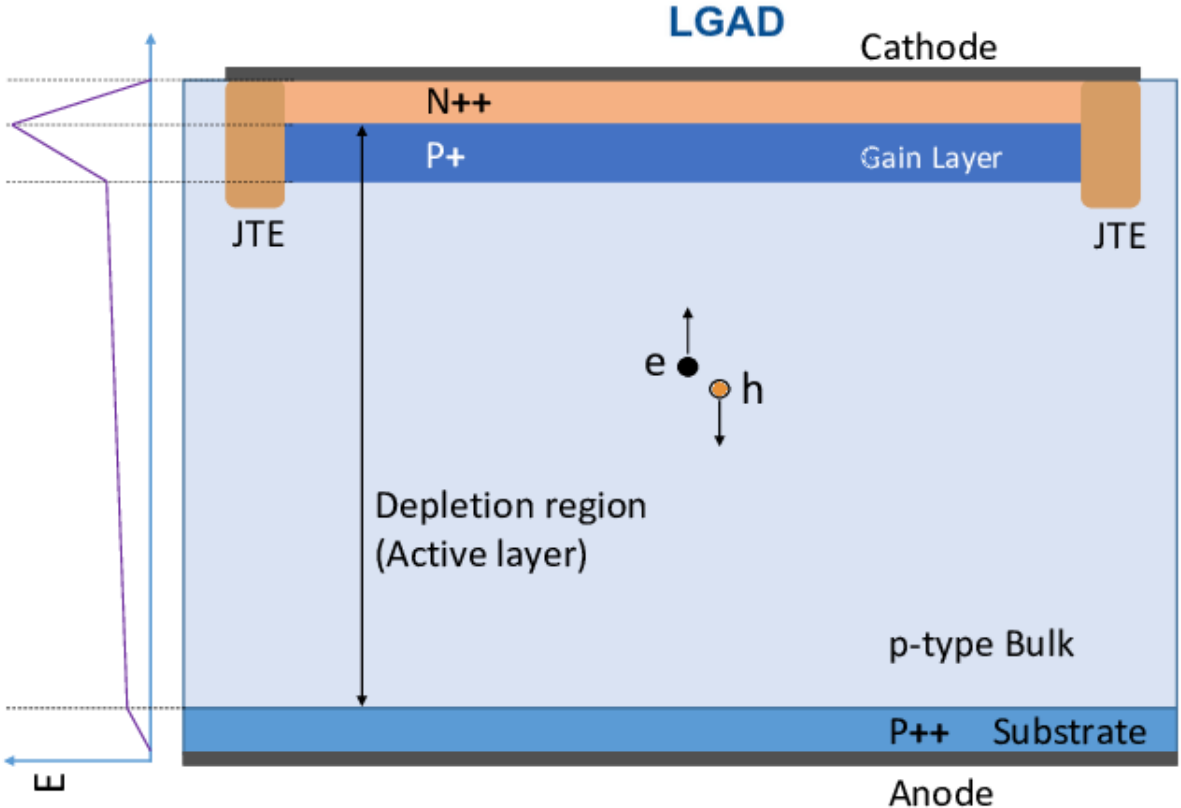
- Área 1,3 mm x 1,3 mm ;
- Profundidade ativa de 50 μ m;
- Implante na camada de ganho de 25 μ m de profundidade;
- 1 μ m de espessura;
- $G = 20$;
- $E_m \sim 300$ kV/cm



Layout do LGAD

A estrutura de um *single-pad* de LGAD é constituída basicamente por:

- Camada de Multiplicação tipo P;
- Anel de Guarda;
- Terminação de Extensão de Junção JTE .



