

CAOS EM REDES NEURAIS BIOLÓGICAS (parte 1)



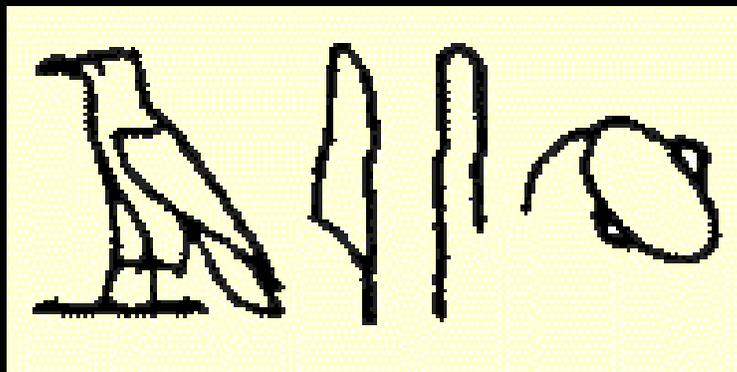
Reynaldo Daniel Pinto

Laboratório de Fenômenos Não-Lineares

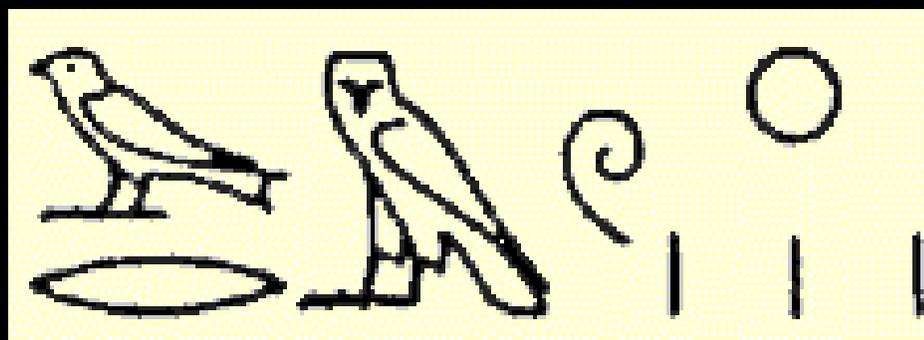
Depto. Física Geral – IFUSP

“No princípio era o CAOS...”

Papiro cirúrgico do Egito antigo (3000-1700 AC)



cérebro



**corrugações
cerebrais**



meninge



**fluido cerebro-
espinal**

Camillo Golgi & Santiago Ramón y Cajal (~1900)

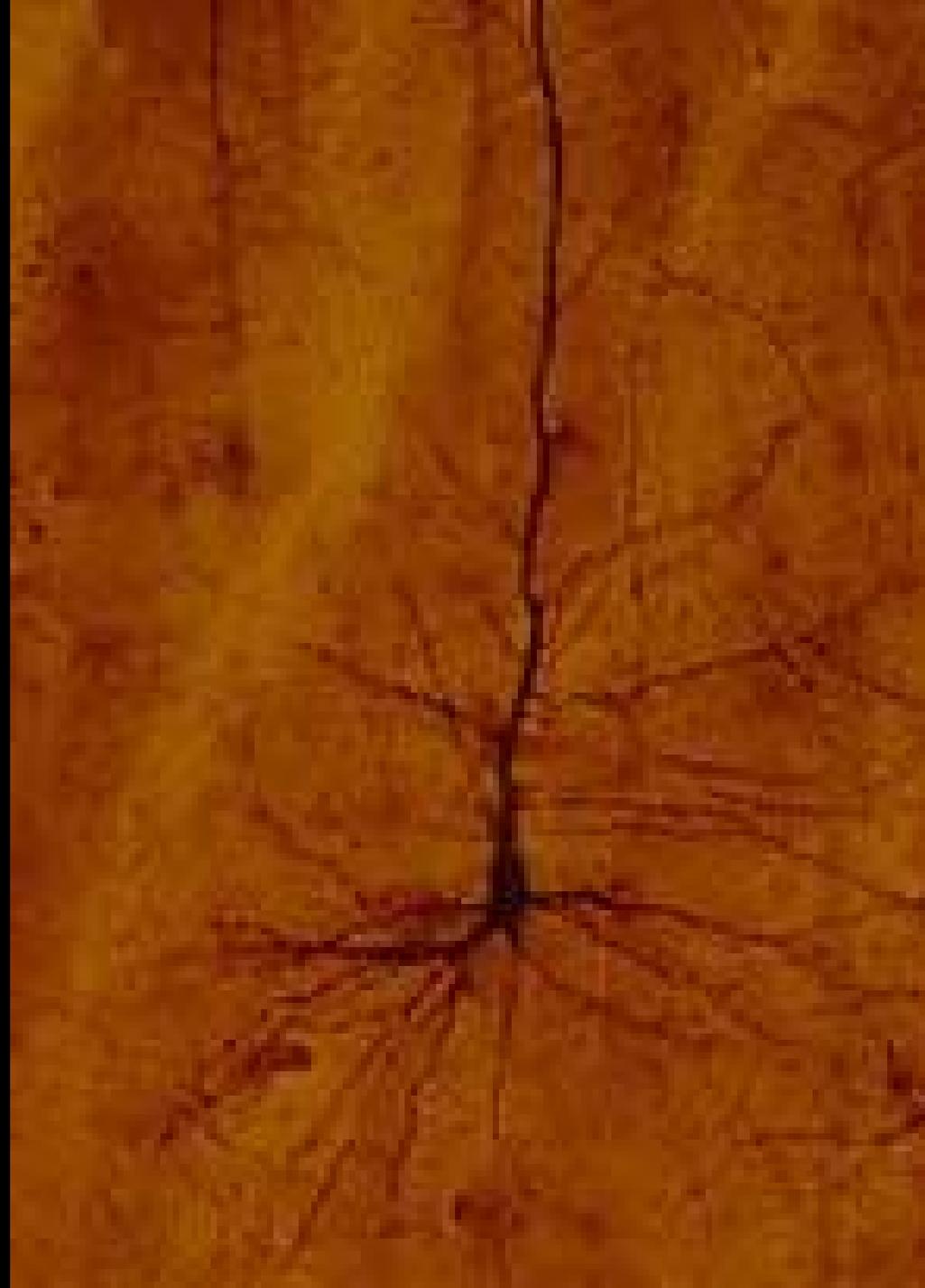


Golgi inventou em 1860 um método de impregnação com sais de prata em que apenas algumas células nervosas ficavam marcadas: neurônios formavam um retículo e dendritos → nutrição

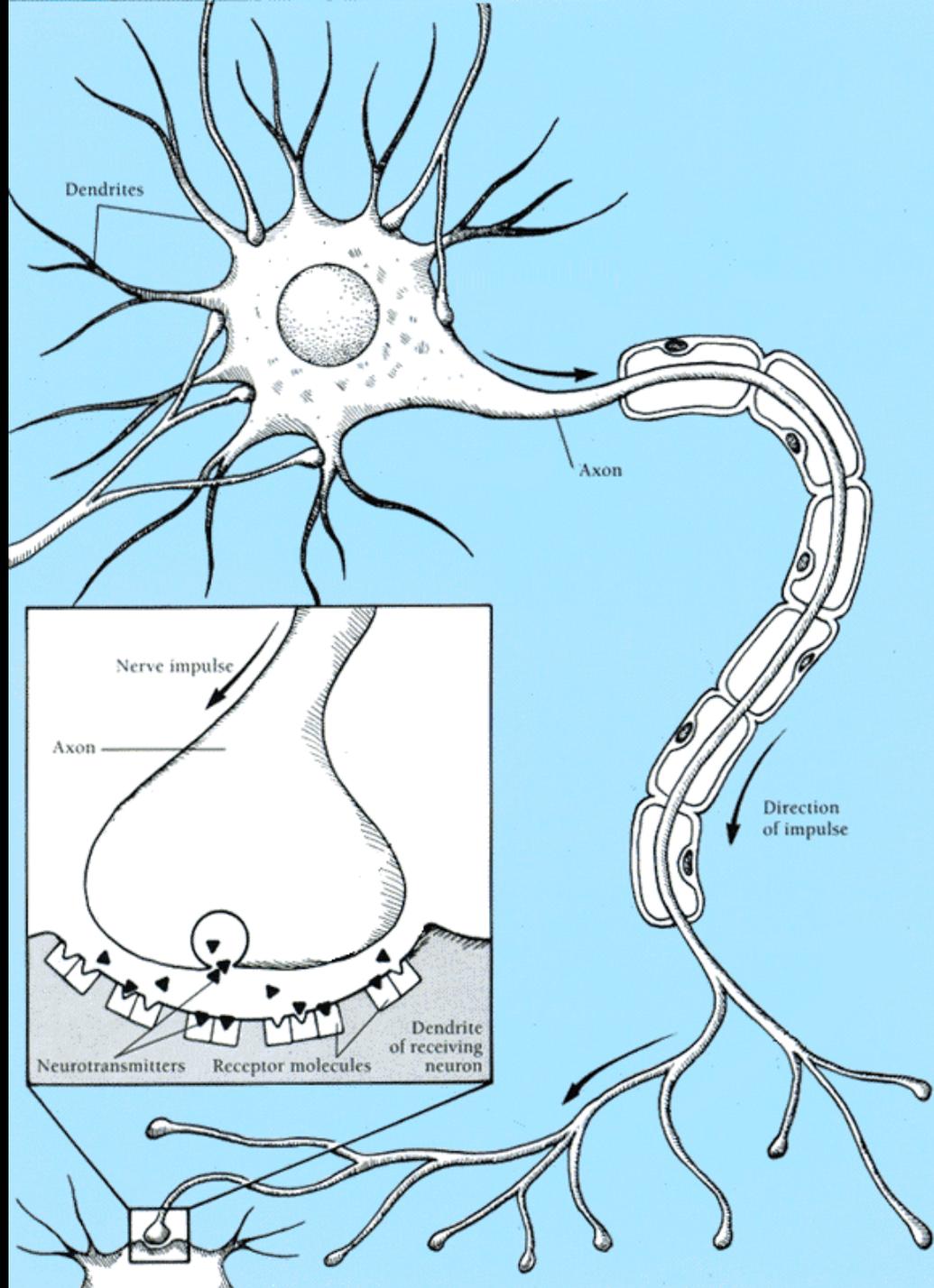
X

Ramón y Cajal: unidades distintas com dendritos para receber sinais e axônio para transmiti-los.

