

# Base Biológica: Aspectos Funcionais e Organizacionais\*\*

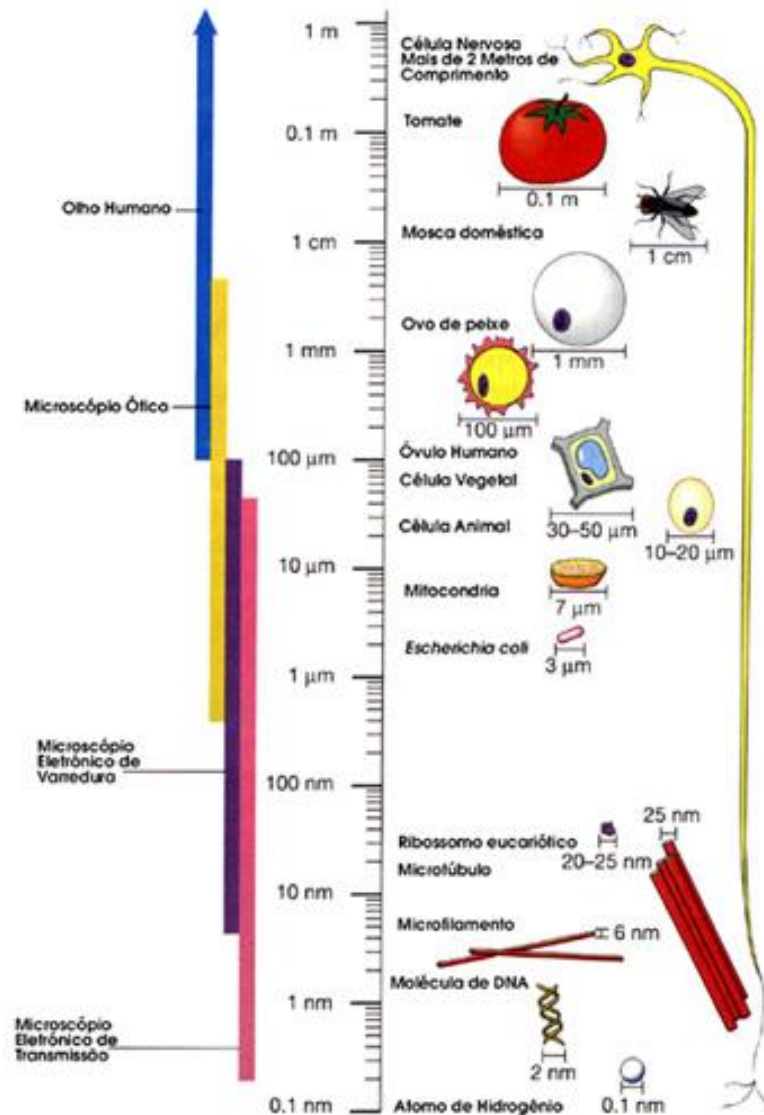
1	Introdução .....	2
2	O sistema nervoso.....	19
2.1	Taxonomia do sistema nervoso .....	20
2.2	Níveis de Organização no Sistema Nervoso .....	25
2.3	Neurônios e Sinapses .....	26
2.4	Base Biológica e Física da Aprendizagem e Memória .....	48
3	Alguns fatos históricos relevantes .....	51
4	Algumas questões operacionais .....	53
5	Cérebro Eletrônico .....	55
6	Neurocomputação .....	57
7	Referências bibliográficas.....	63

# 1 Introdução<sup>1</sup>

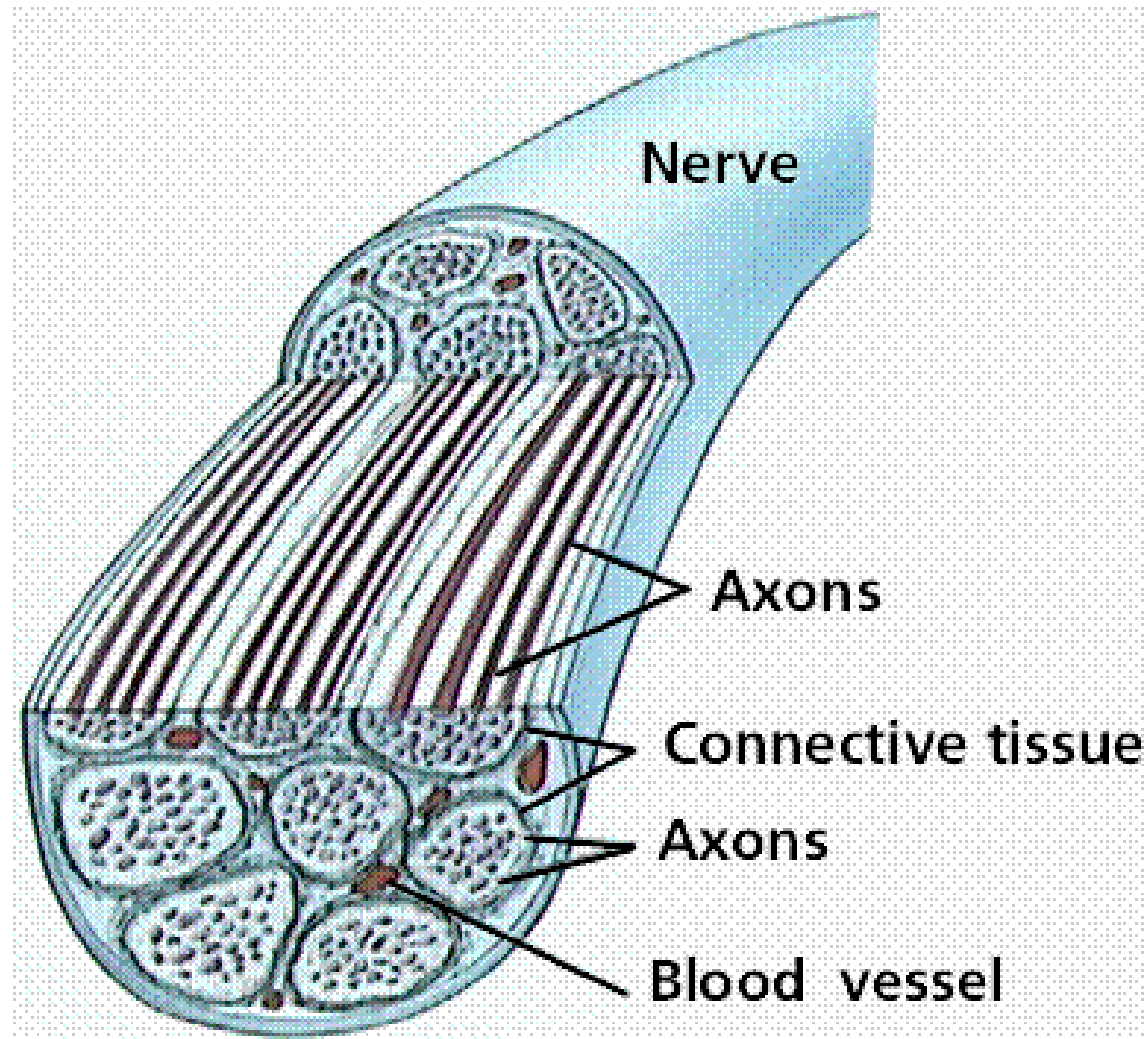
- Descoberta do microscópio: ~1590
- Descoberta da célula: ~1680
- Célula como unidade constituinte dos seres vivos: ~1830
- Constituintes básicos do cérebro são os neurônios: Ramón y Cajál, ~1909
- O cérebro humano pesa ~1,5 quilos e consome ~20% da energia do corpo;
- 100 gramas de tecido cerebral requerem ~3,5ml de oxigênio por minuto;
- O cérebro humano apresenta  $\sim 10^{11}$  neurônios e  $\sim 10^{14}$  sinapses ou conexões, com uma média de ~1000 conexões por neurônio, podendo chegar a ~10000 conexões.
- Em seres humanos, 70% dos neurônios estão localizados no córtex;
- Tipos de células neurais: horizontal, estrelada, piramidal, granular, fusiforme.
- Classificação de acordo com a função: sensoriais, motoras, intrínsecas.

---

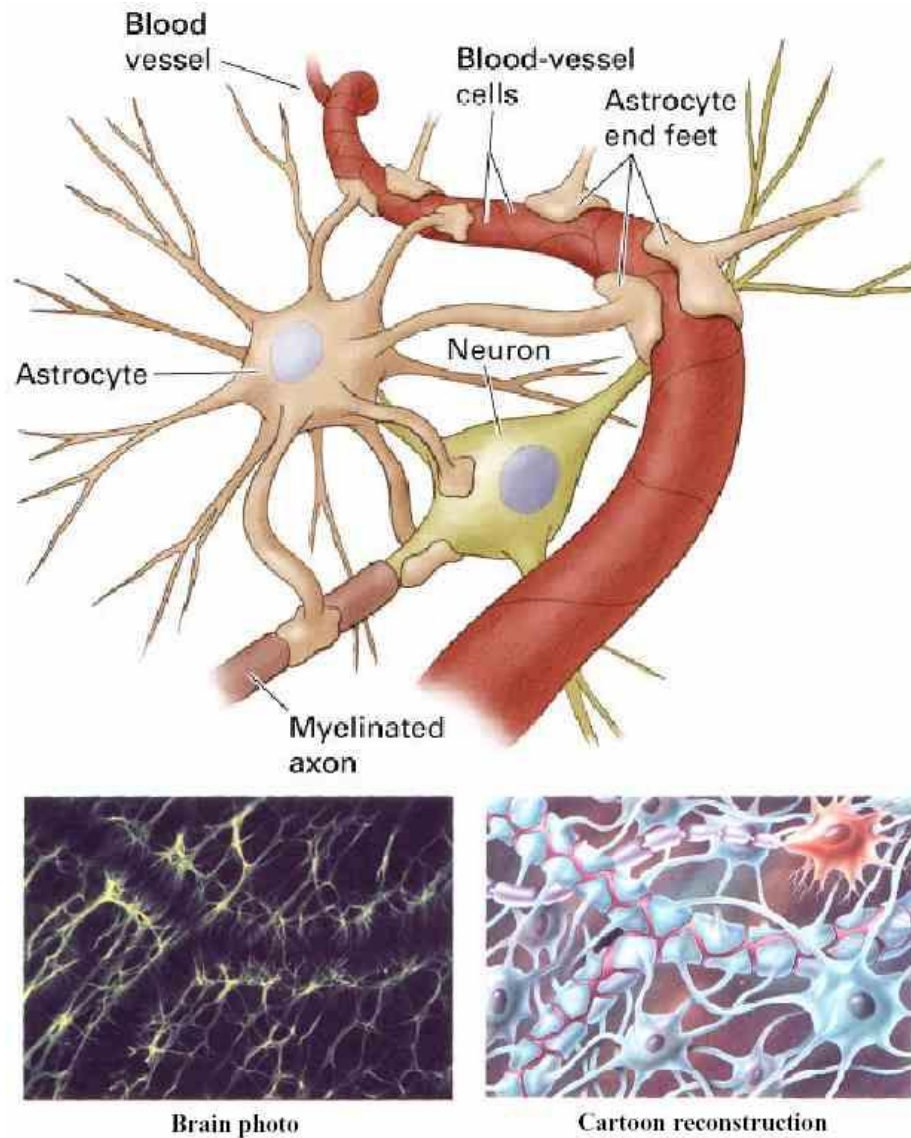
<sup>1</sup> Esta seção está parcialmente baseada em notas de aula produzidas pelo Prof. Márcio Luiz de Andrade Netto (DCA/FEEC/Unicamp)



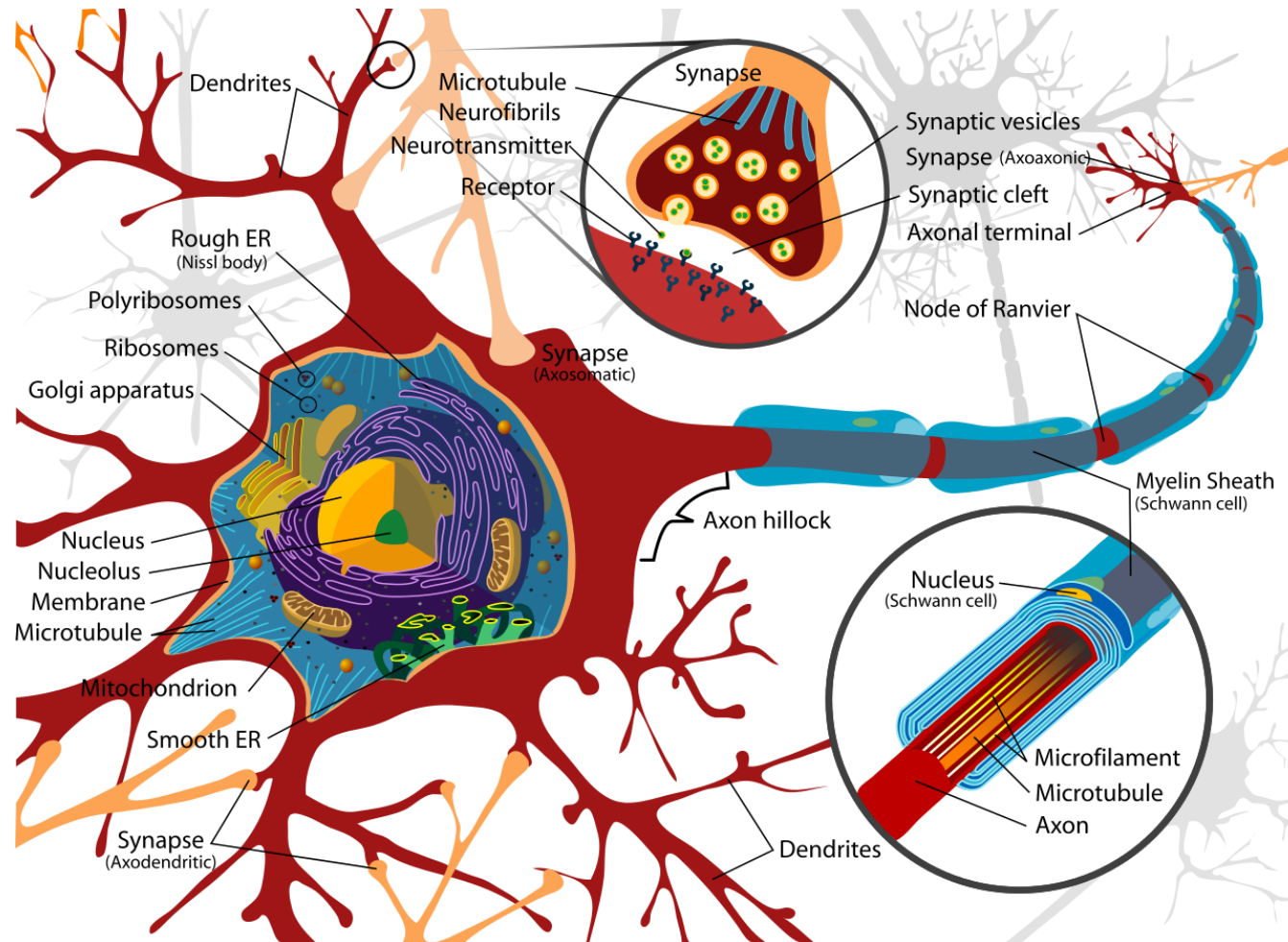
- O diâmetro do corpo celular de um neurônio mede de  $\sim 5\mu\text{m}$  (célula granular) a  $\sim 60\mu\text{m}$  (célula piramidal);
- Em termos fisiológicos, um neurônio é uma célula com a função específica de receber, processar e enviar informação a outras partes do organismo.
- Um nervo é formado por um feixe de axônios, com cada axônio associado a um único neurônio;
- Os nervos apresentam comprimentos variados, podendo chegar a mais de um metro.



