

## NON-LINEAR INDEX REFRACTION OF HAP SOLUTION USING Z-SCAN TECHNIQUE

Moisés Oliveira dos Santos<sup>1</sup>, Denise Maria Zezell<sup>1</sup>, Thiago Martini Pereira<sup>1</sup>, Felipe Guimarães Albero<sup>1</sup>, Anderson Zanardi de Freitas<sup>1</sup>, Ricardo Elgul Samad<sup>1</sup>, Nilson Dias Vieira Júnior<sup>1</sup>, Mário E G Valério<sup>2</sup>, Anderson Stevens Leonidas Gomes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> - Centro de Lasers e Aplicações - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN/ SP - Brasil

<sup>2</sup> - Departamento de Física - Universidade Federal de Sergipe - SE - Brasil

<sup>3</sup> - Departamento de Física - Universidade Federal do Pernambuco - PE - Brasil.

### RESUMO

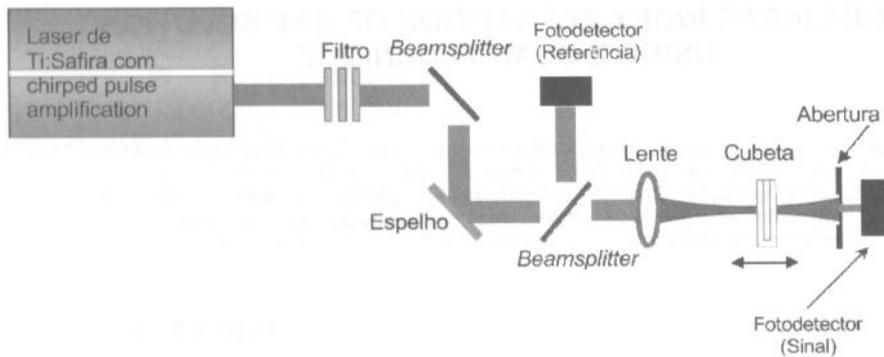
As propriedades ópticas não-lineares da Hidroxiapatita (HAp), ainda não estão bem estabelecidas na literatura. Para o estudo das não-linearidades ópticas de terceira ordem da HAp, foi preparado na forma de Sol-Gel uma amostra e calcinada à temperatura de 500 °C, formando cristais de HAp nanoestruturados, que foram caracterizados pela técnica de varredura-Z com laser pulsado com 40 fs de largura, centrados em 800 nm e taxa de repetição de 1kHz. A técnica consiste em mover a amostra ao longo da direção z de um feixe Gaussiano focalizado, enquanto a energia do feixe é mantida fixa. Os dados da transmitância obtidas pela técnica de varredura-Z através de uma abertura de campo distante foram analisados pelo Matlab® (MathWorks, Inc - Natick, MA) version 7.5. O índice de refração não-linear obtido para a amostra foi de  $1.4 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{W}$ , com não-linearidade positiva. Os resultados obtidos neste estudo não são conclusivos, sendo necessária nova obtenção dos dados com as mesmas condições, mas mudando a taxa de repetição para 100 Hz, a fim de evitar efeitos térmicos acumulativos decorrente da elevada taxa de repetição utilizada nesta montagem.

**Descritores:** Varredura-Z, HAp, Laser de Ti:Safira.

### ABSTRACT

The nonlinear optical properties of Hydroxyapatite (HAp), have not been established in literature. For study of third-order optical nonlinearities the HAp, was prepared in form of Sol-Gel, it was calcined at a temperature of 500 °C forming nano-structured HAp crystals and characterized by Z-scan technique with laser pulses of 40 fs, centered at 800 nm and repetition rate of 1kHz. The technique consists of moving the sample along the z direction of a focused Gaussian beam, while the beam energy is held fixed. The data obtained by the transmittance technique through an slit in the far field was plotted and analyzed by Matlab® (MathWorks, Inc - Natick, MA) version 7.5. The non-linear refractive index for the sample obtained was  $1.4 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{W}$ , with a positive nonlinearity. The results of this preliminary study are not conclusive and needs further measurements taken with a repetition rate of 100 Hz to avoid cumulative thermal effects resulting from high repetition rate used in this setup.

**Key words:** Z-Scan, HAp, Ti:Sapphire laser system.



**Figura 1:** Montagem experimental da técnica de varredura-Z. A transmitância é normalizada pela razão do sinal pela referência em função da posição da amostra ao longo da direção z.