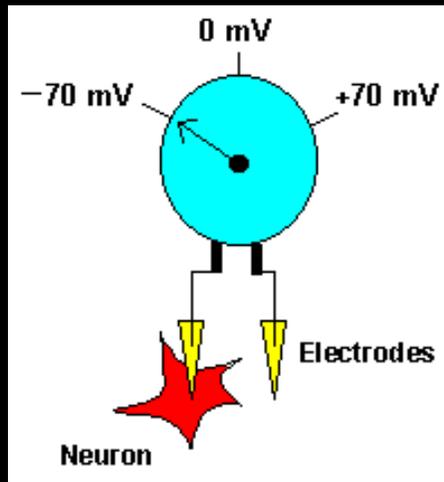
NOBEL em 1906



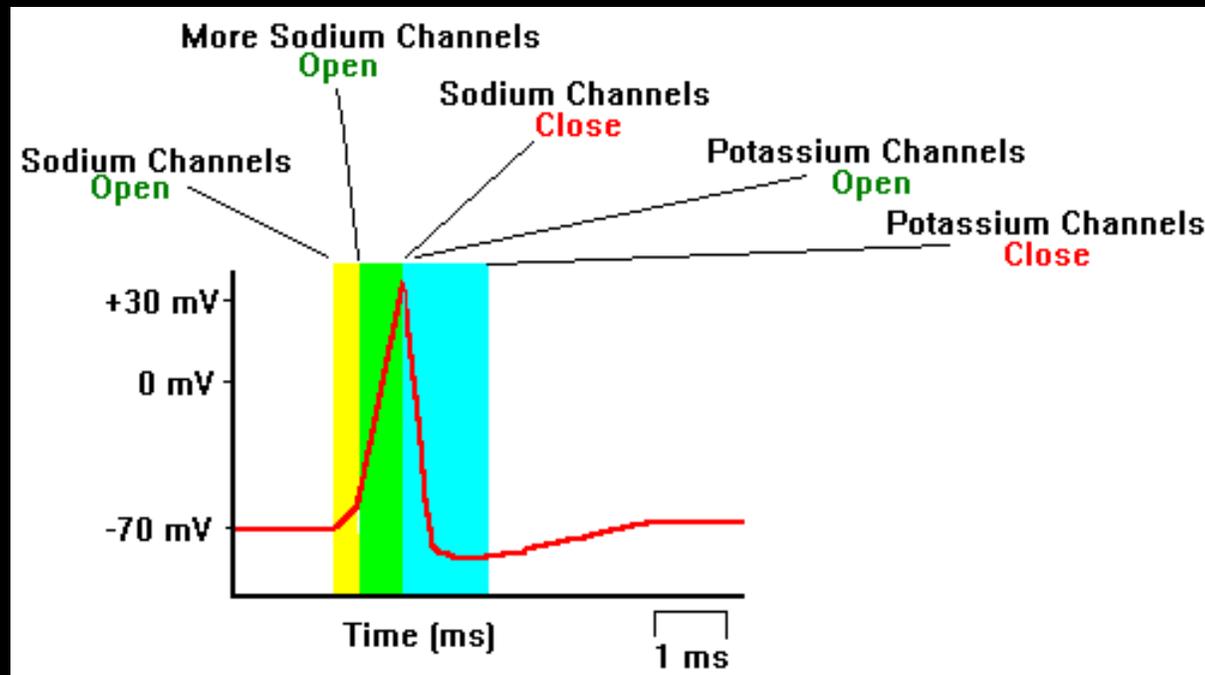
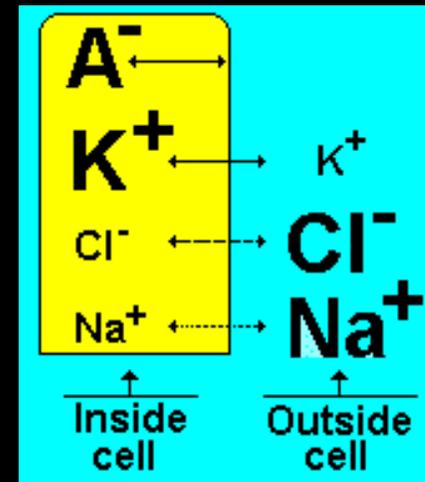
Estrutura de um neurônio



Potencial de Membrana e Potencial de Ação



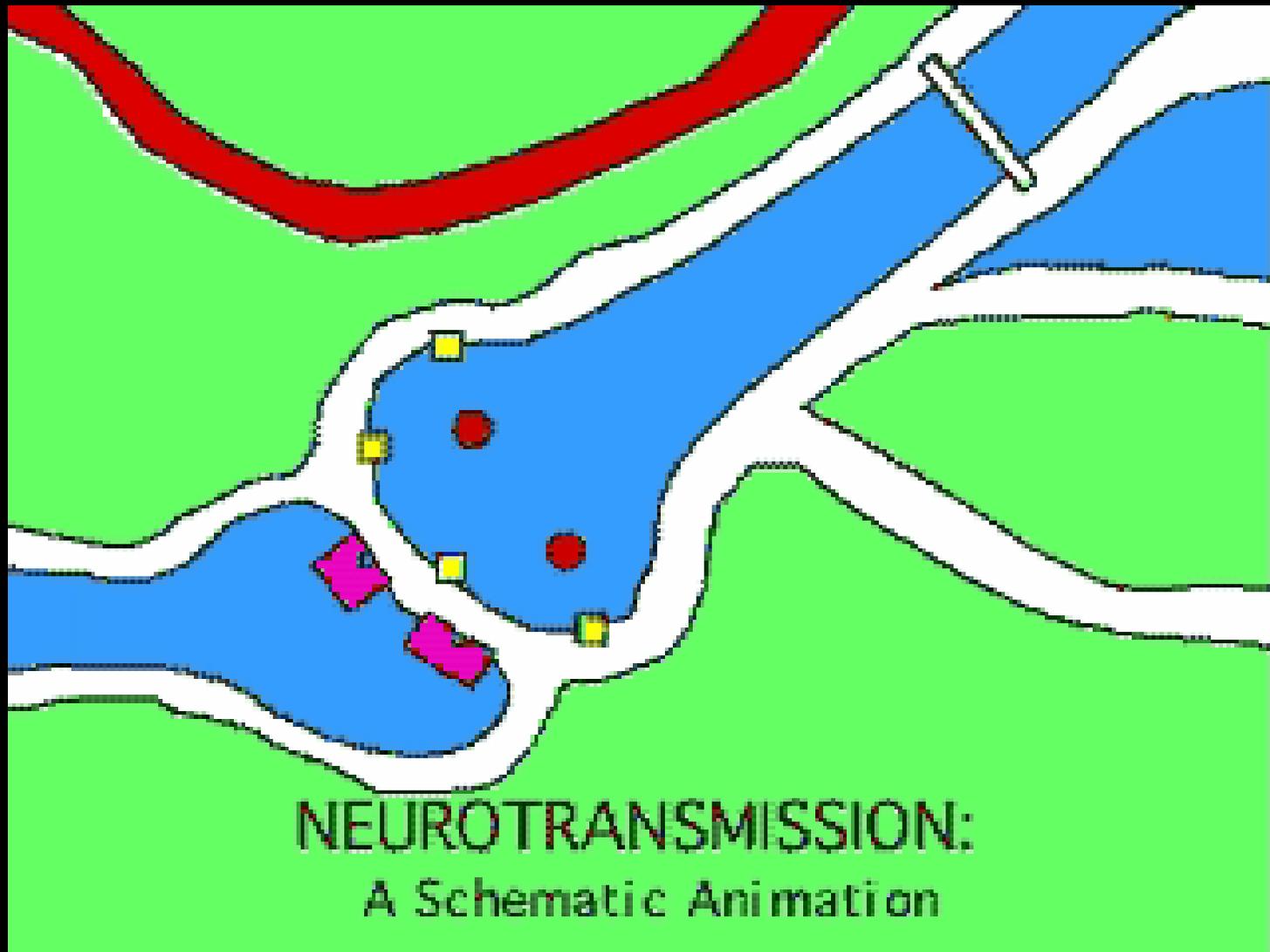
Hodgkin-Huxley
1948



Comportamento dinâmico dos neurônios

Thalamocortical
Neurons Have Two
Firing Modes

Comunicação através de Synapses



CÉREBRO → PROBLEMA:

