

RESULTADO PRELIMINAR SOBRE O USO DO GEL POLIMÉRICO MAGIC-f PARA A MEDIDA DA ENERGIA ABSORVIDA DO ESPECTRO SOLAR¹

PRELIMINARY RESULTS OF MAGIC-f POLYMER GEL ON THE AMOUNT OF ENERGY ABSORBED FROM THE SOLAR ESPECTRUM

**Marcelo Menna Barreto Schwarcke², Galileo Adeli Buriol³,
Carlos Ernesto Garrido Salmon⁴ e Oswaldo Baffa⁴**

RESUMO

O gel polimérico MAGIC-f é utilizado para medir a energia eletromagnética absorvida na matéria nas três dimensões, tendo sua maior aplicação em processos de irradiação envolvendo alta energia, como raios gama e raios X, onde é considerado tecido equivalente e com grande potencial de aplicação em radioterapia. Esse gel também pode interagir com radiações de energia baixa, como por exemplo, a radiação solar. Para que seja utilizado em aplicações ambientais é necessário determinar se o gel polimérico MAGIC-f quando exposto à radiação solar nas condições ambientais de operação, detecta uma informação fidedigna e durável para seu registro adequado. Sendo desta forma estudado neste trabalho o efeito prolongado da irradiação solar ambiental, sua resposta de acordo com a penetrabilidade da radiação no material e a resposta do gel em relação ao tempo de exposição à radiação solar. Após a irradiação solar com diferentes tempos de exposição, o processo de polimerização no gel foi avaliado a partir de medidas de relaxometria (T2) em um aparelho de Ressonância Magnética de 3 Teslas. Os resultados obtidos demonstraram que o gel polimérico MAGIC-f possui sensibilidade considerável à radiação, solar permitindo realizar mapas em três dimensões da energia absorvida devido a esta radiação. Para irradiações superiores a 60 minutos ocorreu processo de saturação no gel, necessitando assim novos estudos para determinar uma relação de linearidade entre energia absorvida e a taxa de irradiação. Os resultados preliminares indicam potencial deste gel como instrumento para medidas de energia solar depositada em condições ambientais, abrindo assim um novo campo de estudo.

Palavras-chave: irradiação solar, géis poliméricos, IRM.

ABSTRACT

MAGIC-f polymer gel is used to measure the electromagnetic energy absorbed in a three-dimensional perspective, having its greatest application in high-energy radiation processes, such as gamma rays and X-rays, where it is considered as a tissue-equivalent with great potential for application in radiation therapy. This gel can also interact with low-energy radiation processes, such as solar irradiation. To be used in environmental applications, it is necessary to determine whether the gel detects reliable and persistent information for its records whenever exposed to direct solar radiation in environmental operational conditions. Thus, the following issues were investigated: the lasting effect of solar irradiance, its response to the penetration of solar radiation into materials, and the gel response to the time of exposure to solar radiation. After being exposed to solar irradiation at different times, the gel polymerization process was considered in terms of T2 Relaxometry studies in a 3 Tesla Magnetic Resonance Imaging scanner. The results demonstrated that MAGIC-f polymer gel is considerably sensitive to solar radiation, enabling the development of three-dimensional mappings of

¹ Trabalho resultante de tese - CNPq.

² Aluno de doutorado em Física Aplicada à Medicina e Biologia. E-mail: mschwarcke@unifra.br

³ Colaborador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: galileo@unifra.br

⁴ Orientadores - Departamento de Física, Universidade de São Paulo. E-mail: garrido@ffclrp.usp.br; baffa@usp.br

the absorbed energy due to the radiation. Prolonged exposure (60 minutes) to solar irradiation resulted in the saturation process of the gel. Therefore, new studies to determine the linearity between absorbed energy and the rate of irradiation are necessary. Preliminary results have shown that the gel has potential as a measuring instrument of solar energy in environmental conditions, thereby opening a new field of study.