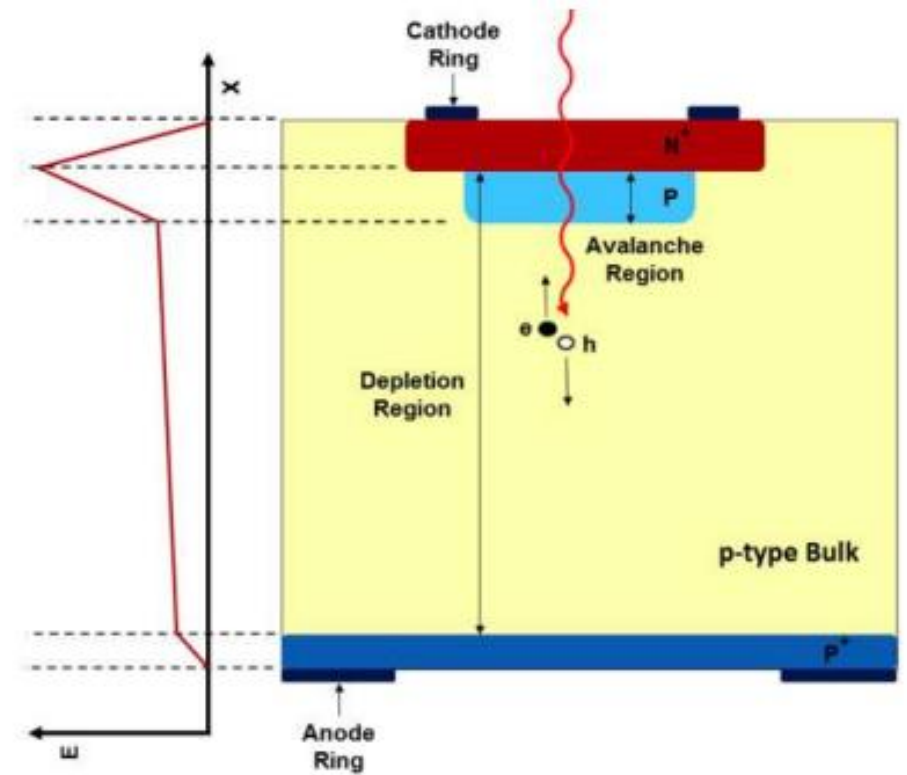
Referência da imagem: 5Jun2017LGAD_RD50Rogelio

Camada de Multiplicação tipo-P

A função da camada de ganho ou de multiplicação é aumentar a intensidade do campo elétrico, promovendo a multiplicação por avalanche.

Essa camada tem uma dopagem específica de $\sim N_A = 2.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$.

É necessário um campo elétrico que esteja por volta de 250kV/cm a 300kV/cm, para atingir uma taxa de ionização considerável para os elétrons.

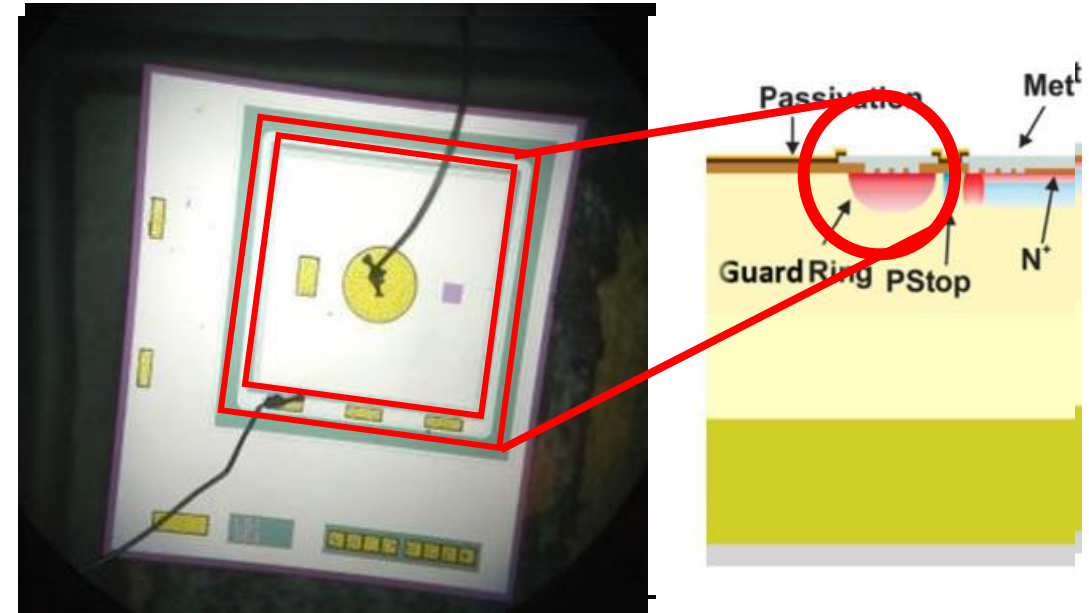


Anel de Guarda

Estrutura de proteção, usada para evitar o “vazamento” de corrente ao redor da junção semicondutor.

É construído como um semicondutor tipo n fortemente dopado, ligado para o mesmo potencial de terra do eletrodo coletor de carga.

Usada para diminuir a fuga de corrente ao redor da junção, causadas pelas impurezas ou defeitos da estrutura. Isso tem algumas causas, como diminuição da eficiência do diodo.

