

RaDreader na luminescência opticamente estimulada (OSL): solucionando desafios de precisão e usabilidade

RaDreader in optically stimulated luminescence (OSL): Addressing precision and usability challenges

Marcus Vinícius Almeida Pires¹, Rodrigo de Lazzari², Emilson Viana³, Edgar H Souza⁴,
Anna Luiza Metidieri Cruz Malthez⁵

RESUMO

O trabalho descreve com sucesso o aprimoramento do leitor OSL RaDreader na dosimetria de radiações ionizantes, resolvendo o desafio de sincronização entre estimulação óptica e fotomultiplicadora por meio do desenvolvimento de software personalizado usando o framework Node-RED e a linguagem C. Essas melhorias resultaram em medições mais precisas, reduzindo a margem de erro do RaDreader e tornando-o um sistema mais acessível e eficaz no cenário nacional, abrindo novas perspectivas na área.

PALAVRAS-CHAVE: Dosimetria; Node-RED; OSL; PMT; RaDreader.

ABSTRACT

This work successfully describes the enhancement of the OSL reader RaDreader in ionizing radiation dosimetry, addressing the synchronization challenge between optical stimulation and photomultiplier using custom software development with the Node-RED framework and the C language. These improvements have led to more accurate measurements, reducing the margin of error of the RaDreader and making it a more accessible and effective system on a national scale, opening new perspectives in the field.

KEYWORDS: Dosimetry; Node-RED; OSL; PMT; RaDreader.

1. INTRODUÇÃO

A técnica de Luminescência Opticamente Estimulada (OSL) é usada na dosimetria de radiações ionizantes, particularmente na avaliação de doses em exames de imagem e radioterapia em saúde. Envolve a exposição de um material detector a radiações, estimulação óptica para gerar luminescência proporcional à dose absorvida e o uso de um leitor OSL para avaliar a exposição à radiação.

A UTFPR-CT é pioneira na região Sul do Brasil na aplicação da técnica OSL para apoiar instituições de saúde, como o Hospital Pequeno Príncipe, o Complexo Hospital de Clínicas da UFPR e a Clínica Oncoville Hospital Erasto Gertner. Recentemente, desenvolveu um protótipo de leitor OSL chamado RaDreader no Laboratório de Luminescência Estimulada e Dosimetria (LabLED) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB). Este protótipo enfrentou desafios técnicos, incluindo interferências indesejadas (ruído), em especial, devido a falta de sincronia entre a leitura e a estimulação óptica. Para resolver esses problemas, foram implementadas melhorias

¹ Bolsista do PIBIC e aluno de graduação do curso de Engenharia de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: marcuspires@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3468743778197473.

² Discente do Programa de Pós - Graduação em Física e Astronomia (PPGFA). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

³ Docente do DAFIS e PPGFA da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁴ Discente de graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁵ Docente do DAFIS, PPGEB e PPGFA da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

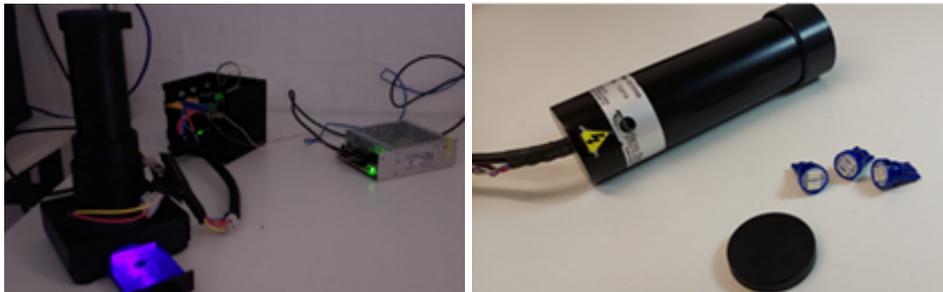
na eletrônica, nos protocolos de controle e aquisição de dados, resultando em medições mais precisas e facilitando a operação do RaDreader.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O RaDreader, desenvolvido pelo LabLED, é um protótipo acessível de leitor OSL que tem como finalidade a medição de doses de radiação que abrangem uma faixa que vai de μGy a Gy em materiais de detecção. A peça-chave desse sistema é a fotomultiplicadora P25-USB. Para realizar a estimulação óptica necessária, o RaDreader emprega LEDs com comprimentos de onda de 450 e 520 nm, os quais são controlados através de um microcontrolador Arduino. Para garantir a precisão das medições e evitar vazamentos de luz que poderiam interferir no processo, o sistema conta com um suporte mecânico impresso em 3D que mantém todos os componentes devidamente alinhados.