Keywords: *solar irradiation, polymer gels, MRI.*

INTRODUÇÃO

Observação relatada em trabalho apresentado por Schwarcke (2013) de que a radiação ultravioleta também sensibiliza o gel *MAGIC-f* sinaliza a possibilidade de utilizar esse gel polimérico para a medida da energia radiante do espectro solar em um material com composição percentual e densidade equivalente ao do tecido humano e propriedades de atenuação da radiação semelhante à da água (UN, 2013). O gel polimérico é um material de fácil produção, baixo custo e aplicação única, ou seja, é fabricado especificamente para cada utilização e depois de utilizado é descartado. Sua composição básica é de 70% de água destilada, responsável pela formação dos radicais livres, 20% de gelatina bovina, responsável pela estabilidade da cadeia polimérica formada e 6% de um monômero polimérico responsável pelo processo de polimerização diretamente relacionado à energia radiante absorvida (BALDOCK et al., 2010).

O processo de absorção da radiação solar pelo gel polimérico é semelhante ao que ocorre em tecidos biológicos quando expostos a radiação eletromagnética ionizante. As ondas ao interagirem com o material podem ser refletidas, absorvidas ou transmitidas. O detector irá registrar apenas a parte absorvida durante o processo de interação. A absorção da energia ocorre devido à quebra das moléculas de água presentes na formulação do gel, ocasionando a formação de radicais livres. Os radicais são responsáveis por iniciar a formação de cadeias poliméricas, promovida pela presença de monômeros poliméricos na composição do gel. Em condições de não saturação, a magnitude da polimerização é proporcional à quantidade de energia radiante absorvida pelo material. A gelatina utilizada na formulação do gel é responsável pela formação de uma estrutura física que contribui à estabilidade das cadeias poliméricas formadas. A isotropia das propriedades do gel permite quantificar a informação gerada localmente por radiações incidentes nas três direções.

O desenvolvimento de géis poliméricos como detectores de radiação é uma pesquisa recorrente na dosimetria de altas energias, fato que tem tornado sua aplicação mais restrita à região do espectro eletromagnético na faixa das radiações ionizantes, tais como: raios X e radiação gama (HUANG et al., 2013; SUCHAWOESKA et al., 2013). No trabalho realizado por Deene et al. (2002) foi observado a produção de um sinal no gel polimérico decorrente de sua exposição a uma fonte irradiação de menor energia das citadas anteriormente, exposição ao espectro ultravioleta.

Este espectro é absorvido pelos tecidos biológicos, da mesma forma que parte de seu espectro pode ser refletido novamente para a fonte emissora, este processo de absorção e reflexão do espectro

ultravioleta é utilizado para analisar regiões da superfície terrestre. Esta análise é realizada a partir de imagens de satélites, possibilitando assim estimar algumas propriedades de aplicação agrícola como a estimativa do tempo de secagem de produtos agrícolas, estimativa dos níveis de calor gerados pela absorção das energias e até em processos utilizados na purificação de água (GELOVER et al., 2006; GÓMES-COUSO et al., 2009).

Os valores são calculados em função da absorbância de energia, onde se relaciona o valor de entrada da energia com o valor de saída desta mesma energia após interagir com o material, quantificando assim a quantidade de energia que ficou retida no corpo, este valor de energia absorvida é obtido em unidades de $J.kg^{-1}$, por isso que os primeiros instrumentos destinados à medida da absorbância como: radiômetros (THIEDEN et al., 2004), espectrofotômetros (BERTAGNOLLI et al., 2007) e biômetros (KIRCHOFF et al., 2000), são calibrados em relação ao tipo de interação do feixe incidente com o elemento detector. Já para realizar a análise de efeitos biológicos utilizamos modelos matemáticos (LÁSKA et al., 2009) e procedimentos *in vivo* (WEBB et al., 2011; WULF; HEYDENREICH; PHILIPSEN, 2010), pois é necessário considerar a energia depositada no volume de material. O grau de interação da energia incidente e depositada deve ser relacionado de forma a possibilitar compreender os processos existentes relacionados à interação da onda eletromagnética com o meio material (MUNHOZ e tal., 2012).

A possibilidade em utilizar o gel polimérico como detector para quantificar o nível de energia absorvida no material devido a irradiância solar, constatada em Schwarcke (2013), viabiliza uma nova abordagem de quantificação para o nível de absorbância em relação aos mecanismos de medida citados no parágrafo anterior. Como diferencial da técnica, podemos citar a possibilidade de obter o valor da energia absorvida em um volume com propriedades físicas semelhantes ao tecido humano, independentemente da direção da radiação incidente. Esta informação não pode ser obtida utilizando os equipamentos atualmente disponíveis pois eles mensuram em pontos ou planos, são sensíveis à direção da radiação e alguns fatores de calibração são necessários para sua extrapolação ao tecido humano. A obtenção de pontos de referência experimental, torna o modelo matemático preciso e possibilita a extrapolação de valores.

