

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação será disponibilizado
somente a partir de 29/09/2024.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE
MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA**

Sabin Miguel Alves

**Desenvolvimento de dispositivo para avaliação de
parâmetros radiométricos de feixes de radiodiagnóstico**

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu, como requisito para Exame Geral de Qualificação, nível Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Pesquisa e Desenvolvimento: Biotecnologia Médica.

Orientador: Prof. Associado Dr. Marco Antonio Rodrigues Fernandes

**Botucatu
2023**

Sabin Miguel Alves

Desenvolvimento de dispositivo para avaliação de
parâmetros radiométricos de feixes de radiodiagnóstico

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu, como requisito para Exame Geral de Qualificação, nível Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Pesquisa e Desenvolvimento: Biotecnologia Médica.

Orientador: Prof. Associado Dr. Marco Antonio Rodrigues Fernandes

Botucatu
2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: MARIA CAROLINA A. CRUZ E SANTOS-CRB 8/10188

Alves, Sabin Miguel.

Desenvolvimento de dispositivo para avaliação de
parâmetros radiométricos de feixes de radiodiagnóstico /
Sabin Miguel Alves. - Botucatu, 2023

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina de
Botucatu

Orientador: Marco Antonio Rodrigues Fernandes
Capes: 30901030

1. Radiação - Dosimetria. 2. Diagnóstico radioscópico.
3. Raios X.

Palavras-chave: Dosimetria; Radiodiagnóstico; Raios X.

A minha esposa Camila.

Agradecimentos

Ao maior de todos os Mestres que desenvolveu e otimizou a vida.

A minha amada **Camila**, meus filhos **Heitor** e **Alícia**.

Ao meu orientador **Prof. Associado Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes**, que teve paciência e novamente mostrou que a Física deve ser usada para melhorar a qualidade de vida das pessoas.

A Profa. Dra. Luciana Del Rio Pinotti da Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba (FMVA) da UNESP pela disponibilização dos equipamentos de radiologia e disposição na colaboração desta pesquisa.

A Profa. Titular Dra. Sheila Canavese Rahal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da UNESP de Botucatu pela disponibilização dos equipamentos de radiologia e disposição na colaboração desta pesquisa.

A Profa. Dra. Bianca de Fátima Pinheiro pelos conselhos, sugestões e ajuda com o trabalho.

Ao Prof. Dr. Michel de Campos Vettorato pelo tempo disponibilizado para auxílio nos testes e análises das medidas efetuadas.

Ao Técnico Rodrigo de Miranda Fernandes pela colaboração e auxílio durante as medidas e análises dos parâmetros radiométricos estudados.

A empresa Nucleata Radiometria pela cessão dos instrumentos e equipamentos de dosimetria utilizados nesta pesquisa.

A empresa Cecalvet, Centro Clínico de Análises Laboratorial Veterinário, por ceder o equipamento de Raio X para testes.

Resumo

O trabalho apresenta uma metodologia para desenvolvimento de um dispositivo eletro-eletrônico de medidas de parâmetros radiométricos (kVp, dose e tempo de exposição).

O dispositivo sensor, amplificador, analisador que melhor respondeu às exposições radiológicas realizadas durante os testes foi o elemento sensor do tipo fotodiodo do tipo PIN, modelo BPW34. O elemento sensor foi conectado ao circuito eletrônico do dispositivo através de conector do tipo BNC e cabo apropriado com malha isoestática onde o módulo de encapsulamento foi de alumínio.

O circuito amplificador utilizado foi do tipo OPA 128, devido a sua vantagem quanto a alta imunidade a ruídos externos comuns na instrumentação nuclear. O Trabalho apresenta uma descrição do processo de funcionalidade dos componentes eletrônicos usados na pesquisa, tais como os conceitos de materiais semicondutores e sua interação com a radiação, bem como a eletrônica necessária para projeto e montagem do dispositivo.

Os ensaios para validação da efetividade do uso do dispositivo de medidas de radiações desenvolvido foram realizados em equipamentos de radiologia convencional e equipamentos de radiologia intervencionistas (arco cirúrgico).

Os resultados das medidas efetuados mostraram-se satisfatórios quanto à radiação: sinal incidente e curva resposta para as faixas energéticas disponíveis nos equipamentos de radiologia analisados.