O sistema de controle é composto por dois elementos distintos: um aplicativo fornecido pela fabricante da fotomultiplicadora, responsável por controlar o funcionamento da fotomultiplicadora, e um software baseado no ambiente Arduino IDE, que gerencia o processo de estimulação óptica. Para garantir a sincronização entre esses dois módulos, é utilizada uma saída física "USER" do hardware do P25-USB, que é configurada para permanecer ativa durante o período em que o módulo estiver executando as leituras. Esse sinal é então lido por uma entrada no Arduino, que por sua vez ativa os LEDs para a estimulação óptica. Essa abordagem assegura uma operação coordenada do sistema. A Figura 1 mostra o protótipo do leitor OSL RaDreader do LabLED e a a PMT Sens-Tech MODELO P25-USB utilizada no leitor.

Figura 1 - Leitor OSL RaDreader (esquerda) e PMT P25-USB (Sens-Tech) (direita).



Fonte: Autoral

2.1 PROBLEMAS IDENTIFICADOS

A pesquisa abordou a falta de sincronização precisa entre o módulo P25-USB e o processo de estimulação óptica, resultando em imprecisões notáveis, com variações de até 500 milissegundos nas medições. O intervalo entre cada leitura pode ser tão curto quanto 10 milissegundos, o que tornou difícil a determinação exata do momento da emissão do pulso de LED.

No método anterior de coleta de dados, envolvia a análise visual do ponto em que o valor da leitura aumentava significativamente, seguido pela eliminação manual do valor aproximado causado pela estimulação dos LEDs. No entanto, essa abordagem resultava

na perda de leituras críticas, devido à sobreposição desse valor com o ruído gerado pelos LEDs e às margens de erro. Soluções convencionais de software não conseguiam eliminar efetivamente esse ruído.

2.2 SOLUÇÕES E PROPOSTAS

Para abordar as questões de sincronização entre o laser e a fotomultiplicadora, inicialmente pensou-se que o Arduino poderia estar com dificuldades em detectar em tempo real o sinal "USER" da fotomultiplicadora, devido às diversas tarefas que o Arduino executa em seu ciclo de loop. Para solucionar esse problema, foi sugerido o uso de interrupções por meio da função "attachInterrupt" disponível no Arduino. Isso permitiria uma resposta rápida e assíncrona ao sinal "USER". No entanto, ao implementar essa solução, não houve melhorias significativas nos resultados, indicando que o problema não estava relacionado à capacidade do Arduino em receber o sinal.

Em busca de uma solução, foi utilizada uma abordagem diferente, envolvendo a análise da comunicação serial entre o aplicativo e o módulo por meio de um "sniffer serial". Durante essa análise, ficou evidente que o sinal "USER" estava sendo controlado de forma independente em relação às ações da fotomultiplicadora, resultando em imprecisões na sincronização. Portanto, a utilização do sinal "USER" como parte da solução não se mostrou viável para o projeto.

Finalmente, a solução consolidou todo o controle no Node-RED, estabelecendo uma conexão serial direta com o P25-USB. A utilização do Chat GPT simplificou o processo de lidar com as lacunas encontradas na documentação, uma vez que muitos dos dados não estavam formatados de acordo com o padrão ASCII, tornando a interpretação pelo sniffer complicada. Ao coletar uma amostra de comandos em arrays binários e conectá-los aos inputs colocados no aplicativo, o Chat GPT analisou os padrões e apresentou o protocolo de forma detalhada. Com base nessas informações, foi possível desenvolver um software personalizado para atender às necessidades do projeto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente projeto concretiza uma convergência bem-sucedida de sistemas de hardware e software, visando o controle preciso da estimulação óptica e a aquisição de dados.

3.1 ESTIMULAÇÃO ÓPTICA

No contexto do controle da estimulação óptica, realizou-se uma revisão abrangente do código Arduino, com o objetivo de aprimorar sua escalabilidade, organização e precisão. Este código é encarregado de controlar três LEDs utilizados para emitir estímulos luminosos de forma sincronizada com as leituras da fotomultiplicadora. As melhorias implementadas no código incluem:

1. **Protocolo de Comunicação:** Introdução de um protocolo de comunicação otimizado para se adequar ao novo sistema de controle baseado em Node-RED.