Para utilizar o gel polimérico MAGIC-f será necessário, assim como nos modelos matemático, de pontos de calibração de sua resposta (JIRASEK; HILTS, 2014). A construção de um curva de calibração para o gel possibilita determinar a resposta do gel para a energia absorvida, esta curva pode ser obtida utilizando ultrassonografia (CRESCENTI et al., 2007), ressonância magnética (DEENE, 2013), tomografia computadorizada utilizando raios X (JOHNSTON et al., 2012) ou tomografia ótica (KOEVA et al., 2009).

Vislumbrando esta potencialidade do gel polimérico MAGIC-f, este trabalho pretende estudar a viabilidade em utilizar o gel polimérico MAGIC-f para medir valores de energia absorvida pela irradiação solar. Neste trabalho estudamos a existência da resposta do gel polimérico para irradia-

ções ambientais, sem perda de suas propriedades físicas, visando sua aplicação como instrumento de detecção dos níveis de energia absorvida em um material considerado tecido humano equivalente (SGARBI; CARMO; ROSA, 2007; BALOGH et al., 2011). O trabalho visa analisar os níveis de polimerização que deverão ser gerados por diferentes níveis de exposição do gel polimérico a fontes emissoras de média energia (espectro solar).

MATERIAL E MÉTODOS

MANUFATURA DO GEL POLIMÉRICO MAGIC-f

Para a fabricação de 100ml de gel polimérico MAGIC-f foram utilizados 80ml de água deionizada inicialmente aquecida até atingir 40° C. Nesta temperatura, a fonte de aquecimento foi desligada e iniciou-se o processo de mistura com 8,2g de gelatina bovina, 300 Bloom, esperando-se até a total homogeneização. Após essa etapa foi adicionada a quantidade de 2mg de Sulfato de Cobre (II) Pentahidratado em solução 1:1 com água deionizada, preparada no dia da manufatura do gel, 25,2mg de Ácido Ascórbico, em solução 1:10 com água deionizada, 5,9ml de Ácido Metacrílico e 3ml de Formaldeído estabilizado com 30% de metanol. A adição destes reagentes químicos seguiu a ordem mencionada. Quando a solução atingiu a temperatura ambiente, seu conteúdo foi inserido nos recipientes utilizados para realização do experimento. No total foram produzidos 109ml do gel polimérico MAGIC-f, dos quais 50ml foram colocados em um recipiente para estudar a distribuição de energia depositada por uma exposição prolongada à radiação solar. Este recipiente cilíndrico, manufaturado em PMMA (polimetil-metacrilato, densidade de 1,18g/cm³) tinha uma espessura de parede de 1mm. O gel restante foi utilizado para preencher 18 tubos de PMMA com 6ml cada visando avaliar a resposta do gel em diferentes tempos de exposição.

Durante o período de manufatura e armazenamento, os recipientes contendo o gel foram cobertos com papel alumínio para reduzir a influência de fontes de radiação diferentes à radiação solar. Os recipientes foram mantidos durante um período mínimo de 24 horas em uma temperatura de 5° C antes do processo de irradiação (FERNANDES et al., 2008).

Todo o instrumental de laboratório utilizado no preparo do gel foi esterilizado através do uso de álcool destilado 77° GL.

PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ESTUDO COM DIFERENTES INTENSIDADES DE RADIAÇÃO

Logo antes da exposição, o papel de alumínio foi retirado dos tubos, nove tubos tiveram sua superfície externa recoberta com um creme bloqueador solar com Fator de Proteção Solar (FPS) 15;

outros nove tubos foram recobertos com outro creme bloqueador com FPS 30 conformando um novo grupo. Os restantes nove tubos receberam o mesmo tratamento com um creme sem FPS. Os três cremes utilizados apresentam a mesma formulação indicada pelo fabricante alterando-se apenas a presença do princípio ativo responsável pelo FPS. O último grupo foi utilizado como controle e a mesma quantidade de creme foi utilizada para recobrir todos os tubos: $(1,5 \pm 0,3)$ mg.

GEOMETRIA DE IRRADIAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para considerar diferentes valores de energia absorvida, todos os recipientes foram expostos simultaneamente à irradiação solar, sendo retirado um tubo de cada grupo a cada 30 minutos, somando um período máximo de exposição de 4 horas. O recipiente contendo 50 ml de gel polimérico permaneceu sendo irradiado por um período de 6 horas.

