

Explorando a complexidade em modelos de circuitos elétricos: dinâmica caótica, multiestabilidade e propriedades não lineares

Luciano de Oliveira Junior, Cesar Manchein

INTRODUÇÃO

A diferença dos padrões de intervalo de disparo de neurônios é de extremo interesse para o entendimento da funcionalidade do sistema nervoso em todo o reino animal, principalmente para seres humanos. Por exemplo, estes padrões carregam informações acerca de possíveis desequilíbrios, que podem ser indícios de algum transtorno neurológico como a epilepsia e narcolepsia. Os disparos neuronais podem ser modelados a partir de circuitos elétricos, utilizando um memristor conectado em paralelo a um indutor, como é de interesse para o seguinte estudo. Circuitos elétricos não-lineares, em específico aqueles com dispositivos memristivos, exibem um comportamento caótico porém determinístico, sendo de imenso interesse não apenas para a biofísica e medicina, mas também para engenharias e outros setores de desenvolvimento tecnológico.

DESENVOLVIMENTO

Partindo de um modelo já proposto na literatura por Yu et al. (2025):

$$\begin{aligned}\frac{dx}{d\tau} &= (1-a)x - \frac{1}{3}x^3 - y + u_s \\ \frac{dy}{d\tau} &= c(x - b \sin(\beta z)y) \\ \frac{dz}{d\tau} &= \delta y - \alpha z + E_{ext}\end{aligned}$$

onde a , b , c , α , β e δ são parâmetros adimensionais do sistema, E_{ext} é o sinal elétrico do campo elétrico do canal iônico memristivo, dado por $E_{ext} = A_E \cos(0.6\tau)$, e u_s é um sinal periódico dado por $u_s = A \cos(f\tau)$. A caoticidade do sistema foi estudada a partir de expoentes de Lyapunov, diagramas de fase e de bifurcação, seguindo a metodologia de Manchein, Berger e Albuquerque (2023). Para tal, foi utilizado o método Runge-Kutta de quarta ordem para integração do sistema de equações diferenciais acopladas, investigando regimes de amplitude e frequência natural para o campo elétrico resultante do canal iônico memristivo.

RESULTADOS

Foi possível encontrar regiões de comportamento caótico, como visto na Figura 1, onde as regiões em vermelho indicam periodicidade, em preto são regiões de quasi-periodicidade e em amarelo indicam comportamento caótico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossos resultados geraram formas de controlar o comportamento do neurônio, sendo assim uma possível forma de construir neurônios artificiais com canais iônicos memristivos.

Palavras-chave: Caos. Circuitos elétricos. Memristor. Neurônio.

ILUSTRAÇÕES

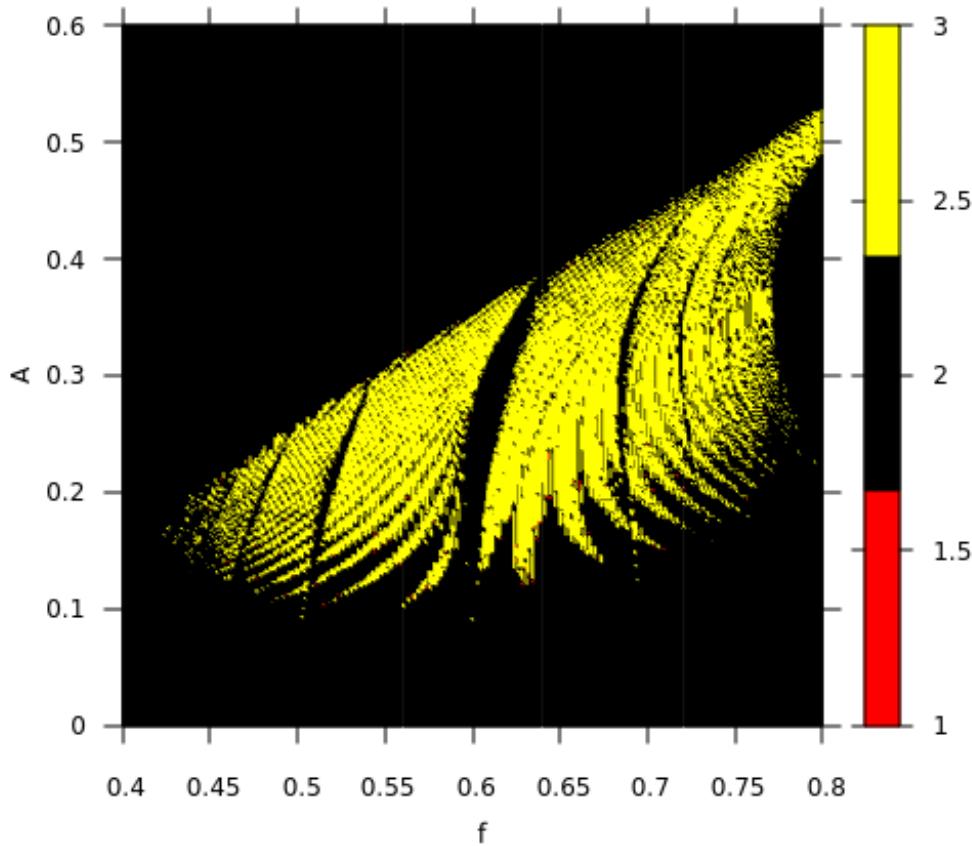


Figura 1: Diagrama de regimes dinâmicos obtido a partir da combinação dos expoentes do espectro de Lyapunov. Em vermelho, regiões de periodicidade, em preto regiões de quasi-periodicidade e comportamento caótico em amarelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] YU, Z. et al. Dynamics of a neuron with a hybrid memristive ion channel. **Chaos, Solitons & Fractals**, v. 194, p. 116233, maio 2025.
- [2] MANCHEIN, C. et al. Arnold Tongue-Like Structures and Coexisting Attractors in the Memristive Muthuswamy–Chua–Ginoux Circuit Model. **International Journal of Bifurcation and Chaos**, v. 33, n. 12, p. 2350146, 30 set. 2023.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Luciano de Oliveira Junior

MODALIDADE DE BOLSA: PIBIC/CNPq (IC)

VIGÊNCIA: 08/2024 a 07/2025 – Total: 11 meses

ORIENTADOR(A): Cesar Manchein

CENTRO DE ENSINO: CCT

DEPARTAMENTO: Departamento de Física (DFIS)

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Ciências Exatas e da Terra / Física

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Sistemas Dinâmicos Não-Lineares:
Propriedades Caóticas e Estatísticas - Parte 3

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP3204-2024