Estrutura de um nervo



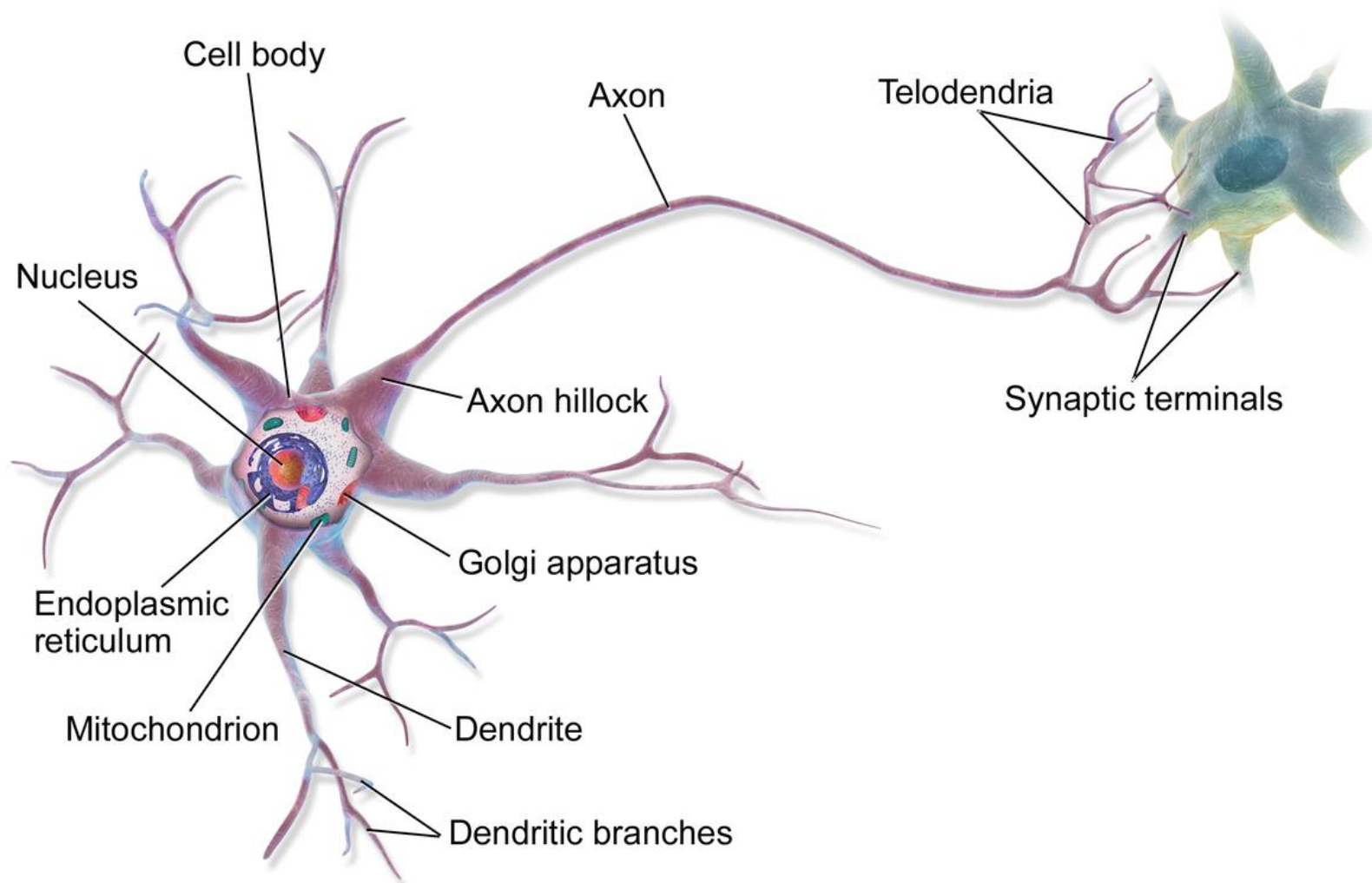
- Além das células condutoras, o cérebro possui as células não-condutoras, formando a glia (neuróglio).
- Os astrócitos se caracterizam pela riqueza e dimensões de seus prolongamentos citoplasmáticos, distribuídos em todas as direções. Funções: prover suporte estrutural, nutrientes e regulação química.
- Máxima distância de um neurônio a um vaso sanguíneo: ~50 $\mu$ m.



## Elementos constituintes de um neurônio

Fonte: [[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Complete\\_neuron\\_cell\\_diagram\\_en.svg/1280px-Complete\\_neuron\\_cell\\_diagram\\_en.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Complete_neuron_cell_diagram_en.svg/1280px-Complete_neuron_cell_diagram_en.svg.png)]





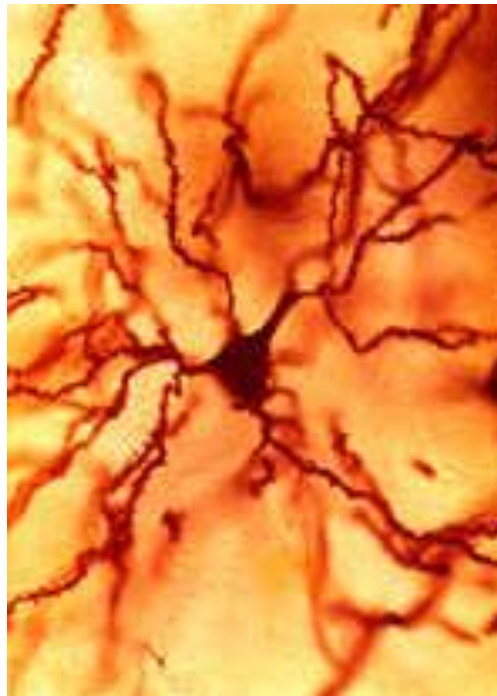
Destaque para os telodendros (ramificações do axônio)

Fonte: [[https://en.wikipedia.org/wiki/Neural\\_circuit](https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_circuit)]

- O neurônio biológico é uma célula especializada em transmitir pulsos elétricos, sendo que as suas principais partes constituintes são:
  - ✓ Membrana celular: é a “pele” da célula;
  - ✓ Citoplasma: tudo que está envolvido pela membrana;
  - ✓ Núcleo: contém os cromossomos (DNA);
  - ✓ Ribossomos: geram proteínas a partir de mRNAs;
  - ✓ Mitocôndria: gera energia para a célula (produz ATP);
  - ✓ Soma: corpo celular, excluindo dendritos e axônio;
  - ✓ Dendritos: parte do neurônio que recebe informação de outros neurônios;
  - ✓ Axônio: parte do neurônio que transmite informação para outros neurônios;
  - ✓ Bainha de mielina: revestimento externo lipídico do axônio, responsável por evitar a dispersão dos sinais elétricos, como uma capa isolante;
  - ✓ Terminais pré-sinápticos: área do neurônio que armazena neurotransmissores, os quais são liberados por potenciais de ação.

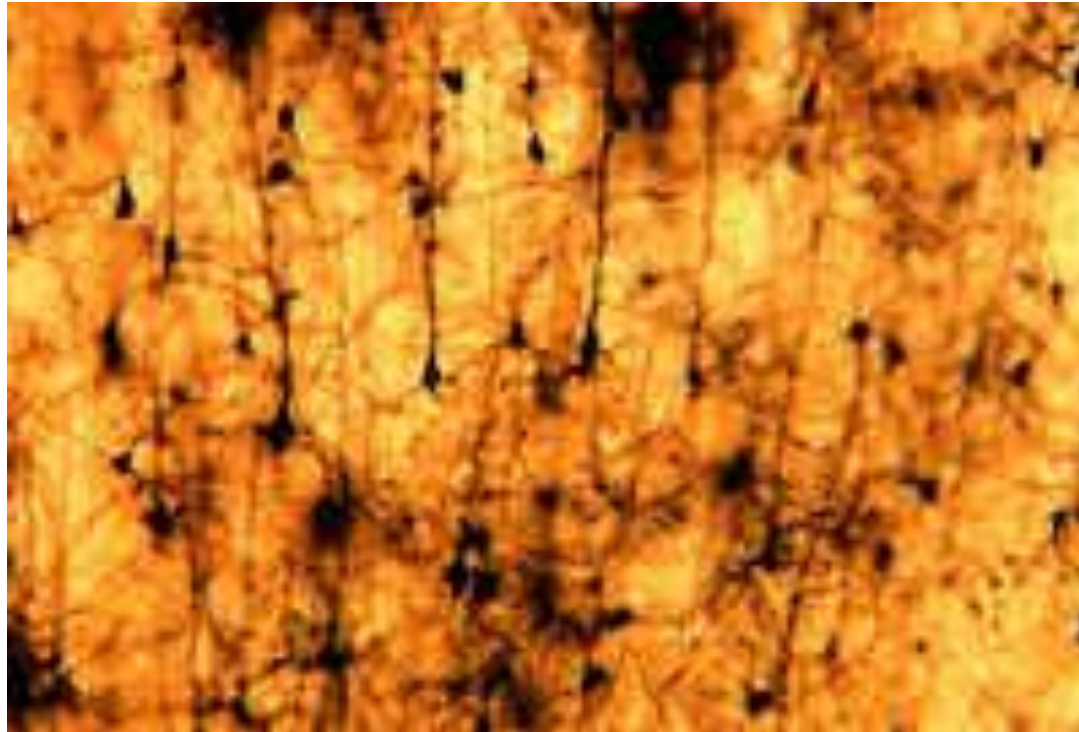


- Os neurônios sensoriais normalmente têm longos dendritos e axônios curtos. Por outro lado, os neurônios motores têm um longo axônio e dendritos curtos (transmitem informação para músculos e glândulas). Já os neurônios intrínsecos realizam a comunicação neurônio-a-neurônio no sistema nervoso central.



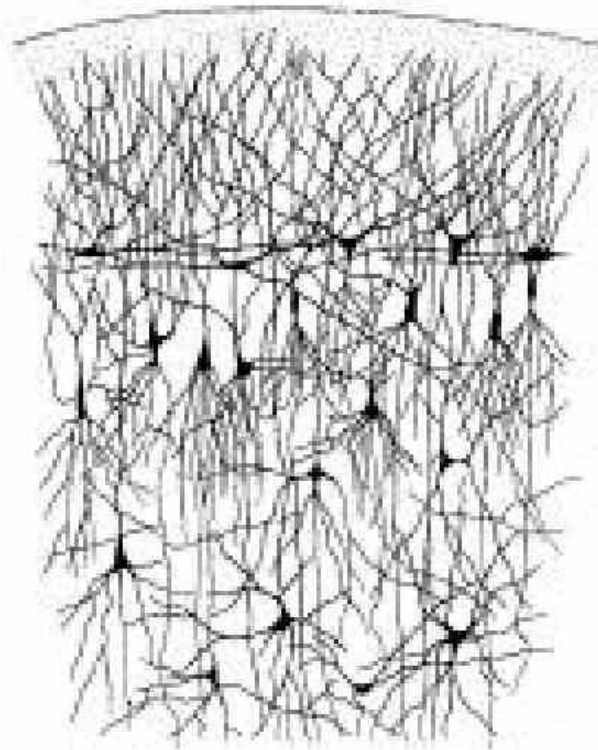
Neurônio piramidal do córtex de um hamster

Fonte: [<https://faculty.washington.edu/chudler/cellpyr.html>]

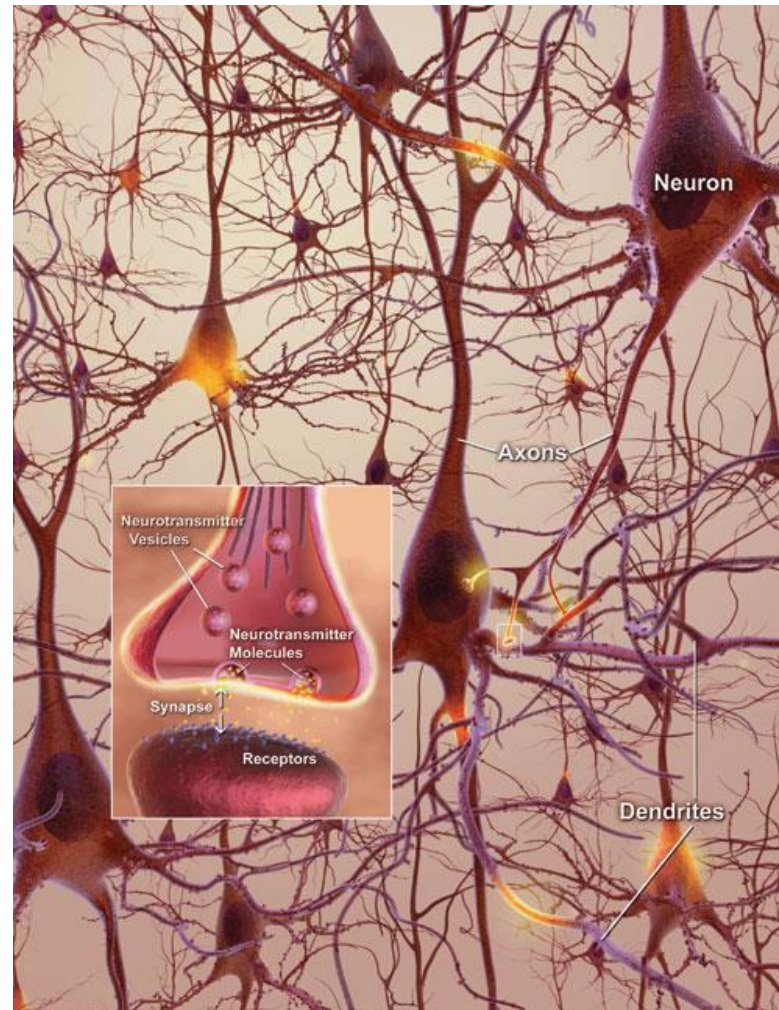


Rede de neurônios piramidais do córtex de um hamster

Fonte: [<https://faculty.washington.edu/chudler/cellpyr.html>]



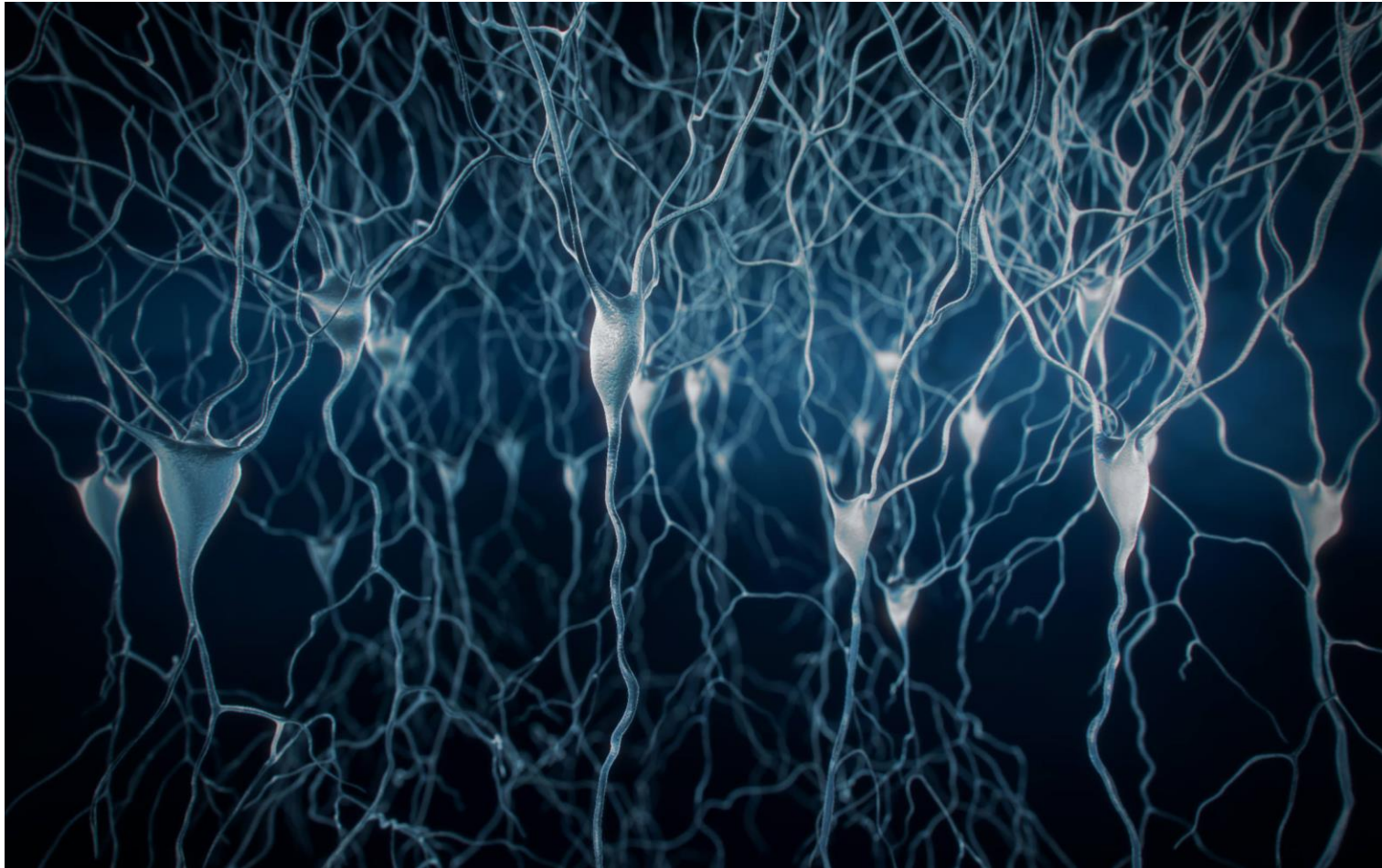
Desenho do córtex realizado por RAMÓN Y CAJÁL (1909)



## Organização tridimensional de neurônios

Fonte: [[http://happyteapeopleamblog.ru/wp-content/uploads/2014/01/01\\_neurons\\_lg.jpg](http://happyteapeopleamblog.ru/wp-content/uploads/2014/01/01_neurons_lg.jpg)]





## Organização tridimensional de neurônios

Fonte: [[http://img-new.cgtrader.com/items/54567/pyramidal-neurons-scene\\_3d\\_model\\_max\\_555c4314-c9ae-4000-a710-67b4826a903f.jpg](http://img-new.cgtrader.com/items/54567/pyramidal-neurons-scene_3d_model_max_555c4314-c9ae-4000-a710-67b4826a903f.jpg)]

- A estrutura e a funcionalidade do cérebro são governadas por princípios básicos de alocação de recursos e otimização sujeita a restrições.