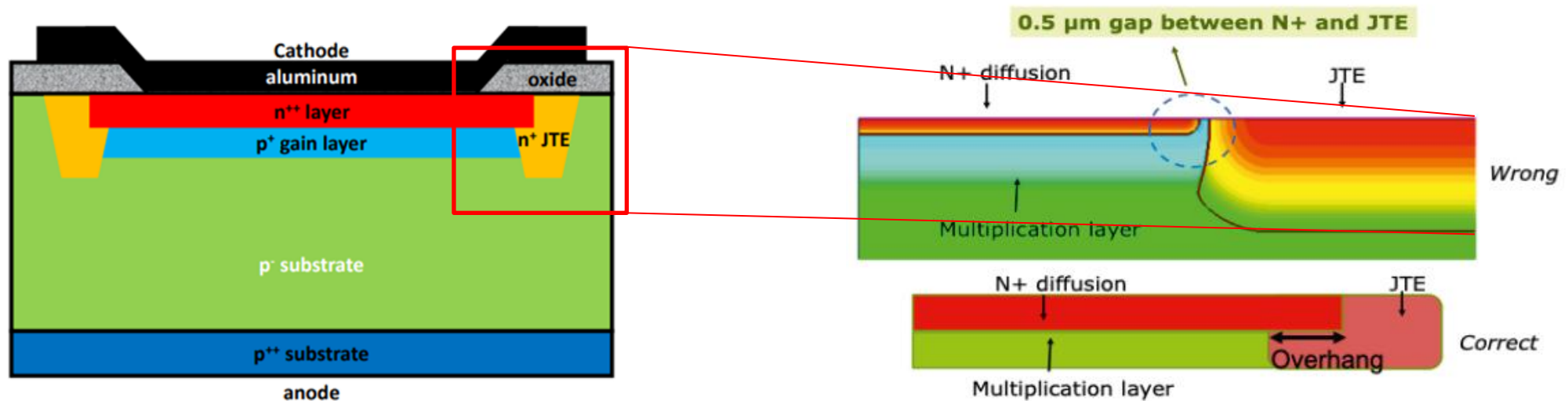


Terminação de Extensão de Junção (JTE)

A região de ganho é cercado por um implante n^{++} profundo, chamado de JTE.

Responsável por garantir que os pares e-h gerador por partículas que colidem com a região entre os blocos não atinja a camada de ganho. Para evitar desvio de carga fora da área ativa projetada para alcançar os eletrodos de coleta;

Delimita a área ativa do sensor para as regiões onde o implante de ganho está presente.



SUMÁRIO

1. Objetivo
2. Introdução;
3. Estrutura do dispositivo;
4. **Metodologia;**
5. Resultados Preliminares;

Metodologia

Três tipos de caracterizações elétricas foram efetuadas: Medidas de capacitância em função da tensão (C-V); Corrente direta do diodo em função da tensão ($I_d \times V$); Corrente reversa em função da tensão ($I_{rev} \times V$). Essas caracterizações foram feitas antes e após três etapas de exposição à uma fonte raios X de com energia efetiva de 10 keV.

- **Etapas de irradiação**

TID(I)	10 krad	28krad/h (Si)
TID(II)	89 krad	60 krad/h (Si)
TID(III)	333 krad	115 krad/h (Si)

