

DOSÍMETRO COLORIMÉTRICO PARA MONITORAMENTO DE PROTOCOLOS DE DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV-C

NATHAN GUIMARÃES SIQUEIRA¹; KATIA CRISTIANE HALL²; MÁRIO LUCIO MOREIRA³; RAFAEL GUERRA LUND⁴; EVERTON GRANEMANN SOUZA⁵; EVANDRO PIVA⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – nathangsiqueira@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – katiachall11@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – mlucio3001@gmail.com

⁴Universidade Católica de Pelotas – evertton.granemann@ucpel.edu.br

⁵Universidade Federal de Pelotas – rafael.lund@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – evpiva@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

As infecções relacionadas à assistência à saúde permanecem um desafio relevante para a segurança do paciente, agravado pela resistência antimicrobiana e pela persistência de microrganismos em superfícies frequentemente manipuladas em ambientes clínicos (SALAM et al., 2023; RANGEL et al., 2022). Nesse cenário, a radiação UV-C (200–280 nm) é amplamente reconhecida como método complementar eficaz de desinfecção, com recomendação de órgãos internacionais de saúde (BHARDWAJ et al., 2021). Sua eficácia real, no entanto, depende de variáveis como distância à fonte, tempo de exposição e geometria do ambiente como demonstrado na figura 1, o que exige mecanismos de verificação da dose efetivamente entregue à superfície tratada, e não apenas da potência nominal do equipamento (ISO, 2016).

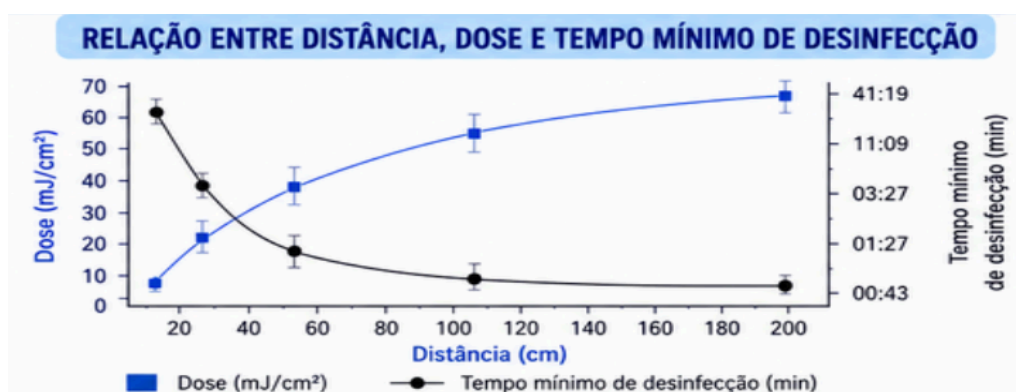


Figura 1: gráfico comparativo da dose registrada e do tempo mínimo de desinfecção pela distância aferida.

A inovação proposta é um dosímetro colorimétrico de baixo custo, em formato de etiqueta laminada, sensível à radiação UV-C germicida (254 nm), que se altera cromaticamente de forma progressiva e mensurável em função da dose recebida, resultado da combinação entre irradiância incidente e tempo de exposição. A resposta é registrada por digitalização em scanner (ou, futuramente, por aplicativo de smartphone) e quantificada por meio dos valores de saturação de cor. O dispositivo foi caracterizado em dois ensaios experimentais independentes: um avaliando a influência da distância à fonte emissora (arranjo de LEDs UV-C, 120 W,

254 nm, distâncias de 0,25 a 2,00 m, tempo fixo de 5 minutos) e outro caracterizando a resposta temporal sob diferentes irradiâncias (LED individual de 5 W, 254 nm; irradiâncias de 193 a 1238 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$; exposições de 5 a 60 segundos). Em ambos os ensaios, observou-se alteração colorimétrica progressiva e consistente com a fluência acumulada de radiação, o que reforça a relevância de ferramentas de dosimetria de baixo custo para o monitoramento de tecnologias germicidas emergentes (GÖRLITZ et al., 2024).

