

# ESTADOS DE SINCRONIZAÇÃO EM REDES PEQUENAS DE NEURÔNIOS BIOLÓGICOS



Beatriz E. P. Mizusaki, Rubem Erichsen Jr.  
Instituto de Física - Universidade Federal do Rio Grande do Sul



## INTRODUÇÃO

Estudam-se os estados de sincronização de cinco neurônios, biologicamente plausíveis, interagentes. Acredita-se que os mecanismos responsáveis pelos sentidos, percepção e cognição sejam relacionados com a evolução dinâmica desses estados.

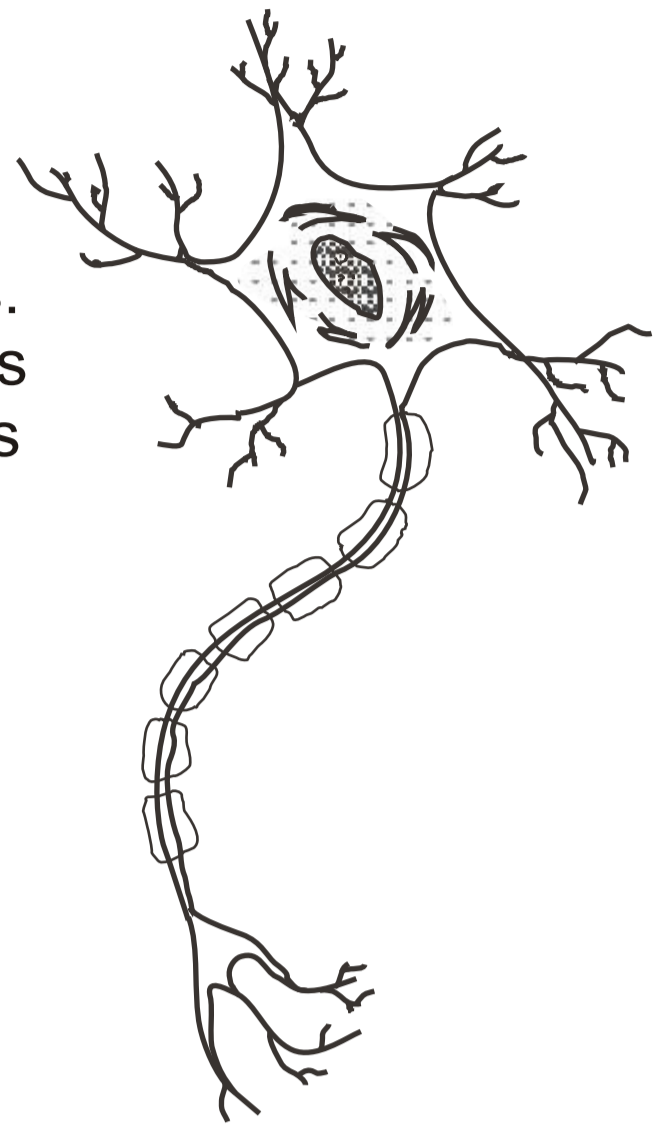


FIG. 1. Representação de um neurônio biológico.

## CODIFICAÇÃO

Em uma abordagem computacional, os processos cognitivos podem ser modelados por trajetórias heteroclínicas entre um conjunto de atratores instáveis.