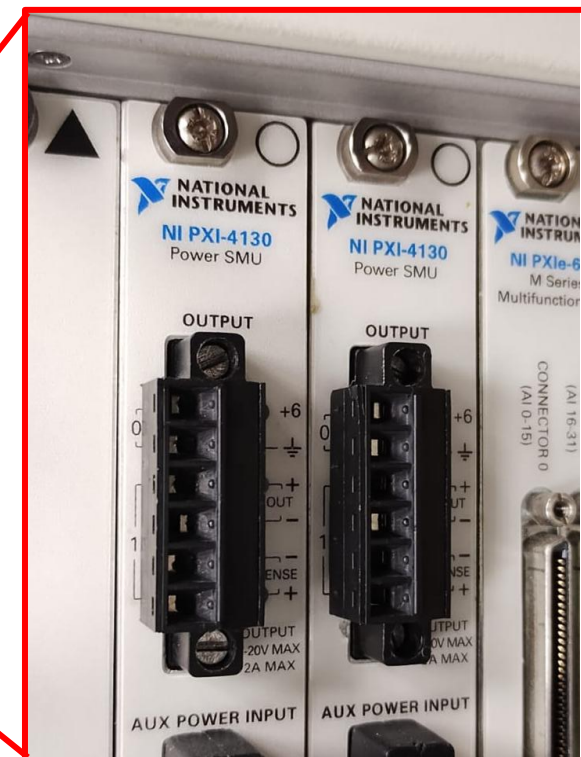
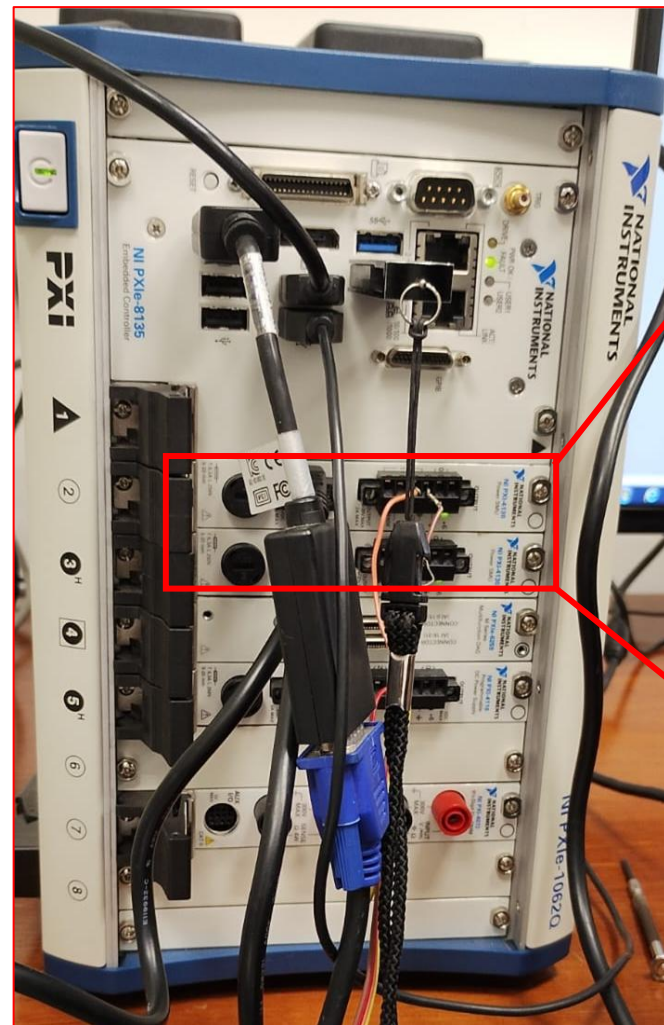


Caracterização da corrente direta

Caracterização do LGAD utilizando a infraestrutura de teste do Laboratório de Efeitos da Radiação Ionizante (LERI) da FEI.

Durante o processo de irradiação, foi utilizado a NI PXIe-8135 com a SMU 4130, para extrair as curvas de corrente direta.

Tensão usada: VD de 0- 0,9 V



Caracterização da corrente reversa e da CV

Caracterização do LGAD utilizando a infraestrutura de teste do Laboratório de Microeletrônica da FEI, antes e após cada fase de teste de radiação.

Com o auxílio do equipamento Keithley 4200 – SCS, foi possível extrair as curvas características de capacitância e corrente reversa, antes e após a cada fase de teste de radiação.

