

Redes neurais: modelagem e aspectos computacionais

Antônio C. Roque

Departamento de Física, FFCLRP

Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto

antonior@usp.br



Tipos de atividade cortical espontânea

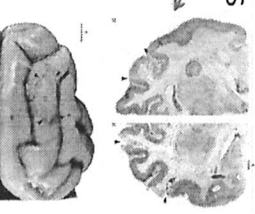
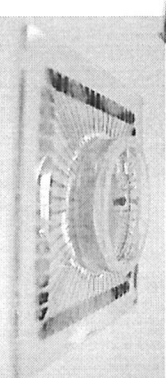
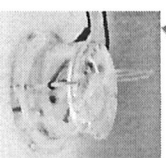
Atividade espontânea (AE)

Disparos de potenciais de ação de neurônios na ausência de estímulos sensoriais ou de tarefas motoras ou comportamentais

- Disparos neuronais na **ausência** de estímulos externos:

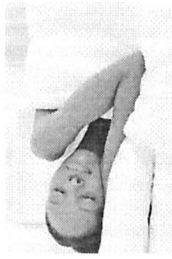
AE de neurônios corticais 1

- *Preparações in vitro* de fatias de tecido cortical;
- *Preparações in vitro* de culturas de neurônios corticais;
- *Preparações in vivo* de placas corticais



AE de neurônios corticais 2

- Disparos neuronais quando o córtex está **essencialmente desconectado** do mundo exterior:
 - Sono de ondas lentas (SOL)
 - Anestesia



Características de estados de AE corticais (como revelados por estudos eletrofisiológicos)

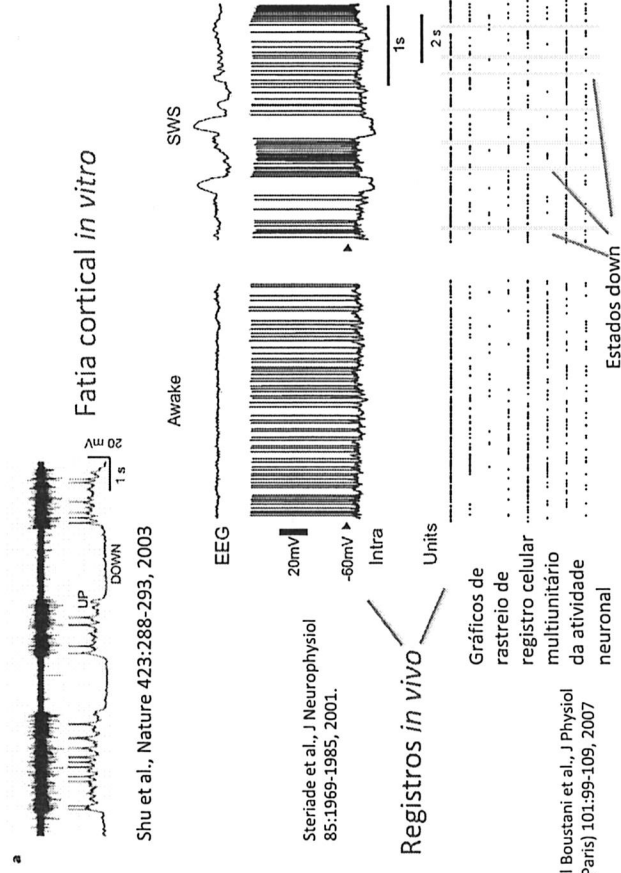
- Preparações *in vitro* e *in vivo*, SOL e anestesia:
 - Oscilações populacionais **lentas** e de **alta amplitude**;
 - Estados neuronais **up** e **down**.
- Estado de repouso:
 - Oscilações populacionais **rápidas** e de **baixa amplitude**;
 - Disparos neuronais **irregulares**.

