

PSI 5886 – Prof. Emilio – 2018  
**Princípios de Neurocomputação**

- Quartas feiras – das 18 hs às 21 hs  
... ou (se combinamos) 18:30hs até 21:20hs
- Sala B2-12
- Prof. Emilio Del Moral Hernandez
- emilio@lsi.usp.br

18:10

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

**Disciplinas oferecidas**

**Disciplina PSI5886 - 1**  
**Princípios de Neurocomputação**

**Unidade:** Escola Politécnica

**Número de vagas:**

Alunos regulares	Alunos especiais	Total
20	20	40

**Número mínimo de alunos:** 5

**Data inicial:** 10/09/2018    **Data final:** 02/12/2018

**Data limite de cancelamento:** 30/09/2018

**Número de créditos:** 8

**Docente(s) Ministrante(s)**

Emílio Del Moral Hernandez

**Horário / Local:**

Terça	18:00 - 21:00	Prédio da Engenharia Elétrica
-------	---------------	-------------------------------

ICONE – EPUSP: Grupo de Inteligência Computacional,  
Modelagem e Neurocomputação Eletrônica

Prof. Dr. Emilio Del Moral Hernandez

Graduação em Engenharia Elétrica na EPUSP

Doutorado em Engenharia Elétrica pela  
University of Pennsylvania (Upenn – Philadelphia)



Livre Docente da EPUSP, na área de  
Neurocomputação Eletrônica e Sistemas Adaptativos

Atuante no IEEE e na IEEE - CIS

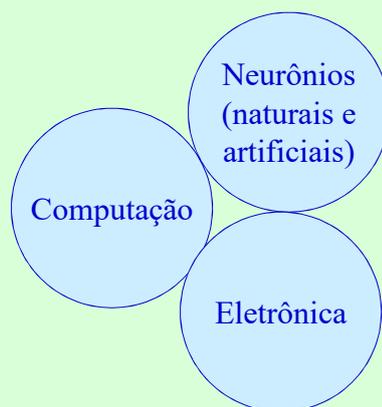
Contato: [emilio.delmoral@usp.br](mailto:emilio.delmoral@usp.br) / [emilio@lsi.usp.br](mailto:emilio@lsi.usp.br)

Website do Grupo de Pesquisa: [www.lsi.usp.br/ICONE](http://www.lsi.usp.br/ICONE)



Prof. Emilio Del Moral Hernandez

... Três universos que se entrelaçam em minhas  
pesquisas e interesses



Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Programa aproximado ...

5

### Tópico Principais Deste Curso:

- Conceitos em neurofisiologia (breve abordagem) e conceitos em redes de neurônios artificiais.
- Diversidade de modelos neurais. Modelos pulsados, binários e sigmoidais.
- Visão geral de três arquiteturas neurais importantes (inicialmente em breve abordagem e vistas do ponto de vista funcional e operacional; depois revisitadas com mais detalhes em aulas mais adiante no curso):
  - MLP : Perceptron de Múltiplas Camadas /
  - Hopfield : Redes recorrentes com conexão completa /
  - Kohonen : Mapas auto-organizados.
- Leis de Aprendizado: Princípio De Hebb, Aprendizado Competitivo e Aprendizado Supervisionado
- Aprendizado em MLPs: Técnicas de "Backpropagation" (Retropropagação),
- Redes Associativas - Rede De Hopfield e outras estruturas associativas
- Redes do tipo mapas auto organizáveis – SOM de Kohonen
- Algumas Aplicações De Redes Neurais
- [havendo tempo: Modelos neurais pulsados e outros modelos sendo desenvolvidos mais recentemente]
- [Havendo tempo: conexão de redes neurais com outros paradigmas de computação baseada em biologia.]

+ tópicos de Deep Learning em 2018

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## ... forma de trabalho e outras infos ...