O procedimento de irradiação solar aconteceu no dia 23 de fevereiro de 2013, um dia sem nuvens, no departamento de Física da Universidade São Paulo em Ribeirão Preto (localização: 21.17°, 47.85°). Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o índice UV (Ultravioleta) para o dia e local foi de 10. A temperatura média durante a realização deste procedimento foi de 27° C na sombra. Após o período de irradiação, todos os recipientes irradiados foram novamente recobertos com papel alumínio e armazenados em uma temperatura de 5° C até a realização do processo de leitura da informação armazenada.

METODOLOGIA DE LEITURA DO GEL POLIMÉRICO

A leitura do grau de polimerização do gel polimérico MAGIC-f foi realizada em um tomógrafo de Imagem por Ressonância Magnética (IRM) de 3T, modelo Philips Achieva, pertencente ao Serviço de Radiologia do Hospital de Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto. Foi utilizada uma sequência de pulsos do tipo multi-eco com os seguintes parâmetros: 16 ecos equidistantes, tempo de eco (TE) de 10ms, tempo de repetição (TR) de 1000ms, três médias, resolução intraplano de 0,5mm, espessura de fatia de 2mm e tempo total de aquisição de aproximadamente 5 minutos. As imagens obtidas foram exportadas no formato DICOM para um computador pessoal, onde foram processadas utilizando um código desenvolvido em linguagem MatLab (*Mathworks*) para estimar a taxa de relaxação transversal ($R_2=1/T_2$, s^{-1}). Este código foi elaborado de tal forma que primeiramente o programa calculou por fatia os valores de relaxometria que estão diretamente relacionados ao grau de polimerização do gel MAGIC-f no volume total de dados de IRM. Posteriormente é possível escolher traçar em uma das fatias uma linha para visualizar o perfil de R_2 em função da profundidade, expressados em um gráfico bidimensional para avaliar a penetrabilidade da radiação no detector MAGIC-f.

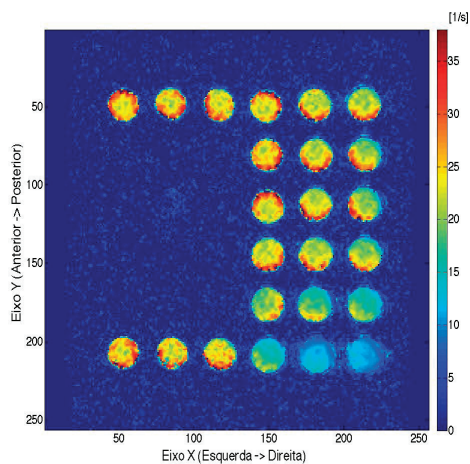
RESULTADOS

Os resultados serão apresentados na forma de valores de taxa de relaxação transversal (R_2). Nos géis poliméricos, a taxa de relaxação é diretamente proporcional ao grau de polimerização do ácido metacrílico que por sua vez é proporcional à absorção da energia incidente, ou seja, é a diferença entre a energia que incide no material e a energia que sai do material.

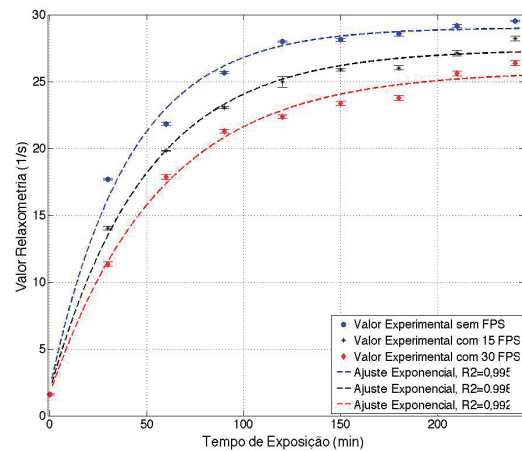
A imagem por ressonância magnética do gel polimérico MAGIC-f contido nos tubos de 6 ml recobertos com diferentes bloqueadores solares é apresentada na figura 1(a). O valor médio de R_2 foi obtido através da utilização de uma Região de Interesse (RI) de $0,125\text{mm}^3$ posicionada no centro de cada tubo; o desvio padrão foi usado como medida de dispersão dos valores de R_2 no interior de cada RI. O gráfico da figura 1(b) representa estes valores para os 27 tubos, separados nos três grupos já mencionados e em função do tempo de exposição.