Irev x V

VD 0 à -200V

CV

Frequência de 1 e 3 MHz

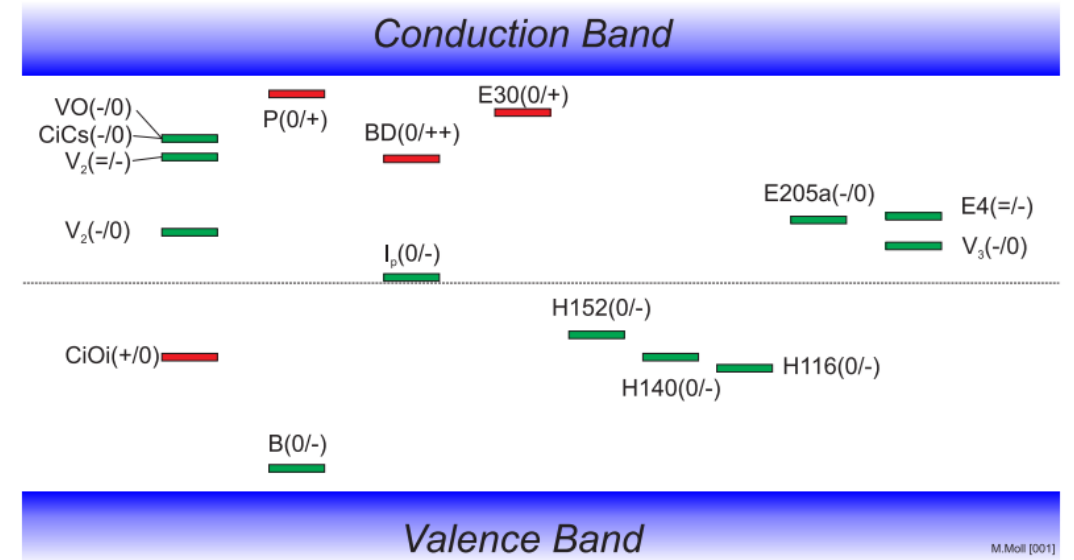
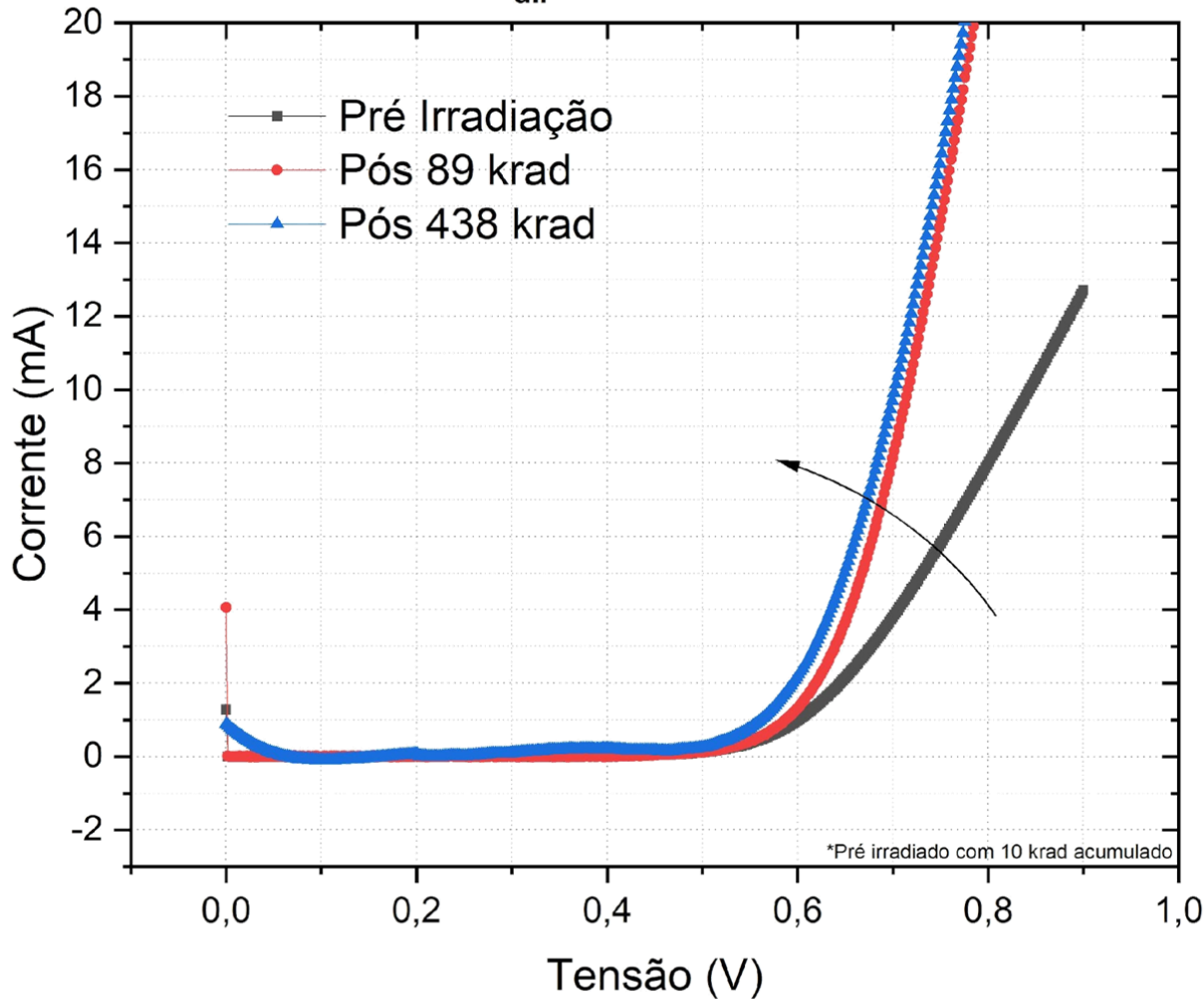
Vpp = 30 mV

