



AValiação DAS MUDANÇAS RADIOINDUZIDAS EM COMPÓSITO DE GEL CLINICO/SULFATO DE COBRE

Gabriela P. Cardose¹, Jony M. Geraldo^{2,3,4}, Adriana S. M. Batista^{1,4}

¹Programa de Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares, Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais. Avenida Pres. Antônio Carlos, 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil. ²Hospital Luxemburgo, Rua Gentios, 1350, 30380-490, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³Hospital Alberto Cavalcanti, Rua Camilo de Brito, 636, 30730-540, Belo Horizonte, MG, Brasil

⁴Departamento de Anatomia e Imagem, Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais. Avenida Alfredo Balena, 190, 30130-100, Belo Horizonte, MG, Brasil.
gabrielapontesc@gmail.com

Palavras-Chave: Irradiação gama, gel clínico, sulfato de cobre, dosimetria das radiações

RESUMO

A irradiação gama de altas doses é amplamente utilizada em diversos processos industriais e médicos, incluindo esterilização de produtos médicos, preservação de alimentos e modificação de materiais. A precisão no controle da dose de radiação é crucial para garantir a eficácia e a segurança desses processos. Este estudo aborda a necessidade de controle dosimétrico em processos de irradiação gama de altas doses, destacando o desenvolvimento e avaliação de um material de gel dosimétrico que muda de cor quando exposto a radiação gama. O material investigado é composto por matriz de gel clínico com carga de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) na proporção de 0,1 % (m.m). O compósito foi irradiado no Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) com doses entre 10-100 kGy. Observou-se que o material muda gradativamente de azul para vermelho/marrom conforme a dose de radiação aumenta. Essa mudança de cor foi registrada por imagem fotográfica. O material virgem e irradiado foi analisado através da técnica de Espectroscopia no ultravioleta-visível (UV-Vis). Os resultados indicam que a mudança de cor é dose-dependente, pode ser utilizada para monitorar visualmente a exposição à radiação gama e através da técnica de UV-Vis. Este material dosimétrico apresenta um potencial significativo para aplicações onde o controle preciso da dose de radiação é essencial, oferecendo uma alternativa prática e eficaz para o monitoramento dosimétrico em processos de irradiação de altas doses.

1. INTRODUÇÃO

A esterilização de produtos médicos e a conservação de alimentos são apenas algumas das inúmeras aplicações das radiações gama. Em processos que envolvem doses elevadas de radiação é essencial o monitoramento preciso da dose aplicada para garantir a segurança e eficácia. O controle dosimétrico, portanto, se torna uma necessidade imperativa para garantir que os materiais e produtos expostos à radiação recebam a dose correta, evitando tanto a subdosagem quanto a superdosagem [1,2]. Neste contexto, este estudo propõe o desenvolvimento e a avaliação de um material dosimétrico baseado em gel que apresenta uma mudança visual de cor quando exposto a radiações gama. O material em questão é um compósito formado por uma matriz de gel clínico com adição de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) na concentração de 0,1% em massa. A escolha do $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ se deve às suas propriedades químicas, que podem induzir mudanças estruturais e de cor quando submetido à radiação [3].



O uso de gel em dosimetria gama de altas doses representa uma abordagem promissora para o monitoramento de processos de irradiação. O uso de gel como material dosimétrico é particularmente interessante devido à sua capacidade de imitar tecidos biológicos, o que o torna relevante em aplicações médicas, bem como em outras áreas que envolvem a exposição à radiação ionizante. Além disso, géis dosimétricos podem registrar a distribuição de dose em 3D, permitindo uma análise detalhada da absorção de radiação em volumes inteiros, o que é uma vantagem significativa em comparação com os dosímetros tradicionais que fornecem dados apenas em pontos específicos ou em duas dimensões [4].

O sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) é um composto químico amplamente conhecido por suas propriedades físicas e químicas, especialmente sua cor azul vibrante, que é um resultado da presença de íons de cobre hidratados. Essa coloração azul intensa faz do sulfato de cobre pentahidratado um material utilizado para uma variedade de aplicações industriais e científicas [3]. Trata-se de um sal cristalino que contém cinco moléculas de água de cristalização ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Essa estrutura hidratada é responsável pela cor azul característica do composto, que é atribuída à transição eletrônica dos íons de cobre (Cu^{2+}) em um campo de coordenação octaédrico distorcido. É altamente solúvel em água, formando uma solução azul, assim também quando utilizado como carga em um material a base de gel. Quando exposto a radiações ionizantes, como as radiações gama, o sulfato de cobre pentahidratado pode sofrer alterações químicas que resultam na mudança de sua cor [5]. Essa propriedade pode ser explorada na dosimetria de radiação, onde a mudança cromática do material pode ser correlacionada com a dose de radiação recebida.