Figura 1 - Resultados do experimento com os tubos irradiados com diferentes tempos de exposição:

- (a) Distribuição da taxa de relaxação estimada a partir das imagens por ressonância magnética dos tubos.
 (b) Taxa de relaxação, média no interior de cada tubo, versus tempo de exposição. Um ajuste exponencial é mostrado sugerindo um comportamento analítico entre ambas as grandezas.



(a) Imagem de ressonância magnética do gel MAGIC-f



(b) Gráfico mostrando a taxa de relaxação do gel que é proporcional ao grau de polimerização

A fim de determinar o poder de penetração da radiação solar no gel MAGIC-f foi realizada uma exposição prolongada em um volume de gel polimérico de 50ml, o resultado obtido para este processo é apresentado na figura 2. Na parte (a) da figura 2 é observado o resultado visual do processo de irradiação desta amostra e na parte (b), da figura 2, é apresentada uma fatia do mapa de relaxometria do gel polimérico. Na figura 3 é apresentado o comportamento dos valores de R_2 em função da profundidade ao longo de uma linha vertical central no mapa da figura 2, parte (b).

Figura 2 - (a) Fotografia do procedimento de irradiação da amostra de 50ml de gel polimérico MAGIC-f ao espectro solar durante um período de 6 horas. (b) Imagem de relaxometria obtida utilizando o código desenvolvido em linguagem MatLab neste trabalho da amostra de 50ml irradiada por 4 horas.

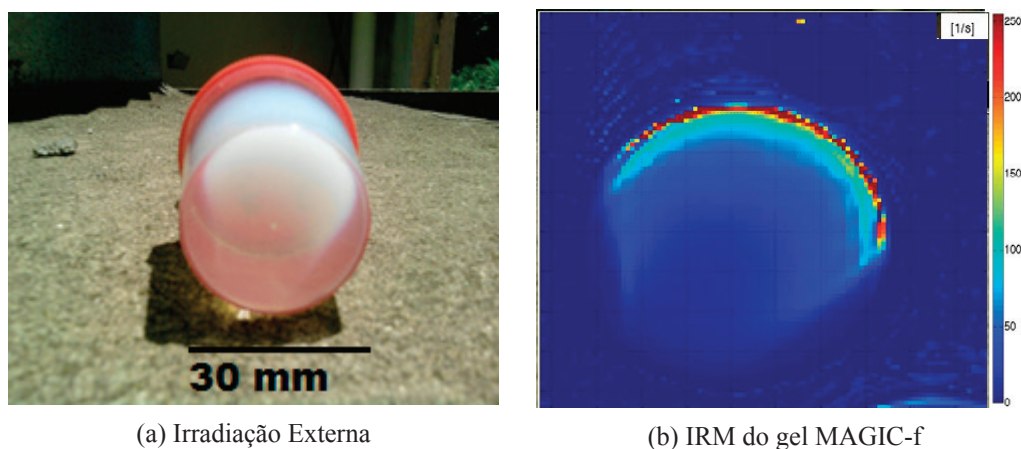
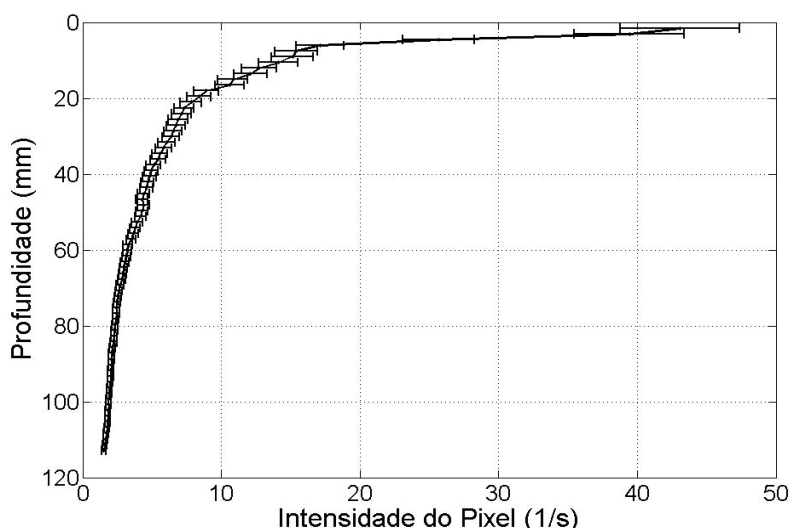


Figura 3 - Gráfico do valor da taxa de relaxação em função da profundidade de deposição de energia no gel polimérico MAGIC-f considerando uma linha vertical central na figura 2 parte (b).



DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados neste estudo demonstram a possibilidade de se utilizar o gel polimérico MAGIC-f para medida da energia absorvida por um material tecido equivalente devido à irradiação solar. O material foi exposto nas condições ambientais sem perda de suas propriedades físicas, mantendo constante a informação do grau de polimerização com a energia absorvida pelo período necessário para obtenção do efeito observado através da utilização de um equipamento de imagens por ressonância magnética. No procedimento onde foram utilizados tubos contendo 6 ml de volume de gel polimérico MAGIC-f expostos as diferentes intensidade obtidas através da utilização de cremes com bloqueadores solares e ao mesmo tempo, submetidos a diferentes tempos de irradiação.

ção, foi demonstrado uma sensibilização do detector, uma vez que para a variação na intensidade foi observado que os tubos que receberam o creme sem bloqueador solar tiveram uma resposta maior do que os tubos que receberam o creme com FPS 30, demonstrando sensibilidade do nosso detector ao efeito de proteção dos cremes. Semelhante resultado foi obtido com o tempo de exposição. O perfil de atenuação mostrado na figura 3 apresentou um comportamento consistente com uma atenuação exponencial como é esperado nestes processos de absorção de energia.

Porém, nestes resultados preliminares obtivemos uma resposta exponencial assintótica da taxa de relaxação com o tempo de exposição sugerindo a saturação do nosso dispositivo detector. Esta saturação indica o esgotamento da reação de polimerização pela extinção de algum dos componentes materiais envolvidos no processo. Também em relação com a variação de atenuação pelo uso de cremes não obtivemos uma clara resposta linear, o creme com FPS15 não atenuou quinze vezes a radiação incidente quando comparado ao uso do creme sem FPS, algo semelhante aconteceu na comparação com o FPS30. Esta resposta não linear pode ser influenciada pelo processo de saturação mencionado e pela forma como é definido o FPS referido ao efeito na pele e não diretamente na energia total absorvida em um intervalo grande de comprimento de onda. Para a análise da resposta do detector para diferentes tempos de exposição é observado um comportamento coerente com este tipo de irradiação, sendo ainda necessário estudos mais apurados para se determinar a dependência do gel MAGIC-f de acordo com o seu grau de polimerização em relação a energia absorvida, uma vez que se observa no final do processo de irradiação que os valores da taxa de relaxação das amostras tende para o mesmo valor, efeito visualizado na parte (b) da figura 1. Este efeito pode ser decorrente da saturação dos monômeros presentes na região irradiada ou representam uma degradação do creme que passa a não apresentar maior eficiência de seus componentes e assim o grau de polimerização tende a ser o mesmo para os três grupos.

Para o experimento que utilizou um volume de gel polimérico de 50ml, os resultados apresentados demonstram que o gel polimérico MAGIC-f possui uma resolução espacial suficiente para analisar o grau de penetração da energia eletromagnética proveniente da irradiação solar, no caso de exposições prolongadas. Embora, a resposta não linear mencionada nos impede de determinar um coeficiente de atenuação efetivo fidedigno na figura 3.

De forma geral, os resultados possibilitam a realização de estudos com um nível maior de detalhes em relação aos valores energia solar absorvida no gel e possível relação com efeitos nos tecidos humanos ou no meio ambiente, tais como estudos da penetrabilidade do espectro solar em bacia hidrográficas e a relação com a formação de micro-organismos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresenta resultados que viabilizam a aplicação do gel polimérico MAGIC-f em medidas de energia solar absorvida em condições ambientais, já que existe uma sensibilização do

material polimérico a este tipo de radiação. Nossos resultados preliminares não indicam uma resposta linear para exposições prolongadas e fatores de atenuação considerados lineares, fato que poderá ser avaliado com novas formulações do gel. Esperamos que por meio deste estudo prévio, seja possível iniciar uma nova etapa de trabalho avaliando as questões metroológicas da aplicação do gel polimérico para medidas ambientais de forma comparativa com instrumentos já utilizados para estes fins e com novas condições experimentais.

