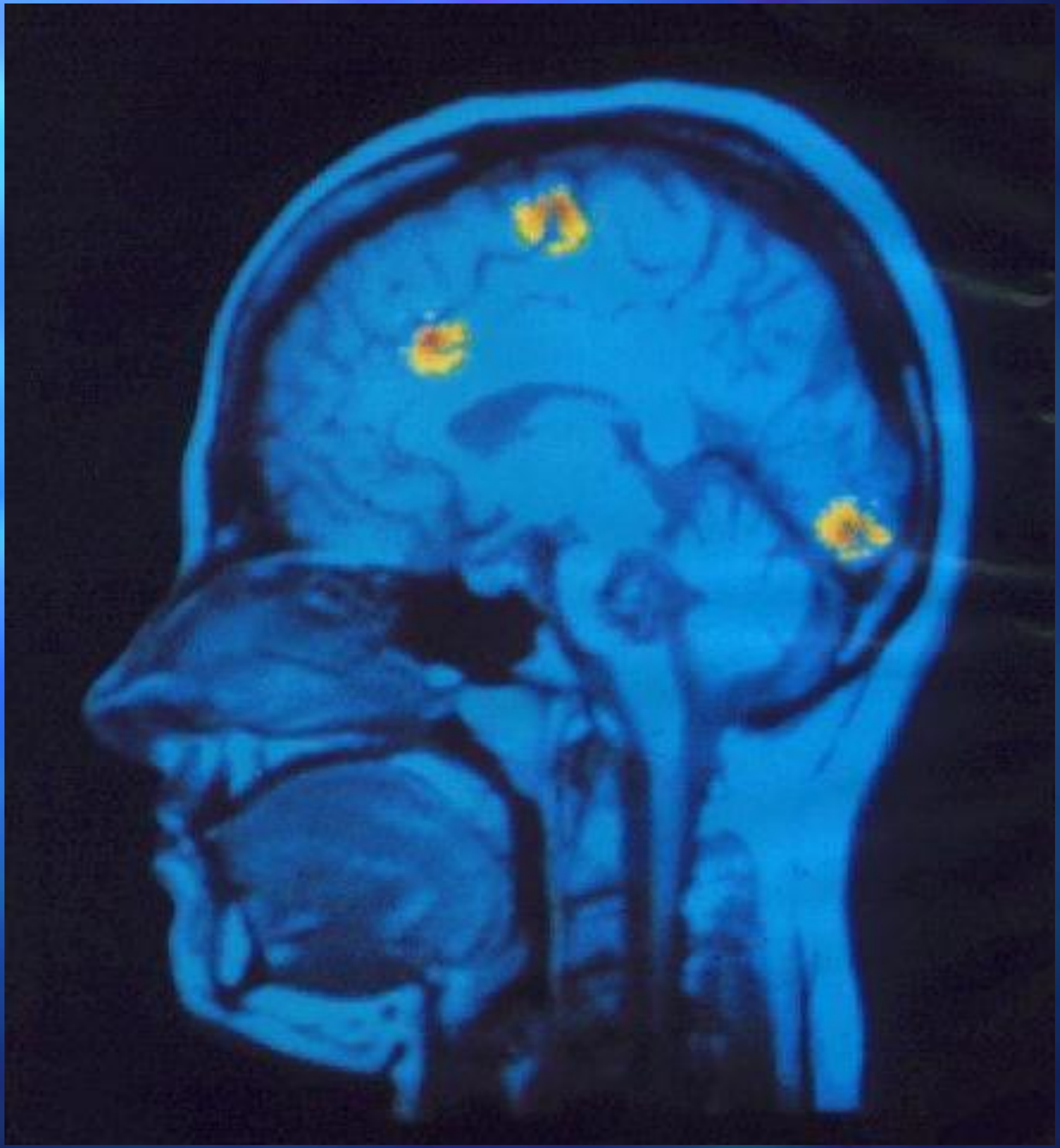
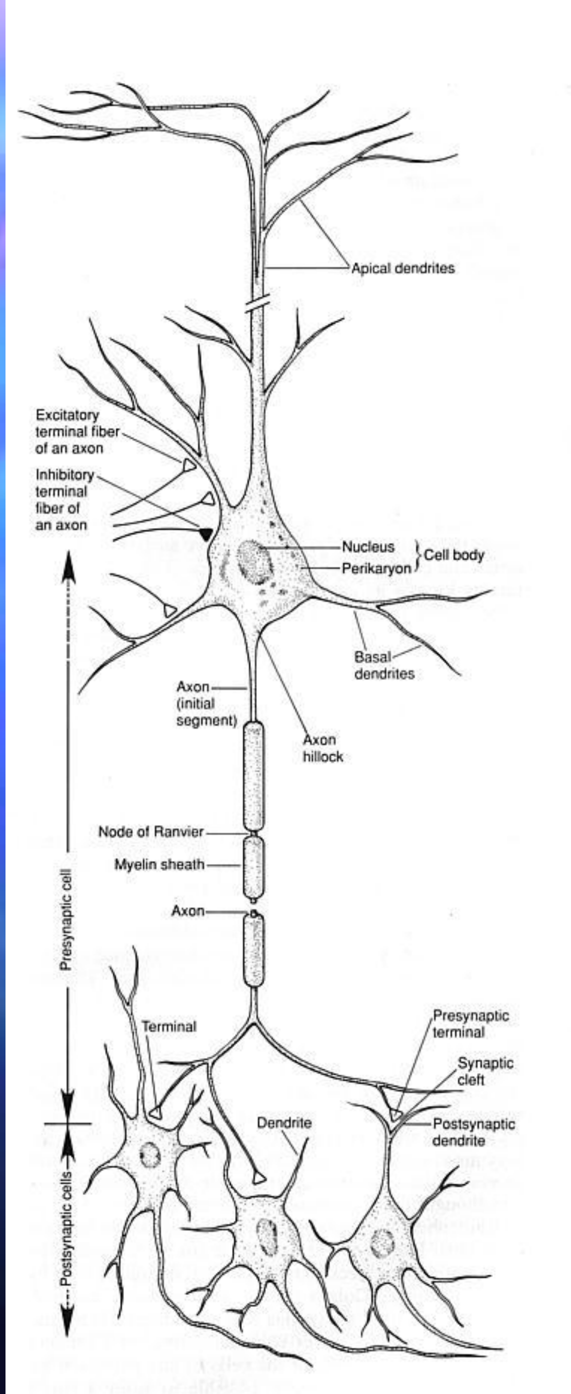