100 bilhões de neurônios

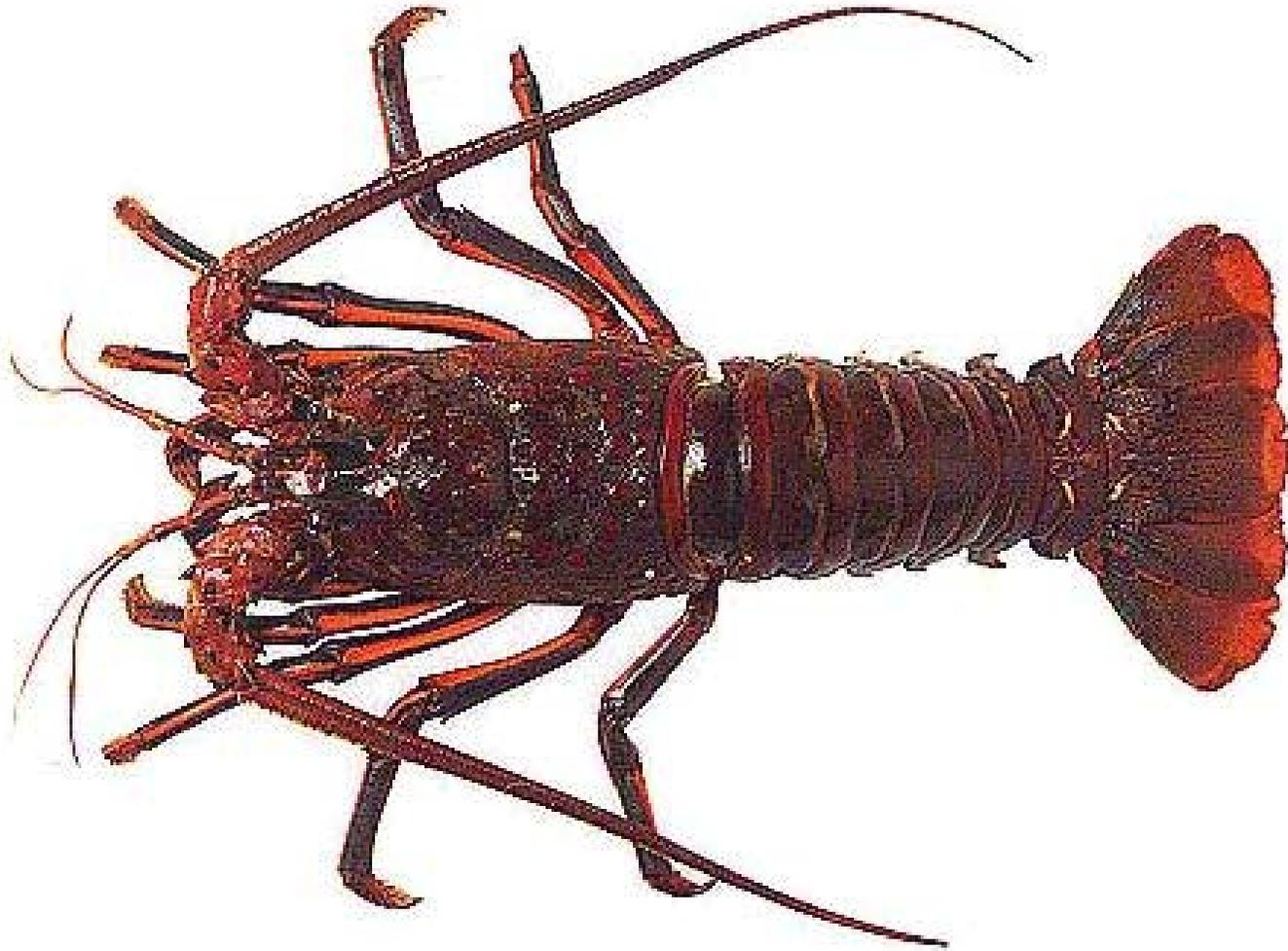
cada um recebendo ~10000 synapses e
enviando sinais para ~100000 outros.

→ Quase impossível identificar células individuais;

→ Difícil saber o que os sinais representam;

→ Difícil fazer experimentos em condições de “animal intacto”.

Os Crustáceos e a Neurociência



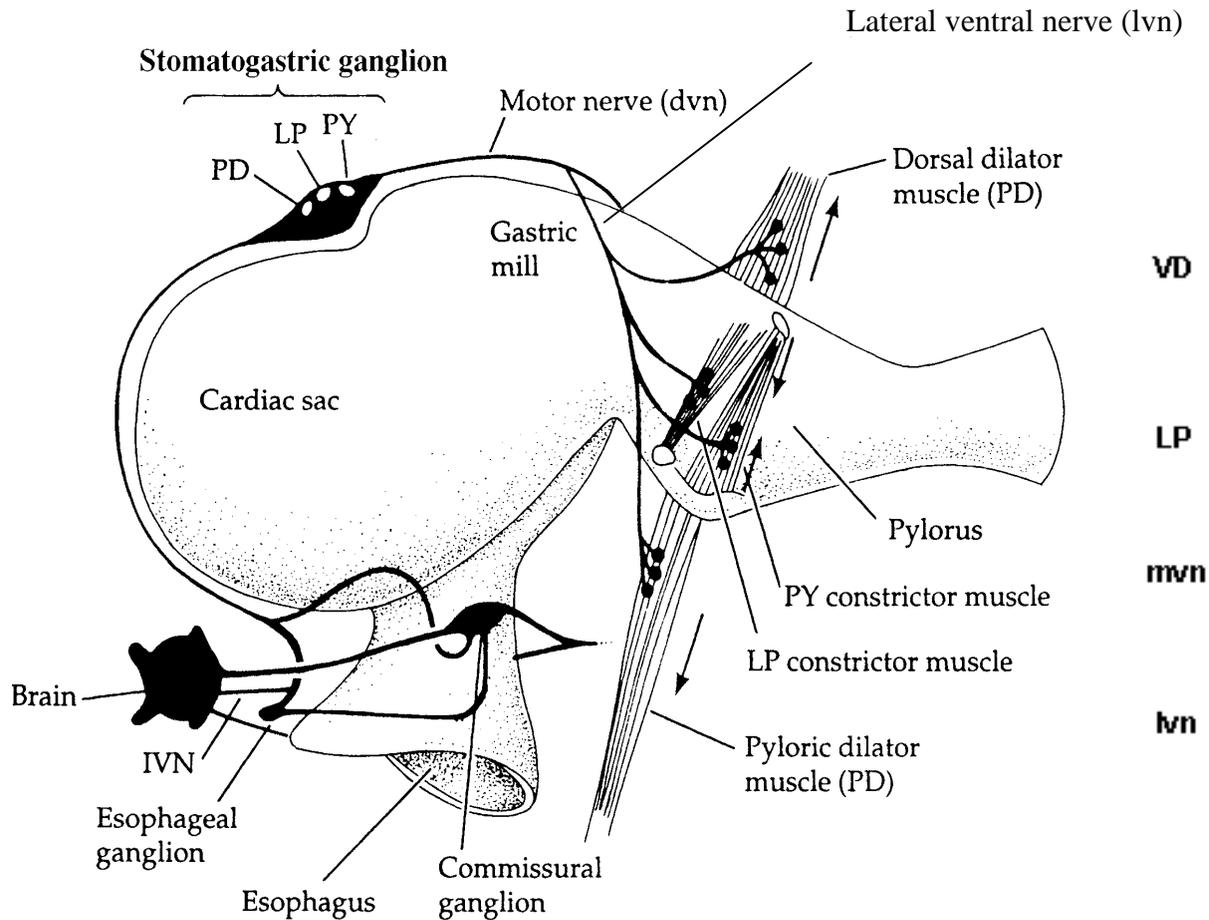
Lagosta espinhosa californiana - *Panulirus interruptus*

Os Crustáceos e a Neurociência



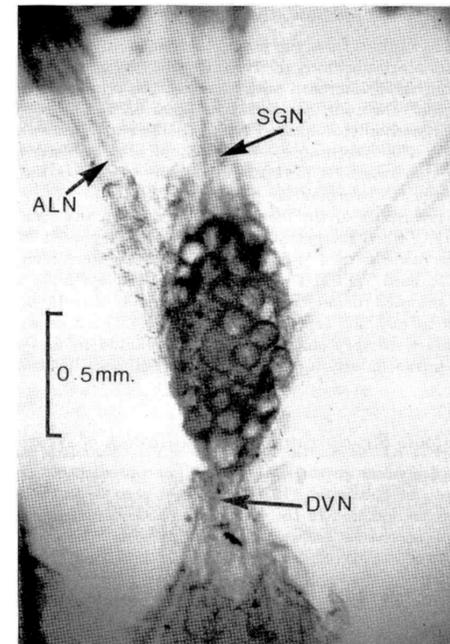
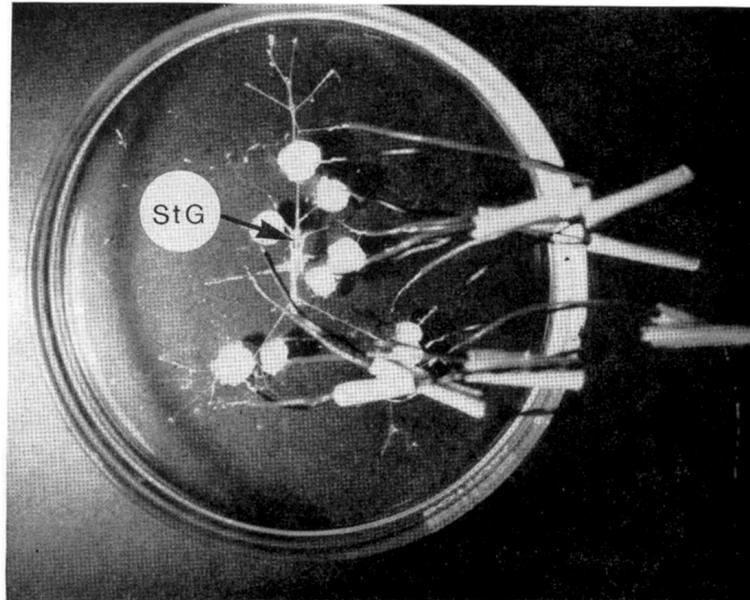
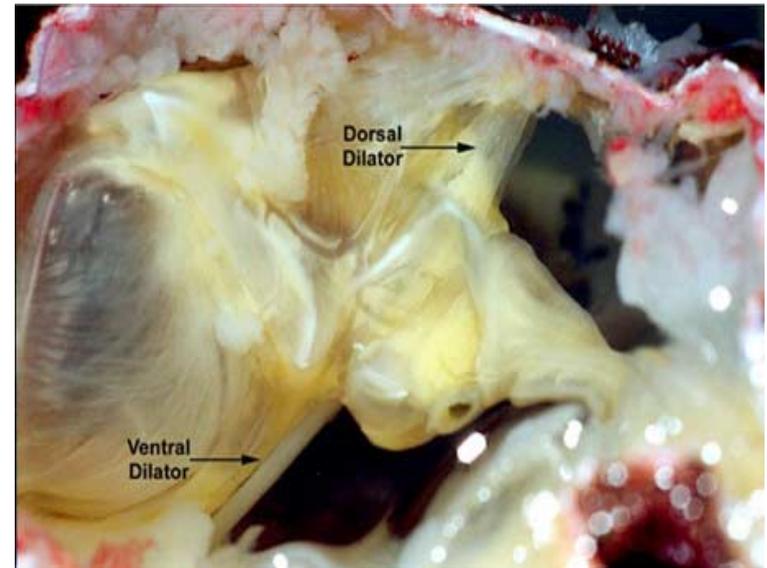
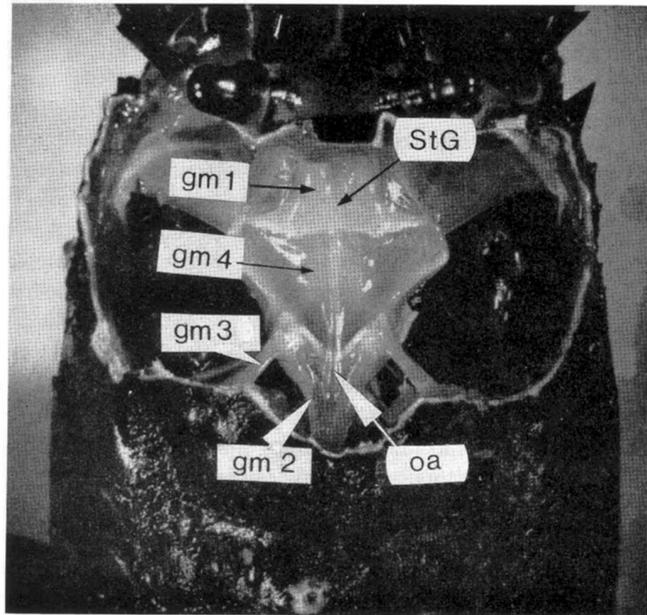
Siri azul – *Callinectes sapidus*