2. **Classe Timer:** Incorporação da classe Timer para contabilizar o tempo, evitando possíveis transbordamentos devido ao tamanho limitado do espaço de armazenamento da variável "unsigned long" usada pela função "micros()".
3. **Controle Temporal:** Foi implementado um aprimoramento substancial na gestão do tempo, baseado em cálculos a partir de um registro temporal no início do processo. Isso foi feito para evitar a acumulação de erros, especialmente relacionados ao uso da função "delay()", que não contabiliza o tempo de execução do sistema.

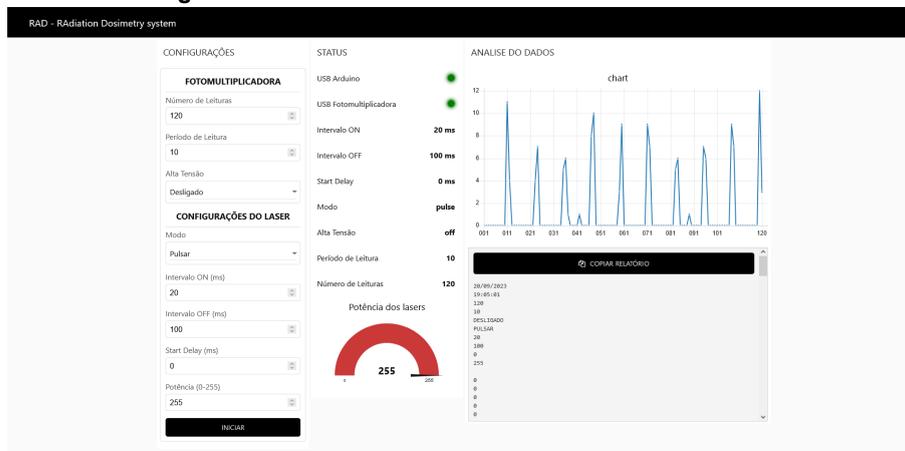
3.2 CONTROLE E INTERFACE DO USUÁRIO

O subsistema orquestrado por Node-RED foi subdividido em dois microsserviços. O primeiro está incumbido da recepção, processamento de dados e do controle dos módulos periféricos, notadamente a estimulação óptica e o dispositivo leitor de sinal óptico luminescente (OSL). O segundo microsserviço concretiza-se como uma dashboard responsiva, concebida para proporcionar controle e visualização de dados em uma interface intuitiva.

A gestão dos módulos externos e o tratamento dos dados obedecem a um arranjo de duas máquinas de estados distintas. Uma delas responde a entradas assíncronas provenientes dos módulos e da dashboard, enquanto a outra administra as configurações do sistema. O sistema, a um sinal proveniente da dashboard, consolida todas as configurações, emula uma lista sequencial de comandos a serem transmitidos sequencialmente aos módulos periféricos e exige a confirmação individual da execução de cada comando antes de prosseguir.

Posteriormente à configuração, o sistema emite um sinal "S" que simultaneamente inicia os módulos P25-USB e o Arduino. Sob tal estado operacional, operações de conversão de dados binários em informações perceptíveis pela fotomultiplicadora são efetuadas, propiciando a coleta de dados em tempo real. Em situações de erro, uma rotina de reinicialização global dos módulos é ativada e um indicador de erro é visualizado na dashboard.

Figura 2 - Interface do usuário do sistema de controle



Fonte: Autoral

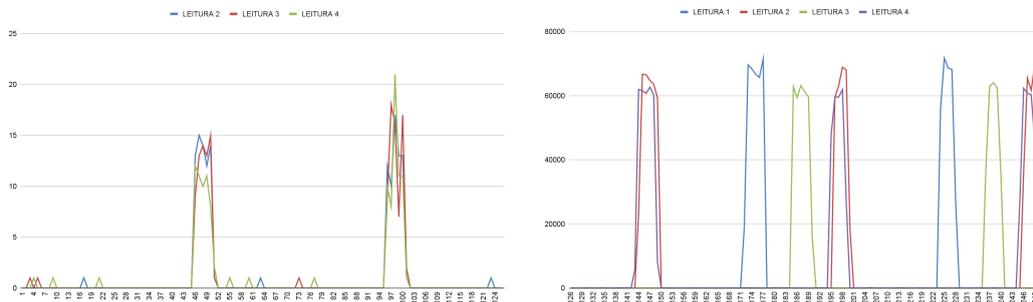
3.3 IMPACTO DAS MODIFICAÇÕES

A análise comparativa dos dados coletados pré e pós-modificações, ambos sob as mesmas configurações, notabiliza o substancial avanço na sincronização dos pulsos luminosos decorrente das alterações implementadas.