Assim, quando utilizado em uma matriz adequada, como um gel, ele pode mudar de cor em resposta à exposição a radiações gama de altas doses. Por exemplo, o material pode transitar do azul para tons de vermelho ou marrom, dependendo da dose de radiação recebida. Essa mudança visual permite uma avaliação rápida e simples da dose de radiação, sem a necessidade de equipamentos complexos. A mudança de cor observada no sulfato de cobre pentahidratado quando irradiado pode ser explicada por alterações na coordenação dos íons de cobre ou pela redução parcial do cobre de Cu^{2+} para Cu^+ , que pode levar à formação de óxidos de cobre (como Cu_2O , que é vermelho). Essas transformações indicam uma interação química direta entre a radiação e o composto, o que é útil para a dosimetria visual. A relação entre a mudança de cor e a dose de radiação deve ser cuidadosamente estudada para que o sulfato de cobre pentahidratado seja eficaz na composição de um dosímetro. A intensidade da mudança de cor pode ser quantificada através de técnicas espectroscópicas, permitindo uma correlação precisa com a dose recebida. Através deste estudo preliminar, espera-se demonstrar as potencialidades dosimétricas do composto de gel clínico acrescido de sulfato de cobre pentahidratado para dosimetria gama de altas doses.

2. METODOLOGIA

As amostras de gel clínico acrescidas de CuSO_4 foram obtidas por mistura manual de CuSO_4 (100 mg) em 100 ml de RMC® Gel Clínico incolor do fabricante Unigel [6]. Foram irradiadas com doses de 10-100 kGy, em taxa de dose constante, no irradiador multipropósito do Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) que é equipado com uma fonte de Cobalto-60. As amostras foram analisadas através de Espectrometria no Ultravioleta-Visível (UV-Vis) para acompanhamento da mudança de cor após a irradiação. Os espectrogramas no UV-Vis foram obtidos com equipamento UV-240 PC, da marca Shimadzu, em comprimento de onda variando de 200 a 800 nm. Os resultados obtidos foram trabalhados utilizando o programa de análise de dados e construção de gráficos Origin®. Para análise visual da mudança de cor as amostras foram fotografadas nas mesmas condições de

iluminação, utilizando uma câmera padrão de 13 megapixels, com resolução de 4163 x 3122 pixels.

3. RESULTADOS

Logo após as irradiações as amostras foram fotografadas, sendo possível a percepção visual de mudança de cor, apresentada na Fig.1, juntamente com os espectros de UV-Vis de uma amostra não irradiada em comparação com o obtido da amostra irradiada com 100 kGy.

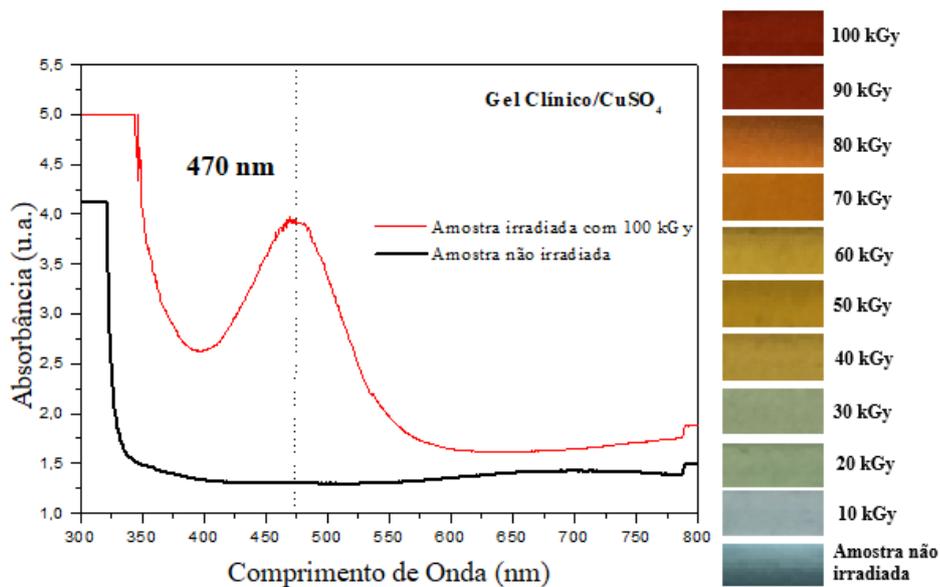


Fig. 1. Espectros de absorção no UV-Vis da amostra de gel clínico/ CuSO_4 não irradiada e irradiada com 100 kGy. Ao lado, imagem fotográfica da variação de cor da amostra não irradiada e irradiadas com doses gama entre 10-100 kGy.