LAUGHLIN, S.B. & SEJNOWSKI, T.J. (2003) “Communication in neuronal networks”, *Science*, vol. 301, no. 5641, pp. 1870–1874.

- O ser humano pode reagir simultaneamente a uma quantidade bem limitada de estímulos, o que pode indicar que mecanismos de alocação de recursos (e.g. glicose, oxigênio) baseados em prioridades são implementados no cérebro.

NORMAN, D.A. & BOBROW, D.G. (1975) “On data-limited and resource-limited processes”, *Cognitive Psychology*, vol. 7, pp. 44-64.

- Alguns autores defendem que o córtex humano pode ser modelado na forma de uma rede “mundo pequeno” (BASSETT & BULLMORE, 2006; SPORNS & HONEY, 2006; SPORNS, 2010) ou então uma rede complexa (AMARAL & OTTINO, 2004).

AMARAL, L. & OTTINO, J. (2004) “Complex networks”, *The European Physical Journal B – Condensed Matter and Complex Systems*, vol. 38, no. 2, pp. 147-162.

BASSETT, D.S. & BULLMORE, E. (2006) “Small-world brain networks”, *Neuroscientist*, vol. 12, no. 6, pp. 512-523.

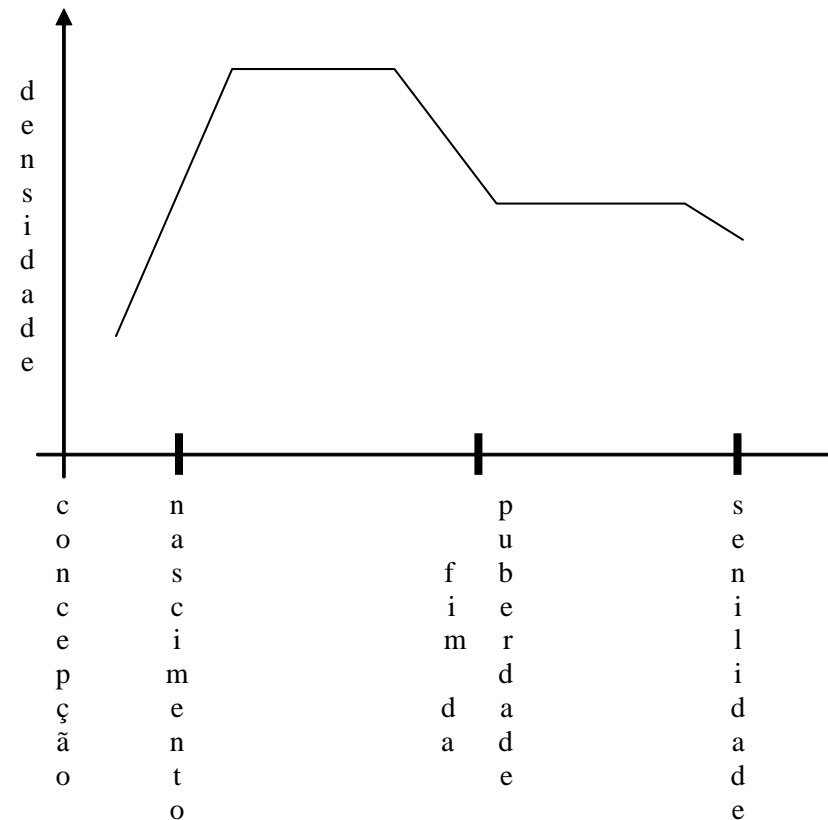
SPORNS, O. & HONEY, C.J. (2006) “Small worlds inside big brains”, *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 103, no. 51, pp. 19219-19220.

SPORNS, O. (2010) “Networks of the Brain”, The MIT Press, ISBN: 0262014696.

- Há um expressivo aumento na densidade de conexões sinápticas da vida embrionária até a idade de 2 anos. Quando se atinge a idade de 2 anos, o ser humano apresenta a maior concentração de sinapses, a qual se mantém num nível elevado até o início da puberdade. Até o término da puberdade, há uma queda acentuada no número de sinapses.
- Esse processo de ampliação e redução de sinapses, contudo, não é homogêneo, pois nas regiões sensório-motoras este processo ocorre mais cedo, enquanto que ele é retardado em áreas associadas aos processos cognitivos.
- A redução de sinapses é dramática: o número de sinapses ao término da puberdade pode chegar a 50% do número existente com a idade de 2 anos. Há uma perda de até 100.000 sinapses por segundo na adolescência.

KOLB, B & WHISHAW, I.Q. (2008) “Fundamentals of Human Neuropsychology”, Worth Publishers, 6th. edition, ISBN: 0716795868.





### Evolução da densidade de sinapses ao longo da vida de um ser humano

- Acredita-se ser impossível que o código genético de um indivíduo seja capaz de conduzir todo o processo de organização topológica do cérebro. Apenas aspectos gerais dos circuitos envolvidos devem estar codificados geneticamente.

- Logo, para explicar as conformações sinápticas, recorre-se a dois mecanismos gerais de modelagem sináptica: *experience expectant* e *experience dependent* (KOLB & WHISHAW, 2008).
- Podas baseadas em *experience expectant* estão vinculadas à experiência sensorial para a organização das sinapses. Geralmente, os padrões sinápticos são os mesmos para membros de uma mesma espécie. A formação de sinapses no córtex visual depende da exposição a estímulos como linha de orientação, cor e movimento.
- Podas baseadas em *experience dependent* estão vinculadas a experiências pessoais únicas, tal como falar uma língua distinta. Defende-se que o padrão de conexões do lobo frontal seja formado por podas baseadas em *experience dependent*.
- De fato, a atividade do córtex pré-frontal tende a ser até 4 vezes mais intensa em crianças do que em adultos, o que permite concluir que poda de parte das conexões e fortalecimento de outras contribuem para a maturação cognitiva.

CASEY, B.J., TOTTENHAM, N., LISTON, C. & DURSTON, S. (2005) “Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development?”, Trends in Cognitive Science, vol. 9, no. 3, pp. 104-110.

- Em síntese, é possível afirmar que o padrão de conexões no cérebro se inicia sem muita organização e com uma grande densidade de sinapses. Com a experiência de vida, um equilíbrio é atingido. Logo, como o padrão de conexões de um ser humano adulto é obtido a partir da experiência de vida, cada pessoa vai apresentar um padrão de conexões diferente, particularmente nas áreas especializadas em cognição. Por outro lado, o sistema sensório-motor em um adulto saudável deve apresentar uma conformação similar à de outros adultos saudáveis, visto que a poda nessas áreas é *experience expectant*.

FRANCO, A.R. (2009) “Resource Allocation of the human brain: a competitive equilibrium approach”, Ph. D. Thesis, The University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, USA.

- Há diferentes níveis de organização de conexões e diferentes perspectivas de análise, sendo as mais importantes a neuroanatômica (*diffusion tensor imaging*) e a neurofuncional (fMRI).

SAKKALIS, V. (2011). “Review of Advanced Techniques for the estimation of Brain Connectivity measured with EEG/MEG”. Computers in Biology and Medicine, vol. 41, no. 12, pp. 1110–1117.

## 2 O sistema nervoso

- Como o cérebro processa informações? Como ele é organizado? Quais são os mecanismos envolvidos no funcionamento cerebral?
- Estas são apenas algumas das perguntas mais desafiadoras para a ciência.
- O cérebro é especialista em desempenhar funções como reconhecimento de padrões, controle motor, percepção, inferência e abstrações. Entretanto, o cérebro também é “preconceituoso”, lento, impreciso, realiza generalizações incorretas e, acima de tudo, é geralmente incapaz de explicar suas próprias ações (embora este seja um requisito cultural e não funcional) (Marcus, 2010).
- Da mesma forma com que os neurônios são considerados as unidades básicas de processamento do cérebro, modelos simplificados dos neurônios biológicos constituem as unidades básicas de processamento das redes neurais artificiais (RNAs).

- Acredita-se que a capacidade das sinapses (conexões que permitem a transmissão de sinais entre neurônios biológicos) serem moduladas é a principal base para todos os processos cognitivos, como percepção, raciocínio, memória e aprendizagem.
- Sendo assim, algumas informações adicionais sobre neurônios, sinapses e organização estrutural são importantes para o projeto de RNAs.

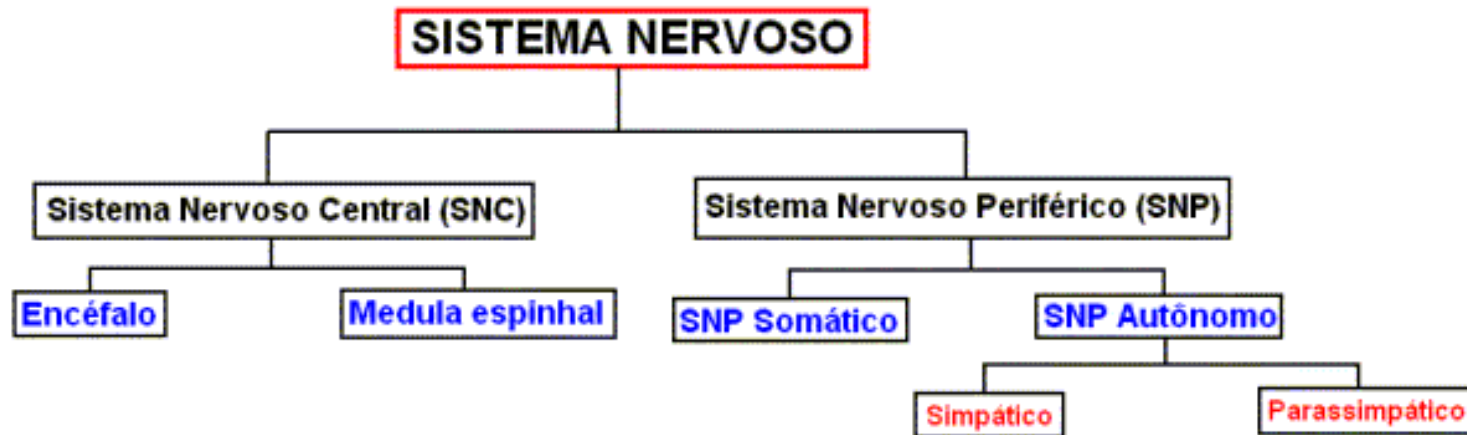
## 2.1 Taxonomia do sistema nervoso

- Todos os organismos multicelulares possuem algum tipo de sistema nervoso, cuja complexidade e organização varia de acordo com o tipo de animal.
- Mesmo os vermes, lesmas e insetos são capazes de adaptar seu comportamento e armazenar informações em seu sistema nervoso.
- O sistema nervoso é responsável por dotar o organismo, através de entradas sensoriais, de informações sobre o estado dos ambientes externo e interno.

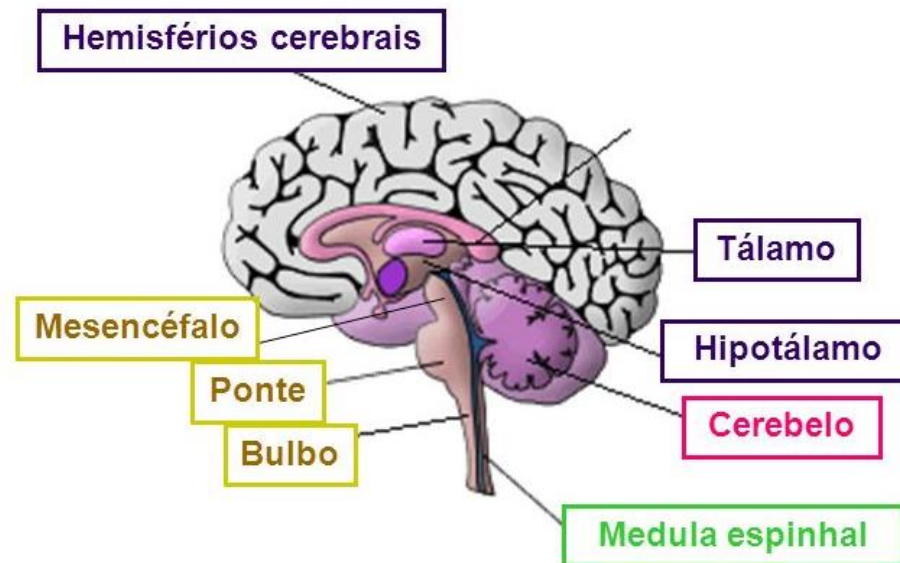
- A informação de entrada é processada, comparada com o conhecimento já adquirido e transformada em ações apropriadas ou absorvidas sob a forma de novo conhecimento.



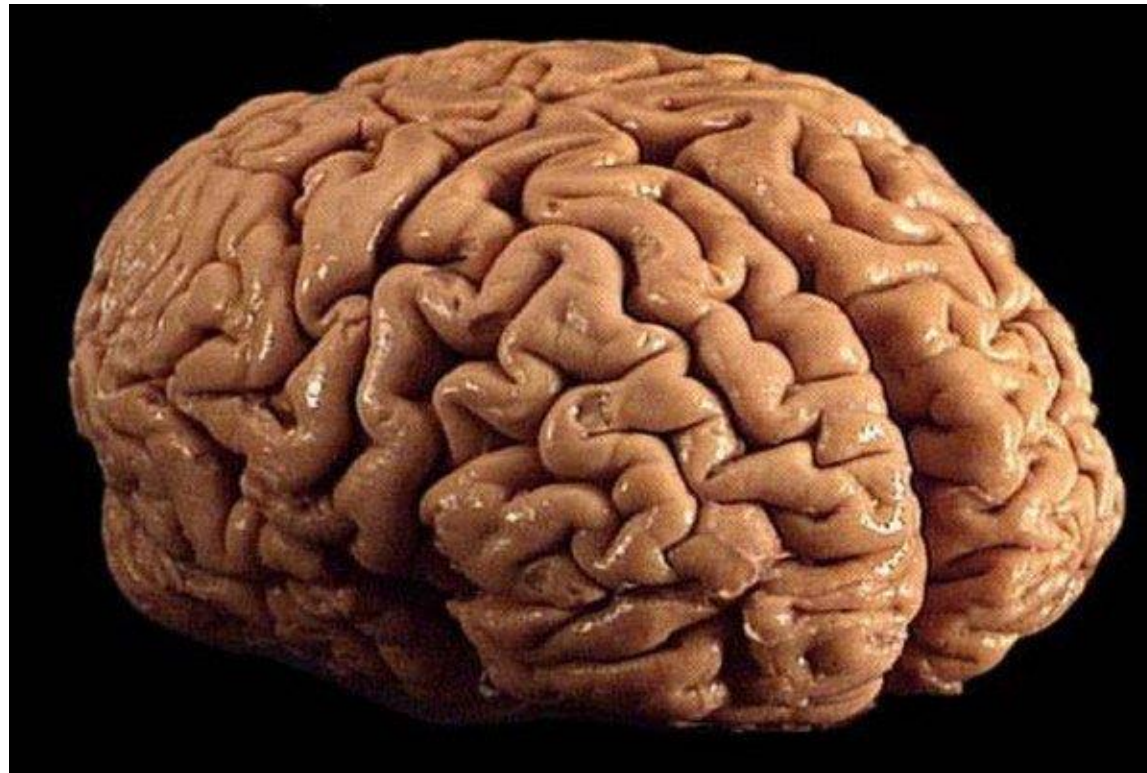
### Taxonomia dos sistemas nervosos central (SNC) e periférico (SNP)