6

A avaliação é feita a partir de duas notas: "nota das atividades de trajeto de curso" (exercícios, resumos de pesquisas e leituras, e pequenos projetos ao longo do semestre, solicitados quase semanalmente sendo alguns deles em grupo e alguns individuais) e nota de trabalho de fim de curso (trabalho escrito, apresentação aos colegas e simulações computacionais, provavelmente realizados em grupos de 2 ou até 3). A presença regular em aula e a entrega regular dos trabalhos semanais (ou quase semanais) são fundamentais para a aprovação e para o bom aprendizado. Alguns dos trabalhos entregues por vocês serão usados para discussões específicas em sala de aula. O tema do trabalho de fim de curso **tem** que tocar fortemente em ao menos uma das 3 arquiteturas neurais estudadas por todos em sala: MLP e/ou Hopfield e/ou Kohonen; Além disso, o tema do trabalho deve apontar algum aspecto novo ao visto em classe e ao mesmo tempo deve ser razoavelmente acessível aos demais alunos do curso de Princípios de Neurocomputação. Quando digo que seu trabalho deve ser acessível aos colegas da sala, excluo obviamente trabalhos muito específicos que só sejam acessíveis ao professor e ao orientador do aluno – em outras palavras, a classe também tem que lucrar algo com seu trabalho. O tema principal e o conteúdo, naturalmente, devem privilegiar aspectos da neurocomputação e não aspectos de uma aplicação específica.

Outras informações sobre os tópicos abordados neste curso serão em breve disponibilizadas através de mailing list da turma ou de mecanismo similar.

### Referências principais:

- 1) O livro clássico de Simon Haykin (parte dele) é sempre minha primeira recomendação.
- 2) O livro de Kohonen em Mapas Auto-organizáveis.
- 2) Vários outros livros disponíveis na biblioteca, inclusive o do Professor Kovacs.

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Atividade: Fale de você aos colegas de curso ...

Me responda em sala na primeira aula e depois por e-mail em formato PDF (todos exercícios seguintes devem ser entregues neste mesmo formato) no prazo de uma semana menos 1 dia (até terça feira portanto, NÃO até quarta!):

- SUA FOTO
- Seu nome:
- Endereço de e-mail USP que deve coincidir com o do sistema JANUS:
- O programa de pós-graduação (Doutorado/Mestrado em Eng. Elétrica / Matemática / etc etc ):
- Formação de graduação:
- O estágio dos seus estudos na pós-graduação:
  
- Nome de seu tutor ou orientador:
- Área de pesquisa (mesmo que preliminar):
- Breve explicação sobre a razão de você e seu orientador/a (ou tutor / tutora) terem escolhido esta disciplina:
  
- Os cursos (incluindo graduação), estudos, trabalhos e conhecimentos que você já tem e que se relacionam com os temas da disciplina de alguma forma:
  
- As linguagens ou ambientes de programação e simulação que você considera usar nos projetos computacionais que serão exercitados neste curso.

Del Moral Hernandez

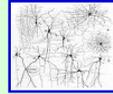
## Computação Bioinspirada, Computação Neural e Eletrônica Neuromórfica

- Conjugue capacidades da inteligência biológica com os ambientes de computação, de processamento embarcado, de sensoriamento e de controle automático
- Emprega diferentes estratégias e metodologias, frequentemente integradas em sistemas híbridos
- Muitas vezes as duas seguintes vertentes caminham juntas (e particularmente em neurocomputação):
  - 1) Inspirar-se nos sistemas biológicos para delineamento de novos modelos de computação
  - 2) Emular ou substituir parcialmente as capacidades dos sistemas biológicos

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Elencando alguns empréstimos da biologia

- Redes Neurais Artificiais – *foco de PSI5886*
  - O processamento não linear dos neurônios
  - A plasticidade sináptica e o aprendizado
- Lógica “Fuzzy” (Lógica Nebulosa)
  - A representação de informação imprecisa – funções de pertinência (conjuntos nebulosos)
- Computação Evolucionária
  - A terminologia e os conceitos da evolução biológica: uma população composta por diversas soluções potenciais de um problema é refinada e evolui em novas gerações, que correspondem a novas populações de soluções potenciais, cada vez melhores



Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Redes Neurais Artificiais

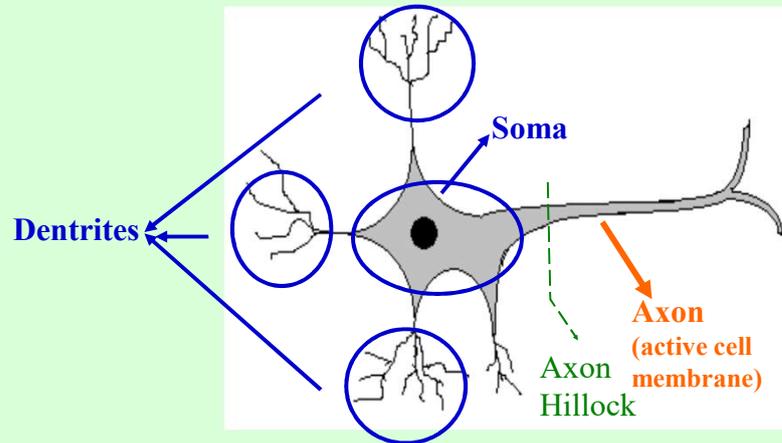
*São: sistemas computacionais, de implementação em hardware ou software, que imitam as habilidades computacionais do sistema nervoso biológico, usando um grande número de processadores simples (neurônios artificiais) e interconectados entre si.*

### *Emprestam da biologia:*

- A estrutura de processamento microscópico (processamento de informação de neurônios individuais)
- Em algum grau, aspectos da organização de redes neurais biológicas – como os neurônios se interligam
- O aprendizado através de exemplos (através de casos)

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

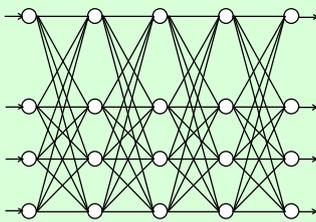
## Fundamentos ... O neurônio biológico



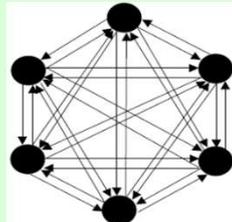
Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Três arquiteturas neurais importantes:

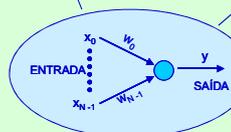
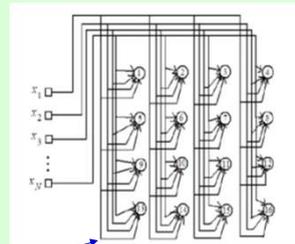
1) MLP  
- Multi Layer  
Perceptron



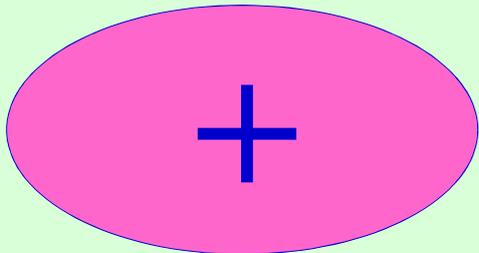
2) Memória  
Associativa  
de Hopfield



3) Mapas Auto-  
Organizáveis  
de Kohonen

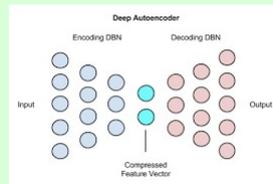
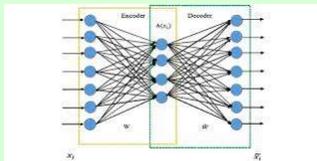
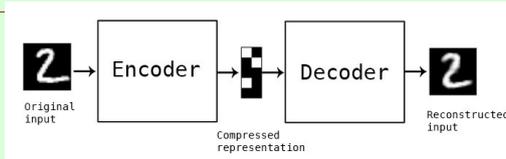
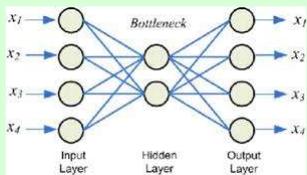