AE de neurônios corticais 3

- Disparos neuronais quando o indivíduo está acordado, mas não engajado em atividades sensoriais ou tarefas comportamentais: estado de repouso (*resting state*)

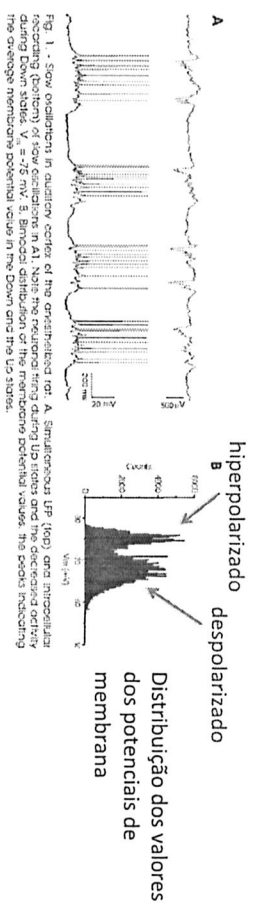


AE: *in vitro* e *in vivo*

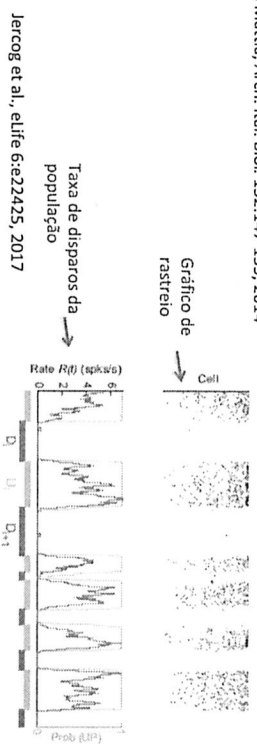


Estados up e down

(*in vitro*, anestesia e sono de ondas lentas)

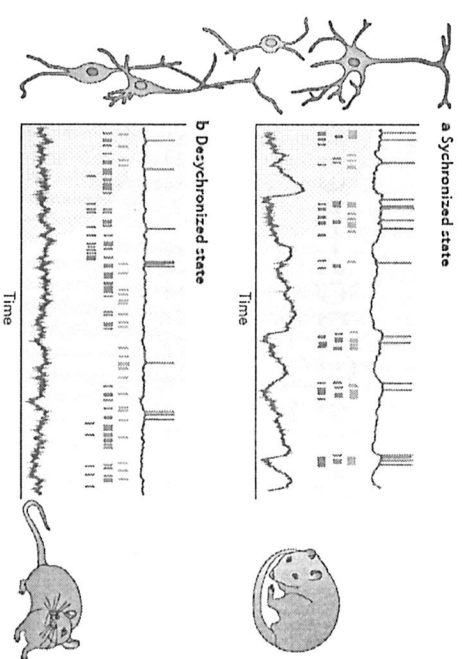


Sanchez-Vives and Mattia, Arch. Ital. Biol. 152:147-155, 2014



- Como a mesma rede neuronal pode gerar padrões espontâneos de atividade populacional oscilatórios (sincronizados) e constantes (de-sincronizados)?
- Quais são os mecanismos responsáveis pelos estados up e down durante o estado oscilatório?
- Modelos de redes neuronais conseguem replicar esses estados?

Estados “sincronizados” e “de-sincronizados”: atividade populacional oscilatória vs. constante