**ENCÉFALO = cérebro + cerebelo + tronco encefálico**





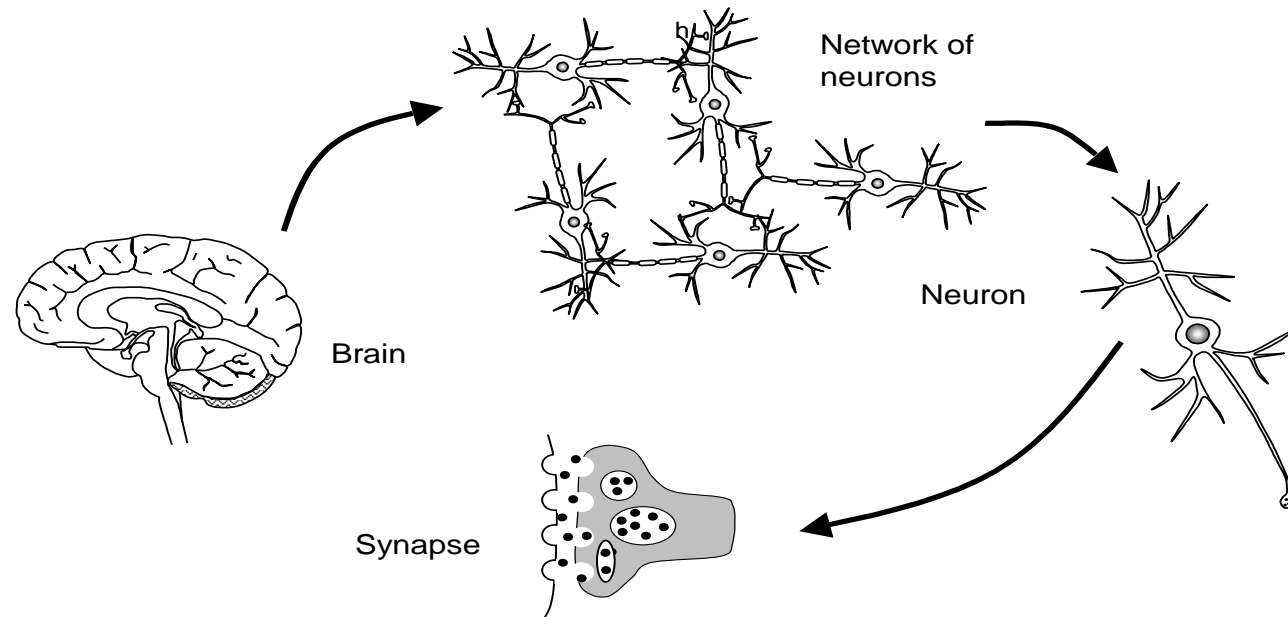


- Anatomicamente, o sistema nervoso possui duas divisões principais: *sistema nervoso central* (encéfalo e medula espinhal) e *sistema nervoso periférico* (autônomo, de atuação involuntária, e somático, de atuação voluntária).
- Os nervos do sistema nervoso periférico se dividem em cranianos (são 12 pares) e espinhais ou raquidianos (são 31 pares).
- O encéfalo é constituído pelo cérebro, pelo cerebelo e pelo tronco encefálico.
- O cérebro é formado pelo telencéfalo e pelo diencéfalo.
- O diencéfalo é composto pelo tálamo e pelo hipotálamo.
- O telencéfalo corresponde aos hemisférios cerebrais esquerdo e direito e é formado pela substância cinzenta (corpo dos neurônios) em sua porção mais externa, denominada córtex cerebral, e pela substância branca (fibras axonais). A conexão entre os dois hemisférios ocorre no corpo caloso.
- O sistema nervoso central é protegido por caixas ósseas e três membranas chamadas meninges, que protegem o sistema nervoso central: a externa, que fica

em contato com os ossos da caixa óssea, se chama dura-máter, a intermediária é a aracnóide e a interior, que fica em contato com os órgãos mais delicados, é a pia-máter. É importante ressaltar que entre a aracnóide e a pia-máter corre o líquido cefalorraquidiano, o líquido.

## 2.2 Níveis de Organização no Sistema Nervoso

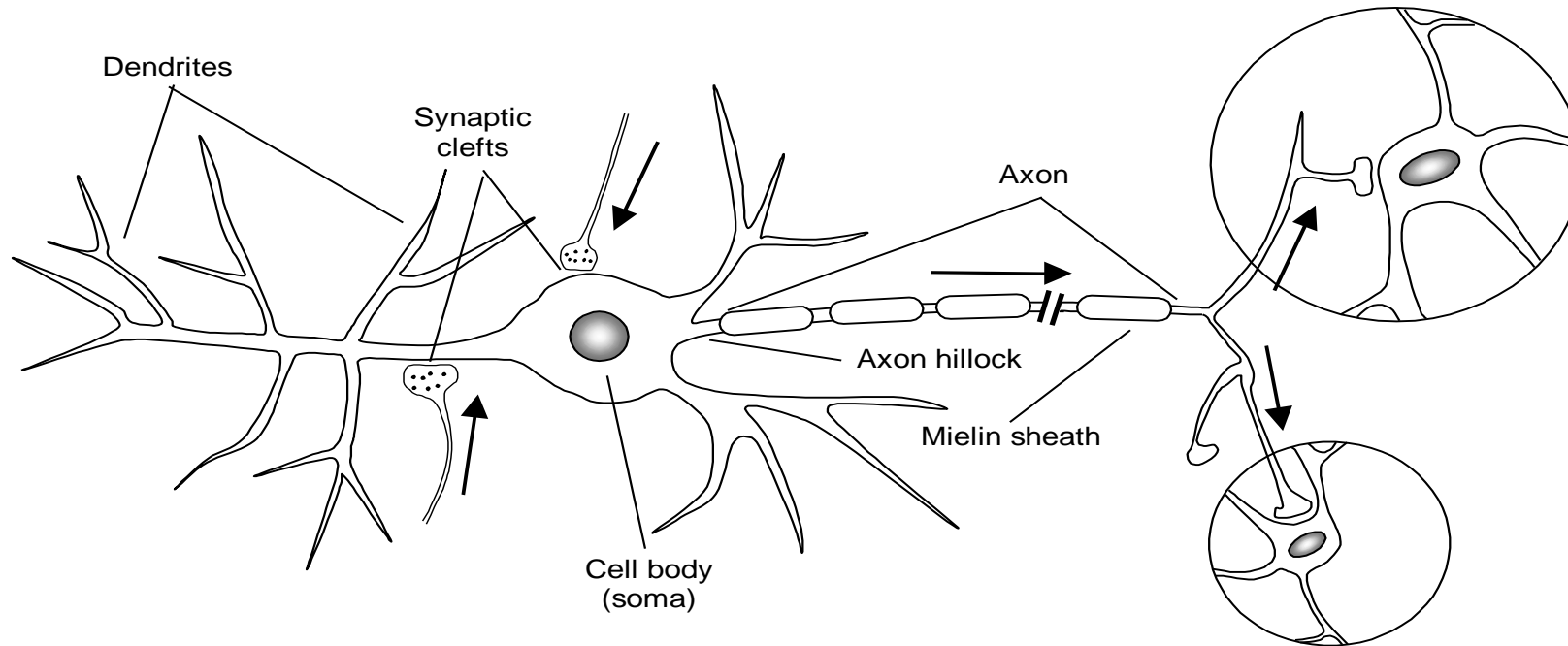
- O sistema nervoso pode ser organizado em diferentes níveis: *moléculas, sinapses, neurônios, camadas, mapas e sistemas*.
- Uma estrutura facilmente identificável no sistema nervoso é o neurônio, célula especializada em processamento de sinais.
- Dependendo das condições de operação, os neurônios são capazes de gerar um *signal*, mais especificamente um *potencial elétrico*, que é utilizado para transmitir informação a outras células.



## 2.3 Neurônios e Sinapses

- Os neurônios utilizam uma variedade de mecanismos bioquímicos para o processamento e transmissão de informação, incluindo os *canais iônicos*.
- Os canais iônicos permitem um fluxo contínuo de entrada e saída de *correntes (elétricas)*, a liberação de *neurotransmissores* e a geração e propagação de *potenciais de ação*.

- O processo de transmissão de sinais entre neurônios é fundamental para a capacidade de processamento de informação do cérebro.
- Uma das descobertas mais relevantes em neurociência foi a de que a *efetividade* da transmissão de sinais pode ser modulada, permitindo que o cérebro se adapte a diferentes situações.
- A *plasticidade sináptica*, ou seja, a capacidade de as sinapses sofrerem modificações, é o ingrediente-chave para o aprendizado.
- Os neurônios podem receber/enviar sinais de/para vários outros neurônios.
- Os neurônios que enviam sinais, chamados de neurônios *pré-sinápticos* ou “*enviadores*”, fazem contato com os neurônios *receptores* ou *pós-sinápticos* em regiões especializadas, denominadas *sinapses*.

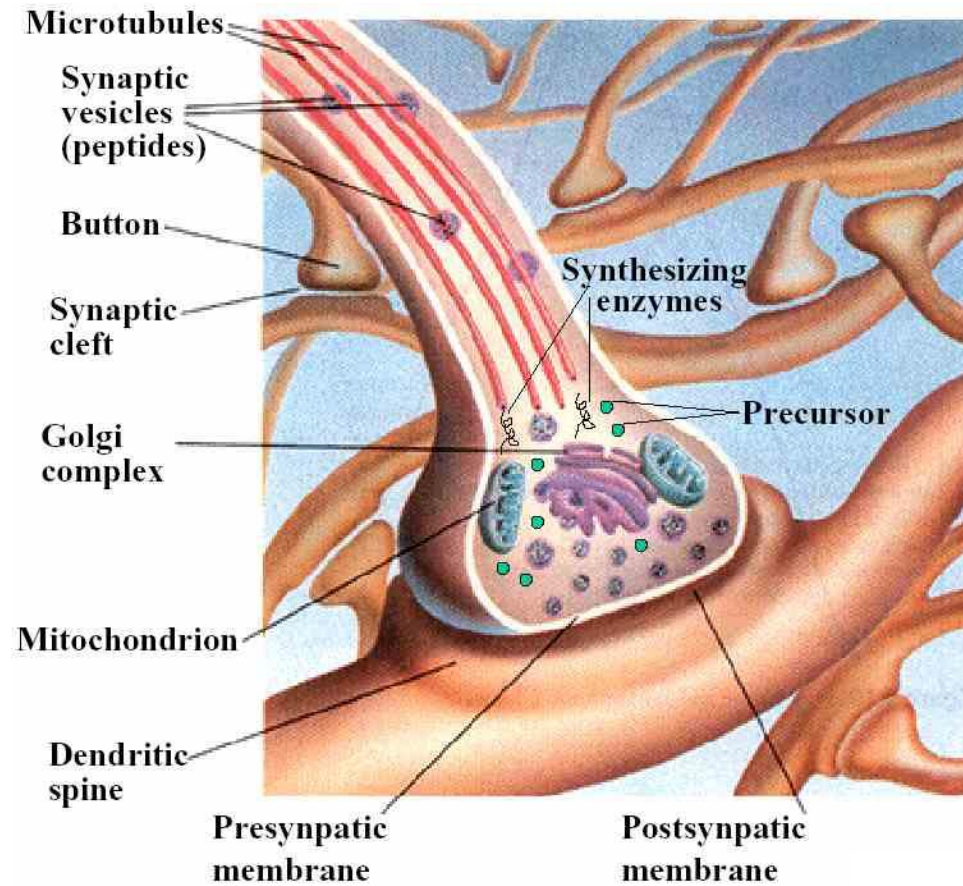


- A sinapse é, portanto, a junção entre um terminal do axônio de um neurônio pré-sináptico e o dendrito ou corpo celular de um neurônio pós-sináptico.
- A capacidade de processamento de informação das sinapses permite que elas alterem o estado de um neurônio pós-sináptico, eventualmente gerando um pulso elétrico, denominado *potencial de ação*, no neurônio pós-sináptico.

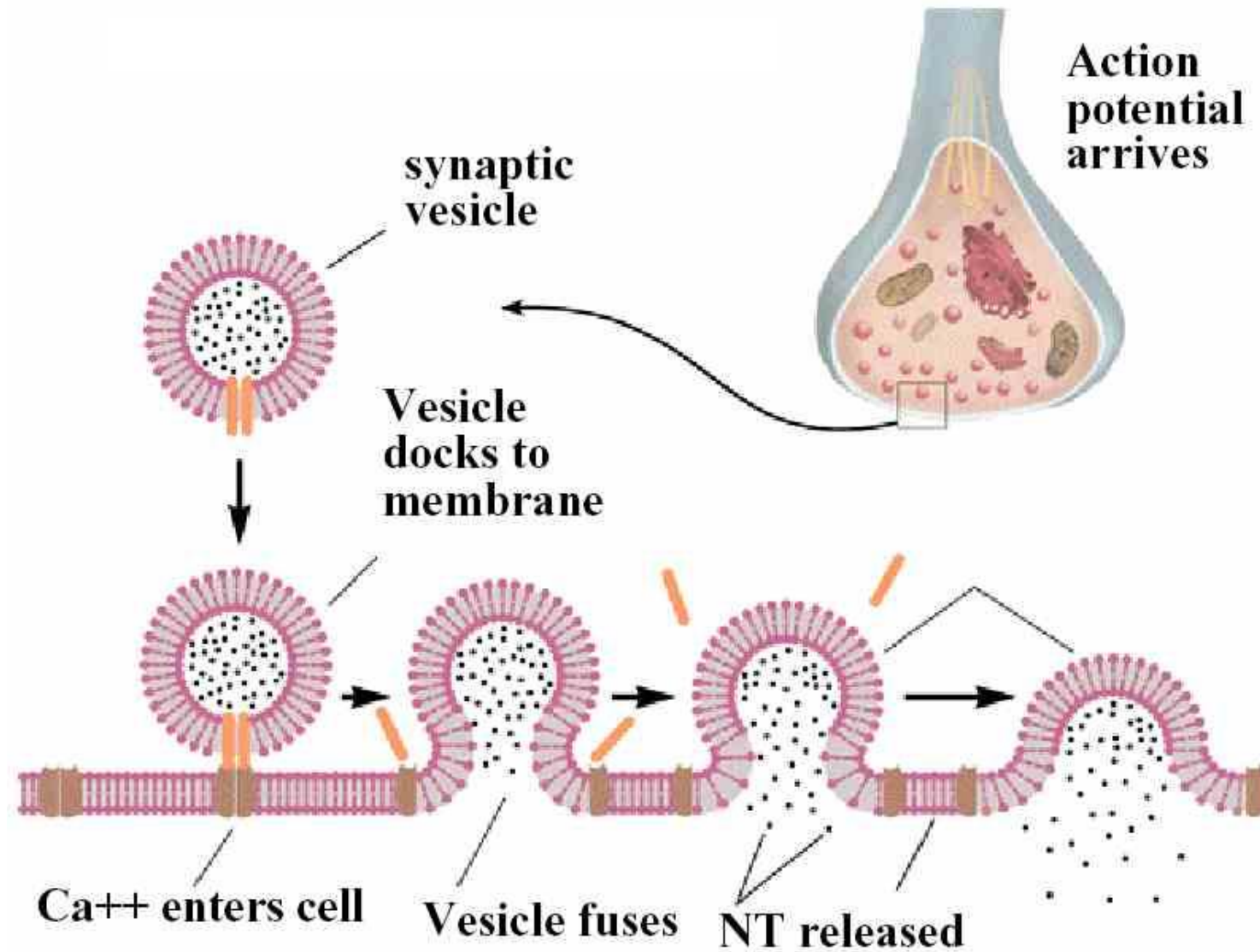
- Logo, um neurônio pode ser visto como um dispositivo capaz de receber estímulos (sinais de entrada) de diversos outros neurônios e propagar sua única saída, função dos estímulos recebidos e do estado interno, a vários outros neurônios.
- Existem diversos mecanismos envolvidos na transmissão de informação (sinais) entre neurônios. Como os neurônios são células encapsuladas por membranas, pequenas aberturas nestas membranas (*canais*) permitem a transferência de informação entre eles.
- Os mecanismos básicos de processamento de informação são baseados no movimento de átomos carregados, ou *íons*:
  - ✓ Os neurônios habitam um ambiente líquido contendo uma certa concentração de íons, que podem entrar ou sair do neurônio através dos canais.
  - ✓ Um neurônio é capaz de alterar o potencial elétrico de outros neurônios, denominado de *potencial de membrana*, que é dado pela diferença do potencial elétrico dentro e fora do neurônio.