Prof. Emilio Del Moral Hernandez



- Algumas respostas sendo dadas com ferramentas de Deep Learning

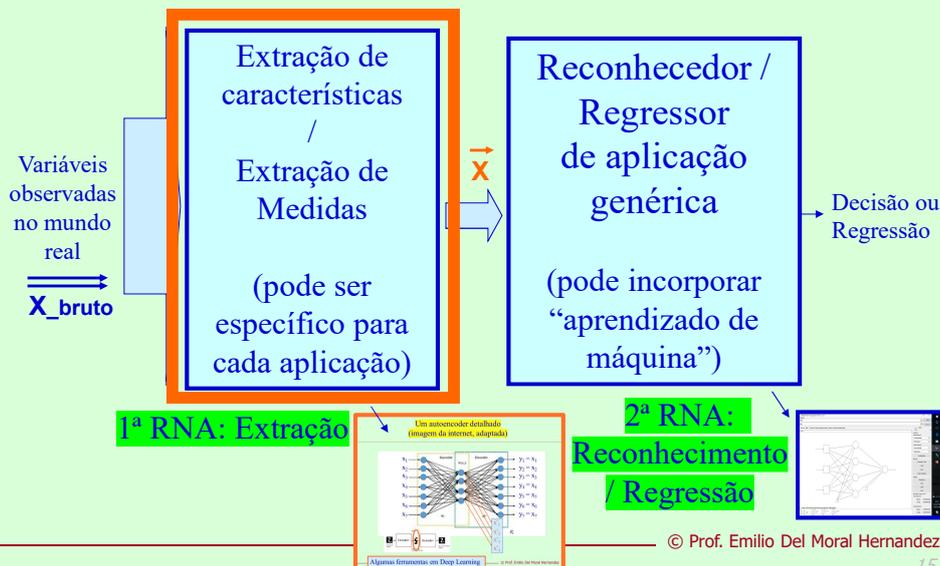
### Autoencoders e Stacked Auto-encoders (imagens da internet)



Algumas ferramentas em Deep Learning

... O 1o estágio gera um Vetor de Medidas,  $\vec{X}$   
(o segundo estágio operará sobre tal vetor)

15



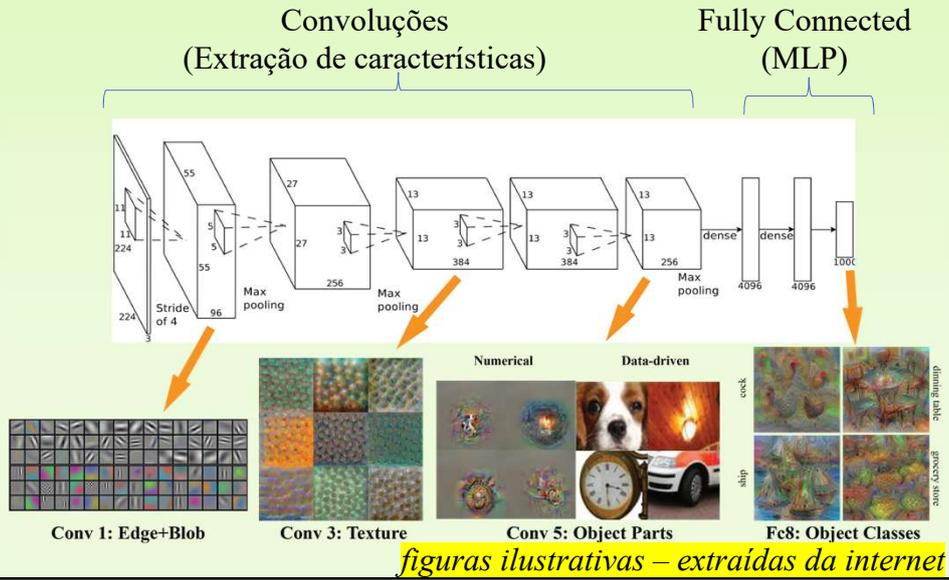
*Falemos também sobre as  
Redes Neurais Convolucionais –  
ou ConvNets –  
ou Convolutional Neural Networks*

*Trata-se de outra técnica atual de grande  
emprego no contexto de Deep Learning e  
que também traz algumas soluções para o  
sobreaprednizado em aplicações de alta  
dimensão de entrada*

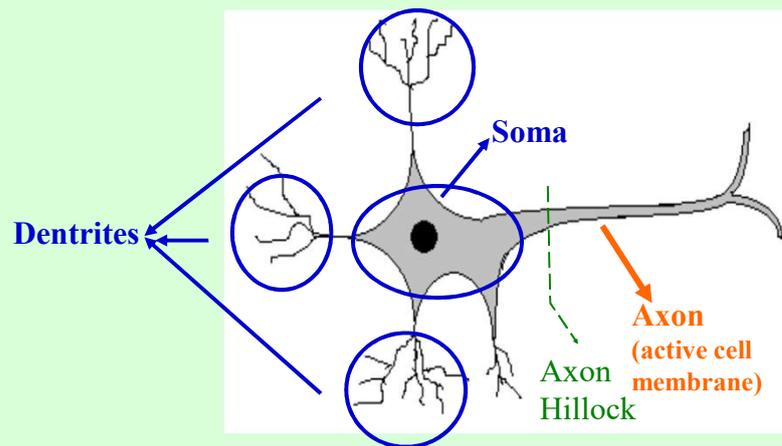
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