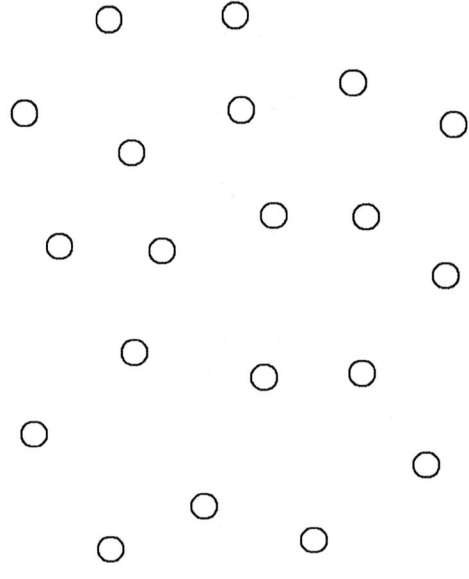


Harris & Thiele, Nat Rev Neurosci 12:509-523, 2011

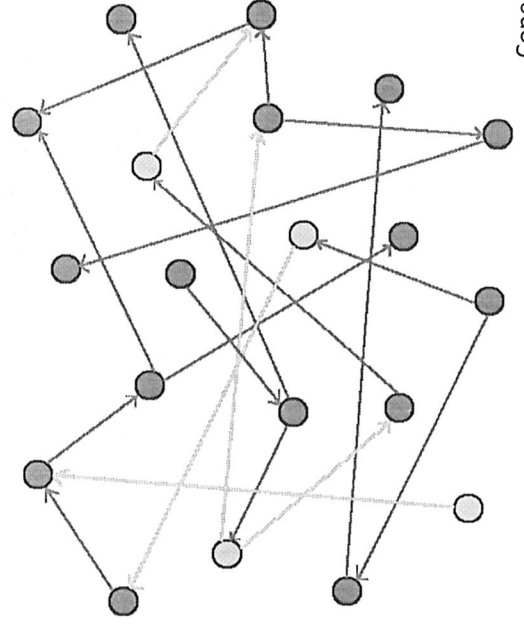
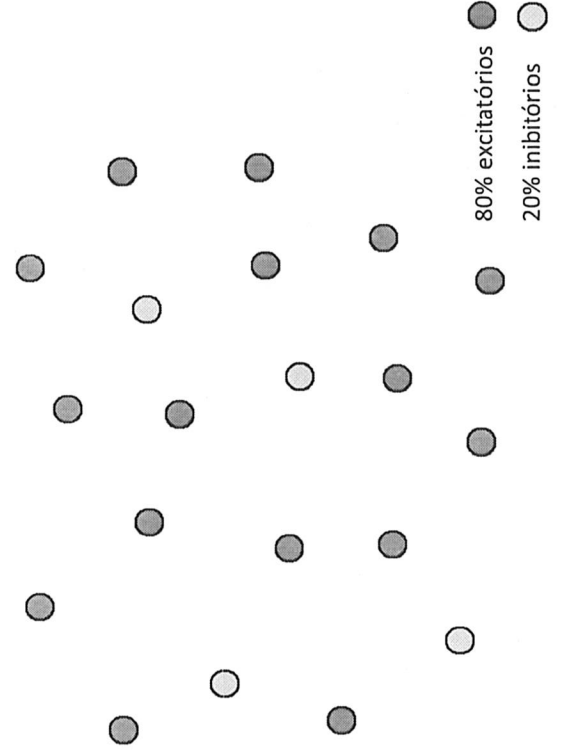
Questões

- Rede aleatória (grafo de Erdős–Rényi) (80% neurônios excitatórios, 20% neurônios inibitórios);
- Conectividade esparsa (baixa probabilidade de conexão entre pares de neurônios);
- Modelo simples de neurônio: integra-e-dispara com vazamento (*leaky integrate-and-fire*, LIF);
- Sinc/de-sinc depende do balanço inibição/excitação sináptica;
- Estímulos externos “de fundo” aplicados aos neurônios;
- Estados up/down se originam de correntes iônicas adaptativas (adicionadas aos neurônios LIF) ou estímulos externos flutuantes.