## INTRODUÇÃO

A hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) é uma das cerâmicas mais biocompatíveis, porque é similar aos constituintes minerais dos tecidos duros humanos. Assim, há muitos estudos sobre HAp com laser de femtosegundos para aplicações biomédicas [1]. As propriedades ópticas não-lineares da HAp não estão estabelecidas na literatura. O conhecimento destes parâmetros ópticos são importantes quando o material é irradiado com laser de pulsos ultra curtos. Existem muitas técnicas para a medição de parâmetros ópticos não-lineares. Entre eles, a técnica da varredura-Z [2] é um dos métodos mais úteis para o estudo das propriedades ópticas não-lineares do material porque seu arranjo experimental é de montagem simples e permite a determinação das partes real e imaginária da susceptibilidade de terceira ordem ( $\chi^{(3)}$ ).

## MATERIAL E MÉTODOS DE ANÁLISE

Usamos a técnica da varredura-Z para investigar as propriedades de não-linearidade da HAp. A técnica consiste em transladar uma amostra ao longo do eixo de propagação (direção z), passando pelo foco do feixe laser Gaussiano focalizado. A amostra ao passar pelo foco produz ao longo da direção de propagação um perfil de intensidade que varia com a posição, uma vez que o raio do feixe Gaussiano varia com a posição Z. A Figura 1 mostra o arranjo experimental de técnica de varredura Z para medidas de absorção não-lineares. Para a montagem da técnica usamos

um sistema laser de Ti:Safira com *chirped pulse amplification* (CPA). Os pulsos são centrados em 800 nm com largura de 40 femtosegundos e taxa de repetição de 1 kHz. Para determinar as propriedades da HAp, a amostra foi deslocada ao longo do eixo de propagação (direção Z), usando um translador com motor indutivo. Os pulsos criaram várias auto-focalizações (ou auto-desfocalização), durante a propagação e concentraram-se através de uma lente de 10 cm de comprimento focal. A iris, com abertura de 1,5 mm, tinha afastamento d da lente de 415 mm. Para a montagem, a excursão da amostra foi de 7,0 mm em torno de z0. A cintura do feixe no foco é determinada usando-se a aproximação de primeira ordem, onde  $z_0 = 0,6$  mm. Portanto, para o comprimento de Rayleigh [3], o raio do feixe na cintura é de 12,36  $\mu\text{m}$ . A espessura da cubeta (L) utilizada, que contém a amostra, é de 1,0 mm. Toda a luz do feixe que atravessa a amostra é detectada por um fotodetector de alta sensibilidade espectral, e os sinais medidos como função da posição da amostra em Z. Para normalizar o sinal transmitido evitando assim as flutuações do laser, parte do feixe é dividido por um beamsplitter e sua energia medida por outro fotodetector. Todo o experimento foi realizado com cubetas gêmeas de quartzo SUPRASIL, sendo esterilizadas antes do uso. A cubeta de referência foi medida com água Milli-Q numa potência de 50  $\mu\text{W}$ . A medida de referência foi usada para evitar sobreposição de sinais em função da água + cubeta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada curva de uma dada potência,

determinamos a intensidade  $I_0$  e aplicamos na equação 1, para determinar a fase não-linear para as 5 potências utilizadas.

$$\Delta\Phi(I_0) = kn_2L_{\text{eff}}I_0 \quad (1)$$

onde  $L_{\text{eff}} = [1 - \exp(-\alpha L)]/\alpha$ , é o comprimento efetivo da amostra;  $I_0$  a intensidade do laser na cintura do feixe;  $z_0$  é o parâmetro confocal do feixe; e  $\Delta\Phi_0$  é a fase não-linear na cintura do feixe.

Os valores de fase não-linear obtidos de cada curva foram plotados em função das intensidades (**Figura 3**). O índice de refração não-linear da amostra é obtido do ajuste do coeficiente da inclinação da reta. Para este ajuste o índice de refração foi de  $1.4 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{W}$ .