Diferentemente dos radiômetros e espectralômetros portáteis, precisos, porém de custo elevado, leitura pontual e dependentes de operador treinado, e dos indicadores biológicos, que exigem incubação laboratorial e fornecem resposta apenas qualitativa após dias, o dosímetro colorimétrico permite monitoramento distribuído e simultâneo de múltiplos pontos, incluindo áreas de sombra e regiões de menor incidência, com leitura imediata a olho nu ou por digitalização. Seu baixo custo de produção viabiliza o uso como consumível descartável, associado a cada ciclo de desinfecção, funcionando como complemento de baixo custo aos dispositivos móveis de UV-C já desenvolvidos pelo próprio grupo de pesquisa para uso em clínicas odontológicas (HALL, 2026).

2. ANÁLISE DE MERCADO

O público-alvo do dosímetro compreende clínicas e consultórios odontológicos, hospitais e pequenas unidades de saúde, laboratórios de análises clínicas e comissões de controle de infecção hospitalar (CCIH) que utilizam ou pretendem adotar equipamentos de desinfecção por UV-C. Esse público caracteriza-se pela crescente exigência de comprovação objetiva da eficácia dos protocolos de biossegurança, tendência intensificada após a pandemia de COVID-19 e reforçada pela necessidade de controle de patógenos multirresistentes (SALAM et al., 2023).

Entre os concorrentes indiretos estão os radiômetros e espectralômetros portáteis, de custo elevado e leitura pontual, e os indicadores biológicos à base de esporos, de resposta lenta e qualitativa. No mercado internacional já existem etiquetas dosimétricas comerciais, como as da Intellego Technologies AB, voltadas sobretudo à validação de dose em processos industriais e à radiação UV solar (INTELLEGO TECHNOLOGIES AB, 2025), mas sem validação específica para a faixa germicida de 254 nm nas distâncias e tempos típicos de protocolos de desinfecção em saúde. O dosímetro proposto se posiciona como alternativa complementar, de menor custo e leitura distribuída, ocupando um espaço ainda pouco explorado entre a medição instrumental pontual e a verificação puramente qualitativa.

O Brasil concentra uma das maiores redes odontológicas do mundo, com centenas de milhares de consultórios ativos, além de hospitais, clínicas médicas e laboratórios que utilizam ou podem vir a utilizar UV-C em seus protocolos de biossegurança, mercado total (TAM) para uma solução de verificação de dose. Como mercado disponível (SAM), consideram-se os serviços que já operam ou planejam adotar equipamentos de desinfecção por UV-C, público mais restrito, porém em expansão. Como mercado obtível inicial (SOM), a estratégia é iniciar a validação e a comercialização em clínicas-escola e serviços de saúde da região Sul do país vinculados à Universidade Federal de Pelotas, como etapa piloto para posterior expansão regional e nacional.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

A geração de receita está prevista por meio da comercialização direta do dosímetro, em embalagens de múltiplas unidades, a clínicas, hospitais e distribuidoras de produtos odonto-médico-hospitalares, de forma semelhante a indicadores de esterilização já consolidados no mercado da saúde. Como estratégia complementar, prevê-se o desenvolvimento de um aplicativo móvel para leitura automatizada da saturação de cor, agregando um modelo de receita recorrente, além de parcerias com fabricantes de equipamentos de desinfecção UV-C para oferta do dosímetro como acessório de verificação de eficácia.

A inovação ainda não possui propriedade intelectual registrada. Está prevista a avaliação de depósito de pedido de patente relativo à formulação do material colorimétrico e/ou ao método de quantificação da resposta cromática junto ao Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) da UFPEL, etapa a ser conduzida antes de qualquer divulgação pública mais detalhada do processo de fabricação.

O desenvolvimento encontra-se em fase de prova de conceito, com dois ensaios experimentais independentes já concluídos (variação de distância e variação de tempo/irradiância, conforme Figura 1). As próximas etapas incluem a validação da resposta dos dosímetros junto a equipamentos de UV-C em uso real, o desenvolvimento de algoritmo para leitura automatizada por câmera de smartphone, testes de estabilidade e vida útil do material colorimétrico, avaliação de reprodutibilidade entre lotes de fabricação e estudos de biocompatibilidade e segurança para uso em ambientes clínicos. Atualmente, a tecnologia encontra-se entre TRL 3 e TRL 4 (prova de conceito experimental e validação de componente em ambiente laboratorial controlado), com resultados que fundamentam a progressão para a validação em ambiente relevante (TRL 5).