Grafo de Erdős–Rényi



Conjunto de N neurônios

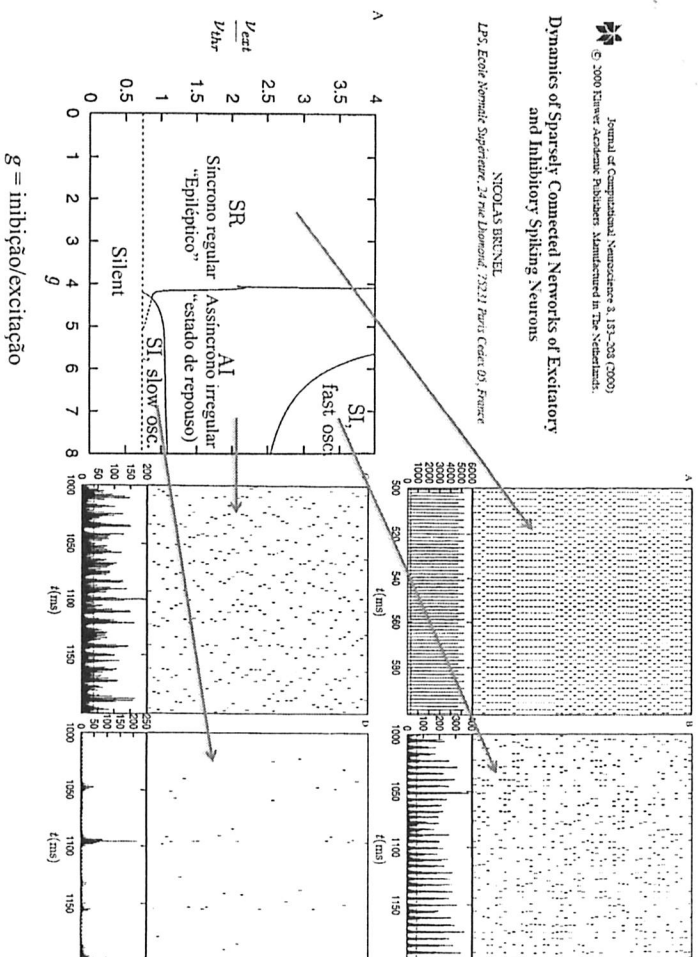


Conecte os pares de neurônios com probabilidade p

Dynamics of Sparsely Connected Networks of Excitatory and Inhibitory Spiking Neurons

NICOLAAS BRUNEL

LPS, Ecole Normale Supérieure, 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, France

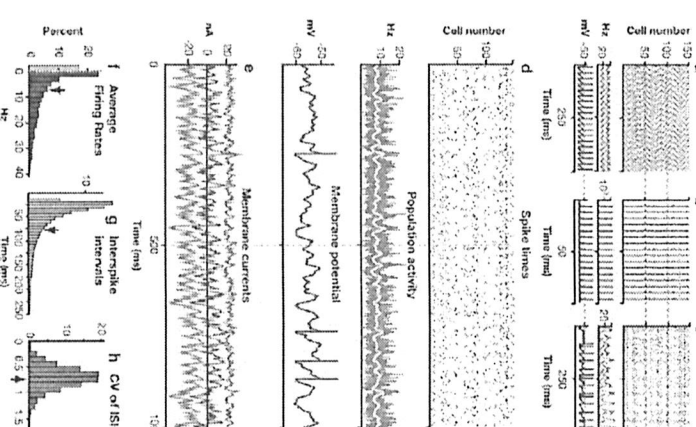
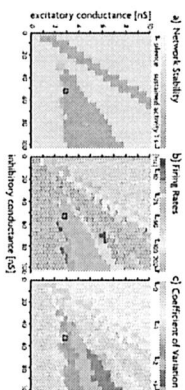


Neural Network Dynamics

Tim P. Vogels, Kanaka Rajan, and L.F. Abbott

Walter Center for Complex Systems and Department of Biology, Brandeis University, Waltham, Massachusetts 01946-0110; e-mail: vogels@brandeis.edu

- (a) **Assíncrono regular**: neurônios individuais disparam de forma regular e a taxa populacional é aproximadamente constante
- (b) **Síncrono regular**: Atividades oscilatórias dos neurônios individuais e da população disparam de forma irregular e a taxa populacional oscila
- (c) **Síncrono irregular**: neurônios individuais disparam de forma irregular e a taxa populacional oscila
- (d) **Assíncrono irregular**: neurônios individuais disparam de forma irregular e a taxa populacional é aproximadamente constante



Para arquiteturas mais realistas, veja:

frontiers in COMPUTATIONAL NEUROSCIENCE

Sustained oscillations, irregular firing, and chaotic dynamics in hierarchical modular networks with mixtures of electrophysiological cell types

Petar Tomov¹, Rodrigo F. O. Pena², Michael A. Zaks¹ and Antonio C. Roque^{1*}

¹ Institute of Mathematics, Universidade de São Paulo, São Carlos, Germany

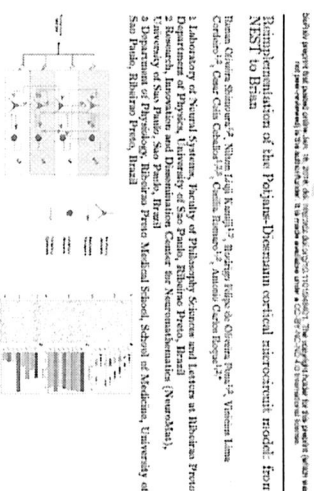
² Laboratory of Physics, Department of Physics, School of Engineering, São Carlos and Institute of Physics, University of São Paulo, Ribeirão Preto, Brazil