O estudo mostrou que para consolidação da aplicabilidade do dispositivo desenvolvido, e da melhoria da sua *performance*, na rotina dos ensaios de Controle de Qualidade dos parâmetros radiométricos exigidos pelos órgãos fiscalizadores da área das radiações ionizantes, são necessários ajustes de correlações e calibração em função da faixa energética dos feixes de radiações ionizantes analisados.

Palavras-chave: Controle de Qualidade; Dosimetria; Parâmetros Radiométricos; Radiodiagnóstico; Raios X.

Abstract

The paper presents a methodology for developing an electro-electronic device for measuring radiometric parameters (kVp, dose and exposure time).

The sensor, amplifier and analyzer device that best responded to the radiological exposures carried out during the tests was the PIN-type photodiode sensor element, model BPW34. The sensing element was connected to the device's electronic circuit using a BNC connector and an appropriate cable with an isostatic mesh and an aluminum encapsulation module.

The amplifier circuit used was the OPA 128 type, due to its advantage in terms of high immunity to external noise common in nuclear instrumentation. The paper presents a description of the process of functionality of the electronic components used in the research, such as the concepts of semiconductor materials and their interaction with radiation, as well as the electronics needed to design and assemble the device.

Tests to validate the effectiveness of using the radiation measurement device developed were carried out on conventional radiology equipment and interventional radiology equipment (surgical arc).

The results of the measurements were satisfactory in terms of the relationship between the incident signal and the response curve for the energy ranges available in the radiology equipment analyzed.

The study showed that in order to consolidate the applicability of the device developed, and to improve its performance, in the routine of Quality Control tests of the radiometric parameters required by the supervisory bodies of the area of ionizing radiations, correlation adjustments and calibration are necessary according to the energy range of the ionising radiation beams analyzed.

Keywords: X-rays; Radiometric Parameters; dosimetry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A primeira radiografia.....	11
Figura 2: Diagrama de bandas de um semiconductor intrínseco	18
Figura 3: Diagrama de um fotodiodo PIN.	22
Figura 4: Fotodiodo BPW34.	22
Figura 5: Diagrama de configuração de um A.O.	23
Figura 6: Amplificador Operacional LM358 e diagrama de terminais.....	24
Figura 7: As três etapas do projeto separadas	26
Figura 8: Componentes do sistema detector/analizador	26
Figura 9: Amplificador Operacional OPA 128.	27
Figura 10: Circuito Amplificador.	28
Figura 11: Equipamentos usados durante teste.....	31
Figura 12: Cabeçote emissor de raios X e Sensor.....	32
Figura 13: Arranjo experimental de testes	33
Figura 14: Curva negativa com tempo de 300ms no osciloscópio.	34
Figura 15: Equipamento arco cirúrgico instalado no CEMPAS da FMVZ e usado neste trabalho.....	35
Figura 16: Curva pulsada característica captada no osciloscópio	36
Figura 17: Montagem para experimento n°3	42
Figura 18: Técnica utilizada durante experimento n°4	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores nominais e medidos obtidos durante o Experimento nº 01:.....	36
Tabela 2: Valores nominais e medidos obtidos durante o Experimento nº 02:.....	40
Tabela 3: Valores nominais e medidos obtidos durante o Experimento nº 03:.....	43
Tabela 4: Valores nominais e medidos obtidos durante o Experimento nº 04:.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tempo Nominal versus Tempo medido no osciloscópio.....	39
Gráfico 2: kVp Nominal versus Tensão na saída do amplificador.....	39
Gráfico 3: Tempo Nominal versus Tempo medido no dispositivo.....	41
Gráfico 4: Tempo Nominal versus Tempo medido no dispositivo.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos.....	10
1.2 Justificativa.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Breve Histórico sobre raios X.....	11
2.2 Primeiros efeitos nocivos dos raios X	12
2.3 Aplicações dos raios X na medicina e sua legislação	12
2.4 Programa de qualidade em raios X convencionais	14
2.5 Equipamentos usados em controle de qualidade de aparelhos de raios X	15
2.5.1 Detectores de Radiação	15
2.5.2 Fatores determinantes para a escolha de um detector.....	16
2.6 Origem dos materiais semicondutores	17
2.6.1 Bandas de energia.....	18
2.6.2 Buracos ou vacâncias.....	18
2.6.3 Impurezas	19
2.6.4 Junção PN	20
2.7 Fotodiodo	20
2.8 Eficiência Quântica.....	21
2.9 Fotodiodo tipo PIN.....	21
2.10 Amplificadores Operacionais	22
2.11 Microcontroladores.....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 – Componentes do sistema sensor/detector	26
3.2 – Estudo do Algoritmo de Análise dos Sinais	29
3.3 - Ensaio/Experimentos Radiométricos Realizados	30
3.3.1 Ensaio/Experimento Radiométrico nº 01:.....	30
3.3.2 Ensaio/Experimento Radiométrico nº 02:.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES:	36
5. CONCLUSÕES.....	45
6.REFERÊNCIAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