VD de 0,4 à -30V



Resultados e Análise

$I_{dir} \times V - LGAD$

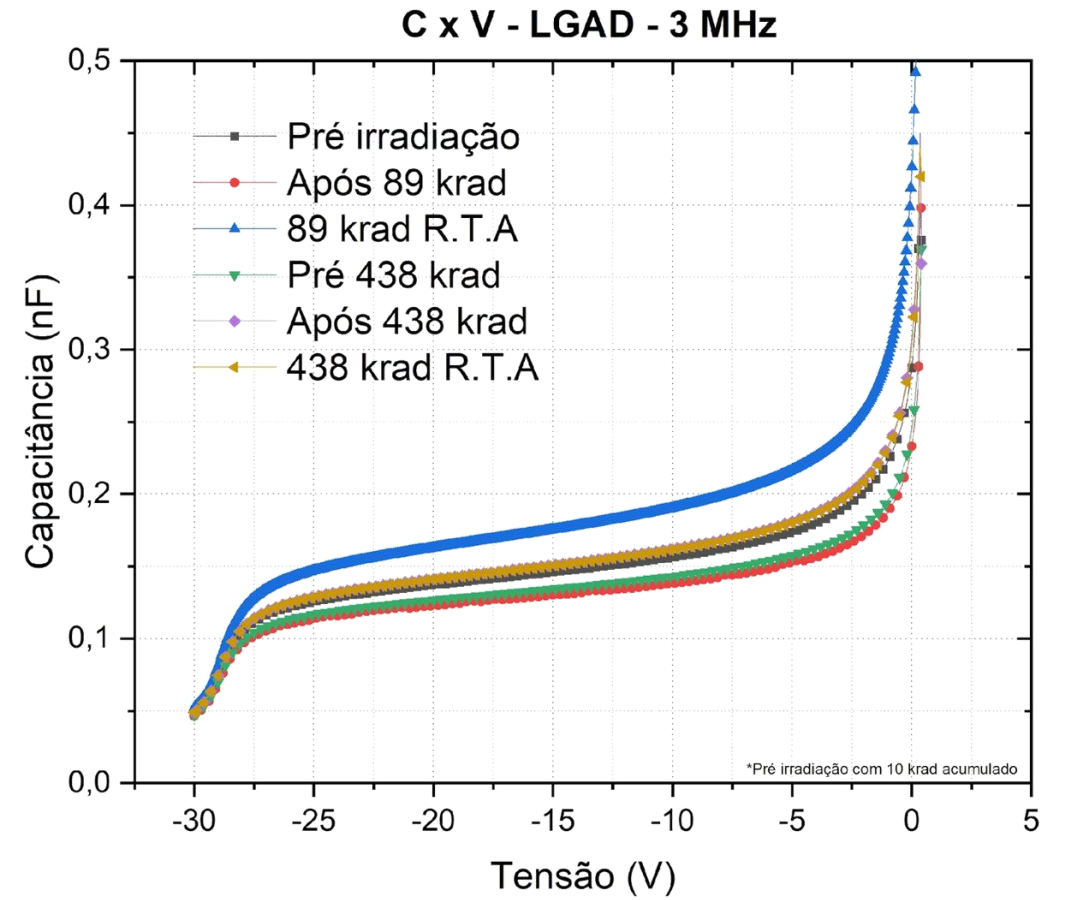
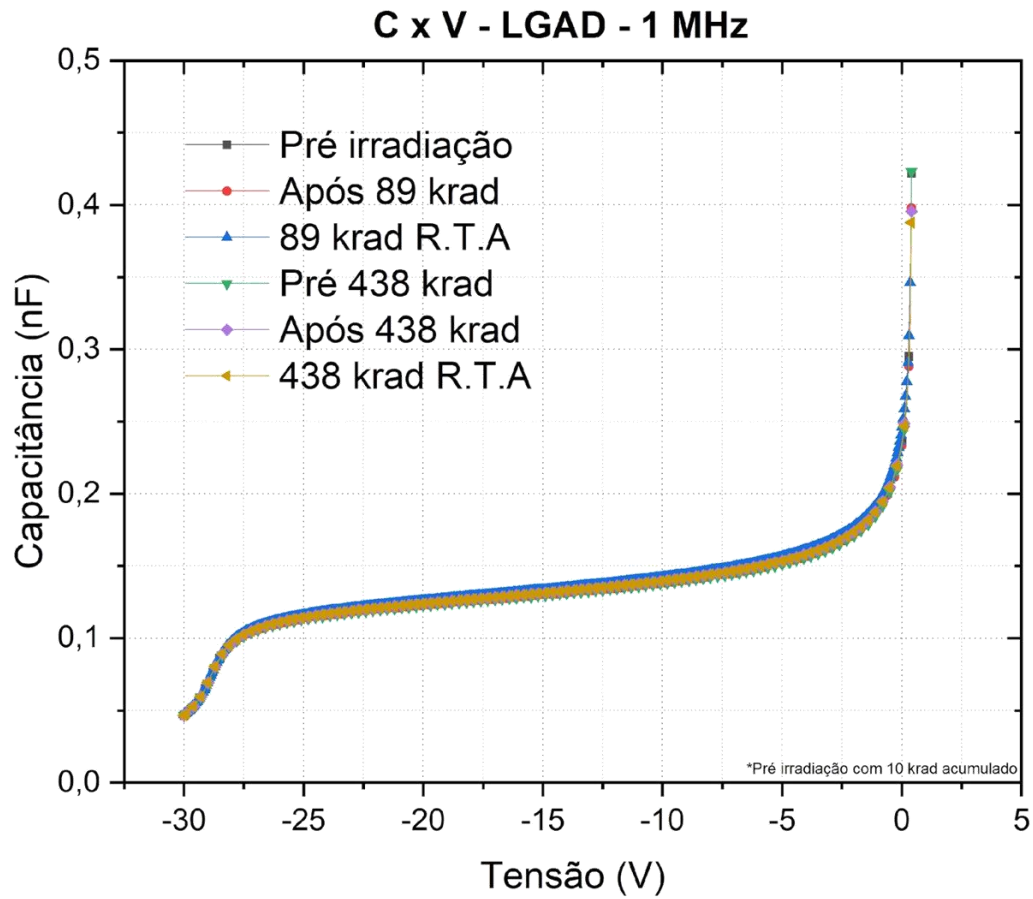