2018

frontiers in Computational Neuroscience

2014

2016



Mechanisms of Self-Sustained Oscillatory States in Hierarchical Modular Networks with Mixtures of Electrophysiological Cell Types

Petar Tomov¹, Rodrigo F. O. Pena², Antonio C. Roque¹ and Michael A. Zaks^{1*}

¹ Institute of Mathematics, Universidade de São Paulo, São Carlos, Germany

² Laboratory of Physics, Department of Physics, School of Engineering, São Carlos and Institute of Physics, University of São Paulo, Ribeirão Preto, Brazil

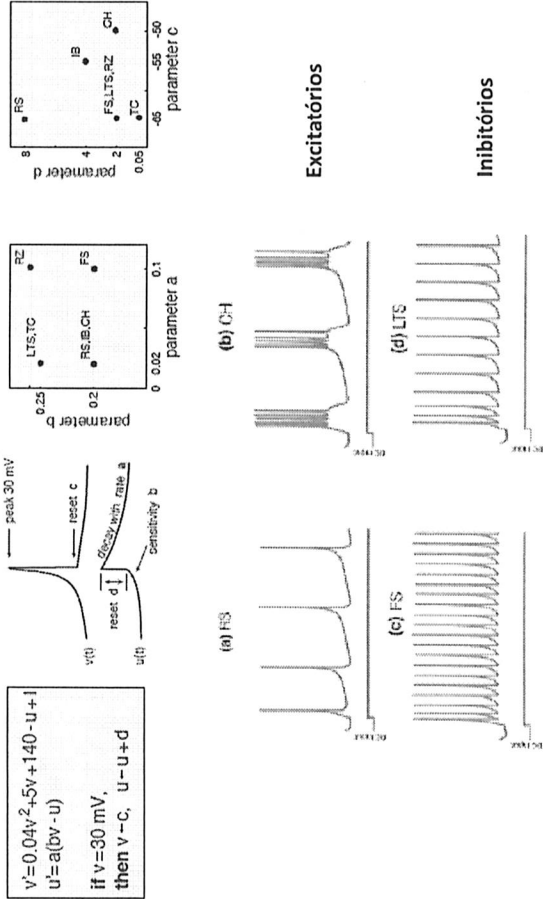
Nesta palestra, abordarei redes aleatórias (Erdős–Rényi) com neurônios um pouco mais realistas e ruído sináptico

Synaptic noise induces intermittent oscillatory-quiescent state transitions in a spiking network model

Rodrigo F. O. Faria^{1*}, Michael A. Zak^{2*}, Antonio C. Roque^{1,2}

¹ Dept of Physics, Faculty of Philosophy, Sciences and Letters of Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brazil
² Dept of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Humboldt University of Berlin, Berlin, Germany

Modelo de Izhikevich



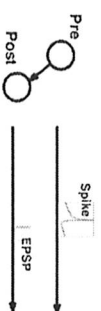
Partes do modelo

1. Neurônios
 - Modelo de Izhikevich
 - Neurônios de classes eletrofisiológicas diferentes
2. Sinapses
 - Incrementos instantâneos de condutância seguidos por decaimento exponencial
 - Ruído sináptico
3. Rede
 - Rede aleatória (grafo de Erdős–Rényi)
 - Neurônios: 80% excitatórios, 20% inibitórios
 - Conectividade esparsa

Filmes dos neurônios

- Neurônio de disparo regular (RS)
- Neurônio de disparo rápido (FS)
- Neurônio de disparo em rajadas repetitivas (CH)

Sinapse



- Corrente sináptica:

$$I_{syn,i} = \sum_{j \in presyn} G_{ij}^{ex/in}(t)(V_i - E_{ex/in}) \quad (E_{ex} = 0 \text{ mV}; E_{in} = -80 \text{ mV})$$