Através da análise visual é possível acompanhar a mudança de cor radioinduzida nas amostras. As cores variam entre os tons de azul/verde para marrom/vermelho. Observa-se que há uma elevação do pico de absorção em 470 nm para a amostra irradiada com 100 kGy em relação a amostra não irradiada. Para um estudo do potencial dosimétrico desta variação, os dados de absorção em 470 nm das demais amostras irradiadas foram mensuradas para demonstrar a relação entre a evolução deste pico com o incremento da dose e são apresentadas na Tab. 1.

Tab. 1. Absorção em 470 nm da amostra não irradiada e irradiadas com doses entre 10-100 kGy.

Dose depositada (kGy)	Absorção (u.a.)
0	1,2939
10	1,2269
20	1,3
30	1,19
40	1,45
50	1,63
60	1,8
70	2,37
80	2,568
90	3,4942
100	3,71



Os dados da Tab.1. foram utilizados para estudo do melhor ajuste de correlação entre absorvância e dose absorvida. Para finalidade dosimétrica foi considerado como ideal a correlação linear. No entanto, comparou-se com uma curva de ajuste exponencial como alternativa. Os resultados podem ser observados na Fig.2.

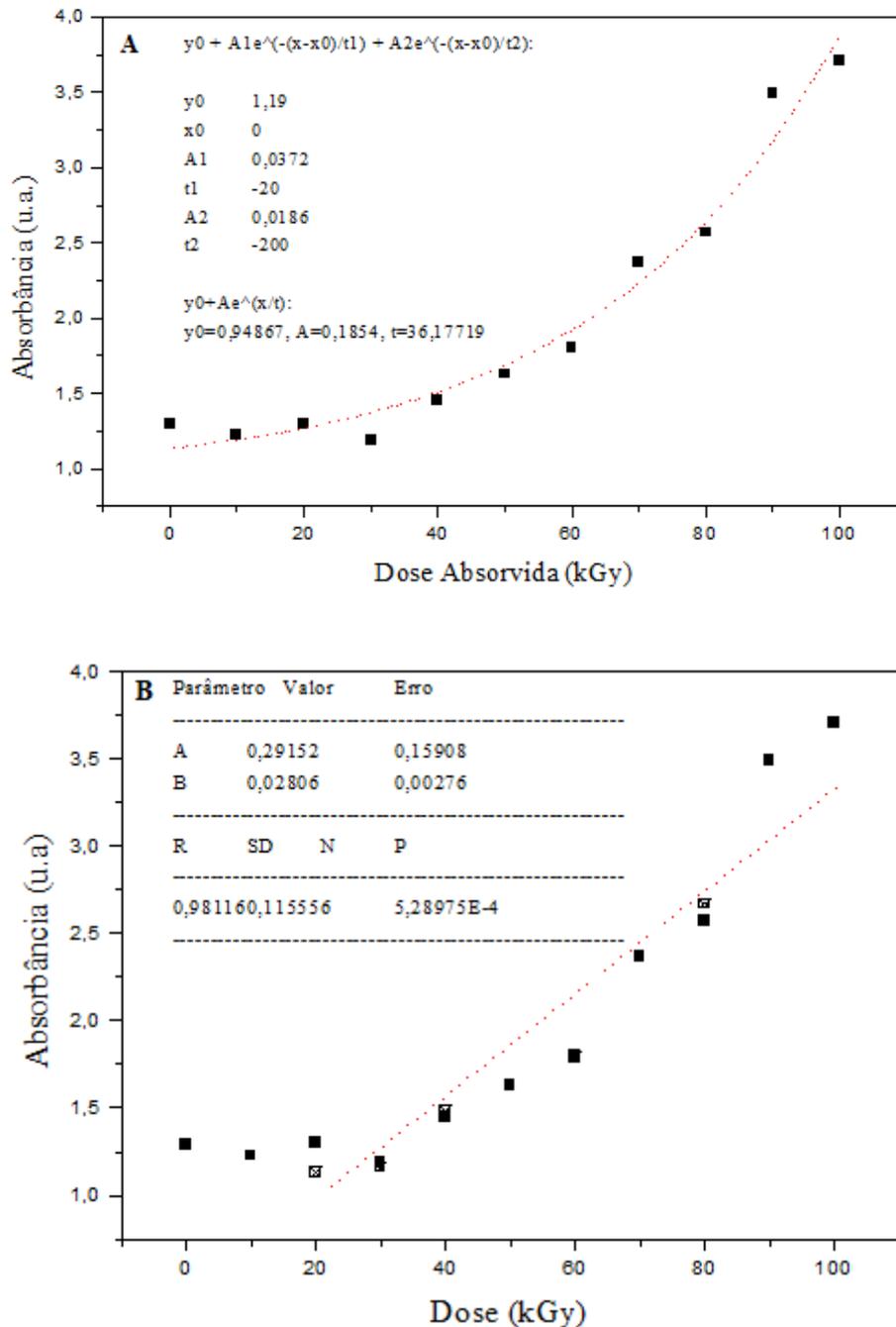


Fig. 2. Gráficos da relação absorvância no comprimento de onda em 470 nm da amostra de gel clínico/CuSO₄ não irradiada e irradiadas com doses entre 10-100 kGy. Em A com ajuste exponencial de terceira ordem e em B com ajuste linear.

Observa-se na Fig.2. que é possível estimar correlação entre absorvância no comprimento de onda em 470 nm e a dose absorvida pelas amostras de gel clínico/CuSO₄. O ajuste exponencial



de terceira ordem possibilitou o uso de dados referentes a todas as doses utilizadas para o estudo, além da amostra não irradiada, formando uma curva de dose entre 0-100 kGy. Porém, para um ajuste linear as medidas consideradas estiveram acima de 20 kGy de dose absorvida, formando uma curva entre 20-100 kGy.

4. CONCLUSÃO

Compósitos de gel clínico/ CuSO_4 foram irradiados em diferentes doses, variando de 10 a 100 kGy, no LIG/CDTN. Observou-se que, à medida que a dose de radiação aumenta, o material passava por uma mudança gradual de cor, do azul inicial para tons de vermelho/marrom. Essa mudança foi registrada fotograficamente. Além da análise visual, o material foi submetido a estudo espectroscópico utilizando Espectroscopia no Ultravioleta-Visível (UV-Vis). Através da observação do comprimento de onda em 470 nm foi possível confirmar a relação