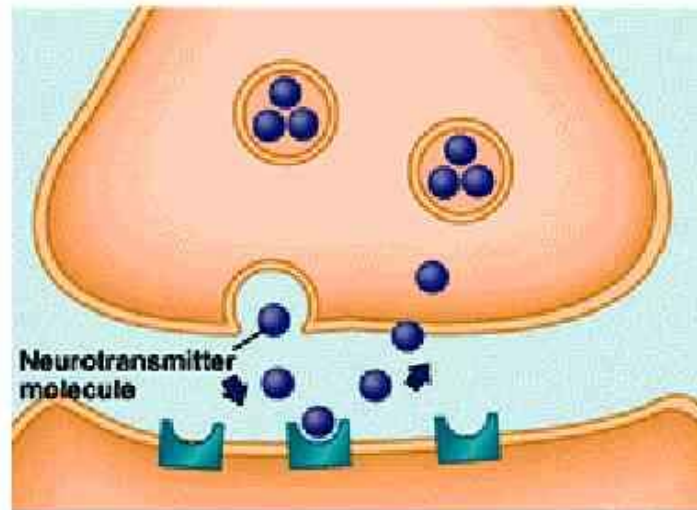


- ✓ Quando um potencial de ação chega ao terminal de um axônio, ele estimula vesículas que, por sua vez, promovem a liberação de neurotransmissores (substâncias químicas, compostos orgânicos) na fenda sináptica, os quais se difundem e se ligam a receptores no neurônio pós-sináptico.
- ✓ Essa ligação entre neurotransmissores e receptores conduz à abertura dos canais iônicos, permitindo entrada e saída de íons na célula, em resposta à diferença de potencial existente. Esse deslocamento de íons produz um pulso elétrico.
- ✓ Cada trem de pulsos elétricos se propaga pelo neurônio pós-sináptico e os pulsos que chegam de vários dendritos são integrados no corpo celular. A ativação do neurônio pós-sináptico irá se dar no caso de o efeito resultante destes pulsos elétricos integrados ultrapassar um certo *limiar*.
- ✓ Alguns neurotransmissores possuem a capacidade de *ativar* um neurônio enquanto outros possuem a capacidade de *inibir* a ativação de um neurônio.

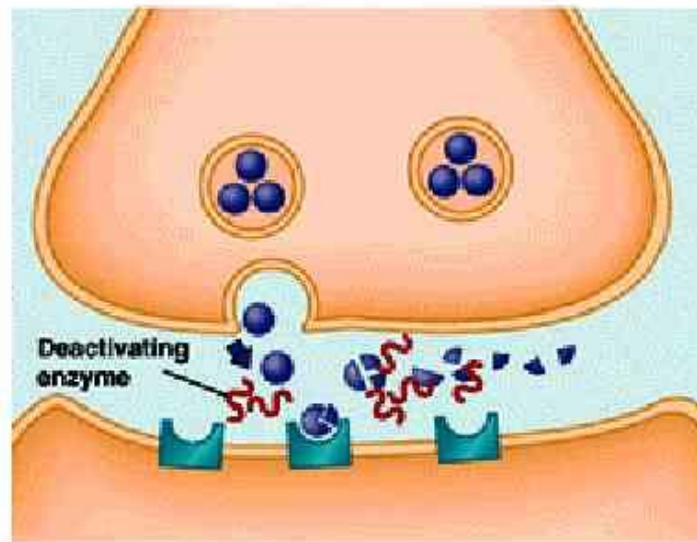


- A sinapse é uma fenda entre os terminais pré-sináptico e pós-sináptico, medindo ~20 nm.

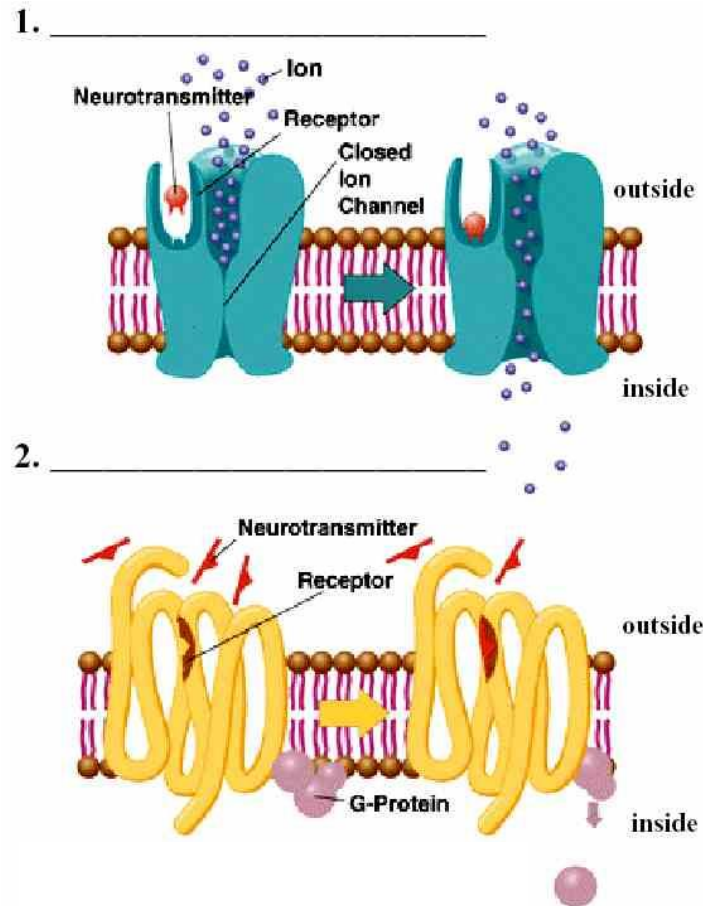




**Reuptake**

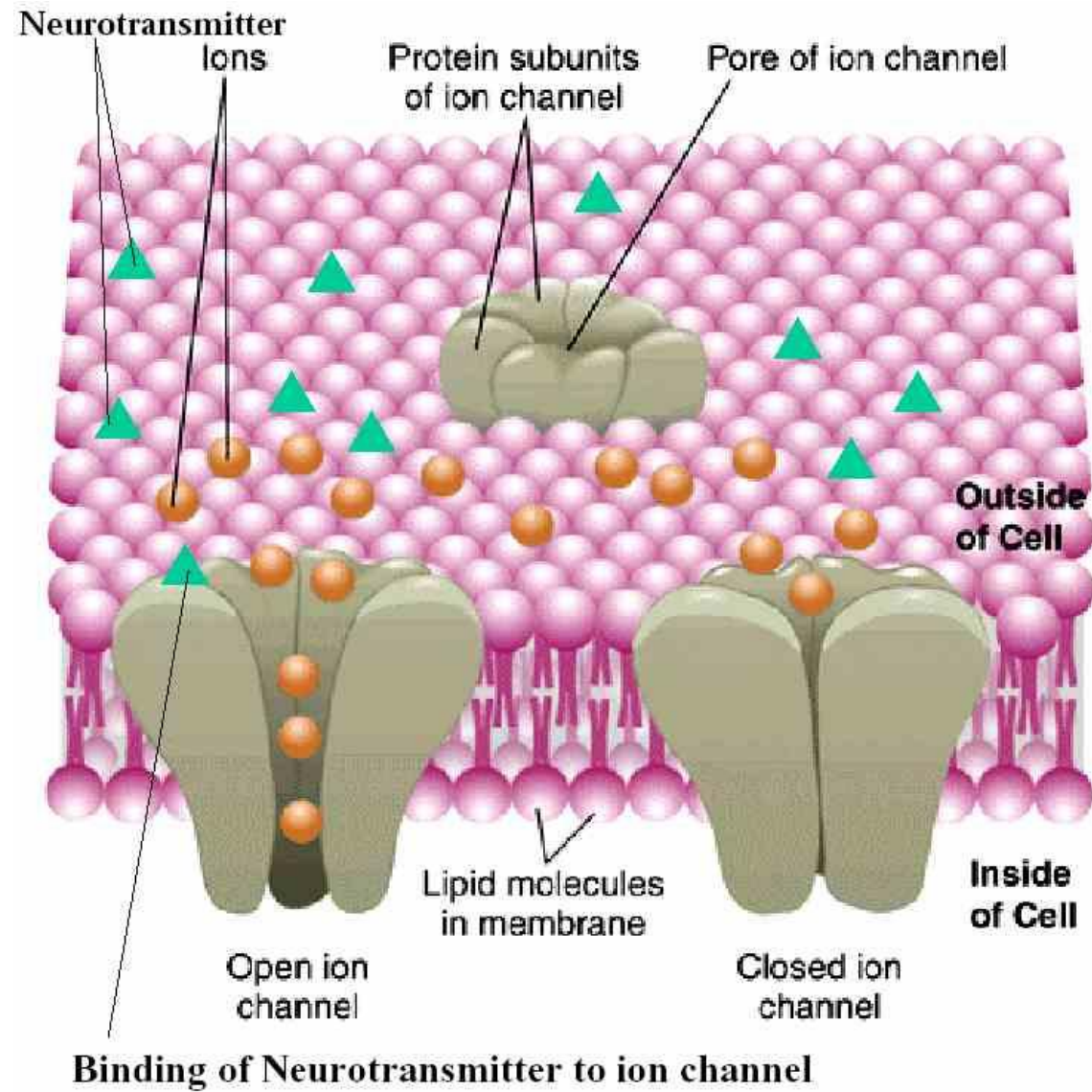


**Deactivating Enzymes**

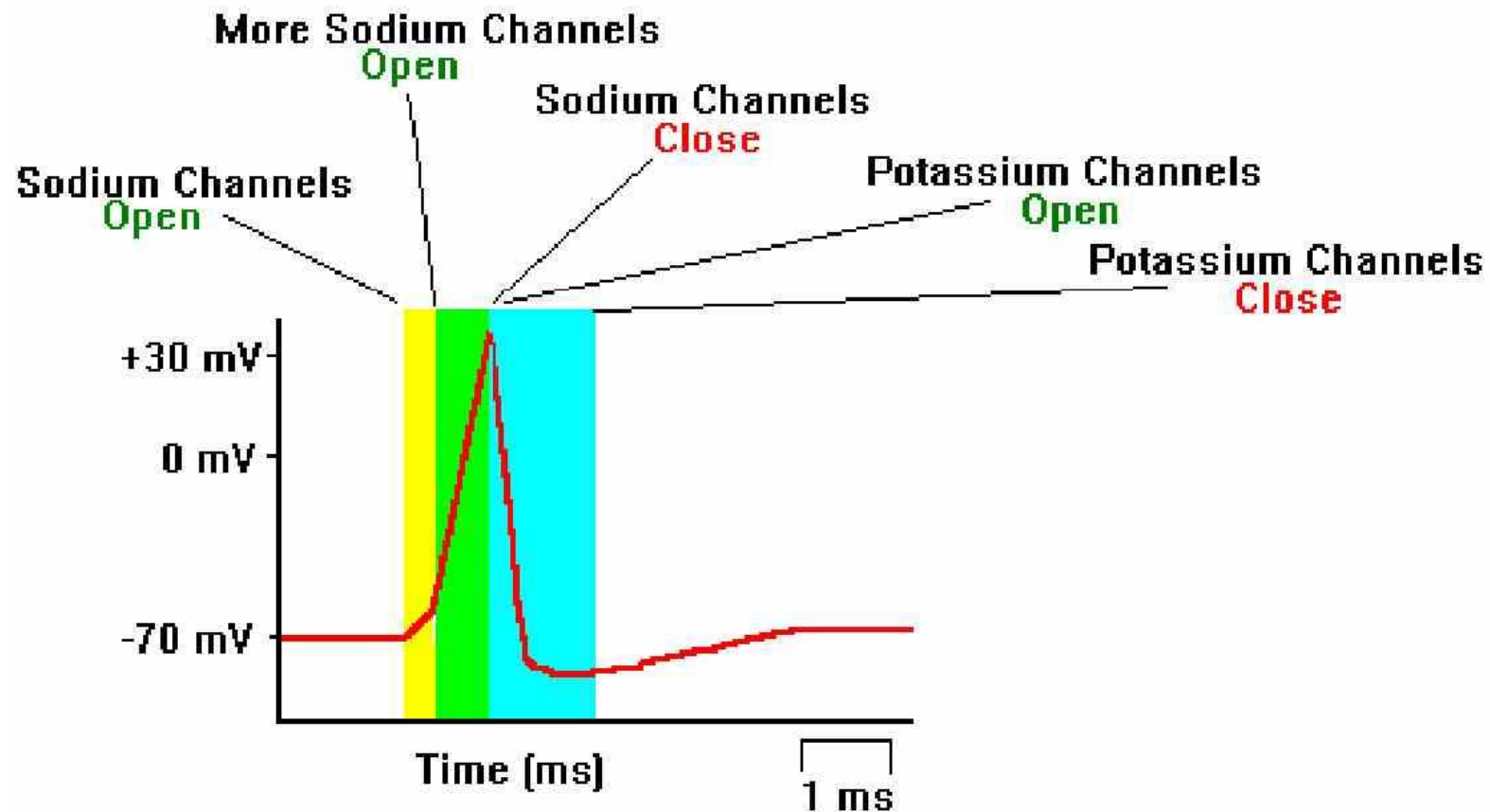


- Neurotransmissores putativos: serotonina, endorfina, dopamina, etc. Ao todo, são mais de 100 compostos orgânicos.
- O mal de Parkinson, por exemplo, é atribuído a uma deficiência de dopamina.





- A ativação de um neurônio é também denominada de *spiking*, *firing*, ou *disparo de um potencial de ação* (*triggering of an action potential*).