REFERÊNCIAS

BALDOCK, C. et al. Polymer Gel Dosimetry. **Physics in Medicine and Biology**, v. 55, p. R1-R63m, 2010.

BALOGH, T. et al. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 86, n. 4, p. 732-742, 2011.

BERTAGNOLLI, C. et al. Estimativa para cálculo de ozônio total usando dados de UVB e UVA do observatório espacial do sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 9-15, 2007.

CRESCENTI, R. et al. Characterization of the ultrasonic attenuation coefficient and its frequency dependence in a polymer gel dosimeter. **Physics in Medicine and Biology**, v. 52, p. 6747-6759, 2007.

DEENE, Y. et al. A basic study of some normoxic polymer gel dosimeters. **Physics in Medicine and Biology**, v. 47, p. 3441-3463, 2002.

DEENE, Y. de. How to scan polymer gels with MRI? **Journal of Physics: Conference Series**, v. 444, p. 012003, 2013.

FERNANDES, J. et al. Formaldehyde increases MAGIC gel dosimeter melting point and sensitivity. **Physics in Medicine and Biology**, v. 53, p. N53-N58, 2008.

GELOVER, S. et al. A practical demonstration of water disinfection using TiO₂ films and sunlight. **Water Research**, v. 40, p. 3274-3280, 2006.

GÓMES-COUSO, H. et al. Effect of the radiation intensity, water turbidity and exposure time on the survival of *Cryptosporidium* during simulated solar disinfection of drinking water. **Acta Tropical**, v. 112, p. 43-48, 2009.

HUANG, Y. et al. Preliminary dosimetry investigation of Tc-99m diagnostic radionuclide by NIPAM gel dosimeter. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 444, p. 012106, 2013.

JIRASEK, A.; HILTS, M. Dose calibration optimization and error propagation in polymer gel dosimetry. **Physics in Medicine and Biology**, v. 59, p. 597-614, 2014.

JOHNSTON, H et al. An x-ray CT polymer gel dosimetry prototype II: Gel characterization and clinical application. **Physics in Medicine and Biology**, v. 57, p. 3155-3175, 2012.

KIRCHHOFF, V. et al. A variação sazonal da radiação Ultravioleta solar biologicamente ativa. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n. 1, p. 63-74, 2000.

KOEVA, V. et al. Preliminary investigation of the NMR, optical and x-ray CT dose-response of polymer gel dosimeters incorporating cosolvents to improve dose sensitivity. **Physics Medicine and Biology**, v. 54, p. 2779-2790, 2009.

LÁSKA, K. et al. Prediction of erythemally effective UVB radiation by means of nonlinear regression model. **Environmetrics**, v. 20, p. 633-646, 2009.

MUNHOZ, V. et al. Avaliação do fator de proteção solar em fotoprotetores acrescidos com extratos da flora brasileira ricos em substâncias fenólicas. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básicas e Aplicada**, v. 2, p. 225-232, 2012.

SCHWARCKE, M. M. B. **Caracterização do gel polimérico MAGIC-f para aplicação em medicina nuclear utilizando imagens de ressonância magnética**. 2013. 165f. Tese (Doutorado em Física Aplicada à Medicina e Biologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

SGARBI, F.; CARMO, E.; ROSA, L. Radiação ultravioleta e carcinogênese. **Revista de Ciências Médicas**, v. 16, n. 4-6, p. 245-250, 2007.

SUCHAWORSKA N. et al. Scintillators for 3D and 4D dosimetry: current status and future potential for clinical translation. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 444, p. 012075, 2013

THIEDEN, E. et al. UV radiation exposure related to age, sex, occupation, and sun behavior based on time-stamped personal dosimeter readings. **Archive of Dermatology**, v. 140, p. 197-203, 2004.

UN, A. Water and tissue equivalency of some gel dosimeters for photon energy absorption. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 82, p. 258-263, 2013.

WEBB, A. et al. Know your standard: clarifying the CIE Erythema Action Spectrum. **Photochemistry and Photobiology**, v. 87, p. 483-486, 2011.

WULF, H.; HEYDENREICH, J.; PHILIPSEN, A. Variables in full-body ultraviolet B treatment of skin diseases. **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**, v. 26, p. 165-169, 2010.