entre a dose de radiação e a mudança de cor. Um ajuste exponencial de terceira ordem foi utilizado para compor curva absorvância versus dose absorvida (0-100 kGy). Ajuste linear foi possível de ser realizado se considerada a faixa de dose entre 20-100 kGy. Os resultados obtidos indicam que o material desenvolvido possui um grande potencial como dosímetro visual, permitindo um monitoramento simples e eficaz da exposição a radiações gama. A possibilidade de identificar visualmente a dose de radiação recebida representa um avanço significativo para a área de controle dosimétrico, especialmente em situações onde equipamentos mais sofisticados não estão disponíveis ou não são práticos de serem utilizados. Em adição, demonstrou-se ser possível utilizar a técnica de UV-Vis para compor sistema dosimétrico com o material estudado, através da monitoração do comprimento de onda em 470 nm.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Irradiação Gama (LIG) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) pela irradiação do material. Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) também financiam este projeto indiretamente, apoiando a pesquisa no Brasil. A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é a organização brasileira responsável pelo apoio à pesquisa na área nuclear.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. H. Attix, Introduction to radiological physics and radiation dosimetry, John Wiley & Sons (2008).
- [2] G. Salvatore e L. Silvia., Gel Dosimetry, *Gels*, Vol. 9(4), pp. 311 (2023).
- [3] Q. Liu *et al.*, Effect of copper sulfate pentahydrate on the structure and properties of poly (vinyl alcohol)/graphene oxide composite films, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 133 (46), pp. 1-7 (2016).
- [4] D. Adliene *et al.*, New application of polymer gels in medical radiation dosimetry: Plasmonic sensors, *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 35, pp. 108609 (2020).
- [5] A. Yamaguchi *et al.*, One-Step Synthesis of Copper and Cupric Oxide Particles from the Liquid Phase by X-Ray Radiolysis Using Synchrotron Radiation, *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2016, pp. 8584304 (2016).
- [6] V.J. Bolfe e R.R.J Guirro, Resistência Elétrica dos Géis e Líquidos Utilizados em Eletroterapia no Acoplamento Eletrodo-pele, *Revista Brasileira de Fisioterapia*, Vol. 13, pp. 499-505 (2009).