

## FENÔMENOS COMPLEXOS EM SISTEMAS DINÂMICOS NÃO-LINEARES <sup>1</sup>

Lais Bastos da Silva Lima <sup>2</sup>, Holokx Abreu Albuquerque <sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Vinculado ao projeto “Fenômenos Complexos em Sistemas Dinâmicos Não-Lineares”

<sup>2</sup> Acadêmica do Curso de Licenciatura em Física – CCT – Bolsista PROBIC

<sup>3</sup> Orientador, Departamento de Física - CCT– holokx.albuquerque@udesc.br

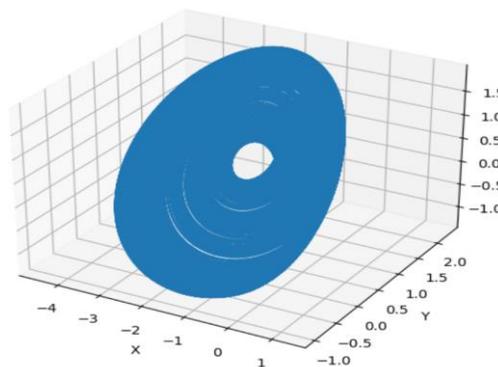
No estudo desenvolvido, foi analisado um dos 19 modelos matemáticos descritos por 3 equações diferenciais ordinárias não-lineares acopladas encontrados no artigo de James C. Sprott [1], o sistema S:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -x - 4y; \\ \dot{y} &= x + z^2; \\ \dot{z} &= 1 + x.\end{aligned}\quad (1)$$

O primeiro passo para o estudo do sistema (1), foi resolver numericamente as equações usando um código em Python, com o intuito de comparar o resultado obtido na computação digital com a computação analógica feita no software NI Multisim. O Multisim simula o comportamento de um circuito eletrônico, contendo amplificadores operacionais, capacitores, resistores e circuitos integrados.

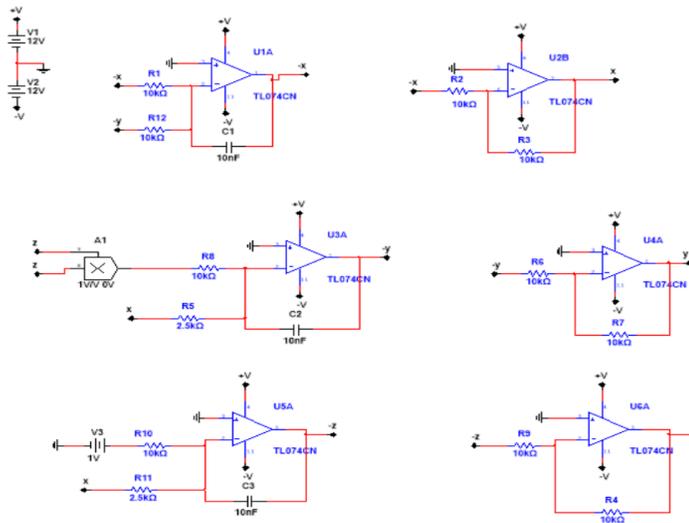
A figura 1 mostra um atrator típico do sistema (1), no espaço das variáveis  $(x,y,z)$  obtido pela solução numérica através de um código escrito em Python. De posse deste resultado, foi observado o intervalo em que cada variável se encontra e realizamos uma reescala nas variáveis do sistema (1) para os valores se adequarem com a escala de tensão apropriada para o circuito analógico. Após a reescala, temos o sistema (2):

$$\begin{aligned}\dot{x}' &= -x' - y; \\ \dot{y} &= 4x' + z^2; \\ \dot{z} &= 1 + 4x'.\end{aligned}\quad (2)$$



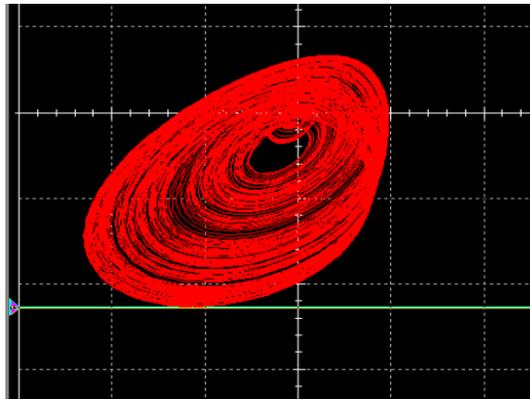
**Figura 1. Atrator caótico do sistema (1) obtido em Python.**

Após a reescala é possível montar e simular o circuito analógico no software sem o risco de algum componente saturar. Na figura 2 mostramos o esquema do circuito integrador para o sistema (2) feito no software NI Multisim.



**Figura 2. Esquema elétrico do circuito para o sistema (2) feito no NI Multisim.**

Na figura 3, mostramos um atrator no plano das variáveis  $(x,y)$  obtido pela simulação no NI Multisim do circuito da figura 2. Nesta simulação, o circuito integra no tempo o sistema (2). Com isso, comparamos os resultados das figuras 1 e 3 e observamos uma concordância entre os dois métodos de integração numérica, diretamente pela integração do sistema (1) e pela simulação do circuito integrador do sistema (2), respectivamente.



**Figura 3. Atrator caótico do circuito do sistema (2) obtido pelo NI Multisim.**

**Palavras-chave:** Computação Analógica. Eletrônica Analógica. Caos.

**Referências:**

- [1] J. C. Sprott, Some simple chaotic flows, Physical Review E 50, R647(R) (1994).
- [2] David W. C. Marcondês, Controle de parâmetros via tensão contínua: uma aplicação em dinâmica não linear. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Física, Joinville, 2017.