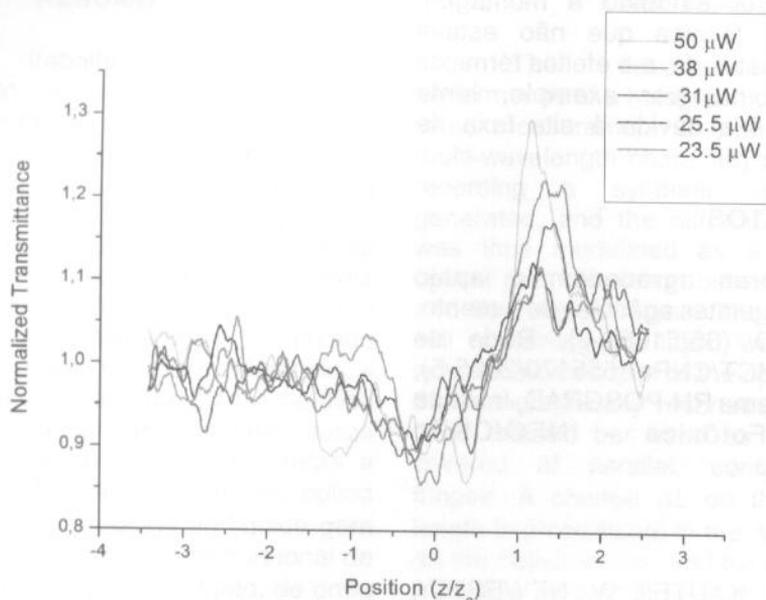


Figura 2: Transmitância normalizada para cada potência do feixe laser.

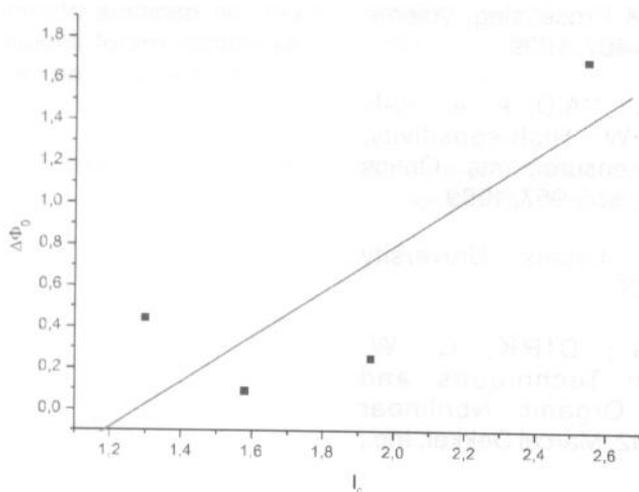


Figura 3: Ajuste linear das fases não-lineares.

## CONCLUSÃO

As propriedades ópticas não-lineares refrativas de HAp foram estudadas pela técnica de varredura-Z, usando feixe único. Os resultados preliminares obtidos indicam uma não linearidade positiva (autofocalização) [4]. O valor experimental para o índice de refração não-linear da amostra, usando feixe Gaussiano foi de  $1.4 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{W}$ . O ruído detectado no sinal obtido das medidas pode ser atribuído a montagem experimental da técnica que não estava totalmente automatizada, e a efeitos térmicos acumulativos como, por exemplo, lente térmica estacionária devido à alta taxa de repetição do feixe. [5]

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das seguintes agências de fomento: FAPESP CEPID (05/51689-2), Rede de Nanofotônica - MCT/CNPq (555170/2005-5), FAPEAM - Programa RH-POSGRAD, Instituto Nacional de Fotônica - INFO/CNPq (573916/2008-0).

## REFERENCIAS

- [1] KRÜGER, J.; KAUTEK, W.; NEWSELY, H. Femtosecond-pulse laser ablation of dental hydroxyapatite and single-crystalline fluoroapatite. *Applied Physics A Materials Science & Processing*, Volume 69, Issue 7, pp. 403-407, 1999.
- [2] SHEIK-BAHAE, M.; SAID, A. A.; VAN STRYLAND, E. W. High-sensitivity, single-beam  $n_2$  measurements. *Optics Letters*. V.14, n17, p. 955-957, 1989.
- [3] SIEGMAN, A. E. *Lasers*. University Science Books. 1986.
- [4] KUZYK, M. G.; DIRK, C. W. *Characterization Techniques and Tabulations for Organic Nonlinear Materials*. P.655-692, Marcel Dekker, Inc., 1998.

- [5] MIAN, S. M.; MCGEE, S. B.; MELIKECCHI, N. Experimental and theoretical investigation of thermal lensing effects in mode-locked femtosecond Z-scan experiments. *Optics Communications*. V.207, p.339-345, 2002.