16

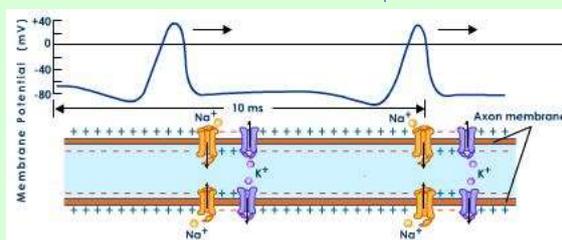
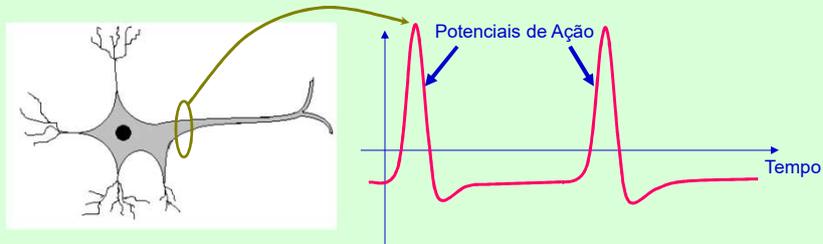
## Classificação em Redes Neurais Convolucionais



## Fundamentos ... O neurônio biológico



## Action Potential generation and Propagation (Potenciais de Ação = nome técnico dos pulsos neurais)

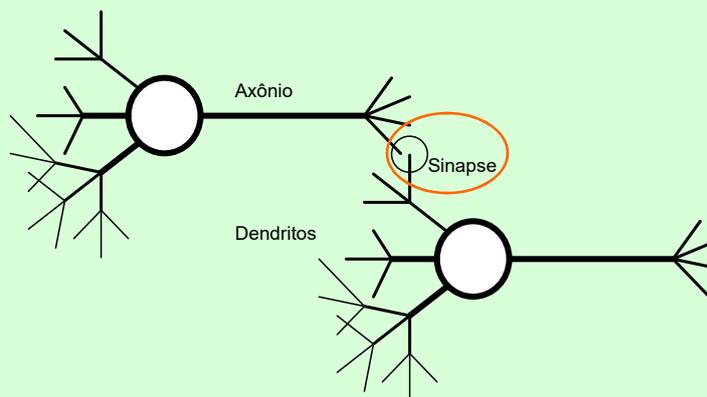


... ions principais ...

Sódio, Potássio, Cloro...

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Cômputos mais complexos ... são realizados pelo encadeamento de vários neurônios

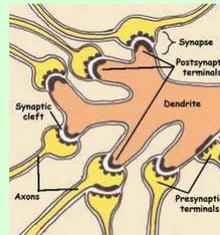
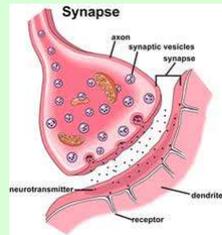


A conexão entre um axônio de um neurônio e um dendrito de outro é denominada **Sinapse**