O deslocamento da curva não está diretamente relacionada aos danos no funcionamento do diodo como sensor, apenas nos mostra os danos causados nas interfaces energeticas do material.

Gráficos de $I_d \times V_d$ durante as três irradiações.

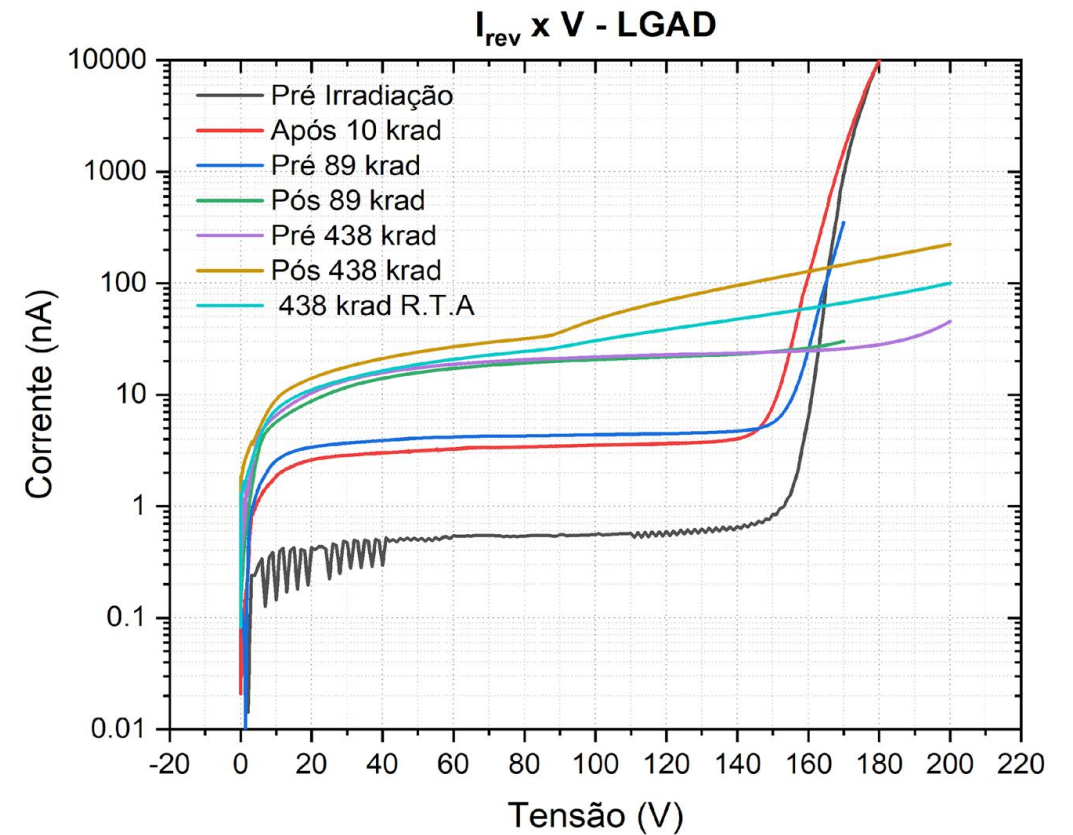
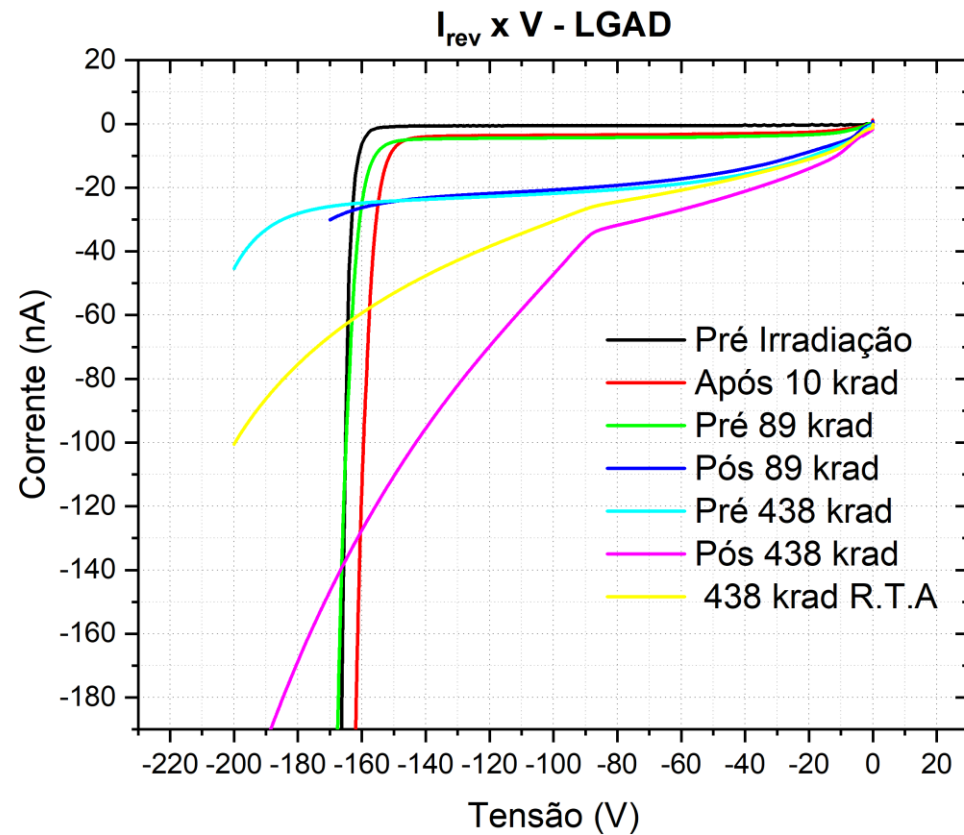
*Pré Irradiado com 10 krad acumulado