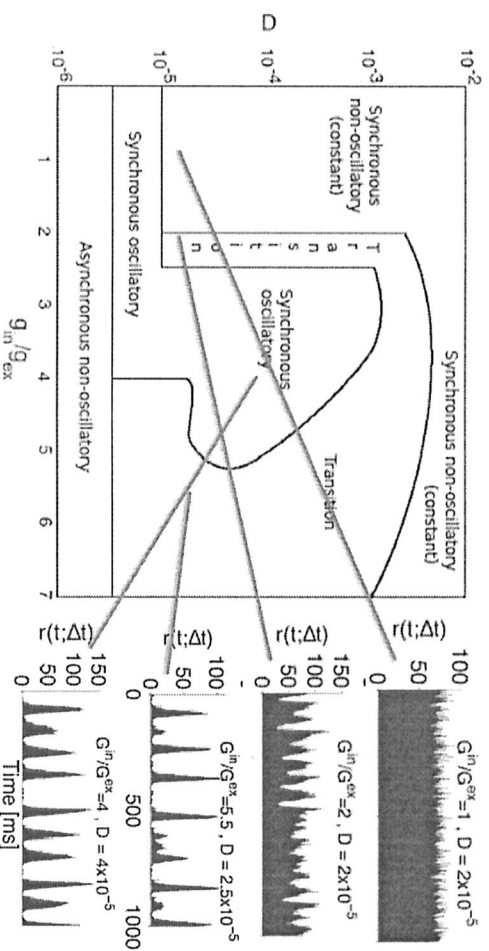
- Dinâmica das condutâncias sinápticas:

$$\frac{dG_{ij}^{ex/in}(t)}{dt} = -\frac{dG_{ij}^{ex/in}(t)}{\tau_{ex/in}} + g_{ex/in} \sum_{t_j^f < t} \delta(t - t_j^f) + \sigma_i \xi_i(t)$$

Incremento sináptico

- Aproximação difusiva: $\sigma_i = \sqrt{2Dn_i}$
- n_i = No. de canais sinápticos
- Magnitude do ruído sináptico
- Ruído branco gaussiano com média zero e desvio padrão unitário