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Sinapses

21

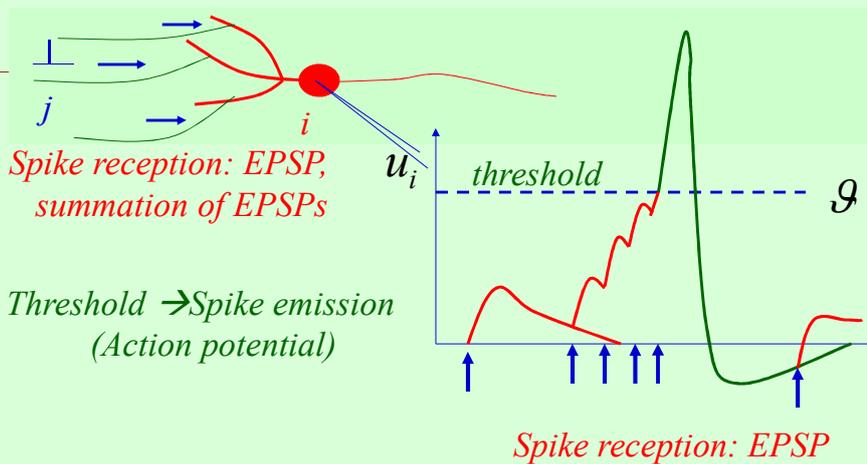


Conexões Sinápticas ... podem ser excitatórias ou inibitórias, mais fortes ou mais fracas, mais lentas ou mais rápidas, ... de acordo com o tipo (dopamina, serotonina, etc ...) e com a quantidade de neurotransmissores envolvidos.

*Conceitos de Peso Sináptico e de Plasticidade Sináptica*

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

21



*Phenomenology of spike generation*

*(Slide from Gerstner's webpage)*

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

22

## Integrate-and-fire Model and the Electronic Version

$$\tau \cdot \frac{d}{dt} u_i = -u_i + RI(t) \quad \text{linear}$$

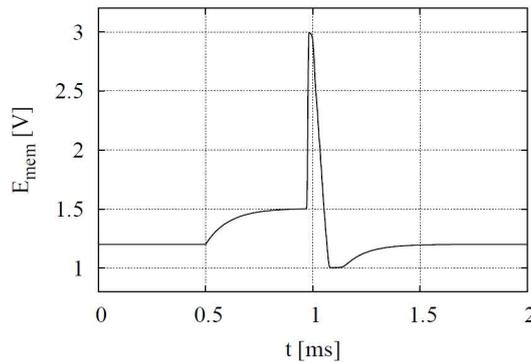
$$u_i(t) = \mathcal{G} \Rightarrow \text{Fire+reset threshold}$$

(Slide from Gerstner's webpage)

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Sinal gerado por circuito com transistores CMOS, para codificação por pulsos neurais individuais

### Potencial de ação gerado por neurônio CMOS



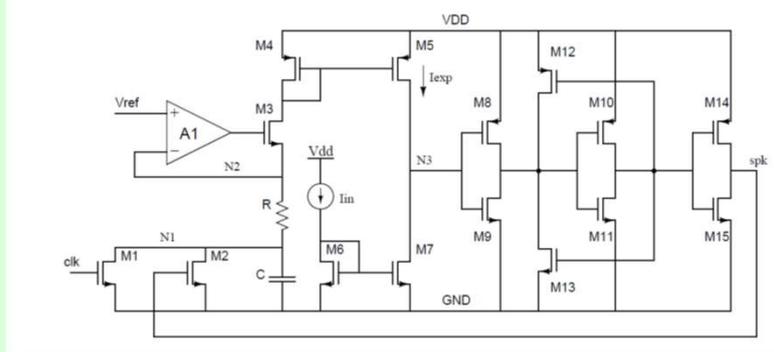
Prof. Emilio Del Moral Hernandez  
 Grupo ICONE-EPUSP-PSI  
 Trabalho de pós graduação de Julio Cesar Saldaña

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Circuito neuromórfico para codificação temporal de informação, em redes neurais pulsadas

25

### Circuito codificador



Prof. Emilio Del Moral Hernandez  
Grupo ICONE-EPUSP-PSI  
Trabalho de pós graduação de Julio Cesar Saldaña

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

26

## Codificação de informação em neurônios biológicos

28

- Freqüencial
- Phase
- Sincronização
- ??? Outros ???

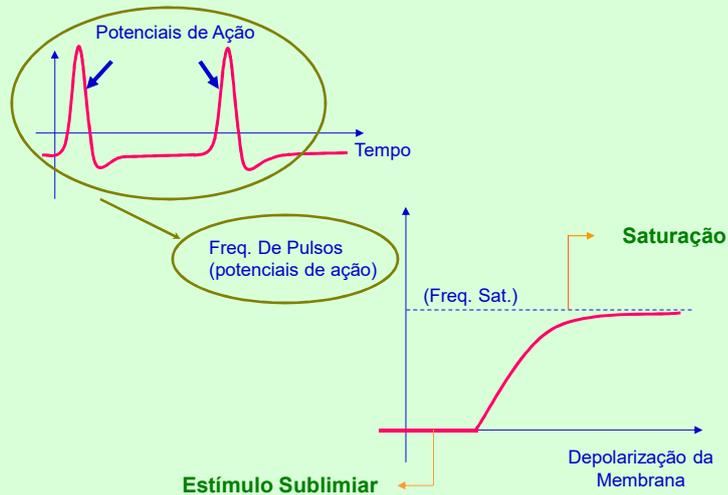
- Os modelos neurais mais clássicos >>>  
Predominantemente codificação FREQUENCIAL!!!!