O sistema Nervoso Estomatogástrico dos Crustáceos



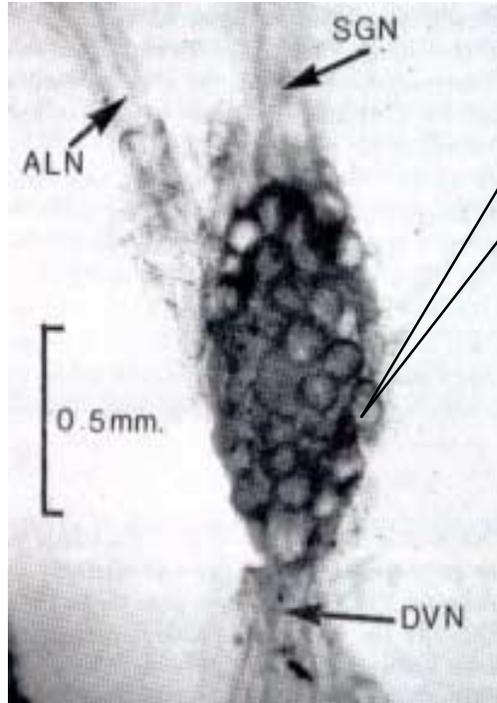
CPG → "osc. harmônico biológico"

As Várias Etapas da Preparação do STG

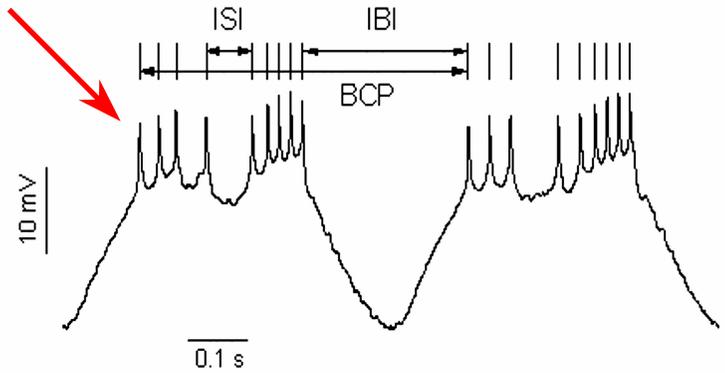
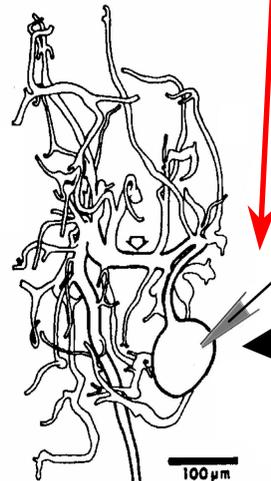


Medidas Intracelulares e Extracelulares: identificação dos neurônios do STG

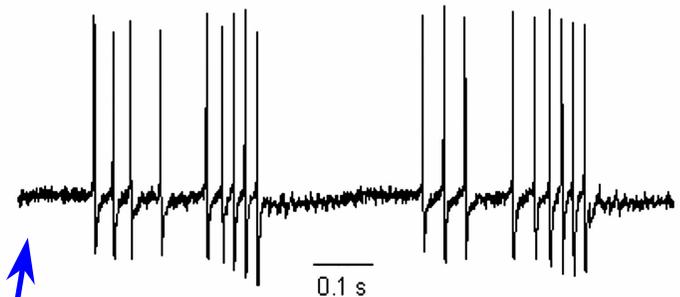
Gânglio Estomatogástrico (STG)



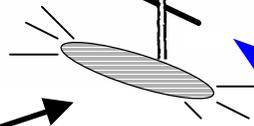
Eletrodo intracelular
(micropipeta c/ KCl)