O aumento do uso das radiações ionizantes na medicina como principal instrumento de diagnóstico, nos mais variados tipos de doenças, fez com que agências reguladoras internacionais e nacionais tomassem medidas para estabelecer critérios para uso, armazenamento e posse de fontes de radiação, assim, controlando o risco de exposições desnecessárias da população e ocupacionais (CNEN, 2014; CNEN, 2012).

Mais recentemente, a ANVISA promulgou a Resolução RDC nº 611, de 09/03/2022, incluindo novos testes para o programa de controle de qualidade (TCQ) que devem ser realizados periodicamente nos equipamentos de radiologia, além de inserir no rol de equipamentos de diagnóstico por imagem que necessitam da execução dos TCQs, os equipamentos de ressonância magnética e ultrassonografia (BRASIL, 2019).

Os dispositivos de medição utilizados na rotina dos trabalhos de radiometria e controle de qualidade, na sua grande maioria, são importados e de custo elevado. Além disso, os fabricantes não fornecem as informações necessárias para a manutenção destes equipamentos, os quais, quando apresentam defeitos, são descartados inviabilizando a continuidade dos trabalhos (ALVES, 2013).

O preço alto destes dispositivos encarecem os serviços de radioagnóstico na realização dos testes do controle de qualidade dos feixes de radiação, assim, serviços de saúde, como pequenos postos em regiões de difícil acesso, ficam impossibilitados de possuírem um serviço de diagnóstico por raios X, muitas vezes por escassos recursos, tanto para adquirir os aparelhos como também na sua manutenção (ALVES, 2013).

A adoção de um programa de qualidade de imagem de raios X se torna importante para que, com o mínimo de radiação possível, se obtenha uma imagem que permita um diagnóstico preciso (HUPE, 2011). O objetivo principal do radiodiagnóstico é ser uma ferramenta de diagnóstico exato sobre a doença, e uma imagem de qualidade ruim faz com que o radiodiagnóstico fique desacreditado (DIXON, 2003; NAGEL, 2000).

O presente trabalho pretende desenvolver um dispositivo detector de radiação eletroeletrônico microprocessado capaz de analisar o comportamento dos parâmetros radiométricos dos feixes de radiação usados no radiodiagnóstico. Através do dispositivo a ser desenvolvido será possível avaliar a qualidade na geração da

radiação X em uma única exposição por meio dos parâmetros: tensão aplicada no tubo, tempo de exposição, dose e taxa de dose de radiação.

1.1 Objetivos

Estudar o comportamento dos parâmetros radiométricos (energia, tempo de exposição, dose de radiação, taxa de dose) de feixes de raios X usados na radiologia médica.

Analisar as características e condições de respostas de instrumentos de medidas e avaliação de feixes de raios X comumente usados na rotina dos serviços de radiometria.

Desenvolver um dispositivo eletroeletrônico capaz de detectar, processar e indicar os parâmetros radiométricos de feixes de raios X em um display, que seja constituído por componentes nacionais, de fácil manuseio e custo inferior aos preços praticados no mercado.

1.2 Justificativa

Os dispositivos de medição utilizados na rotina dos trabalhos de radiometria e controle de qualidade, na sua grande maioria, são importados e de custo elevado. Além disto, os fabricantes não fornecem as informações necessárias para a manutenção destes equipamentos, os quais, quando apresentam defeitos, são descartados inviabilizando a continuidade dos trabalhos.

O alto custo destes dispositivos, encarece os serviços de radioagnóstico na realização dos testes de controle de qualidade dos feixes de radiação, assim, serviços de Saúde como pequenos postos em regiões de difícil acesso ficam impossibilitados de possuírem um serviço de diagnóstico por raios X, muitas vezes por escassos recursos tanto para adquirir os aparelhos, como também na sua manutenção.

O estudo de novas tecnologias, com materiais nacionais, podem facilitar o acesso e possibilitar alternativas para baixar custos de dispositivos de medição utilizados nos procedimentos de radiometria.