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

29

## Estudando a relação não linear entre volume de estímulo e volume de atividade de saída

29

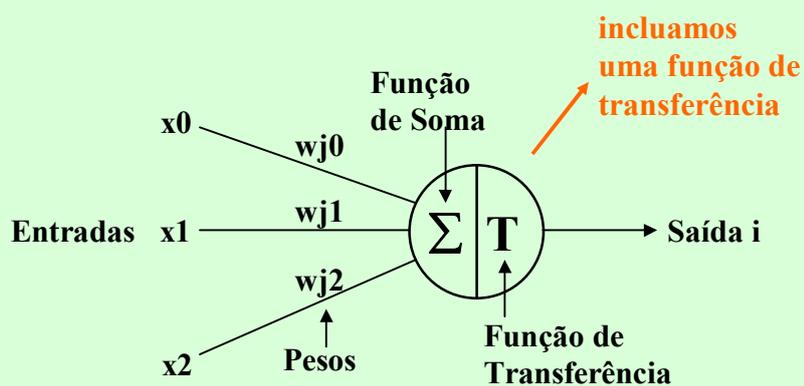


Prof. Emilio Del Moral Hernandez

29

## Modelando a Relação Entrada / Saída do neurônio

30



Prof. Emilio Del Moral Hernandez

30

*Temos pois duas componentes de cálculo complementares no neurônio:*

31

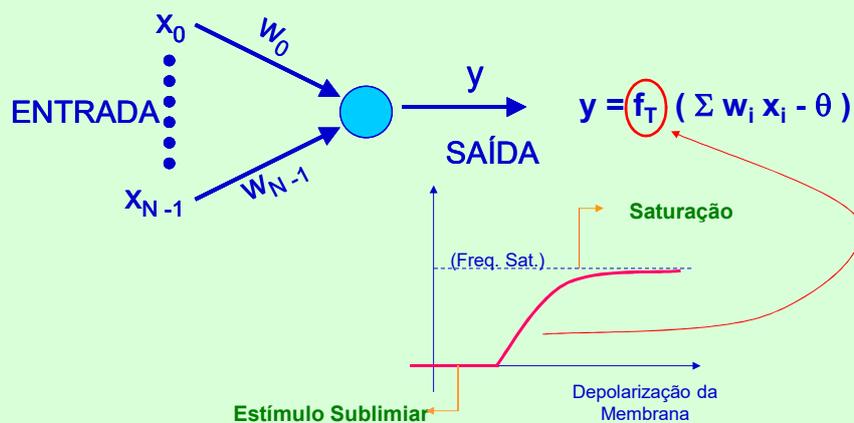
*1) Uma linear (soma ponderada das entradas)*

*2) Outra não linear (Função de transferência da classe sigmoideal)*

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

*Resumo ... um nó (neural) realiza a seguinte computação analógica ( ... / digital )*

32



Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Computação não linear com codificação frequencial

33

Diagram illustrating a neuron model with inputs  $x_0$  to  $x_{N-1}$  and weights  $w_0$  to  $w_{N-1}$ . The output is  $y$  (SAÍDA). A graph shows the transfer function  $y = f_T(\sum w_i x_i)$ , which is a sigmoidal curve. A biological neuron diagram is also shown.

Prof. Emilio Del Moral Hernandez

## Computação e adaptabilidade em um nó neural

34

Diagram illustrating a neuron model with inputs  $x_0$  to  $x_{N-1}$  and weights  $w_0$  to  $w_{N-1}$ . The output is  $y$  (SAÍDA). A graph shows the transfer function  $y = f_T(\sum w_i x_i - \theta)$ . The graph is annotated with "Mundo binário (sim x não)" and "Mundo analógico (contínuo)".

Prof. Emilio Del Moral Hernandez