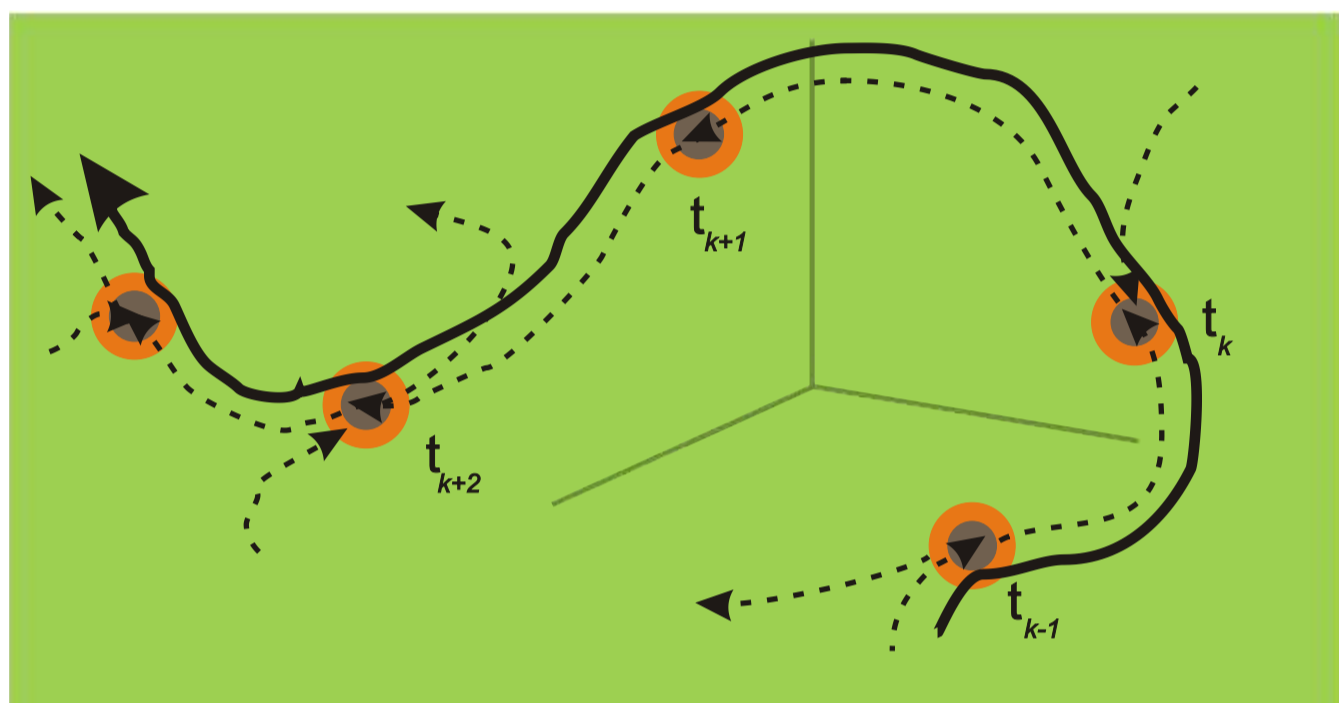


FIG. 2. Representação esquemática de uma trajetória heteroclínica (linha cheia) através de um conjunto de atratores instáveis (estados de sincronização).

## MODELO DE HINDMARSH-ROSE

É um modelo razoavelmente simples, não formulado com base na fisiologia de um neurônio real, mas que consegue reproduzir quase todos os seus regimes de atividade elétrica. Isso pode ser controlado variando-se o valor de  $I$ , que simula uma corrente externa, enquanto os outros parâmetros são mantidos fixos. A variável  $x$  representa o potencial da membrana e as variáveis  $y$  e  $z$  representam correntes de íons que geram a dinâmica rápida e lenta.

Equações do modelo:

$$\frac{dx}{dt} = y - ax^3 + bx^2 - z + I$$

$$\frac{dy}{dt} = c - dx^2 - y$$

$$\frac{dz}{dt} = r[s(x - \alpha) - z]$$

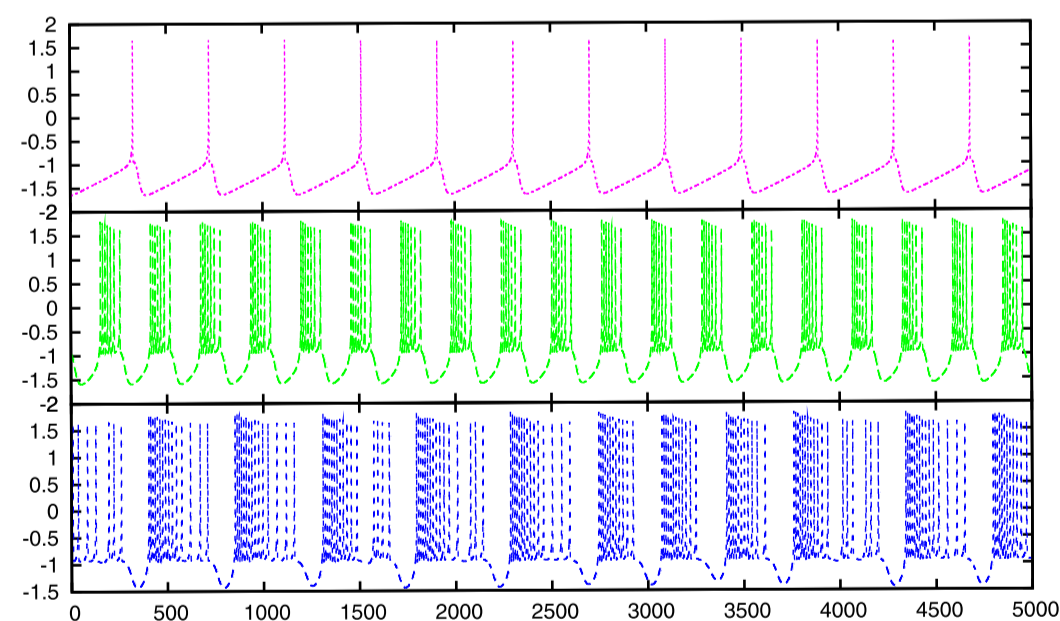


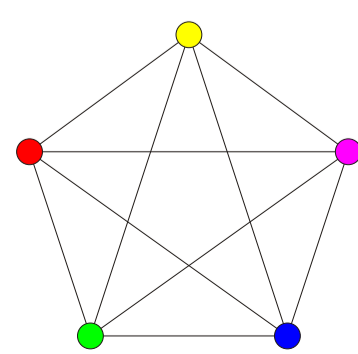
FIG. 3. Evolução temporal do modelo de Hindmarsh-Rose para  $I=1.341$  (roxo), pulsos periódicos,  $I=2.5$  (verde) com trens de pulso periódicos e  $I=3.32$  (azul) com atividade caótica. A unidade da escala de tempo corresponde a aproximadamente 1ms.

## REDE

É utilizado um modelo de rede totalmente conectada, com todos os nós interagindo simetricamente. Foram levadas em consideração apenas as interações químicas. As sinapses são modeladas por pulsos no potencial, que adiantam (caráter excitatório) ou atrasam (inibitório) a dinâmica dos neurônios vizinhos, de acordo com o potencial  $E_{rev}$ . O acoplamento foi introduzido na corrente externa  $I$ .

$$I(t) = I_o + \epsilon(x(t) - E_{rev}) \left[ \sum_k e^{-\frac{t-t_k-t_r}{\tau_1}} - e^{-\frac{t-t_k-t_r}{\tau_2}} \right] \Theta(t - t_r)$$

FIG. 4. Grafo representando uma rede de cinco nós totalmente conectados.



contato: [mzkbia@gmail.com](mailto:mzkbia@gmail.com), [rubem@if.ufrgs.br](mailto:rubem@if.ufrgs.br)

## RESULTADOS

Gráficos das diferenças de fase entre os neurônios, normalizadas entre 0 e  $2\pi$ . Todos os resultados foram obtidos para sinapses excitatórias, com  $E_{rev} = -1.7$ .