No cenário anterior às modificações, os pulsos luminosos exibiam um padrão desorganizado, introduzindo consideráveis complexidades no tratamento e na exatidão das medições. Particularmente, determinar o encerramento preciso do pulso, quando a amostra se encontrava em fase de irradiação, representava um desafio substancial

Na Figura 2, um teste de leitura de 20 milissegundos revela que os pulsos pré-modificações iniciam de maneira aleatória e consideravelmente após o início das leituras devido à alta imprecisão. Consequentemente, o gráfico das leituras pré-modificações é representado a partir da leitura 126, de forma ilustrativa, correspondendo ao ponto em que todas as estimulações efetivamente começaram. Além disso, é pertinente destacar a alteração na coloração dos LEDs empregados, passando do azul para o verde, o que resultou em uma notável redução no valor registrado das leituras, em comparação com os registros anteriores.

Figura 2 - Conjunto de 3 leituras (período de 20ms) com estímulo óptico de 100ms sem material de amostra: Pós-Modificações (Esquerda) vs. Pré-Modificações (Direita)



Fonte: Autoral

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, dedicamos esforços significativos ao desenvolvimento e aprimoramento do sistema RaDreader para dosimetria OSL. Com êxito, superamos desafios técnicos relacionados à sincronização precisa entre a estimulação óptica e a fotomultiplicadora, resultando em melhorias substanciais na precisão das medições. Além disso, também foram implementadas melhorias abrangentes em várias facetas do sistema.

Durante toda essa jornada, a amplitude técnica e a liberdade criativa que a implementação deste projeto ofereceu abriram portas para a exploração de uma ampla gama de conceitos provenientes de diferentes campos da física e da engenharia. Essa experiência se mostrou incrivelmente enriquecedora para o autor. A decisão de utilizar o Node-RED, um framework que ainda não havia sido explorado anteriormente, reflete o compromisso com a busca por soluções inovadoras.

É importante destacar que, para além da resolução do problema principal, foram aplicadas melhorias significativas na experiência do usuário, no tratamento de dados e na praticidade operacional. A interface intuitiva e a gestão eficiente dos módulos externos tornaram o RaDreader mais acessível e confiável.

No contexto mais amplo, a disponibilidade deste sistema aprimorado tem o potencial de ter impactado positivamente a qualidade dos procedimentos relacionados às radiações ionizantes. A acessibilidade e a qualidade oferecidas pelo RaDreader representam um avanço significativo, com benefícios substanciais para a comunidade envolvida nesse campo de pesquisa e aplicação.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos às instituições e pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho de pesquisa. Em especial, quero agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), ao Ministério da Educação, por meio da Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação (DIRPPG) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB) da UTFPR, Campus Curitiba.

Além disso, minha profunda gratidão se estende à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Araucária, por terem concedido bolsas e auxílio financeiro que viabilizaram este projeto.

7. DISPONIBILIDADE DE CÓDIGO

O código desenvolvido não está disponível para terceiros no momento devido a restrições de propriedade intelectual.

8. CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

9. REFERÊNCIAS

R. LAZZARI, et al, Intetcomparison study of sensitivities from comercial OSL and a new developed OSL reader, Oxford, **Radiation Protection Dosimetry**, Volume 199, Issue 8-9, June 2023, Pages 1034–1039, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncad108> , 2023

MARTINS, M. et al. Validação do controle de qualidade em radiocirurgia utilizando folhas detectoras OSL baseadas na fluorita brasileira. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 8, n. 2, 30 jun. 2020.

YUKIHARA, E. G.; MCKEEVER, S. . Optically Stimulated Luminescence. [s.l.] **John Wiley & Sons**, 2011