Os custos de materiais e insumos utilizados para o desenvolvimento do dispositivo foi de aproximadamente R\$ 1.900,00 (um mil e novecentos reais). Um instrumento detector de uso comercial na rotina dos serviços de radiometria, que faz análises dosimétricas similares varia entre R\$ 17.000,00 (dezesete mil reais) a R\$ 25.000,00 (vinte e cinco mil reais), dependendo do fabricante e do modelo operacional. Estes instrumentos de medida são de tecnologia estrangeira e sua aquisição varia em função da cotação da moeda do país de origem.

5. CONCLUSÕES:

Os resultados das medidas realizadas para análise da sensibilização e resposta do conjunto sensor/amplificador/analizador desenvolvido neste trabalho, mostraram-se satisfatórios para os parâmetros radiométricos estudados: tensão de energia (kVp) e tempo de exposição da radiação (s), para os tipos de equipamentos de radiologia utilizados nos experimentos e faixas de energias analisadas, mas desde que a uma distância diferente do comumente usado na rotina.

Fica como sugestão mudanças na etapa de amplificação aumentando a sensibilidade e acrescentando outros métodos de filtragem de sinal para que não aconteça medições aleatórias assim adequando para os métodos comumente usados na medições e aumentando seu apelo comercial.

Para a análise de dose e taxa de dose de radiação também faz-se necessário novos estudos e ajustes do conjunto sensor/amplificador/analizador, que possa apresentar de forma direta no display do dispositivo os valores destes parâmetros.

Após as modificações sugeridas e com o baixo custo de desenvolvimento do dispositivo sensor/amplificador/analizador frente aqueles preços dos detectores de similar aplicação, aliado à tramitação de documentação exigida para a importação destes, viabiliza o seu uso na rotina dos serviços de radiometria, principalmente em regiões e usuários de pouco poder aquisitivo e recursos financeiros limitados. Este fato pode incentivar a aquisição do sensor desenvolvido, pelas próprias clínicas de radiologia, o que proporcionaria maior agilidade no atendimento das exigências dos órgãos de vigilância sanitária no tocante à manutenção das licenças de funcionamento das clínicas.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). RDC 20 de 02/02/2006. Estabelece o **Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia, visando a defesa da saúde dos pacientes, dos profissionais envolvidos e do público em geral**. Brasília. 2006.

ÁLVARES, Luiz Casati e TAVANO, Orivaldo. Curso de radiologia em odontologia. . São Paulo: Editora Santos. Acesso em: 10 jul. 2023. , 2009.

ALVES, S. M. **Desenvolvimento de dispositivos para testes de controle de qualidade em equipamentos de raios X**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso: Engenharia de Mecatrônica). Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – UniSalesiano, Araçatuba. 2013.

BOYLESTAD, Robert L. – **Dispositivos Eletroeletrônicos e teoria de circuitos** – Prentice Hall/Pearson, 10^a. Ed, 2004

BRASIL, Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº. 611 de 09/03/2022. - **Estabelece os requisitos sanitários para a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista e regulamenta o controle das exposições médicas, ocupacionais e do público decorrentes do uso de tecnologias radiológicas diagnósticas ou intervencionistas**. Brasília, 2022. Disponível em: www.anvisa.gov.br. Acesso em: 13 jul. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº. 440 de 18/11/2020. – **Altera a RDC nº. 330 de 20/12/2019 que dispõe sobre a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista**. Brasília, 2020. Disponível em www.anvisa.gov.br. Acesso em: 13 jul. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº. 330 de 20/12/2019. - **Estabelece os requisitos sanitários para a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista e regulamenta o controle das exposições médicas, ocupacionais e do público decorrentes do uso de tecnologias radiológicas diagnósticas ou intervencionistas**. Brasília, 2019. Disponível em www.anvisa.gov.br. Acesso em: 13 jul. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria Nº. 453 de 01/06/1998. Aprova o **Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios X diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências**. Brasília, 1998. Disponível em www.anvisa.gov.br. Acesso em: 13 jul. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Radiodiagnóstico médico: segurança e desempenho de equipamentos**. Brasília: Editora Anvisa; 2005. p. 83–96.