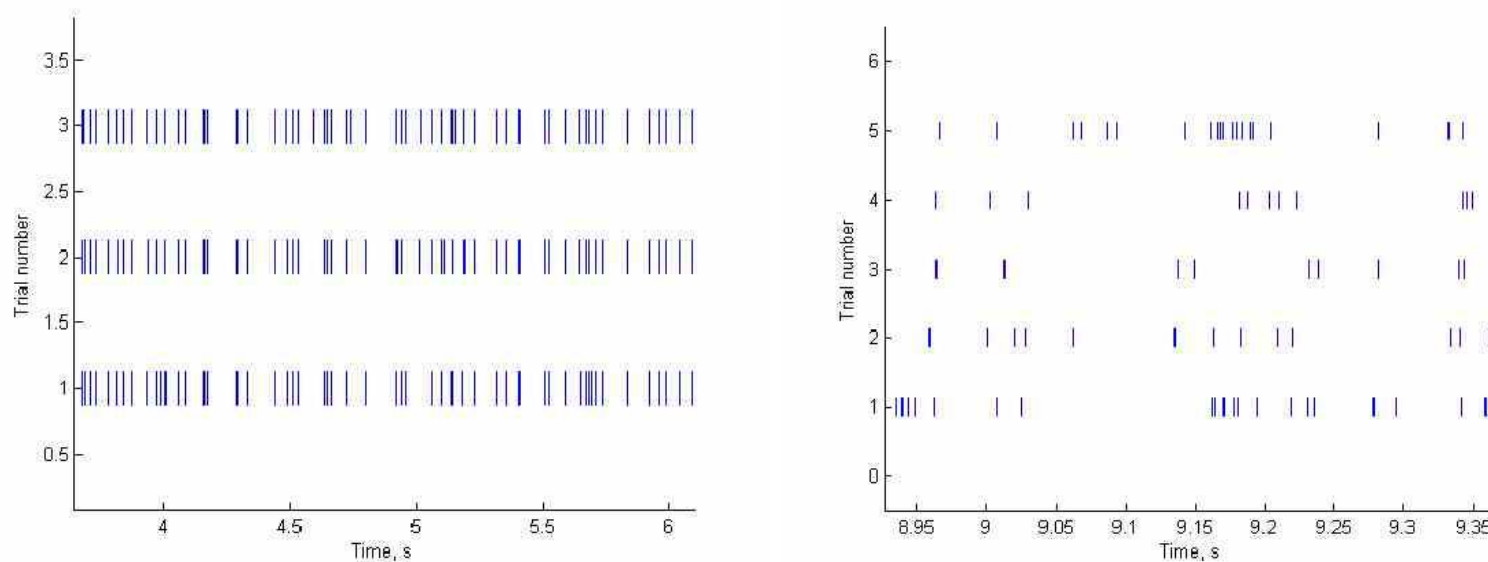


Comportamento de um pulso elétrico criado numa célula pós-sináptica

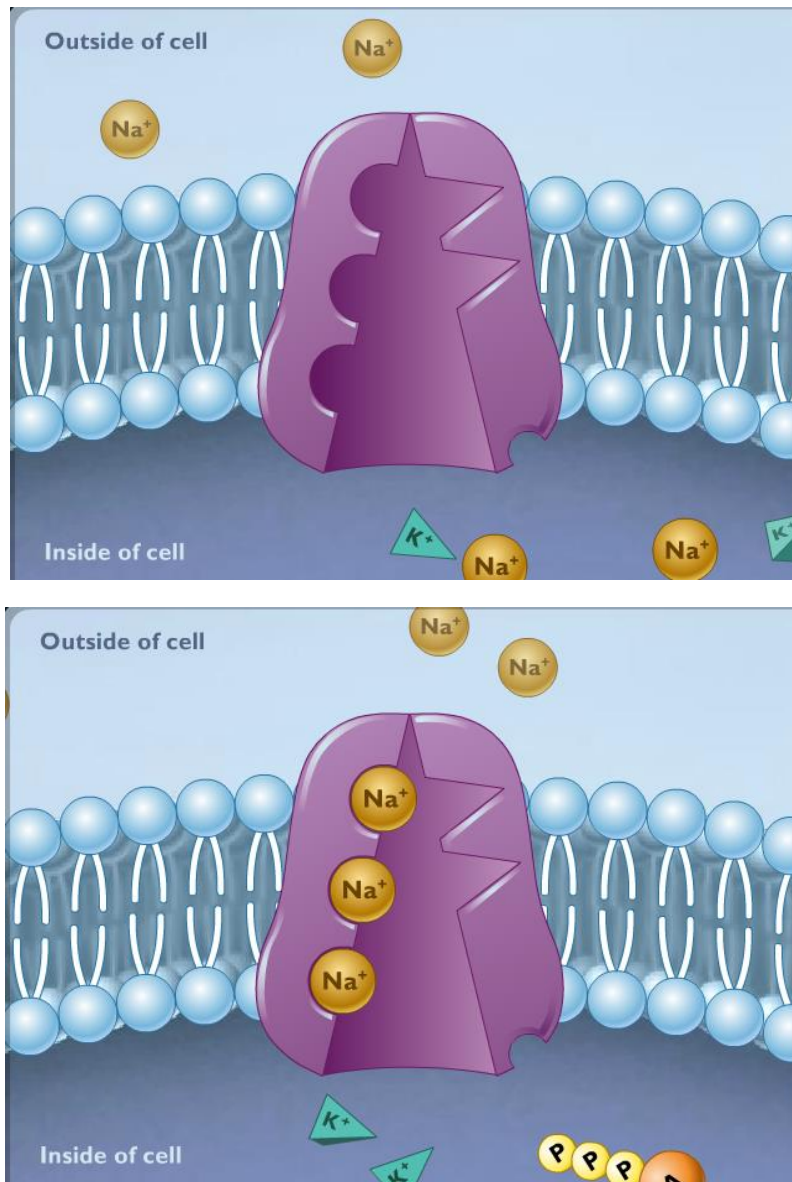


- Passos envolvidos no estabelecimento e extinção do potencial de ação:
  1. Em uma célula em repouso, a parte externa da membrana é mais positiva que a parte interna, havendo mais íons de potássio dentro da célula e mais íons de sódio fora da célula.
  2. Pela ação dos neurotransmissores na sinapse, abrindo canais iônicos, íons de sódio se movem para dentro da célula, causando uma diferença de potencial denominada potencial de ação. Com esta entrada de íons de sódio, o interior da célula passa a ser mais positivo que o exterior.
  3. Em seguida, íons de potássio fluem para fora da célula, restaurando a condição de interior mais negativo que exterior.
  4. Com as bombas de sódio-potássio, é restaurada finalmente a condição de maior concentração de íons de potássio dentro da célula e maior concentração de íons de sódio fora da célula.
- Segue-se um período refratário, durante o qual a membrana não pode ser estimulada, evitando assim a retropropagação do estímulo.

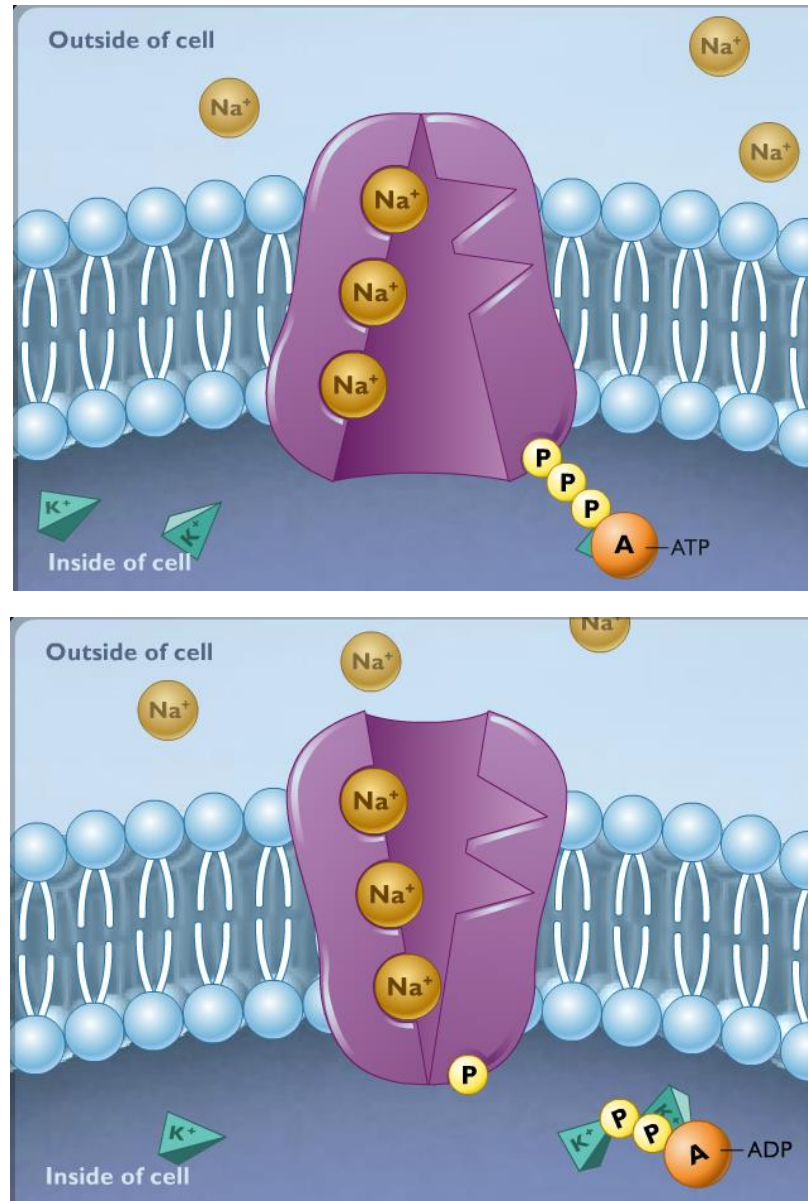
- Bombas de sódio e potássio: os íons de sódio que haviam entrado no neurônio durante a despolarização, são rebombados para fora do neurônio mediante o funcionamento das bombas de sódio e potássio, que exigem gasto de energia.
- Para cada molécula de ATP empregada no bombeamento, 3 íons de sódio são bombeados para fora e dois íons de potássio são bombeados para dentro da célula. Esta etapa ocorre após a faixa azul da figura anterior.

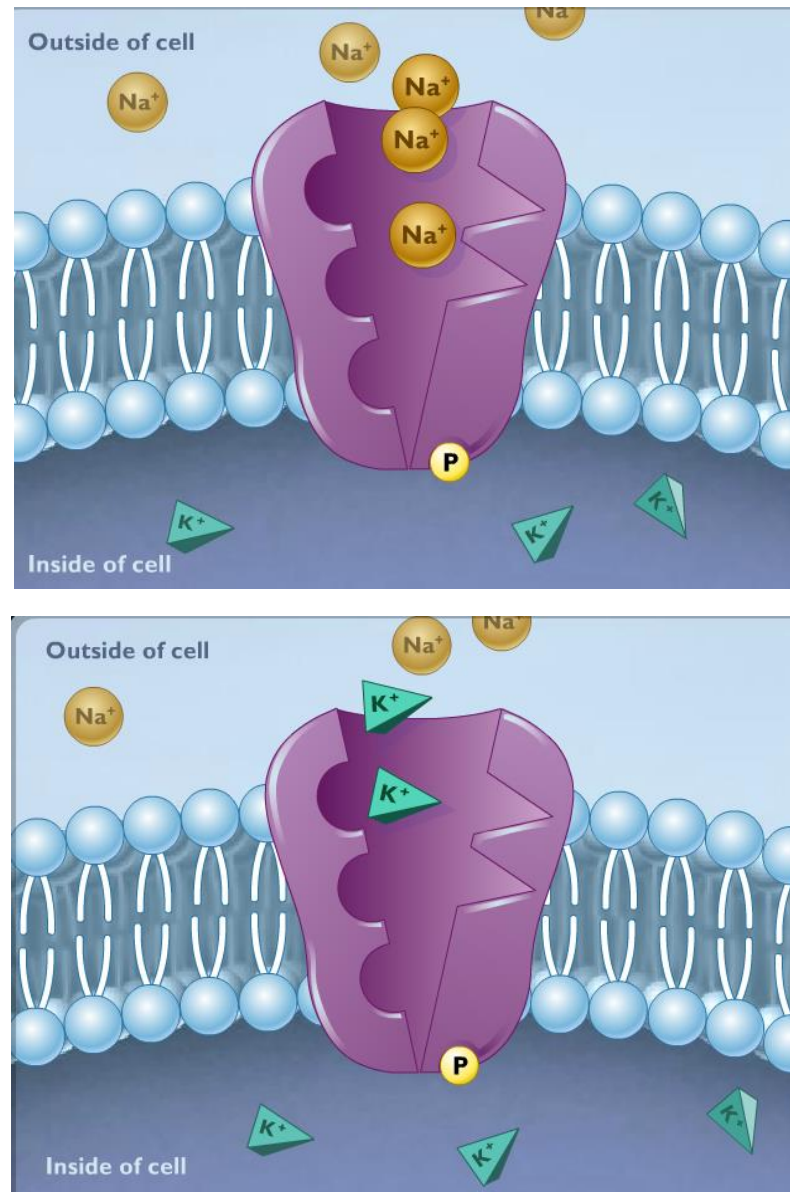


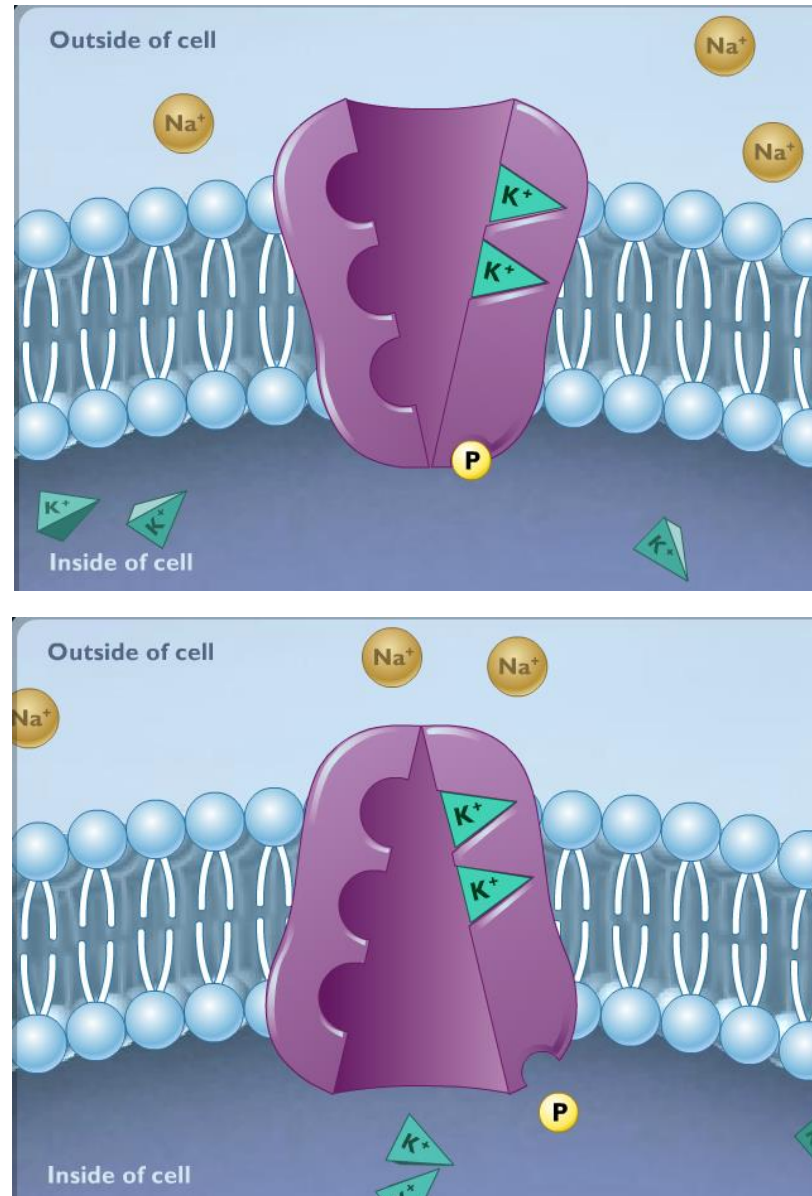
Instantes de pulsação em um neurônio periférico (esquerda) e em um neurônio do córtex (direita)



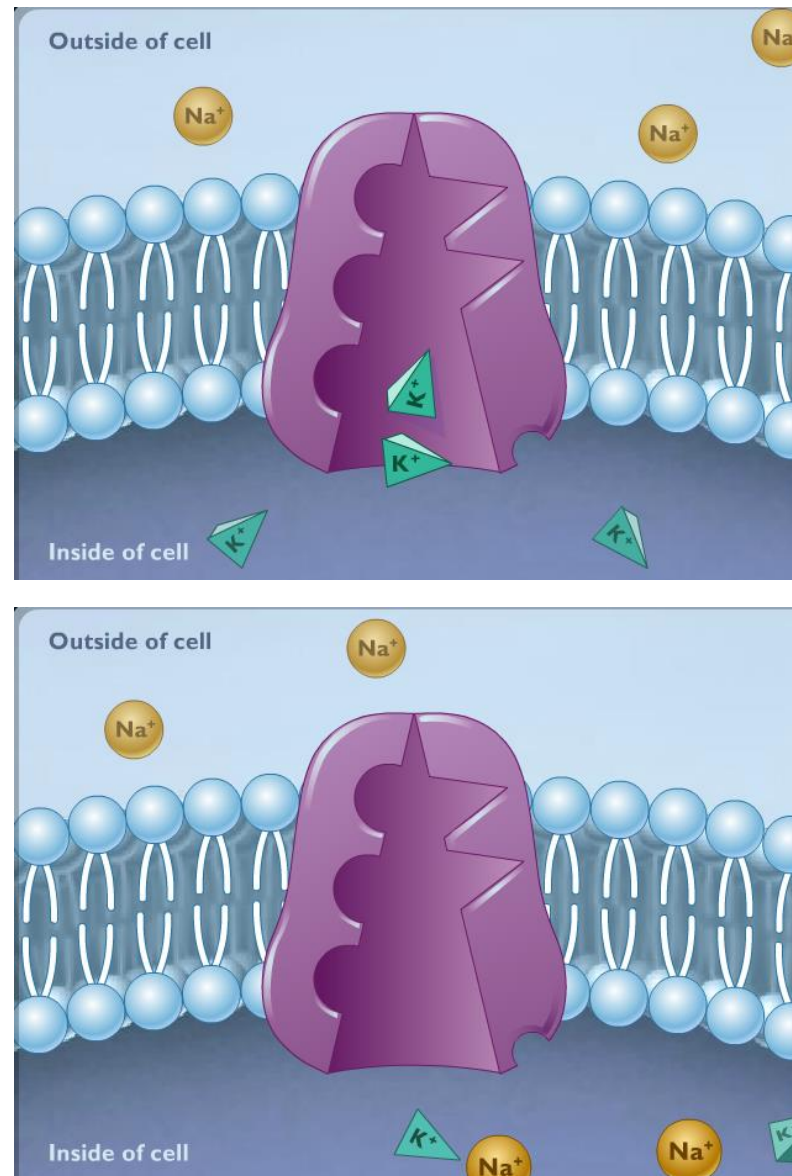
Sequência de figuras  
ilustrando o princípio de  
operação de uma bomba de  
sódio-potássio.



