

Estimativa da dose do quartzo natural irradiado pela termoluminescência

Fernando Soares Lameiras

Físico, pesquisador titular, professor

*Serviço de Materiais e Combustível Nuclear (EC1), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
Rua Professor Mário Werneck, Campus da UFMG - Pampulha, Belo Horizonte - MG, Brasil*

E-mail: fsl@cdtn.br

Eduardo Henrique Martins Nunes

(Físico, mestrando do programa de pós-graduação do CDTN)

*Serviço de Materiais e Combustível Nuclear (EC1), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
Rua Professor Mário Werneck, Campus da UFMG - Pampulha, Belo Horizonte - MG, Brasil*

E-mail: ehmn@cdtn.br

Resumo

Um dos principais problemas dos pedristas que irradiam quartzos naturais é controlar a dose aplicada em suas amostras. Observamos que essa dose é linearmente dependente da temperatura na qual se percebe o início da termoluminescência a olho nu. Assim, o pedrista pode se valer dessa observação para controlar a dose aplicada com razoável confiabilidade.

Palavras-chave: quartzo natural, irradiação e termoluminescência.

Abstract

A major problem of natural quartz dealers is to control the irradiation doses applied to their samples. We observed that the dosis is linearly proportional to the temperature where the beginning of the thermoluminescence can be seen with naked eyes. A reliable and simple procedure is offered to the dealers to control the doses applied to natural quartz.

Keywords: natural quartz, irradiation and thermoluminescence.

1. Introdução

O quartzo natural sem cor é rotineiramente irradiado com raios gama e depois aquecido para adquirir cores que vão desde o verde-oliva até o marrom-avermelhado, passando entre essas cores por tons de amarelo-esverdeado e amarelo-marrom. As temperaturas para aquecimento, feito ao ar, variam entre 180°C e 360°C. As doses de irradiação variam entre 45 KGy e 400 KGy -1 Gy (Gray) equivale a 1 Joule por quilograma. Em geral, o pedrista compra o serviço de irradiação e executa, ele próprio, o aquecimento.

O aquecimento é feito sob inspeção visual, porque as pedras de quartzo têm uma variação de comportamento devido às suas diferenças naturais, consequência das variações do seu processo geológico de formação.

Após a irradiação, o quartzo se torna preto, devido ao teor de alumínio. Quando aquecido, a partir de uma certa temperatura, ele começa a emitir uma luz azul e se observa o seu clareamento. Muitos autores têm se dedicado a tentar elaborar modelos que expliquem, de maneira satisfatória, a termoluminescência observada no quartzo [Itoh et al., 2002]. No final do processo, resta a cor que se deseja obter. Sabe-se que ela é função da dose. Para doses baixas, abaixo de 100 KGy, obtêm-se tonalidades esverdeadas. Para doses intermediárias, entre 150KGy e 200 KGy, obtêm-se tonalidades amareladas. Para doses superiores a 250 KGy, obtêm-se tonalidades amarronzadas. A dose exata para se obter uma dada cor depende da ocorrência do quartzo e deve ser ajustada para cada caso.

Alguns irradiadores evitam informar a dose aplicada. Com isso o pedrista fica sem referência para poder utilizar o serviço de mais de um irradiador. Desconhecendo a dose, ele pode correr enormes riscos de perdas quando há troca de irradiador. Deverá ser feito um cuidadoso estudo da dose em função da cor pelo novo irradiador, acarretando custos adicionais.

O quartzo pode ser utilizado como dosímetro [Bahadur, 2003], embora não

seja eficiente quando submetido a ciclos de irradiação e aquecimento [Banerjee, 2001]. A quantidade de luz que ele emite ao ser aquecido, fenômeno conhecido como termoluminescência, é proporcional à dose recebida. Essa quantidade pode ser medida em leitores de termoluminescência [Lima et al., 2002]. Entretanto, observamos que a temperatura onde a termoluminescência do quartzo natural se inicia, que pode ser detectada a olho nu, também é proporcional à dose recebida. A determinação dessa temperatura pode fornecer uma estimativa da dose com razoável confiabilidade.

2. Fundamentação

O motivo pelo qual o quartzo se torna preto quando exposto a raios gama é o seu teor de alumínio. Trata-se de uma impureza comum do quartzo, tanto natural como sintético. O alumínio se acomoda em um sítio tetraédrico normalmente ocupado pelo silício, no centro do tetraedro, com oxigênios em seus vértices. O silício tem valência 4+, enquanto o alumínio tem valência 3+. Para compensar essa deficiência de carga, íons alcalinos, principalmente sódio (Na⁺) ou lítio (Li⁺),

ou prótons (H⁺), ocupam sítios intersticiais vizinhos a esse tetraedro.