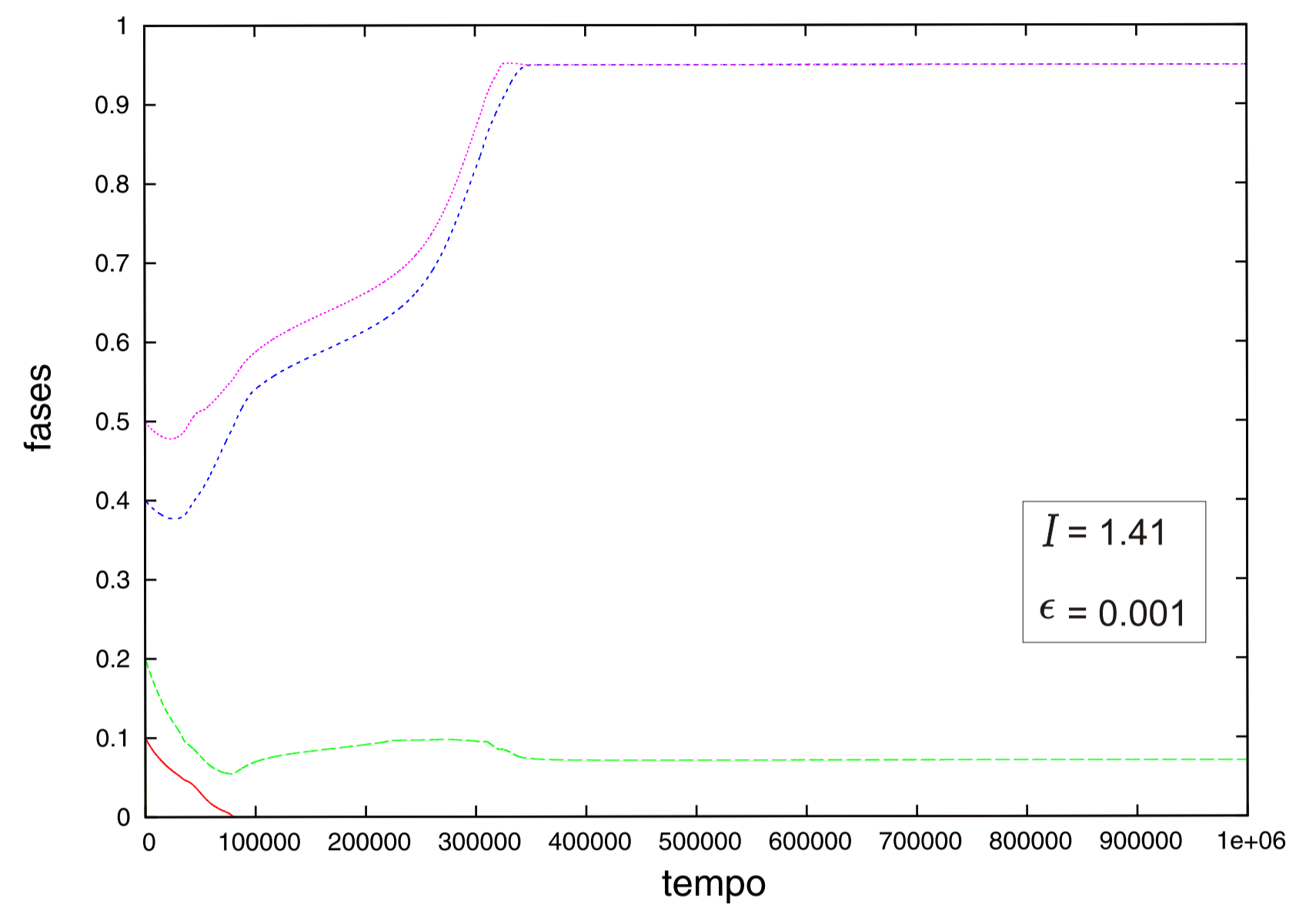


Gráfico 1: Estado com simetria 2-2-1: há 30 estados desse tipo em uma rede com 5 neurônios. São possíveis candidatos a produzir uma trajetória heteroclínica.