Resultados e Análise



Gráficos de capacitância antes e após todas as irradiações

Resultados e Análise



Gráficos de corrente reversa antes e após as três irradiações

É observado que, a partir de 89 krad acumulados, o dispositivo para de operar como um LGAD e passa a ter comportamento de um diodo PIN. Adicionalmente, a partir desta dose acumulada, não se tem uma avalanche bem definida.

Conclusões e Etapas futuras

- O detector LGAD degradou por volta dos 89 krad de dose total de ionização, perdendo sua funcionalidade como LGAD e passando a operar como diodo PIN.
- A “ressonância” em 3 MHz altera a curva de capacitância refletindo o comportamento do dispositivo devido a absorção de dose ionizante total – TID, ou seja, cargas móveis.
- Ocorreu uma grande degradação da corrente reversa após a influência da radiação. Logo, será importante refazer os testes com taxas de doses acumuladas menores, para que possamos analisar com mais precisão esta degradação.
- SMU com maior precisão em corrente e maior capacidade de polarização reversa para verificar o comportamento do dispositivo durante o envelhecimento com raios X.

OBRIGADA!

REFERÊNCIAS

- [1] Doblaz Moreno, Albert. Low Gain Avalanche Detectors (LGADs and iLGADs) for High-Energy Physics and Synchrotron Applications, 2022.
- [2] FERRERO, M. et al. An Introduction to Ultra-Fast Silicon Detectors. Boca Raton: CRC Press, 2021. ISBN 9781003131946. p.39.
- [3] ZHAO, M. et al. Low Gain Avalanche Detectors with good time resolution developed by IHEP and IME for ATLAS HGTD project. Nuclear instruments & methods in physics research. Section A, Accelerators, spectrometers, detectors and associated equipment, v. 1033, n. 166604, p. 166604, 2022.
- [4] SAITO, G. et al. Layout and performance of HPK prototype LGAD sensors for the High-Granularity Timing Detector. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, v. 980, p. 164379, 11 2020. ISSN 01689002.
- [5] Jordan, E. C., & Balmain, K. G. (2000). Electromagnetic Waves and Radiating Systems (2nd ed.). Prentice Hall.