Os raios gama arrancam um elétron dos oxigênios que circundam o alumínio, cujas nuvens eletrônicas se superpõem. Esse elétron é capturado pelo íon alcalino ou pelo próton, que fica, então, neutro e pode migrar para outra posição da rede cristalina, já que não há mais necessidade de compensação de carga. A falta de um elétron nas nuvens eletrônicas dos oxigênios, referenciada como um defeito cristalino [AlO₄]⁺, permite aos elétrons remanescentes realizar várias transições eletrônicas, absorvendo luz em todo o espectro visível (ver Figura 1). Notam-se dois picos de absorção: um localizado em 460nm e outro localizado em 625nm. O aquecimento do quartzo reverte esse processo, com a emissão da luz azul característica (termoluminescência). Esse defeito se encontra amplamente estudado [Halliburton et al., 1981].

Observamos que a exposição aos raios gama também induz a formação de um outro pico de absorção de luz, localizado na região do ultravioleta, logo acima da região visível. Esse pico aumenta com a dose de irradiação e parte dele

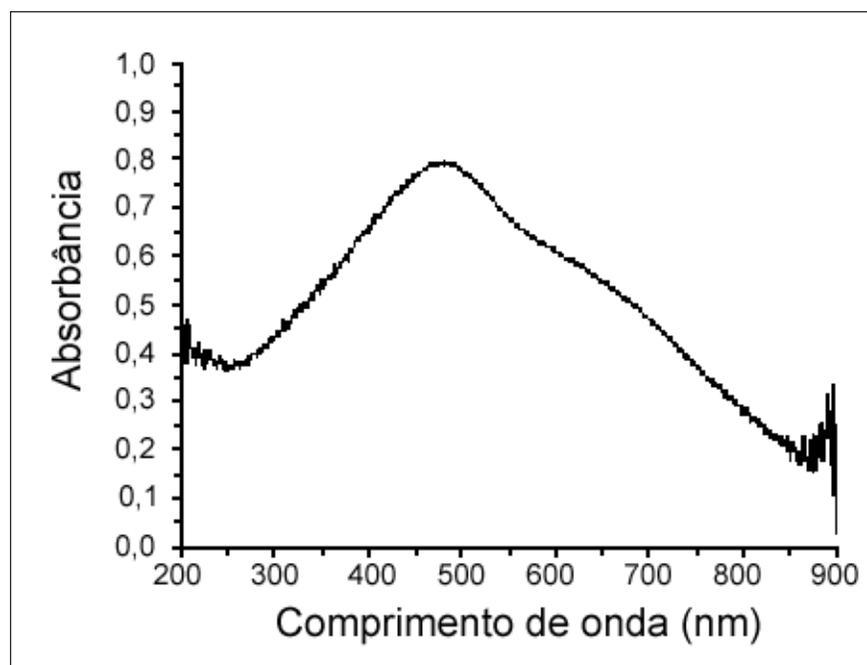


Figura 1 - Espectro da absorção de luz de amostras de São José da Safira - MG (a faixa visível está entre 400nm e 700nm).

avança dentro da faixa visível, absorvendo, à medida que a dose aumenta, o violeta, o anil, o azul, o verde e o amarelo. Essa absorção no visível é a responsável pelas cores do quartzo, já mencionadas (vide Figura 2). A eliminação desse pico requer temperaturas superiores àquelas dos picos relacionados com o defeito $[AlO_4]^+$. A sua origem ainda é motivo de estudo pelos autores. As hipóteses consideradas são a presença de alumínio intersticial associado com alumínio em posições do silício ou a presença de um metal de transição, provavelmente o manganês.

Portanto parte da luz emitida pela cura do efeito da irradiação relacionada com o defeito $[AlO_4]^+$ é absorvida por esse outro defeito, ou seja, há auto-absorção da luz azul, cuja intensidade aumenta com a dose. A percepção da termoluminescência do quartzo a olho nu será mais tardia na medida em que a dose aumenta.

3. Metodologia

Amostras de quartzo natural de várias origens foram irradiadas com raios gama, provenientes de uma fonte de cobalto-60, em um irradiador a seco panorâmico modelo GB-127 da Nordion. As doses variaram entre 20 e 300 KGy. Para todas as doses, as amostras se tornaram completamente pretas.

Após a irradiação, elas foram aquecidas ao ar em um forno com porta de vidro temperado, que permite a visualização do seu interior. Um termopar com registro digital foi colocado próximo às amostras. O aquecimento foi feito em ambiente de meia obscuridade para permitir uma melhor observação da termoluminescência. A taxa de aquecimento foi de 20°C por minuto.

Quando foi possível começar a se observar a luz azul, a temperatura foi anotada.