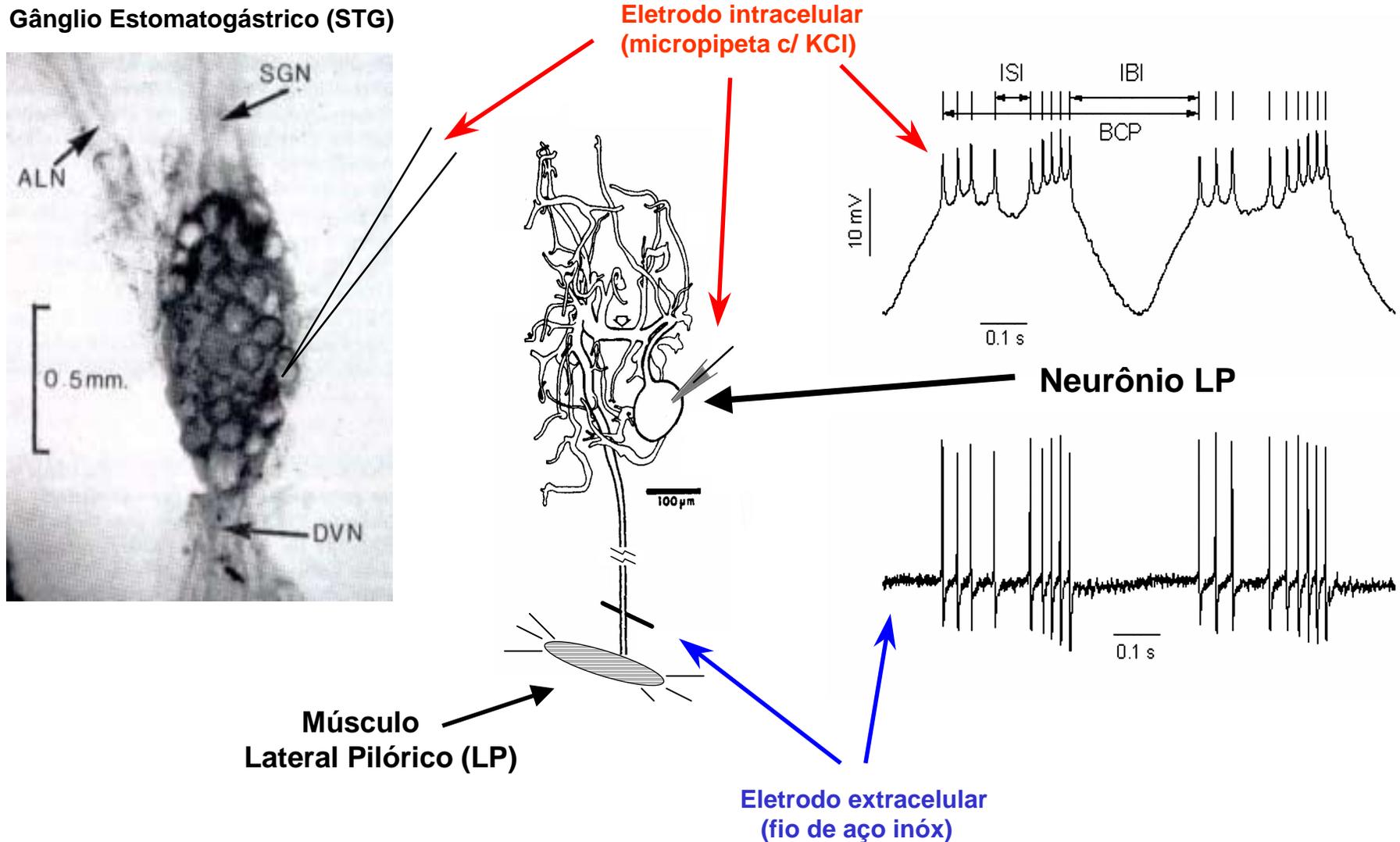
Neurônio LP



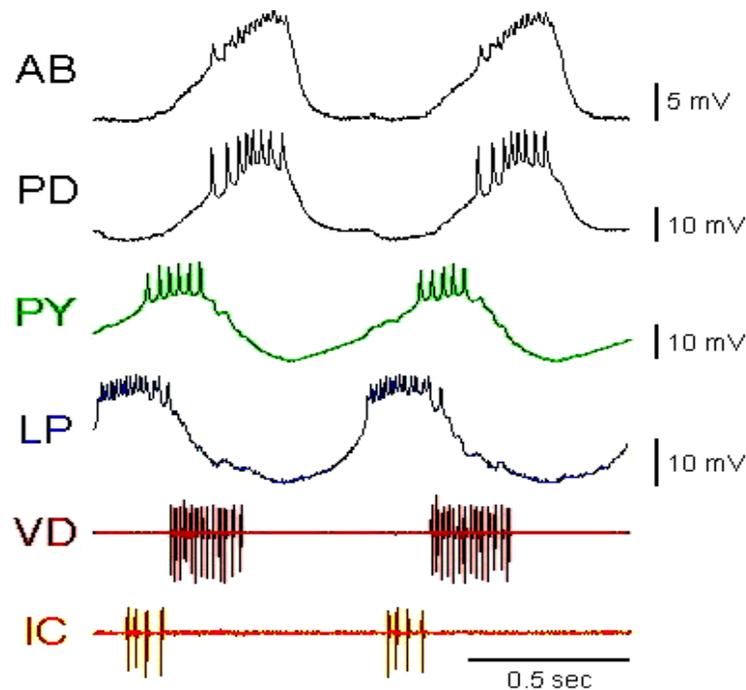
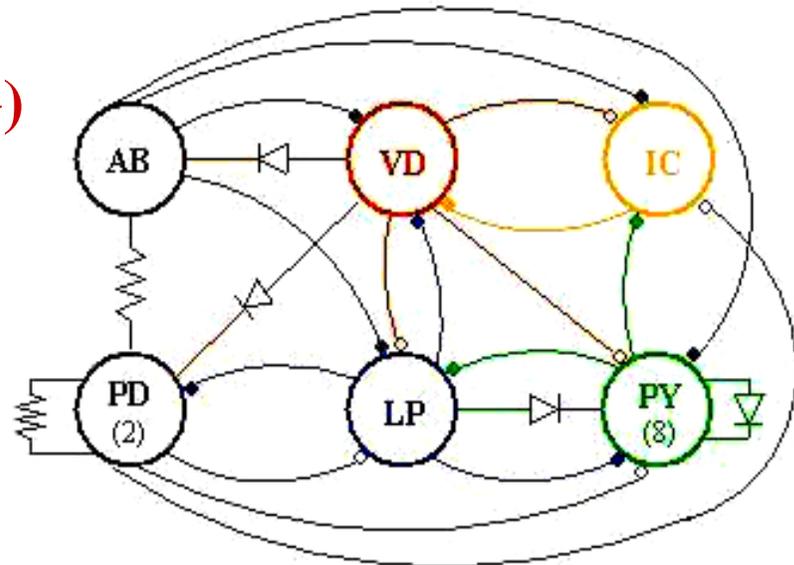
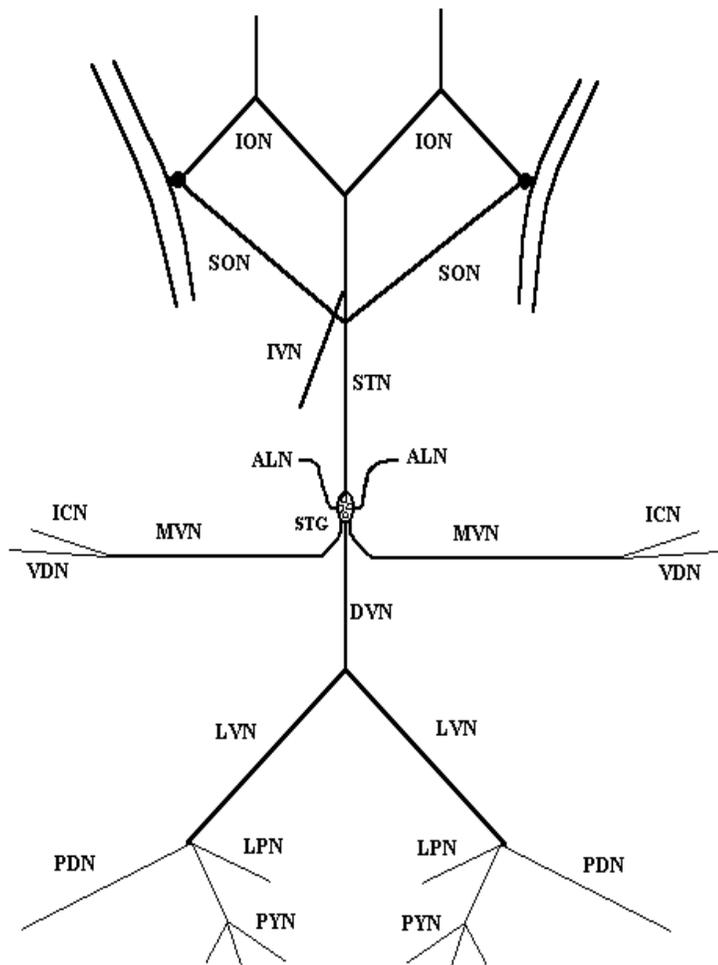
Músculo
Lateral Pilórico (LP)



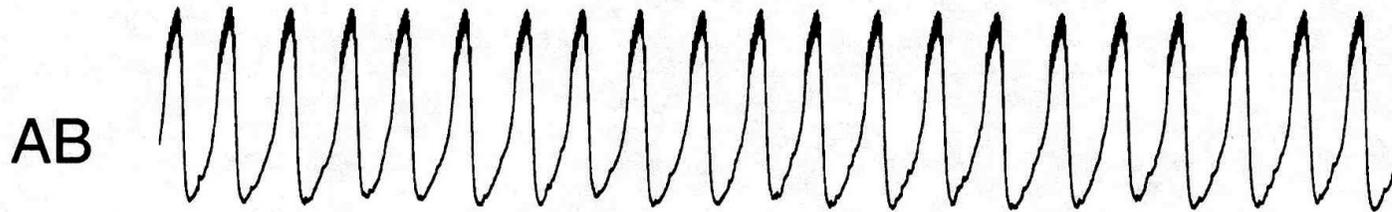
Eletrodo extracelular
(fio de aço inóx)



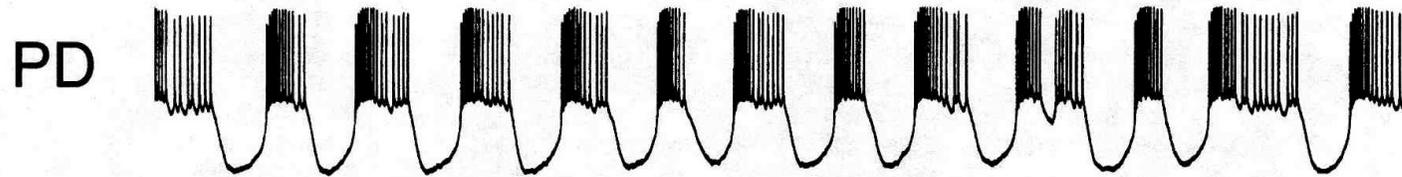
Centro Gerador de Padrões (CPG) Pilórico do STG



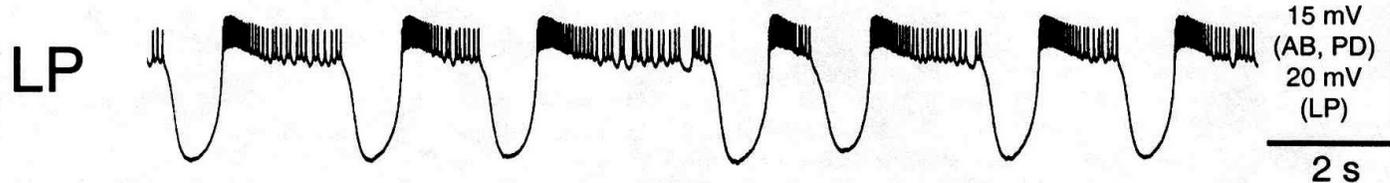
Comportamento dos Neurônios do STG quando isolados



VD e PDs
fotoativados,
+ PTX



AB e VD
fotoativados,
+ PTX



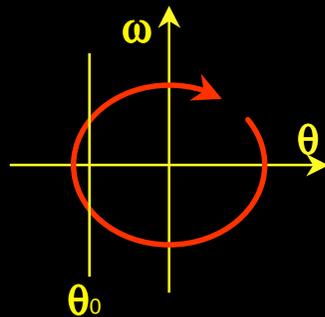
PDs
fotoativados,
+ PTX

**Porque usar elementos irregulares
para gerar padrões regulares???**

Enquanto isso, na Física e na Matemática...