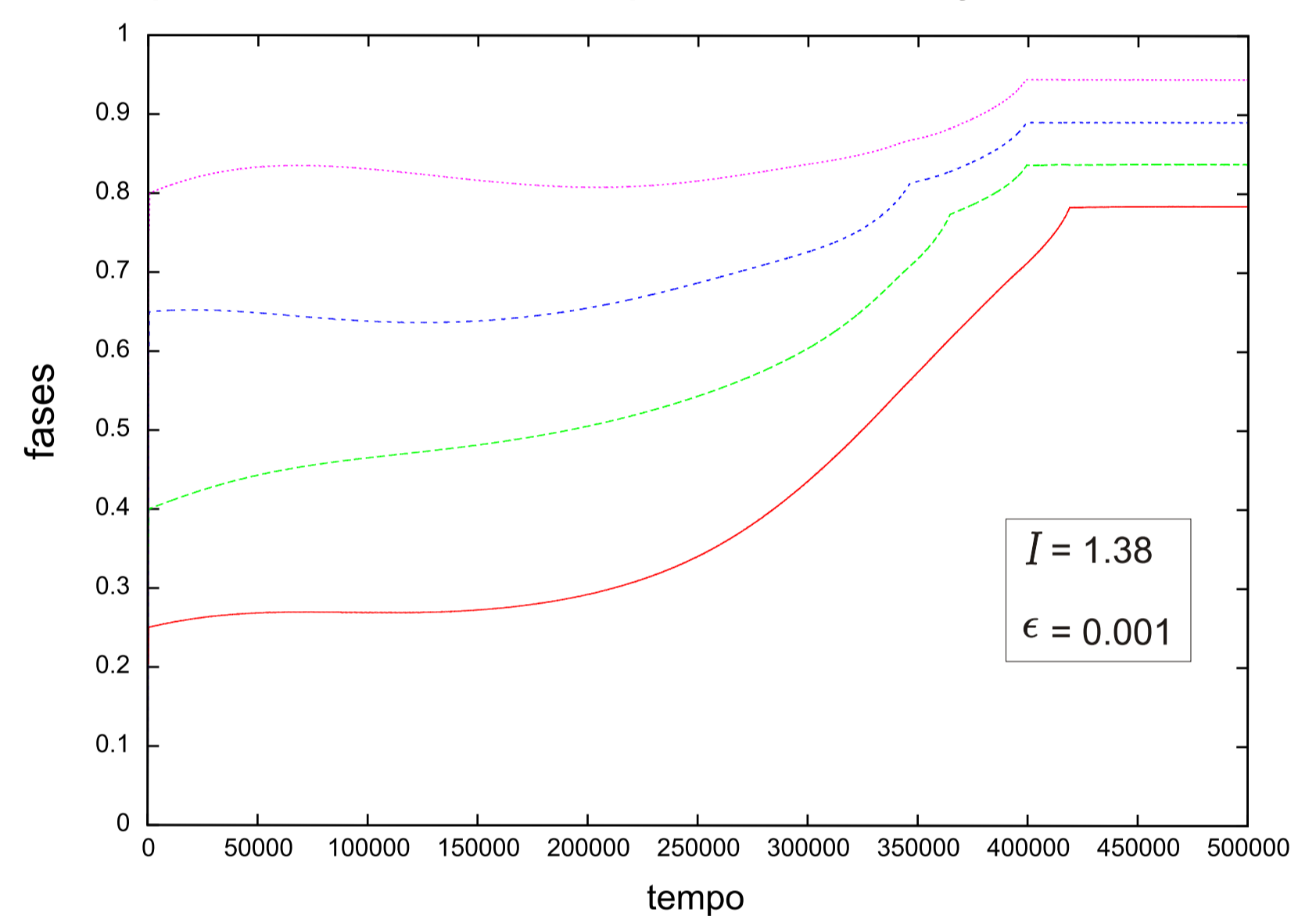


Gráfico 2: 5 diferenças de fase finais.