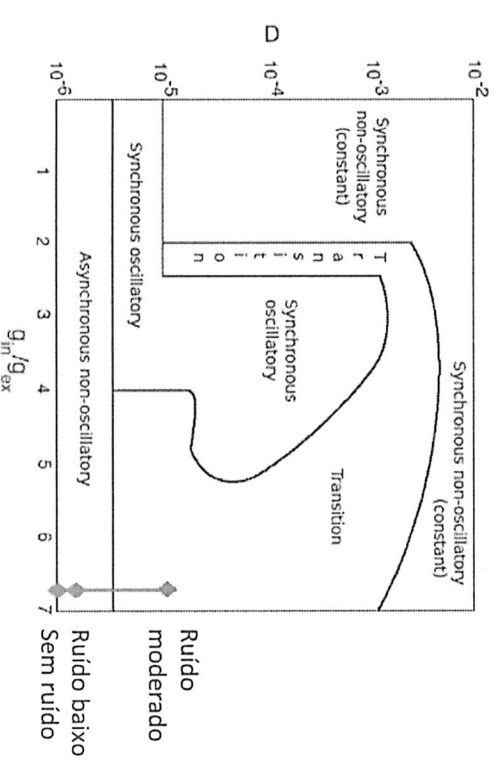
Padrões de atividade da rede



Rede

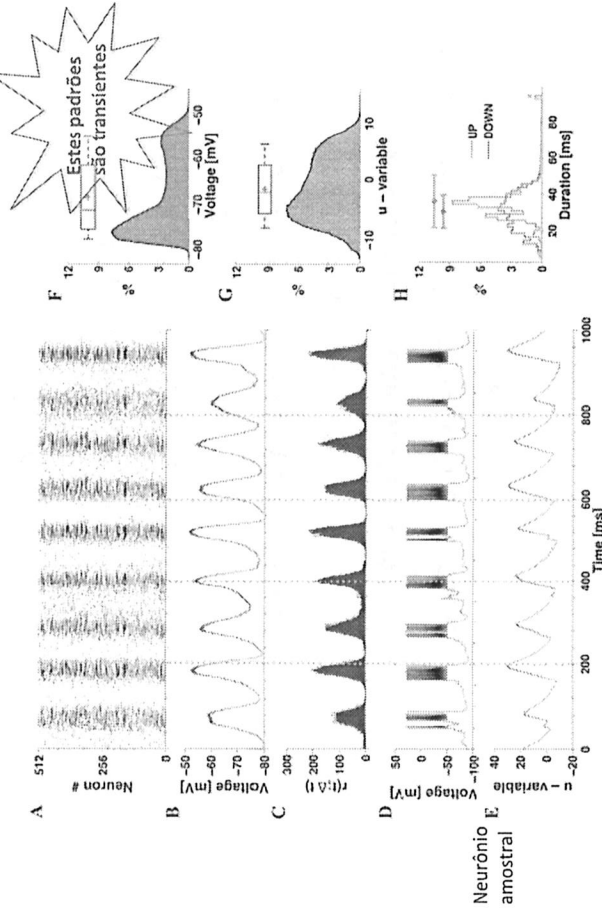
- $N = 2^{10}$ (1024) neurônios
- Probabilidade de conexão entre pares de neurônios: $p = 0,01$
- Neurônios excitatórios (80% da rede):
 - Todos de tipo RS ou
 - Mistura de 2 tipos: RS e CH
- Neurônios inibitórios (20% da rede):
 - Todos do tipo FS or
 - Todos do tipo LTS