Entre os principais desafios estão a reprodutibilidade da resposta colorimétrica entre lotes de fabricação e o efeito de saturação observado em exposições prolongadas ou sob irradiâncias mais elevadas, que pode limitar a faixa dinâmica de quantificação, além da necessidade de validação sob condições reais de uso (luz ambiente, temperatura, umidade) e das exigências regulatórias sanitárias (ANVISA) para produtos destinados a ambientes de saúde. Como estratégias de mitigação, propõe-se o refinamento da formulação do material para ampliar a faixa dinâmica de resposta, a padronização do processo produtivo e a condução de estudos complementares de validação em campo antes da etapa de comercialização.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

O uso do dosímetro colorimétrico traz como principal impacto social o fortalecimento da biossegurança em ambientes de saúde, apoiando a redução de infecções relacionadas à assistência à saúde por meio da verificação objetiva da eficácia dos protocolos de desinfecção por UV-C (BHARDWAJ et al., 2021). Do ponto de vista econômico, seu baixo custo de produção tem potencial de democratizar o acesso ao controle de qualidade da desinfecção, viabilizando a adoção inclusive por clínicas e serviços de menor porte, que hoje não têm acesso a equipamentos de medição instrumental de custo elevado.

Por se tratar de tecnologia em estágio inicial de desenvolvimento, as projeções financeiras ainda são preliminares: estima-se custo de produção unitário reduzido, compatível com a comercialização em embalagens múltiplas a preço acessível, com recuperação do investimento em desenvolvimento ao longo dos primeiros anos de comercialização, sustentada pela venda recorrente do consumível e, complementarmente, pela oferta do aplicativo de leitura quantitativa.

Para o futuro, vislumbra-se a integração do dosímetro a um sistema digital de registro automático de conformidade, permitindo a geração de relatórios de auditoria para comissões de controle de infecção, além da expansão da tecnologia para outras faixas espectrais (UV-A/UV-B) e para os setores hospitalar, alimentício e de saneamento, ampliando o alcance da inovação para além do contexto odontológico em que foi originalmente concebida.

5. CONCLUSÕES

O dosímetro colorimétrico desenvolvido demonstrou, em ensaios laboratoriais, sensibilidade consistente às variações de distância, irradiância e tempo de exposição à radiação UV-C, evidenciando seu potencial como ferramenta prática, acessível e de rápida interpretação para o monitoramento de protocolos de desinfecção. Tratando-se de inovação em estágio inicial, os resultados obtidos sustentam a viabilidade técnica do conceito e justificam o avanço para etapas de validação em ambiente real e desenvolvimento de produto.

Convidam-se instituições de ensino, serviços de saúde, fabricantes de equipamentos de desinfecção UV-C e potenciais parceiros e investidores a colaborar nas próximas etapas de validação, escalonamento produtivo e proteção intelectual desta tecnologia, contribuindo para transformar um resultado de pesquisa acadêmica em uma solução acessível de biossegurança para o sistema de saúde.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHARDWAJ, S. K. et al. UVC-based photoinactivation as an efficient tool to control the transmission of coronaviruses. **Science of the Total Environment**, v. 792, p. 148548, 2021.

GÖRLITZ, M. et al. Assessing the safety of new germicidal far-UVC technologies. **Photochemistry and Photobiology**, v. 100, p. 501–520, 2024.

HALL, K. C. **Tecnologias de radiação ultravioleta para prevenção de infecções relacionadas à assistência à saúde**. 2026. Tese (Doutorado em Odontologia) – Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2026.

INTELLEGO TECHNOLOGIES AB. **UV Dose Indicators**. Disponível em: <https://intellegotechnologies.com/>. Acesso em: 6 set. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15858:2016**: Ultraviolet-C emitters — Safety information — Permissible human exposure. Geneva: ISO, 2016.

RANGEL, K. et al. Effectiveness evaluation of a UV-C-photoinactivator against selected ESKAPE-E pathogens. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, 2022.

SALAM, M. A. et al. Antimicrobial resistance: a growing serious threat for global public health. **Healthcare**, Basel, v. 11, 2023.