BRASIL, Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Guia de Procedimentos para Segurança e Qualidade de Imagem em Radiodiagnóstico Médico Resolução nº 64.** 4 de abril de 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Manual de Segurança Radiológica. **Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança / Ministério da Saúde**, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BUSHONG, S. C. **Ciência radiológica para tecnólogos: física, biologia e proteção radiológica.** 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

BRUM, J.A. **História dos Semicondutores.** José Antônio Brum, 2023. Disponível em: https://sites.ifi.unicamp.br/brum/files/2014/01/FI_JAB_1s2012_P1_Ch2_Historia.pdf. Acesso em 10 set. 2023.

CARLOS, M. L. **História do Arduino (MIC571)**, 16 jun. 2021. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontroladores/138-atmel/18422-historia-do-arduino-mic571.html>. Acesso em: 04 mar. 2023.

Computadorizada a partir da Extração de Dados do Cabeçalho DICOM. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 12, n. 3, p. 35-38, 2018.

CIPELLI, Antonio Marco. **Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos.** 23. ed. São Paulo: Érica, 2007.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.** Rio de Janeiro: CNEN, 2014. 22p. (CNEN NN 3.01).

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Resolução nº. 130 de 31/05/2012. **Dispõe sobre os requisitos necessários para a segurança e a proteção radiológica em Serviços de Radioterapia.** Rio de Janeiro. CNEN, 2012, 18 p. Disponível em: http://memoria.cnen.gov.br/Doc/pdf/Legislação/RS_CNENCD_130_2012.pdf

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Apostilas Educativas – Energia Nuclear e suas Aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012.

COSTA, F. **História do Arduino – como surgiu esta incrível plataforma de prototipagem eletrônica,** 2019. Disponível em: <https://fabiocosta.net/arduino/historia-do-arduino/>. Acesso em: 11 mar. 2023

DIXON, R. L. A. new look at CT dose measurement: beyond CTDI. **Medical physics**, v. 30, n. 6, p. 1.272-1.280, 2003.

FERNANDES, M. A. R. **Metodologia para Determinação da Carga de Trabalho Efetiva em Equipamentos de Teleterapia. Proposta para Otimização das Blindagens da Sala de Radioterapia Veterinária.** Tese (Livre Docência) –

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Faculdade de Medicina de Botucatu, Botucatu, 2018.

FREITAS, J. F. L. de. **Comunicações Ópticas**: Detectores Para Comunicação Óptica. Disponível em: www.joaoffl.poli.br/ComunicacoesOpticas/Comunica%E7%F5esOpticas_cap09.pdf. Acesso em: 2 dez. 2020.

HUPE, O.; ANKERHOLD, U. Determination of the dose to persons assisting when X-radiation is used in medicine, dentistry and veterinary medicine. **Radiation protection dosimetry**, v. 144, n. 1-4, p. 478-481, 2011.

INFRARED TRAINING INSTITUTE. Infrared câmera and termal training institute. , c2019. Disponível em: <https://infraredtraininginstitute.com/infrared-thermography-history/willoughby-smith/> Acesso em 10 set 2023.

OKUNO, E.; YOSHIMURA E. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Pontes, A. N. **Técnicas Experimentais** Site disponível em: <https://profpc.com.br/Qu%C3%ADmica%20Nuclear%20x%20F%C3%ADsica%20Nuclear/F%C3%ADsica%20Nuclear/detectores%20radiacao.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

DI PRINZIO, R. *et al.* **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos, Instituto de Radioproteção e Dosimetria**. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 10º revisão, Rio de Janeiro, 2014.

RAYSAFE. **RaySafe ThinX**. Site. Disponível em: <http://www.raysafe.com/en/Products/Equipment/RaySafe%20ThinX>. Acesso em: 18 dez. 2020.

REGO, P. V. **Caracterização de Fototransístor NPN Para Espectrometria do Raio-x**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Na Área De Tecnologias Energéticas Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco. Disponível em: www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=191900. Acesso em: 16 dez. 2020.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA; **REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA** vol 16 1994 <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol16a08.pdf>. Acesso em 10 jul. 2023.

THIEL, C. W. **An Introduction to Semiconductor Radiation Detectors**. Physics Department Montana State University Bozeman Montana, 1999.

TRINDADE, R. S. et al. **Microcontroladores**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Santa Maria, 2013.

VISHAY. Rev. 2.1, 23-Aug-11 Document Number: 81521. Disponível em: <https://br.mouser.com/c/?m=ams%20OSRAM&q=bpw34>. Acesso em 10 set. 2023.