SISTEMAS DINÂMICOS: órbitas no ESPAÇO DE FASE e secções de Poincaré

Representações geométricas do estado do sistema



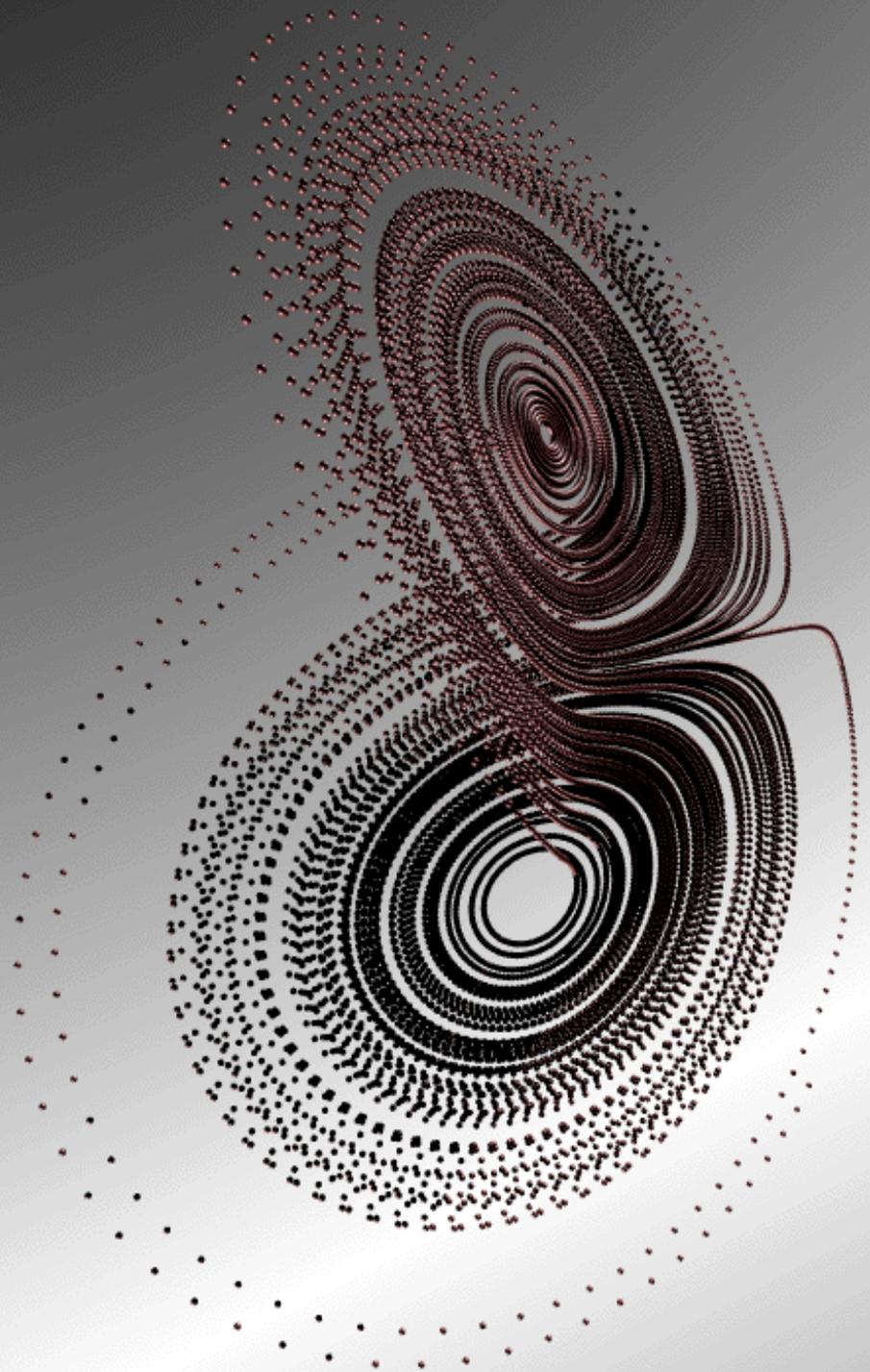
Sistemas Dissipativos → ATRATORES (dimensão menor que a do espaço de fase)

Periodicidade → ciclos limites, toros

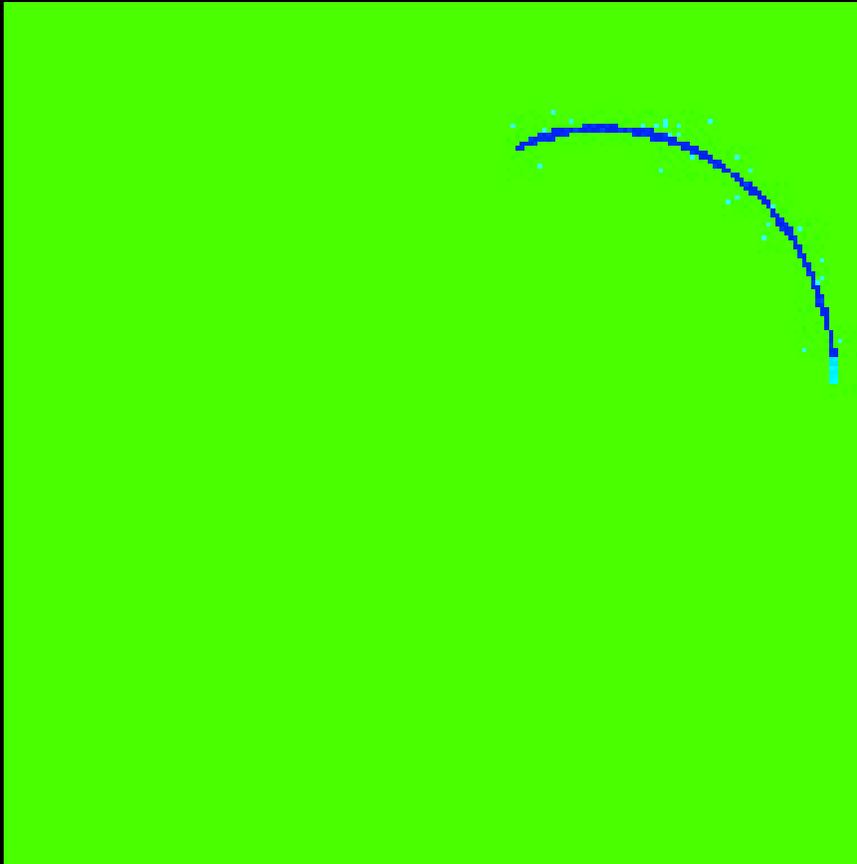
**Mas nem tudo é ponto fixo, ciclo
limite ou toro...**

**O meteorologista Ed. N. Lorenz
(por volta de 1963
e por acidente...)**

ATRATOR DE LORENZ →



O que intrigou Lorenz...



**Sistema
Dinâmico
não-linear**

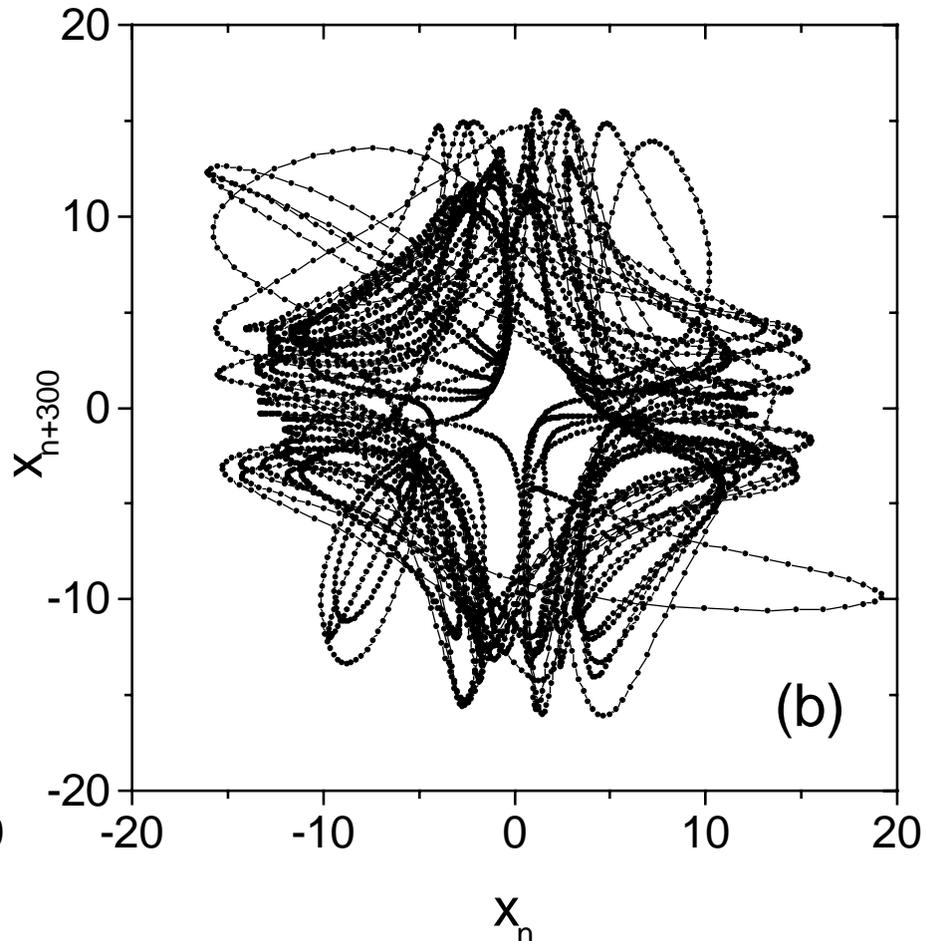
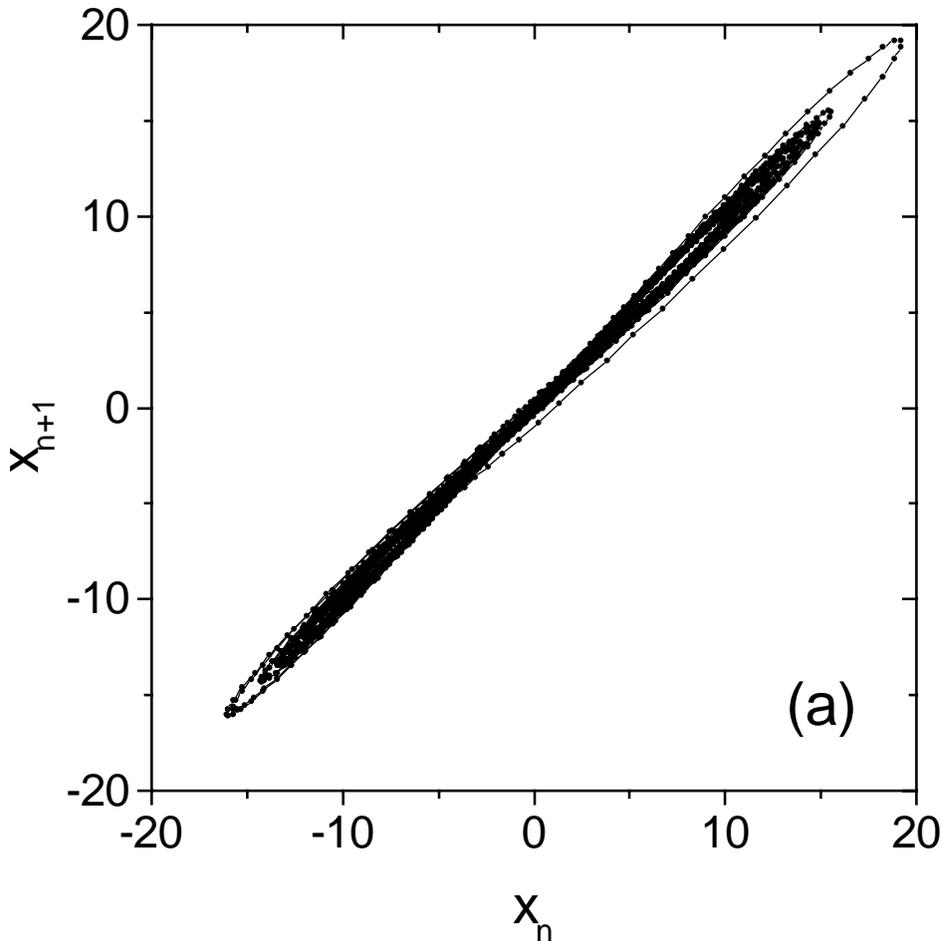