Três condições na região do diagrama onde a inibição domina a excitação



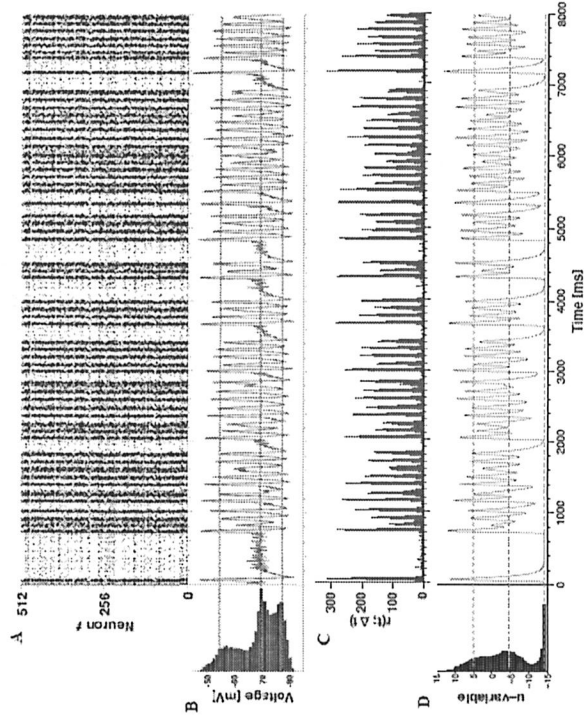
64% RS, 16% CH, 20% LTS

Sem ruído: regime transiente com oscilações up/down

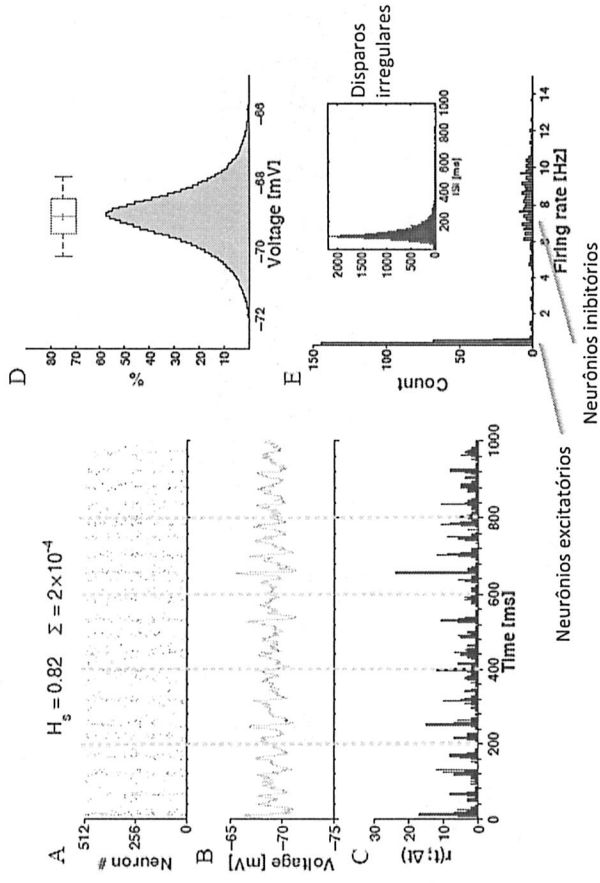


Médias calculadas para 487 simulações de longa duração

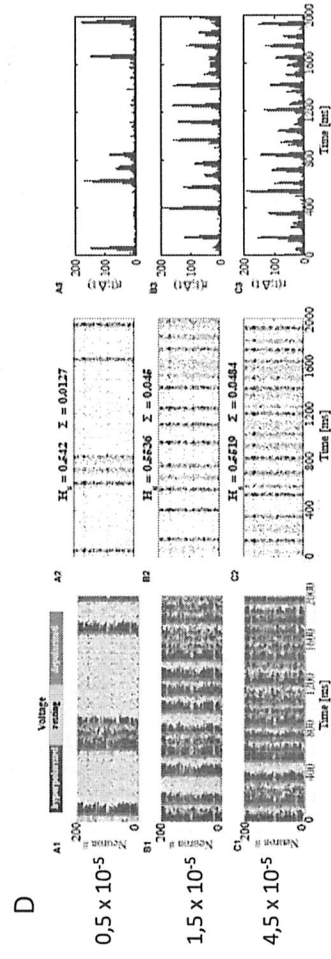
Ruído moderado: transições intermitentes entre um estado ativo (oscilações up/down) e um estado quiescente (AI)



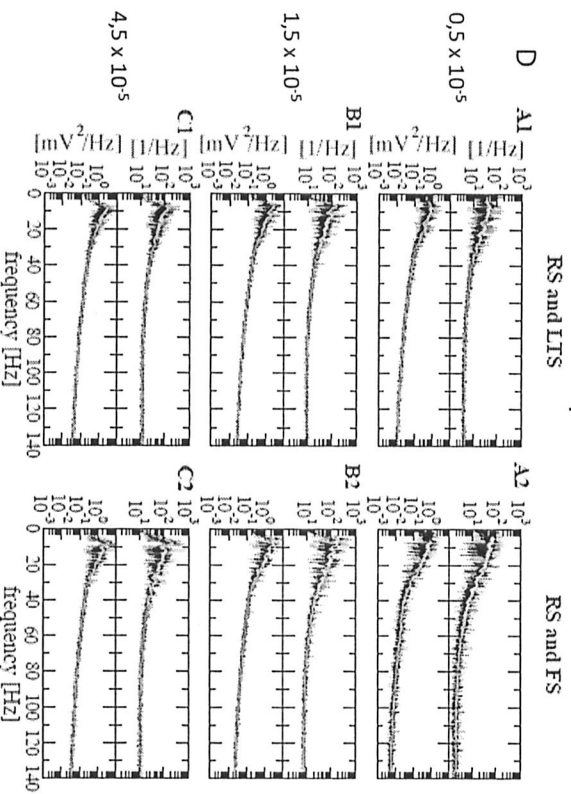
Ruído baixo: atividade assíncrona não-oscilatória (similar ao caso assíncrono irregular dos modelos clássicos)



O aumento do ruído sináptico favorece o estado ativo (oscilações up/down)



Espectro de potência do modelo: a potência decai com a frequência e o pico é deslocado para maiores frequências com o aumento do ruído sináptico



Equipe



R. Pena

Universidade de São Paulo
Ribeirão Preto



P. Tomov

Universidade Humboldt
Berlin



M. Zaks

Obrigado



Discussão

- Modelos relativamente simples de redes de neurônios conseguem replicar, pelo menos qualitativamente, padrões emergentes de atividade cortical espontânea;
- No modelo, as transições entre os diferentes padrões de atividade espontânea (oscilatório - não oscilatório) são controladas pelo balanço entre inibição e excitação na rede e pelo ruído sináptico
- No modelo, as oscilações up/down durante os estados sincronizados são causadas por um mecanismo de feedback negativo associado à variável de recuperação do modelo de Izhikevich (modela o efeito da ativação do K^+ e da inativação do Na^+).