4. Resultados e Discussão

A intensidade das cores do quartzo varia de acordo com a procedência.

Elas podem ser mais fracas ou mais fortes, dependendo da intensidade do pico de absorção de luz que se forma na região do ultravioleta, próximo ao visível. Assim, o quartzo com cores mais fracas auto-absorve menos luz azul durante o aquecimento e se pode perceber o início da termoluminescência em temperaturas mais baixas que aquelas de um quartzo com cores mais fortes.

A Figura 3 mostra os resultados obtidos para duas ocorrências de quartzo. Vê-se que há uma correlação linear entre a temperatura de início de percepção da termoluminescência com a dose. Entretanto existe uma correlação diferente para cada ocorrência de quartzo. Assim, uma vez feito um estudo da dose em função da temperatura do início da percepção da termoluminescência a olho nu,

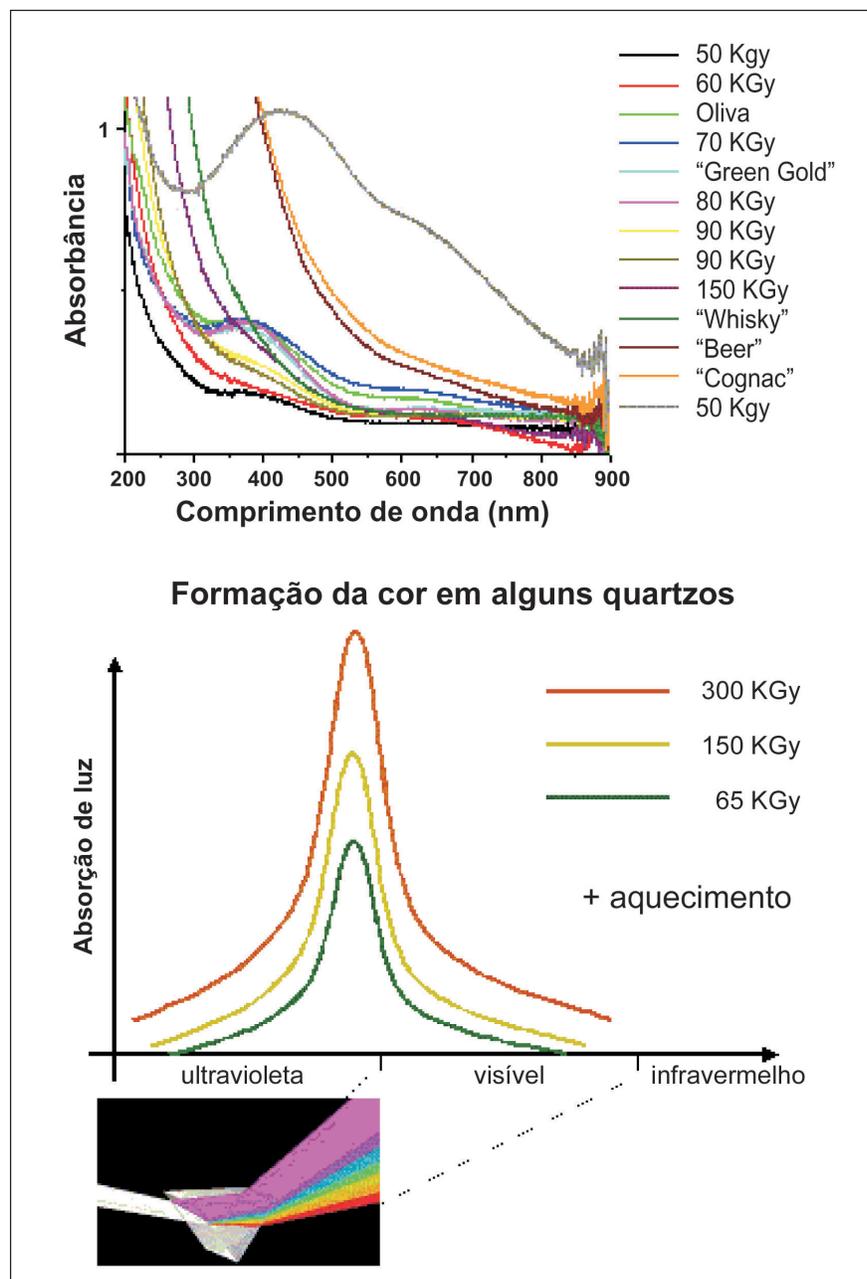


Figura 2 - (a) Espectro de absorção de luz na faixa visível e ultravioleta para amostras irradiadas e aquecidas de São José da Safira - MG; (b) Representação gráfica e esquemática do espectro de absorção de luz e de amostras de quartzo irradiadas e aquecidas de São José da Safira - MG.