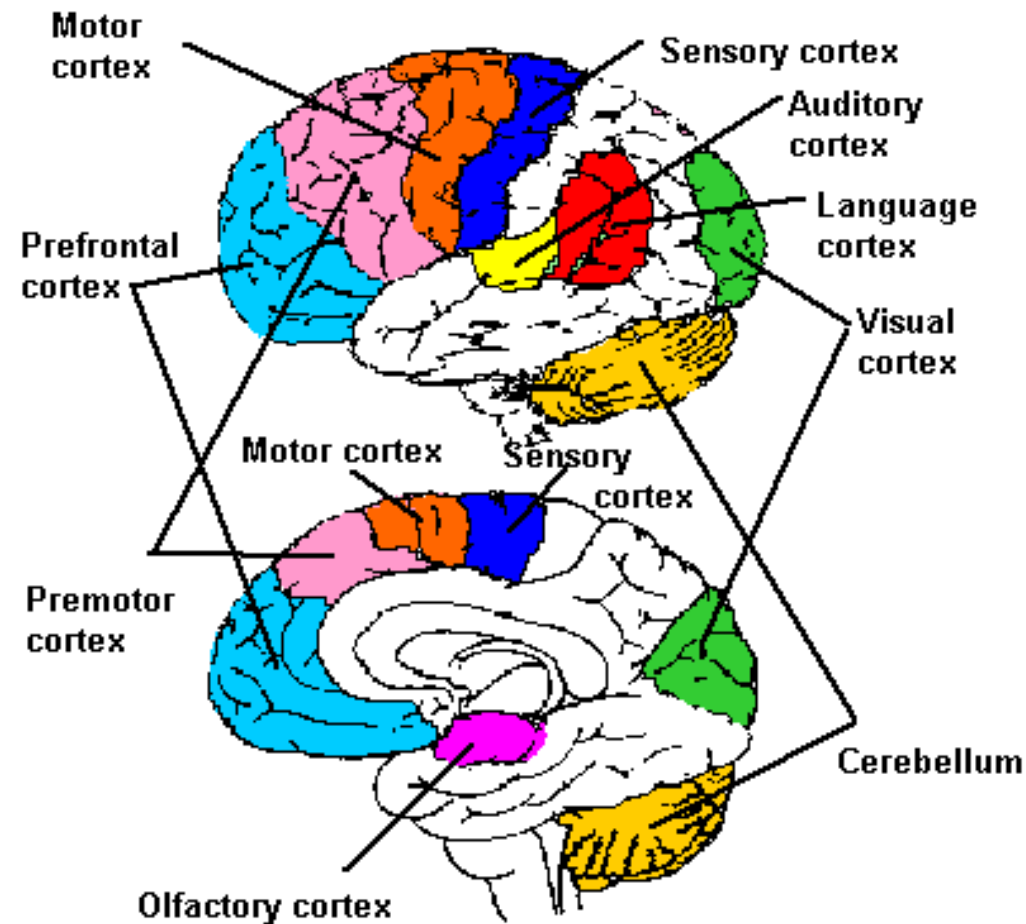




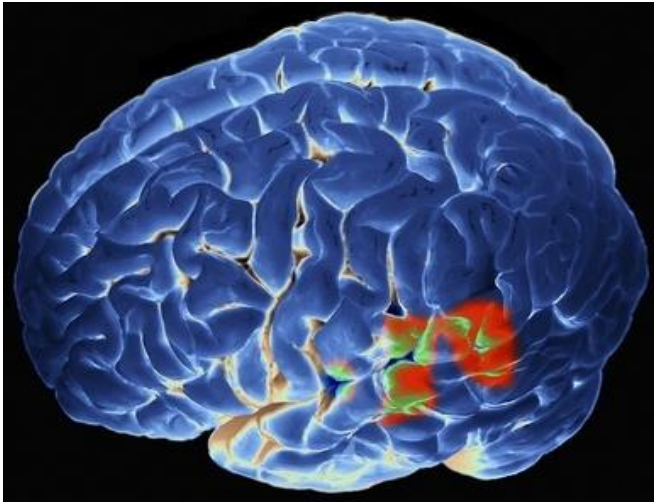




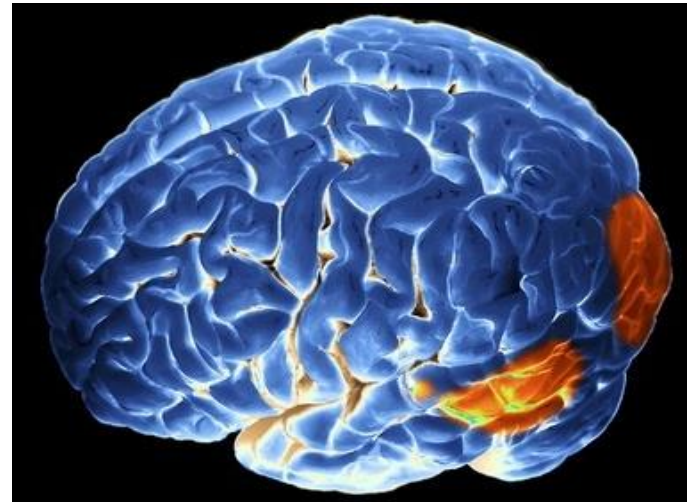
- O córtex corresponde à superfície externa do cérebro: uma estrutura predominantemente bidimensional com vários dobramentos, fissuras e elevações.
- Diferentes partes do córtex possuem diferentes funções (ver figura abaixo).







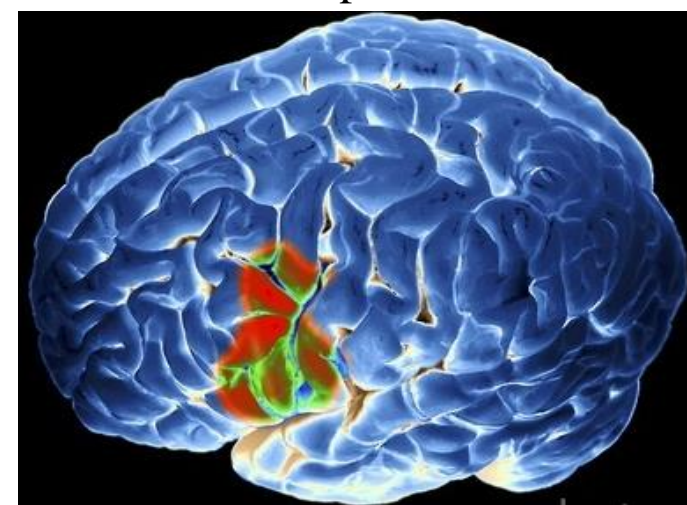
Ouvindo palavras



Lendo palavras



Falando palavras

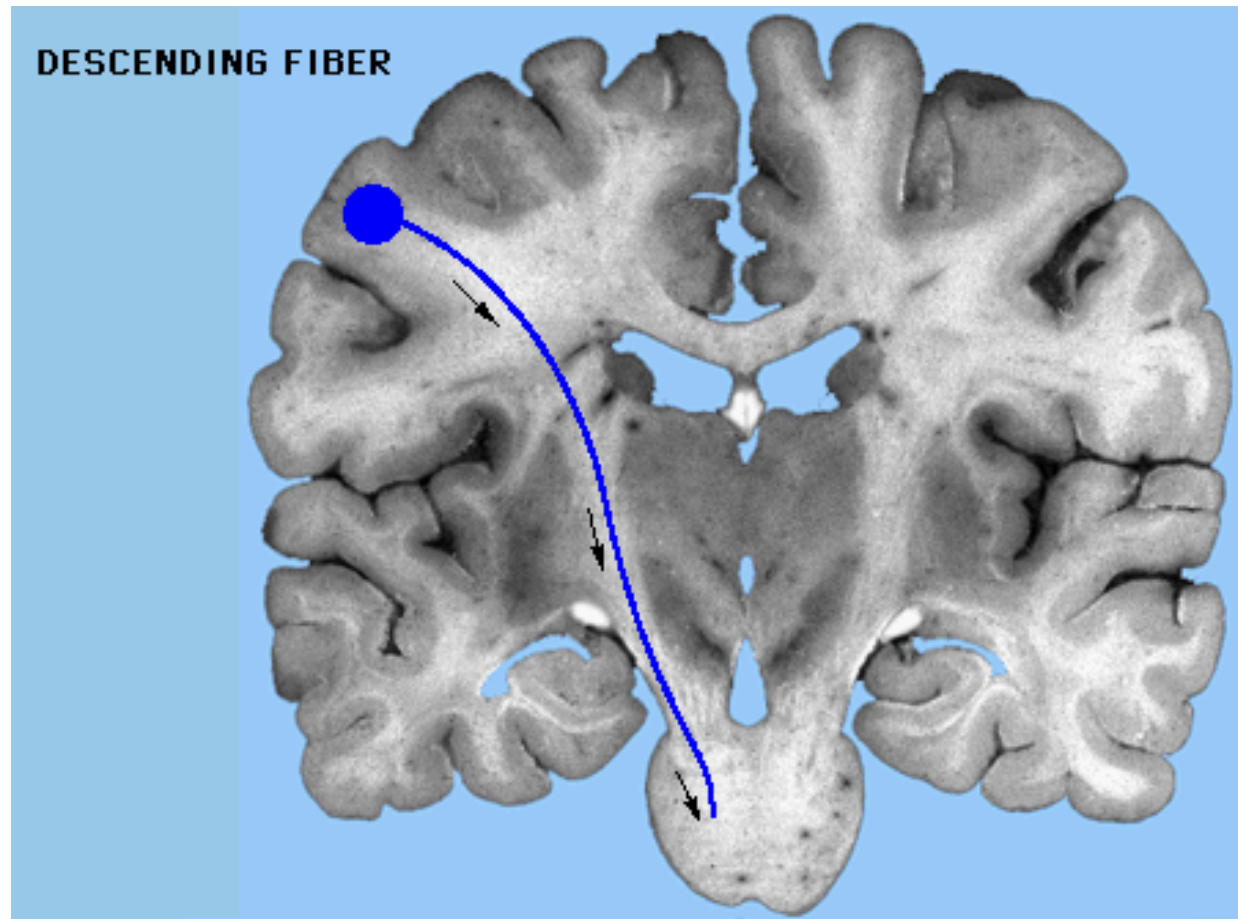


Pensando em palavras

*Functional magnetic resonance imaging or functional MRI (fMRI)*



Reconstrução computadorizada da destruição do cérebro de Phineas Gage por uma barra de ferro no ano de 1848.



Presença de vias de comunicação no cérebro

## 2.4 Base Biológica e Física da Aprendizagem e Memória

- O sistema nervoso está continuamente sofrendo modificações e atualizações. Virtualmente todas as suas funções, incluindo percepção, controle motor, regulação térmica e raciocínio, são modificadas por estímulos.
- Observações comportamentais permitiram verificar graus de plasticidade do sistema nervoso: existem mudanças rápidas e superficiais, mudanças lentas e profundas, e mudanças mais permanentes (porém, ainda modificáveis).
- Em geral, efeitos globais são resultantes de alterações locais nos neurônios.
- Existem diversas formas de modificação em uma rede neural:
  - ✓ dendritos podem ser criados, assim como podem ser eliminados;
  - ✓ alguns dendritos e o axônio podem se esticar ou ser encolhidos permitindo ou eliminando, respectivamente, a conexão com outras células;
  - ✓ novas sinapses podem ser criadas ou sofrerem alterações;
  - ✓ sinapses também podem ser removidas;

- ✓ todo neurônio pode sofrer regeneração ou pode morrer;
  - ✓ novos neurônios podem ser gerados e incorporados ao sistema nervoso.
- 
- Toda esta vasta gama de adaptações estruturais pode ser convenientemente condensada simplesmente referindo-se às sinapses, pois estas modificações envolvem a modulação sináptica de forma direta ou indireta. Sendo assim, a *aprendizagem via modulação sináptica* é o mecanismo mais importante para as redes neurais, sejam elas biológicas ou artificiais.
  - A modulação sináptica poderá depender de mecanismos de adaptação de neurônios individuais e de redes neurais como um todo.
  - Assim como a aprendizagem, a *memória* também é resultado de um processo adaptativo das sinapses. Ela é causada por variações da eficiência sináptica de alguns neurônios, como resultado da atividade neural.

- Estas alterações resultam em caminhos novos ou facilitados de desenvolvimento e transmissão de sinais através dos circuitos neurais.
- Na verdade, um dos resultados de um processo de aprendizagem é a criação de um padrão de conexões sinápticas mais permanente, que por sua vez resulta na memorização (aprendizagem) de uma determinada experiência.
- Note, portanto, que a diferença entre aprendizagem e memória é sutil: a aprendizagem pode ser vista como o processo adaptativo que resulta em uma mudança da eficiência e estrutura sináptica, enquanto a memória pode ser interpretada como o resultado deste processo adaptativo.
- O estudo dos mecanismos de consolidação da memória é bastante amplo, envolvendo o hipocampo e apresentando mecanismos distintos para memórias de curto e longo prazos. Cabe consultar a literatura para mais detalhes.

MCGAUGH, J.L. (2000) “Memory – a Century of Consolidation”, *Science*, 287(5451): 248-251. doi: 10.1126/science.287.5451.248

### 3 Alguns fatos históricos relevantes

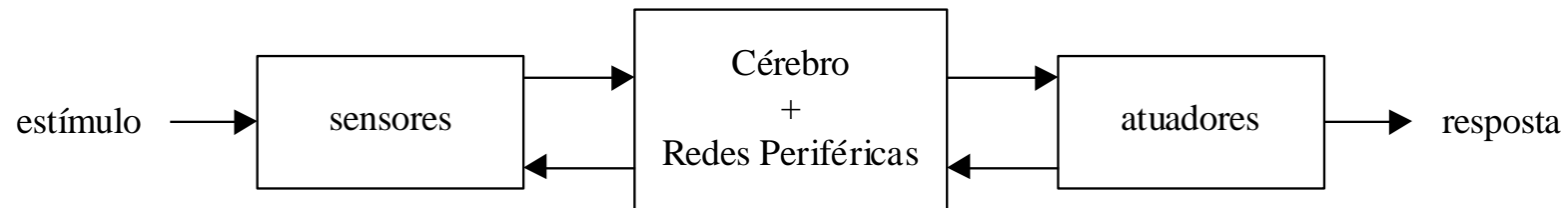
- “Idade da Ilusão”
  - MCCULLOCH & PITTS (1943)
  - WIENER (1948): cibernética.
  - MINSKY & PAPPERT (1969): a disputa entre as portas lógicas e os neurônios artificiais para determinar a unidade básica de processamento.
- “Idade das Trevas”
  - Entre 1969 e 1984, houve muito pouca pesquisa científica envolvendo redes neurais artificiais.
- “Renascimento”
  - HOPFIELD (1982)
  - RUMELHART & MCCLELLAND (1986)

- Desenvolvimento da capacidade de processamento e memória dos computadores digitais (simulação computacional / máquina virtual) (anos 80 e 90)
- GARDNER (1983; 2011): múltiplas inteligências
  1. Vivacidade verbal
  2. Vivacidade matemático-lógica
  3. Aptidão espacial
  4. Gênio cinestésico
  5. Dons musicais
  6. Aptidão interpessoal (liderança e ação cooperativa)
  7. Aptidão intrapsíquica (modelo preciso de si mesmo)
- EDELMAN (1988): neurodarwinismo
- MINSKY (1988): sociedade da mente



## 4 Algumas questões operacionais

- O cérebro é capaz de perceber regularidades no meio e gerar abstrações e associações que capturam a estrutura destas regularidades, possibilitando a predição de observações futuras e o planejamento de ações visando o atendimento de múltiplos objetivos.
- Organização básica do sistema nervoso (visão de engenharia)



- O uso das mãos: propriedades inatas
- Tratamento da linguagem: propriedades não-inatas
- Nosso cérebro se desenvolve conectando células cerebrais individuais para criar vias neurais. As experiências de vida moldam muitos padrões de conexão.

- Hemisfério esquerdo: aprendizado verbal, memória verbal, processamento serial, processamento simbólico, inferência.
- Hemisfério direito: aprendizado espacial, memória espacial, síntese da percepção, pensamento associativo.
- Grandes avanços no estudo do cérebro:
  - ✓ Neuroimagem funcional (ressonância magnética)
  - ✓ Neuroprótese
  - ✓ Células-tronco (se diferenciando em neurônios)
- Principais distúrbios do sistema nervoso:
  - ✓ Perda de memória
  - ✓ Esclerose múltipla
  - ✓ AVC (Acidente Vascular Cerebral) (hemorrágico ou isquêmico)
  - ✓ Epilepsia
  - ✓ Parkinson / Alzheimer (enfermidades neurodegenerativas)

- Nos anos 60, psicólogos e antropólogos realizaram estudos com populações do mundo ocidental e outras isoladas, como nativos de Papua-Nova Guiné, e concluíram que existem seis expressões corporais básicas comuns a todos os povos, de qualquer raça, origem ou etnia: felicidade, tristeza, surpresa, nojo, raiva e medo.