**Sensibilidade às
condições iniciais
→ exp. Lyapunov
positivo**

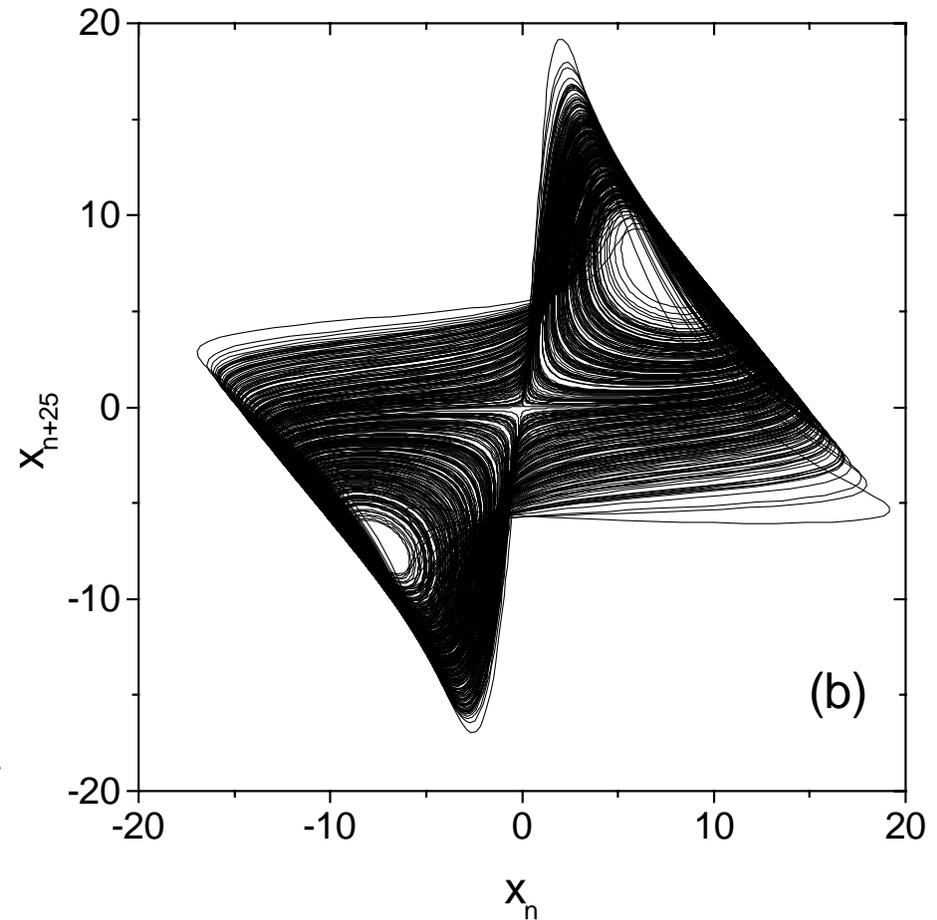
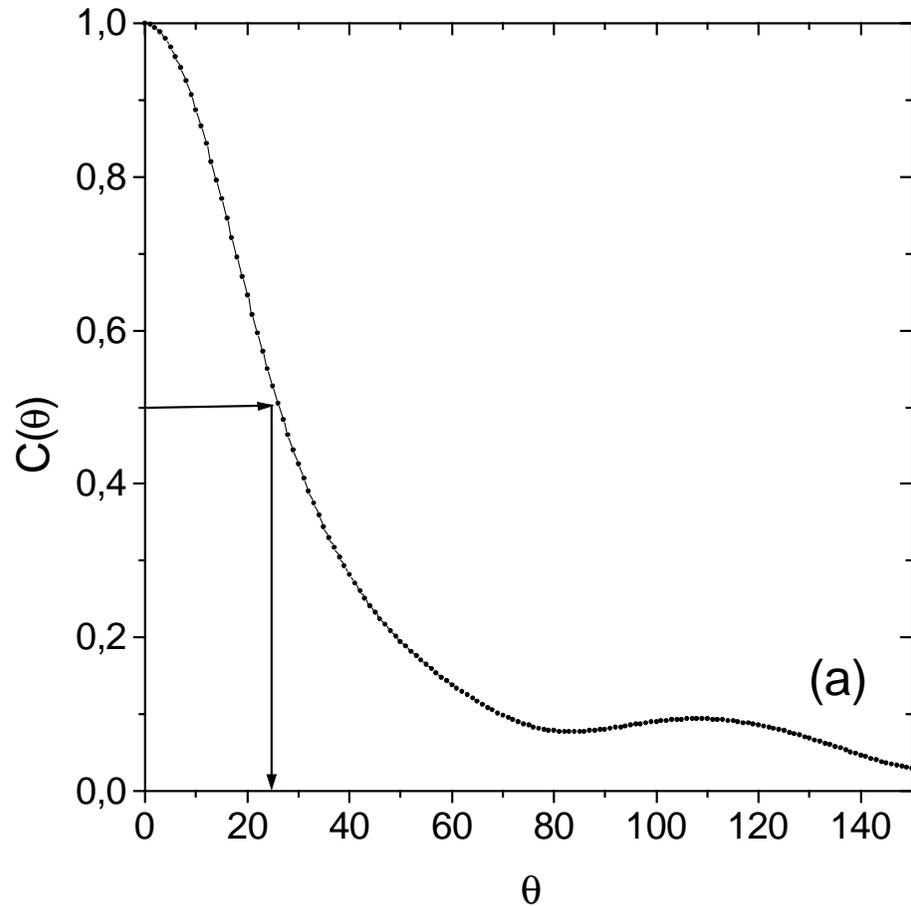


**CAOS
DETERMINÍSTICO**

**Quando não temos acesso a todas as variáveis dinâmicas:
Teorema de Takens (1981) → Reconstrução do
espaço de fase !!!**