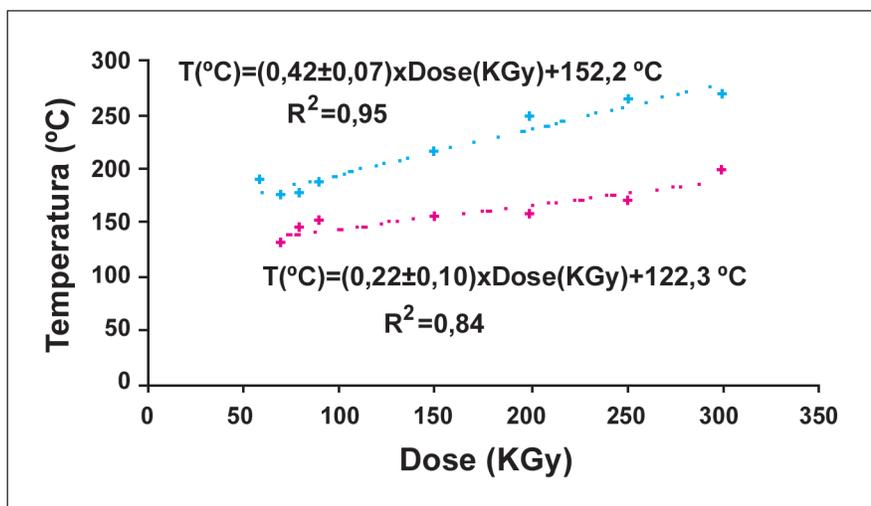


Figura 3 - Temperatura de observação do início da termoluminescência em função da dose para duas ocorrências de quartzo natural de São José de Safira - MG.

o pedrista poderá obter uma correlação linear que lhe permitirá controlar a dose aplicada em suas pedras com razoável confiabilidade. Por exemplo, para o quartzo de São José da Safira - MG, mostrado na Figura 3, a dose aplicada para uma determinada temperatura de observação do início da termoluminescência estará entre:

$$Dose_{\min} (KGy) = \frac{T(^{\circ}C) - 152,2}{0,49}$$

$$Dose_{\max} (KGy) = \frac{T(^{\circ}C) - 152,2}{0,35}$$

com 95% de probabilidade [Kreyszig, 1999].

Observamos que essas correlações são mais fortes para doses acima 60 KGy.

Doses abaixo desse valor, em geral, não proporcionam cores com valor comercial.

Por se tratar de um método que utiliza uma observação a olho nu, há uma certa subjetividade no julgamento do instante em que a termoluminescência se inicia. Sugere-se que somente pessoas treinadas utilizem esse método e que, para cada pessoa, se faça um ajuste estatístico específico. Por outro lado, as condições de meia obscuridade também devem ser controladas.

5. Conclusão

Constatou-se que a temperatura onde se inicia a observação a olho nu da termoluminescência do quartzo natural irradiado é linearmente proporcional à dose. Com isso, o pedrista poderá ter uma estimativa da dose aplicada em suas

amostras com razoável confiabilidade, desde que se faça um estudo para cada ocorrência de quartzo, se utilizem pessoas treinadas e se controle um ambiente de meia obscuridade.

6. Agradecimento

À FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio financeiro (Processo EDT 13003/01).

7. Referências Bibliográficas

- BAHADUR, H. Radiation-induced modifications of points defects in quartz crystals and their applications in radiations dosimetry. *Radiation Measurements*, v. 36, p. 493-497, 2003.
- BANERJEE, D. Supralinearity and sensitivity changes in optically stimulated luminescence of annealed quartz. *Radiation Measurements*, v. 33, p. 47-57, 2001.
- HALLIBURTON, L. E., KOUMVAKALIS, N., MARKES, M. E., MARTIN, J. J. Radiation effects in crystalline SiO₂: The role of aluminum. *Journal of Applied Physics*, v. 52, n. 5, p. 3565-3574, 1981.
- LIMA, J. F., NAVARRO, M. S., VALERIO, M. E. G. Effects of thermal treatment on TL emission of natural quartz. *Radiation Measurements*, v. 35, p. 155-159, 2002.
- ITOH, N., STONEHAM, D., STONEHAM, A. M. Ionic and electronic processes in quartz: Mechanisms of thermoluminescence and optically stimulated luminescence. *Journal of Applied Physics*, v. 92, n. 9, p. 5036-5044, 2002.
- KREYSZIG, E. Mathematics Statistics. In: *Advanced Engineering Mathematics*. 8 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 1156p. cap. 23, p. 1149.

Artigo recebido em 17/11/2003 e aprovado em 28/02/2004.

REM

68 anos divulgando CIÊNCIA