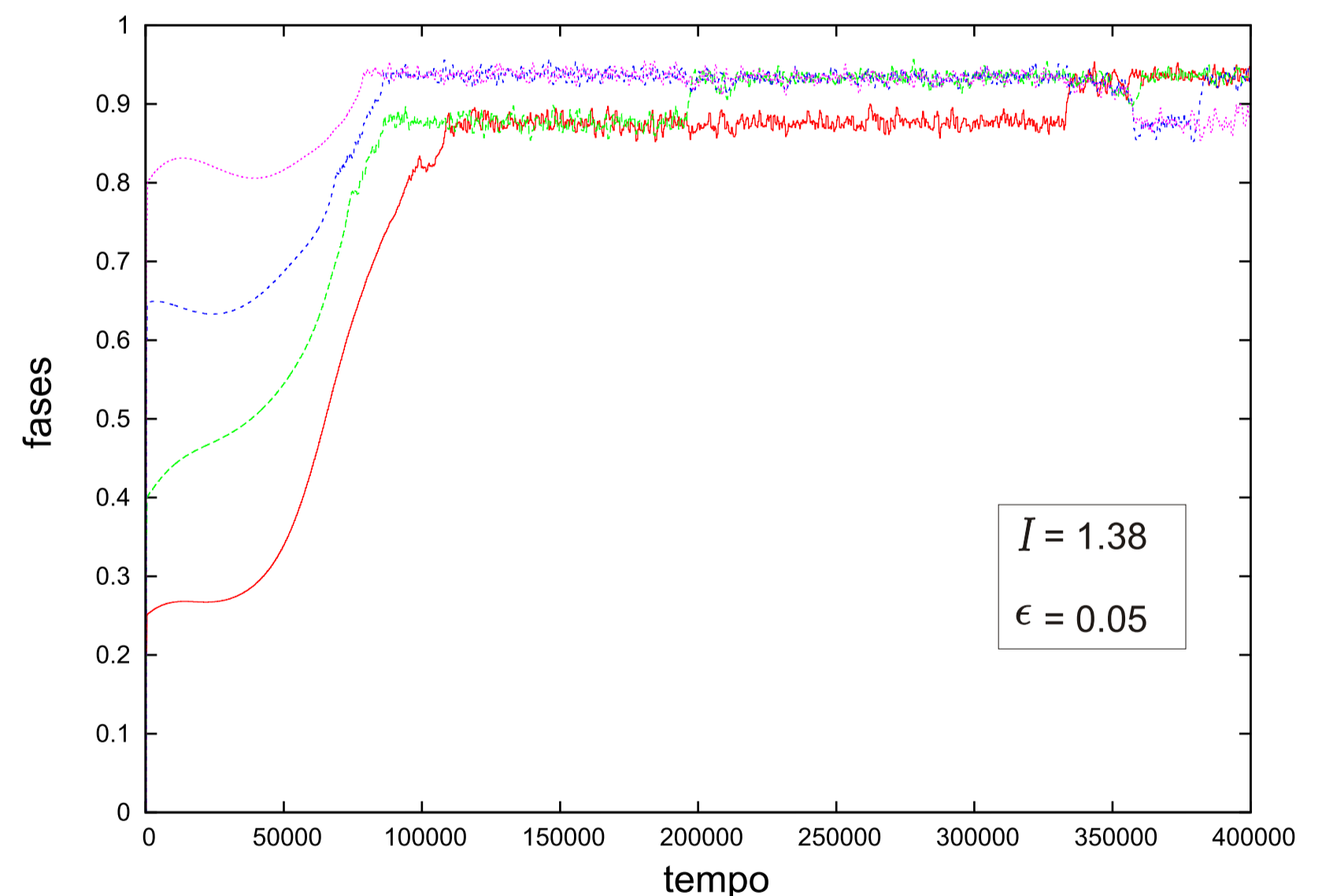


Gráfico 3: O aumento da constante de acoplamento gera uma dinâmica caótica que leva a transições entre atratores meta-estáveis.

## CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Observamos estados de sincronização com simetrias variadas, e dependendo do acoplamento entre os neurônios, verificam-se transições entre eles. Perspectivas imediatas: estudar a influência dos tipos de sinapses e regras de transição entre os estados.

## PRINCIPAIS REFERÊNCIAS

- F. Schittler-Neves, M. Timme: *Controlled perturbation-induced switching in pulse-coupled oscillator networks*. J. Phys. A: Math. Theor. 42, 345103 (2009)
- M. Rabinovich, R. Huerta, G. Laurent: *Transient dynamics for neural processing*. Science 321, 48-50(2008)
- M. Rabinovich, A. Volkovskii, P. Lecanda, R. Huerta, H. D. I. Abarbanel, G. Laurent: *Dynamical encoding by networks of competing neuron groups: winnerless competition*. Phys. Rev. Lett. 87.068102(2001)