



XXVIII CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL

Estudo da dinâmica do Laser CO₂ com absorvedor saturável.

¹Reiville dos Santos Rêgo, ²Leandro Santos Ribeiro, ³João dos Santos Protázio,
⁴Petrus Agripino de Alcântara Junior

^{1,2,3}Departamento de Matemática, CCEN – UFPA – Campus do Guamá.
66075110, Belém – PA, Brasil.

⁴Departamento de Física, CCEN – UFPA, Campus do Guamá

INTRODUÇÃO:

O estudo de lasers com absorvedores saturáveis vem atualmente despertando grande interesse devido ao seu potencial de aplicações industriais. Tais sistemas são compostos por uma estrutura óptico-eletrônica que apresentam variados comportamentos dinâmicos em sua intensidade de saída, em geral ocasionados por não linearidades intrínsecas[1]. Os lasers, em geral têm trazido contribuições diversas; em particular o laser de CO₂ com absorvedor saturável, que apresenta boas comparações com resultados observados experimentalmente[1].

O sistema de equações diferenciais do modelo LSA (laser with saturable absorber) utilizado é um sistema dissipativo que evolui no tempo, em que a densidade de fótons emitida e as densidades de população molecular do meio de ganho e do meio absorvedor. O modelo em suas órbitas de evolução no tempo, mostra-se soluções que apresentam ciclo limite. Em outras situações, como descrito por Tachikawa, Tannii e Shimizu, podem apresentar instabilidades com dinâmica caótica [1]. Entretanto, mostraremos somente, soluções periódicas.

O MODELO LSA.

Nesse trabalho fazemos uso de um modelo molecular e 3 níveis de energia para o meio ganho e 2 para o meio absorvedor, realizando uma simulação numérica do comportamento dinâmico de LSA de CO₂. A estrutura do modelo do Laser CO₂ com absorvedor saturável é:

$$\frac{dI}{dt} = -(1 - AD + A_1 D_1) I \quad (1.1)$$

$$\frac{dD}{dt} = \gamma(1 - D - ID) + \beta S \quad (1.2)$$

$$\frac{dS}{dt} = \gamma_1(D - \alpha S) \quad (1.3)$$

$$\frac{dD_1}{dt} = \gamma_2(1 - D_1 - aD_1) \quad (1.4)$$

A equação (1.1) fornece a taxa de variação da intensidade de radiação emitida pelo laser(sem dimensão) normalizada pela intensidade de saturação; a (1.2) dá a diferença de densidade de população (também adimensional) para os níveis vibracionais moleculares para o meio ganho; (1.3) dá a taxa da população total (adimensional) dos níveis vibracionais e (1.4) dá a diferença de densidade de população(adimensional) para os níveis rotacionais do meio absorvedor.

Com a finalidade de encontrarmos soluções estáveis para intensidade laser e posterior análise de estabilidade em torno destas soluções, considerou-se as equações (1.1-1.4). Para uma solução trivial $I_0 = 0$, tem-se

$$1 - AD - A_1 D_1 = 0 \quad (1.5)$$

O que resulta na seguinte condição:

$$D_1 = \frac{1}{1 + aI}, \quad D = \frac{1}{(1 + I) - \frac{\beta}{\alpha\gamma}} \quad (1.6)$$

Que aplicadas em (1.5) obtém-se para a intensidade laser

$$aI^2 + [Fa + 1 + A_1]I + A_1G = 0 \quad (1.7)$$

Com as soluções

$$I_{\pm} = \frac{1}{2a} \left\{ -[Fa + 1 + A_1] \pm [(Fa + 1 + A_1)^2 - 4a(F + A_1G)]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (1.8)$$

Para uma solução positiva tem-se a condição suficiente:

$$1 + A_1 > \frac{A}{1 - \frac{\beta}{\alpha\gamma}} \quad (1.9)$$

RESULTADOS NUMÉRICOS.