## 5 Cérebro Eletrônico

- Primeiro computador eletrônico de propósito geral: ENIAC (1946).
- No princípio, os computadores eram chamados de cérebros eletrônicos, pois acreditava-se que eles representavam um caminho direto para a reprodução da inteligência em uma máquina.
- Neurônios são de 6 a 7 ordens de magnitude mais lentos do que portas lógicas de silício ( $10^{-3}$  seg.  $\times$   $10^{-10}$  seg.)
- Eficiência energética: Cérebro  $\rightarrow 10^{-16}$  Joules/operação/seg  
Computador  $\rightarrow 10^{-6}$  Joules/operação/seg

- Surgimento de uma nova e promissora metodologia: simulação computacional (máquina virtual).
- Simulação do pensamento, resolução de problemas e mesmo síntese de linguagem natural → Inteligência Artificial (IA)
- Embora o computador tenha se transformado em um dos maiores sucessos tecnológicos da história da humanidade, ele não atendeu (ainda) as expectativas de reproduzir comportamento inteligente de forma disseminada.
- Ainda temos exemplos de tarefas que são fáceis para o homem e difíceis para a máquina (e vice-versa). A IA está rapidamente reduzindo essas diferenças.
- Já está disponível um conhecimento avançado da arquitetura fisiológica do cérebro, mas ainda é um mistério o mecanismo fundamental empregado pelo cérebro para realizar computação de alto nível (PFEIFER & SCHEIER, 1999).
- Frentes fundamentadas em teoria da rede e teoria de sistemas dinâmicos: ação conjunta de um grande número de nós, por acoplamento espaço-temporal.

- Da mesma forma que é inviável determinar, a partir do acompanhamento sequencial do estado lógico de seus componentes e das micro-operações realizadas, a tarefa (computação de alto nível) que está sendo executada por um computador convencional, também é inviável deduzir os mecanismos de processamento de alto nível do cérebro a partir do acompanhamento da atividade cerebral, em termos de sinais produzidos pela ativação dos neurônios (SCHALKOFF, 1997).

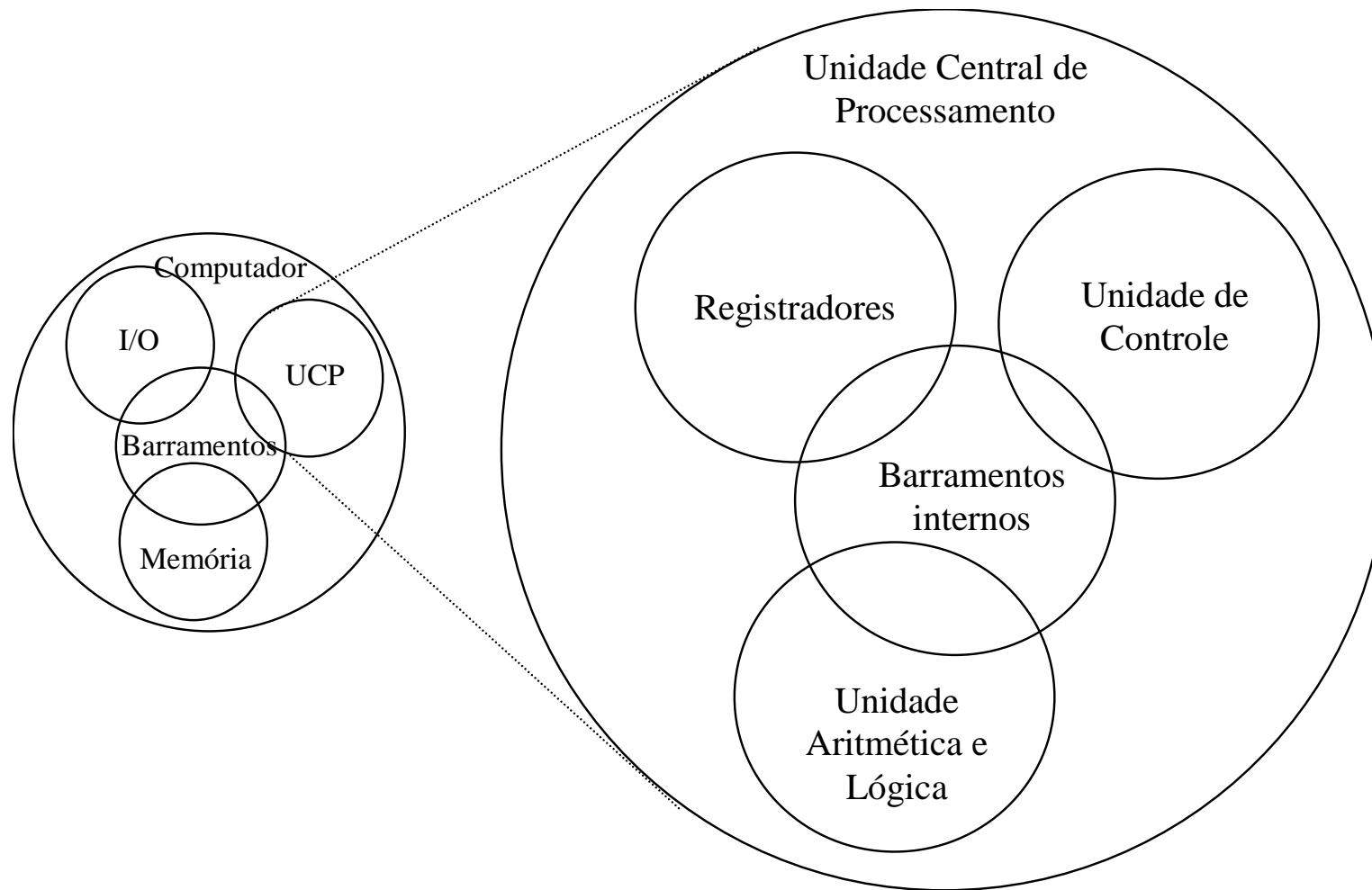
## 6 Neurocomputação

- É comum a associação do conceito de computação com aquele predominante no caso de uma arquitetura do tipo von Neumann: algoritmos são elaborados, implementados na forma de programas de computador e executados.
- No entanto, a computação realizada pelo cérebro requer um outro tipo de definição, que contemple processamento paralelo e distribuído, além de aprendizado. Uma arquitetura neurocomputacional é baseada na interconexão de

unidades de processamento simples e similares, denominadas neurônios artificiais e dotadas de grande poder de adaptação.

- Há uma diferença de paradigmas entre computadores com arquitetura do tipo von Neumann e redes neurais artificiais (RNAs): os primeiros realizam processamento e armazenagem de dados em dispositivos fisicamente distintos, enquanto RNAs usam o mesmo dispositivo físico para tal.
- A motivação que está por trás deste paradigma alternativo de processamento computacional é a possibilidade de elaborar mecanismos distintos de solução para problemas intratáveis ou ainda não-resolvidos com base na computação convencional, além de criar condições para reproduzir habilidades cognitivas e de processamento de informação muito desejadas em aplicações de engenharia, mas apresentadas apenas por algumas espécies animais. É importante saber distinguir entre problemas passíveis ou não de tratamento por intermédio deste paradigma conexionista, assim como saber explorar a natureza multidisciplinar desta área.

- Duas características geralmente presentes em problemas para os quais uma rede neural artificial representa uma das poucas alternativas de solução são: multidimensionalidade e existência de variáveis sujeitas a interações não-lineares, desconhecidas ou matematicamente intratáveis de forma direta, mas para as quais é possível coletar dados e aprender.
- O avanço tecnológico tem promovido uma capacidade impressionante de gerar e armazenar dados, o que torna relevante a busca por ferramentas computacionais capazes de manipular dados de forma intensiva, para os mais diversos propósitos. Um exemplo clássico é o sistema de tradução do Google, que realiza comparações de textos para encontrar correspondências entre palavras ou expressões de duas línguas. Há vários outros exemplos práticos (HEY et al., 2009), no que se convencionou chamar de *data-intensive science*, *networked science* ou simplesmente *big data*.
- O curso IA353 – Redes Neurais não é (ainda) *data-intensive*, mas é *data-driven*.



Arquitetura padrão von Neumann



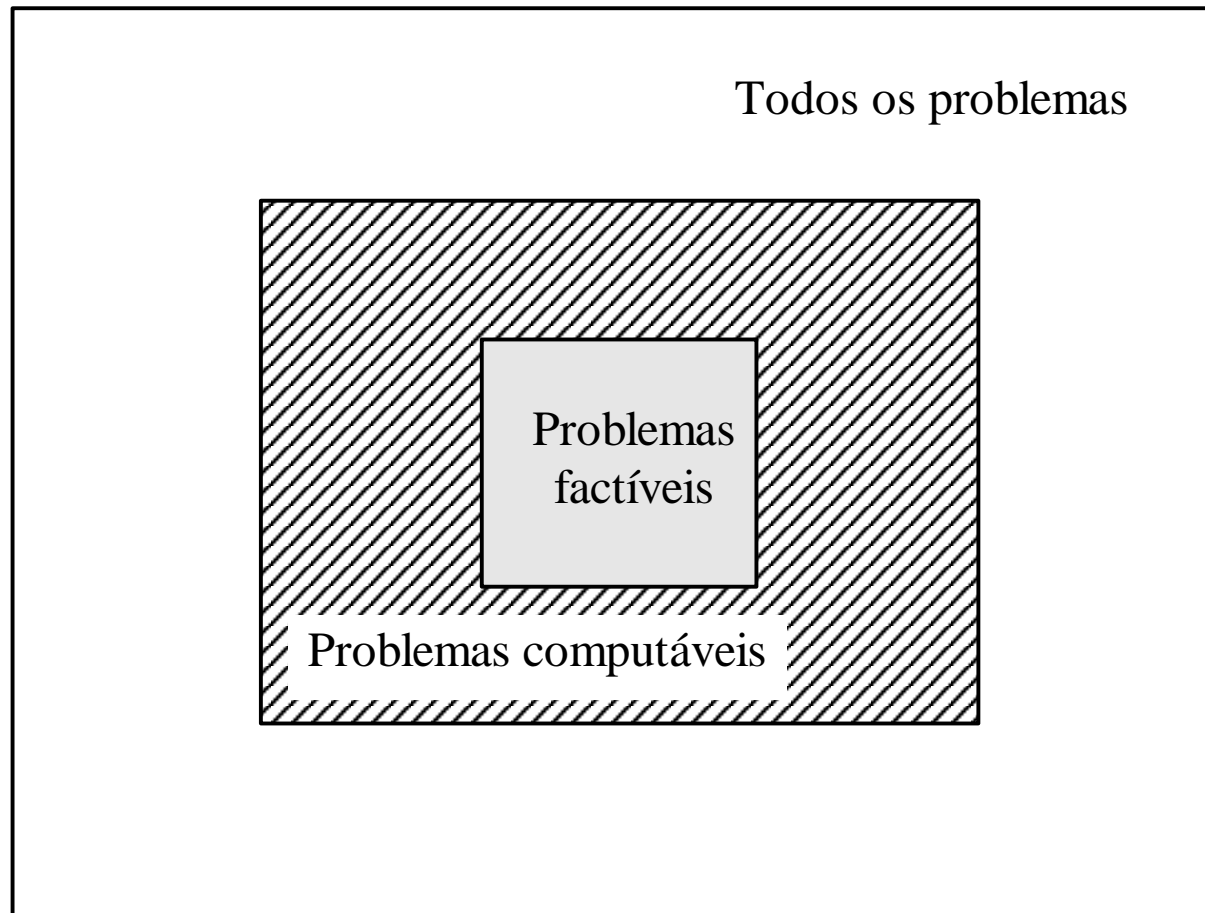
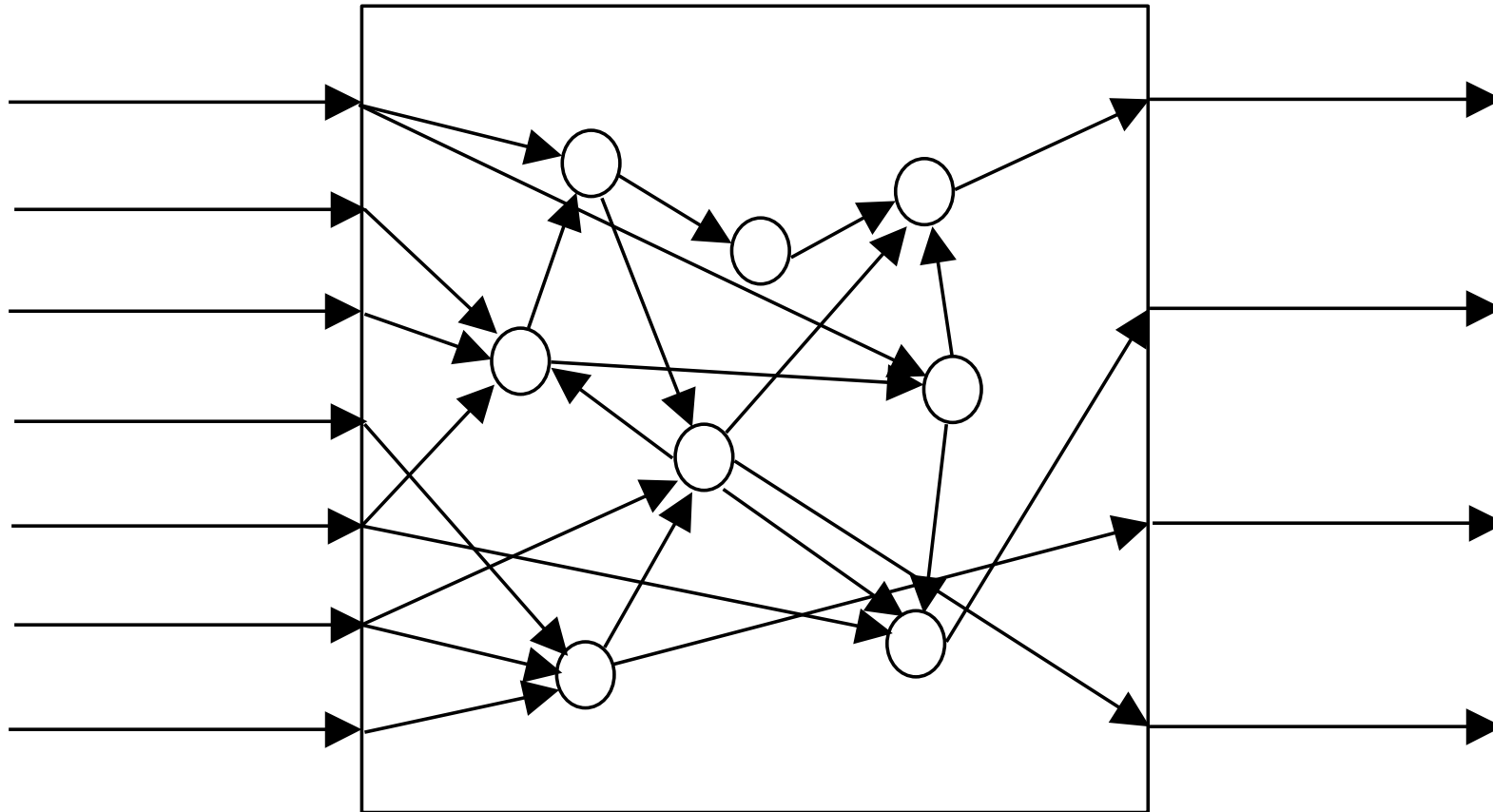


Diagrama evidenciando que boa parte dos problemas computáveis não são factíveis quando abordados sob a perspectiva da computação digital



Exemplo genérico de um neurocomputador (paradigma conexionista)

## 7 Referências bibliográficas

- ARBIB, M.A. (ed.) “The Handbook of Brain Theory and Neural Networks”, The MIT Press, 2nd edition, 2002.
- DAYAN, P., ABBOT, L.F. “Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems”, The MIT Press, 2001.
- EDELMAN, G.M. “Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection”, Basic Books, 1988.
- GARDNER, H. “Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences”, BasicBooks, 1983.
- HEY, T., TANSLEY, S. & TOLLE, K. (Eds.) The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery, Microsoft Research, 2009.
- HOPFIELD, J.J. “Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, vol. 79, pp. 2554-2558, 1982.
- MARCUS, G. “Kluge: A construção desordenada da mente humana”, Editora da Unicamp, 2010.
- MCCULLOCH, W.S. & PITTS, W. “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity”, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, pp. 115-133, 1943.
- MINSKY, M.L. “The Society of Mind”, Simon & Schuster, 1988.

MINSKY, M.L. & PAPERT, S.A. “Perceptrons: Introduction to Computational Geometry”, Expanded edition, The MIT Press, 1988 (1st edition: 1969).

PFEIFER, R. & SCHEIER, C. “Understanding Intelligence”, The MIT Press, 1999.

RAMÓN Y CAJAL, S. “Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébré”, A. Maloine, Paris, 1909.

RUMELHART, D.E. & MCCLELLAND, J.L. “Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition”, vols. 1 & 2, The MIT Press, 1986.

SCHALKOFF, R.J. “Artificial Neural Networks”, The McGraw-Hill Companies, 1997.

WIENER, N. “Cybernetics”, The MIT Press, 1948.

WILSON, R.A., KEIL, F.C. (eds.) “The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences”, The MIT Press, 2001.

Obs: Há outras referências apresentadas ao longo do texto, em slides específicos.