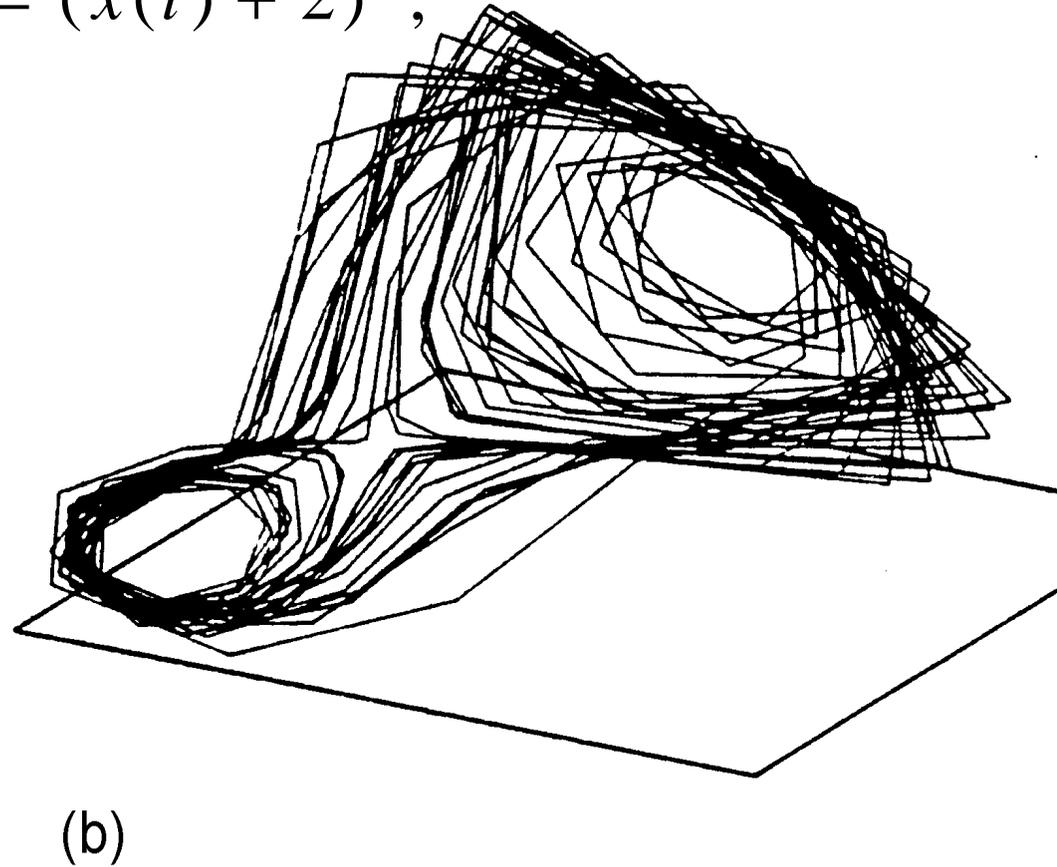
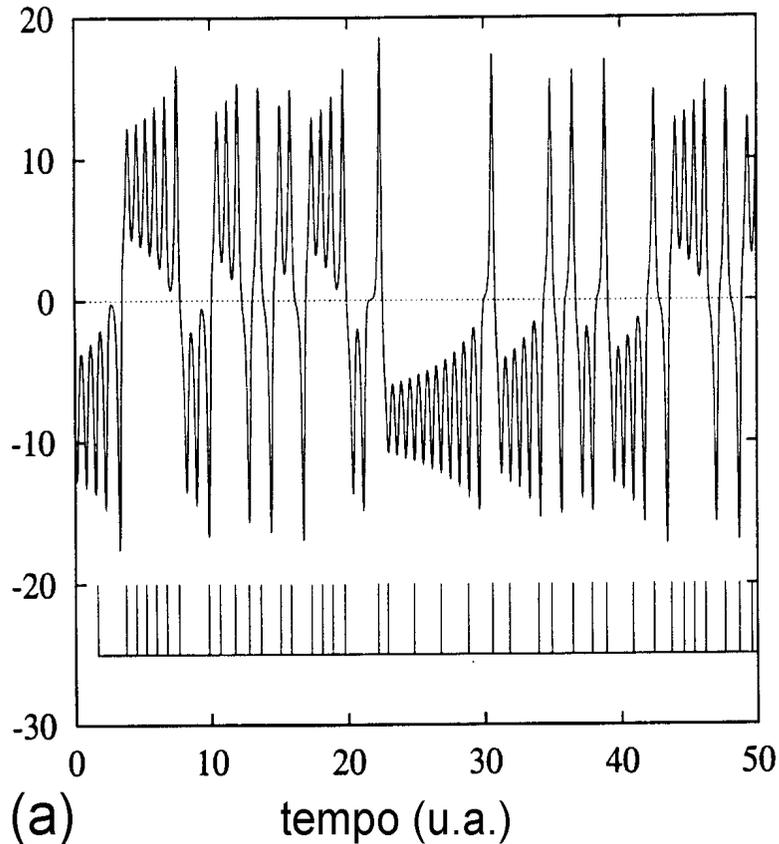
Quando não temos acesso a todas as variáveis dinâmicas: Teorema de Takens \rightarrow Reconstrução do espaço de fase



Reconstrução do espaço de fase em sistemas dinâmicos tipo “integra e dispara” (Sauer, 1997)

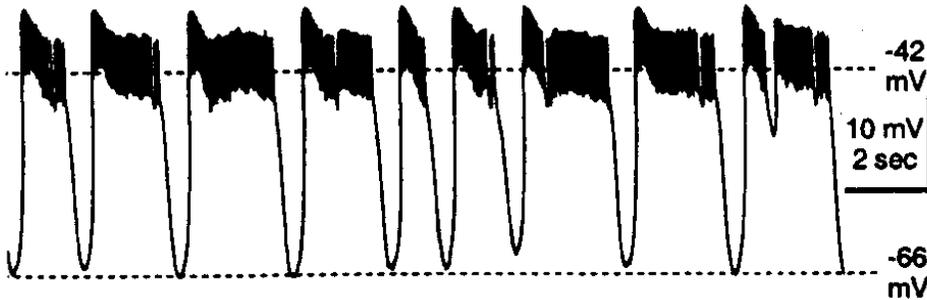
$$\int_{T_i}^{T_{i+1}} S(t) dt = \theta,$$

$$S(t) = (x(t) + 2)^2,$$



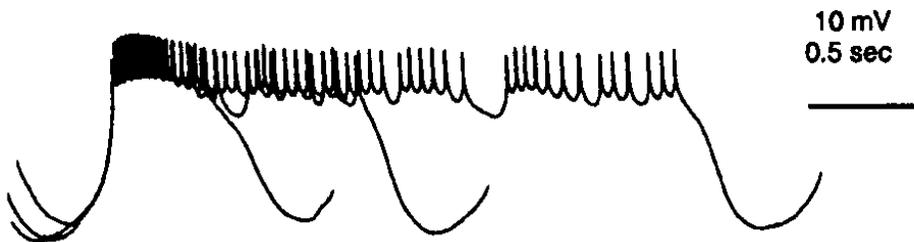
Voltando aos neurônios isolados do STG (na década de 90)

1: *irregular bursting of synaptically-isolated LP neuron*



→ A recuperação após a hiperpolarização é sempre muito parecida

2: *aligned and superimposed bursts*



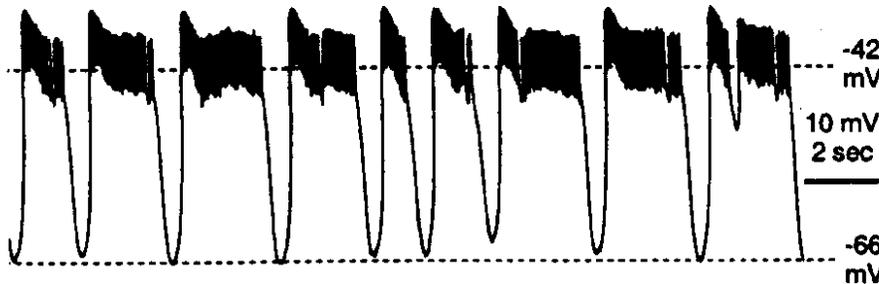
→ Sensibilidade às condições iniciais

→ Sistema dinâmico não linear

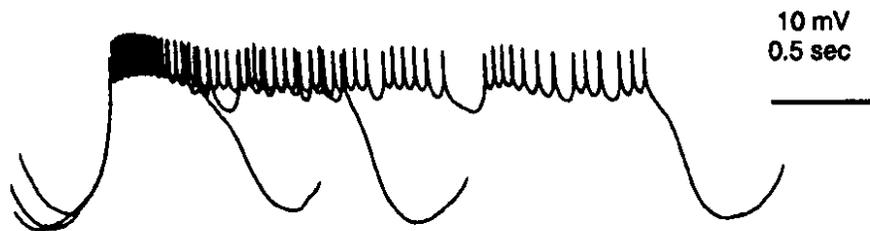
Devido ao grande número de graus de liberdade que os neurônios biológicos possuem (diversos tipos de canais iônicos, temperatura, flutuações das concentrações iônicas do meio extracelular, etc...) era de se esperar que o espaço de fase reconstruído tivesse um número muito grande de dimensões...

Entretanto...

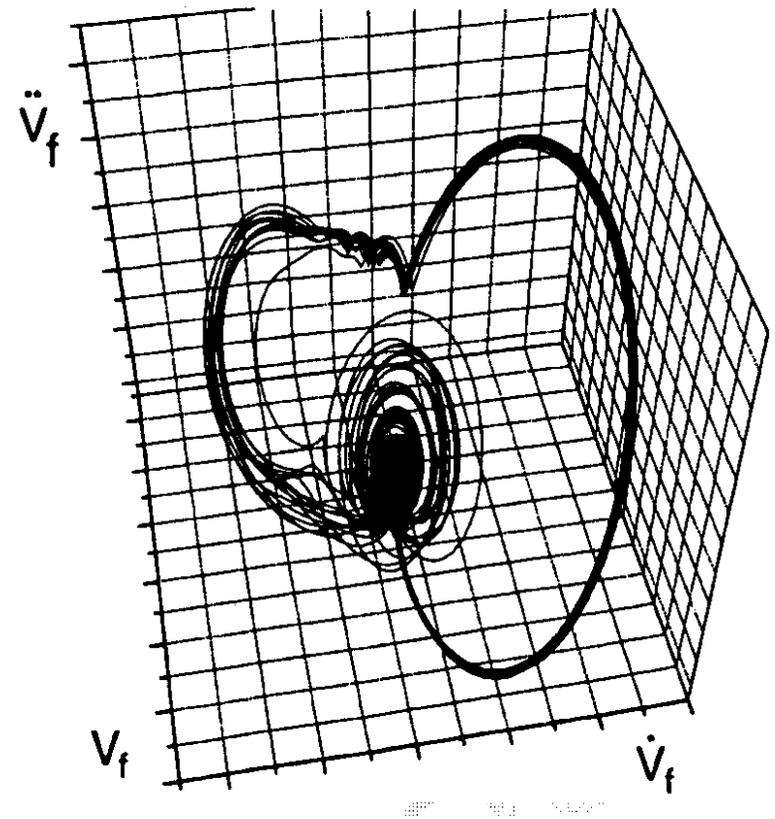
1: *irregular bursting of synaptically-isolated LP neuron*



2: *aligned and superimposed bursts*



3: *phase diagram of slow voltage oscillation*



o atrator reconstruído do sistema ocupa um número muito menor de dimensões, aproximadamente apenas 3 ou 4 !!!