Para análise numéricas das equações (1.1-1.4), utilizou-se o método de Runge-Kutta de 4ª ordem, com um passo de integração 0.01, por apresentar apto à amostragem dos pulsos lasers que repetem-se em períodos da ordem de 10⁻⁶ [1].

Usando o modelo de 3-2 níveis o comportamento dinâmico do laser saturável nas soluções que modificam-se de acordo com a variação do parâmetro de controle. Usou-se os seguintes parâmetros para as simulações: $A = 9.0$; $A_1 = 4.5$; $a = 0.251$; $\gamma = 0.0008$; $\beta = 0.0998$; $\alpha = 1.004$; $\gamma_1 = 0.0988$; $\gamma_2 = 0.001$.

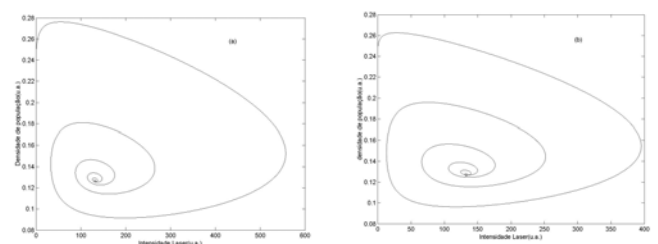


Figura1: Evolução no espaço DxI. Utilizando $\gamma_2 = 0.001$.

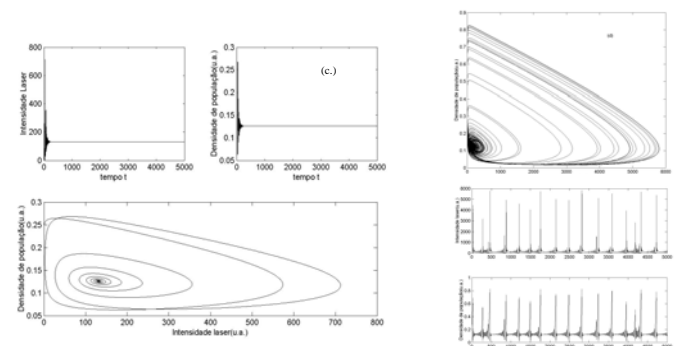


Figura2: Diagrama de fase do LSA, conjuntamente com as series temporais. Em (d) apresentam pulsos diferenciados com respeito a intensidade laser e a densidade de população, perdendo a característica periódica.

Na figura1 o modelo LSA tem uma solução que representa um regime no qual a intensidade de saída do sistema apresenta uma seqüência periódica de pulsos, isto é, positive Q-switching(PQS). A solução descrita sofre uma bifurcação Hopf subcrítica. Percebe-se na fig.2.c. regimes periódicos. Em fig2.d. apresenta-se soluções quase periódicas, e as órbitas convergem para pontos de equilíbrios estáveis. O valor da taxa de relaxação rotacional para o cenário periódico é $\gamma_R = 0.09$.

CONCLUSÕES

As simulações numéricas provaram a existência de ciclo limite. A variação da taxa de relaxação rotacional (γ_R), para simular a dinâmica de um laser de CO₂ com absorvedor saturável reforça a viabilidade de se estudar regimes dinâmicos de LSA. As ondulações ocorridas são devidas ao balanceamento entre emissão induzida do nível superior laser e a relaxação do nível inferior. As amplitudes dessas ondulação são não amortecidas ou mesmo amplificadas devido ao efeito de saturação do meio absorvedor[1].

REFERÊNCIAS:

- [1] JUNIOR, Pericles O., JUNIOR, Petrus A. A.; *Análise da dinâmica caótica de lasers com saturação intrínseca via mapeamento temporal*. Dissertação de mestrado, UFPA(1997).
- [2] GALLAS, A.R., FIORETTI, J.A.C., PAPOFF, A., ARIMONDO, B.E., *Lyapunov exponents and maps for model of a laser with saturable absorber*. Phys. Lett. A. v. 172, p. 247 - 255, 1993.
- [3] Ott, Edward, *Chaos in Dynamical Systems*, Cambridge, New York, 1993.