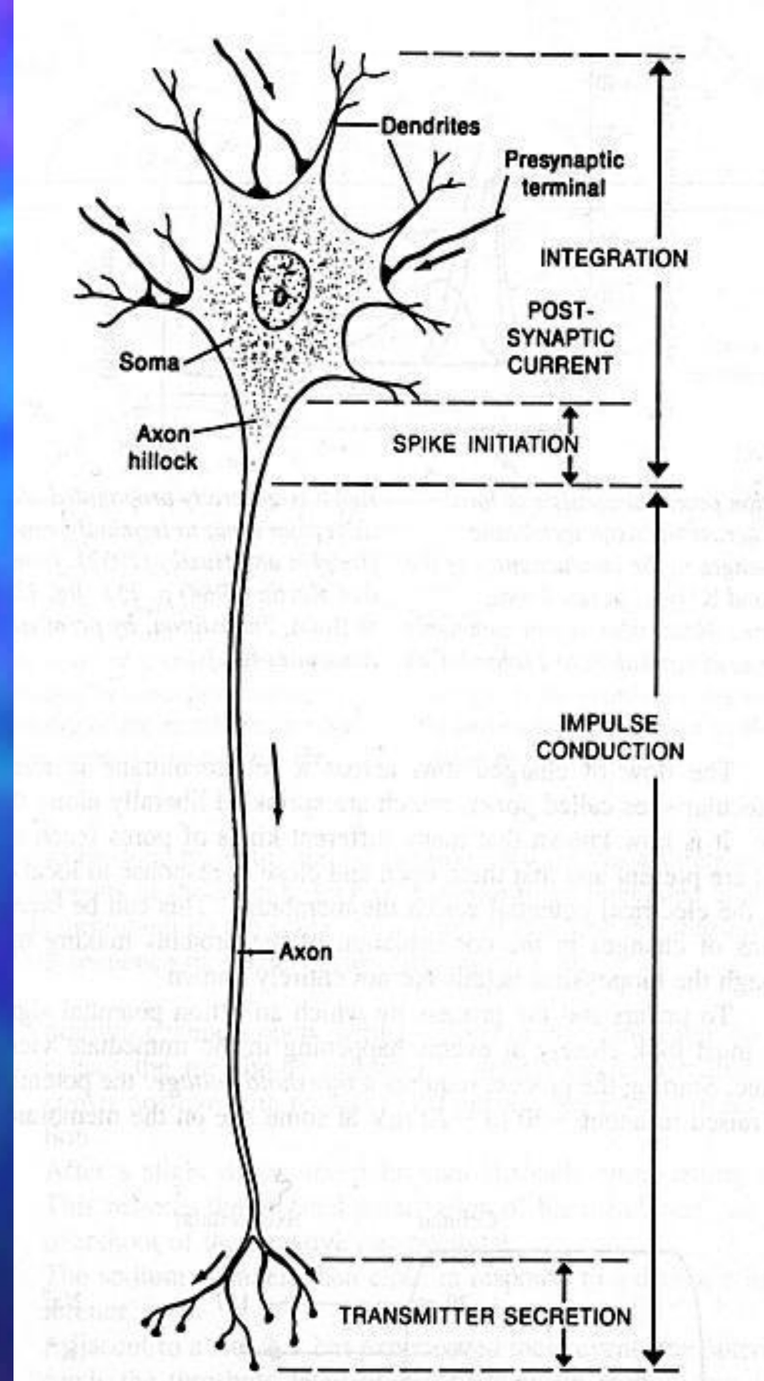


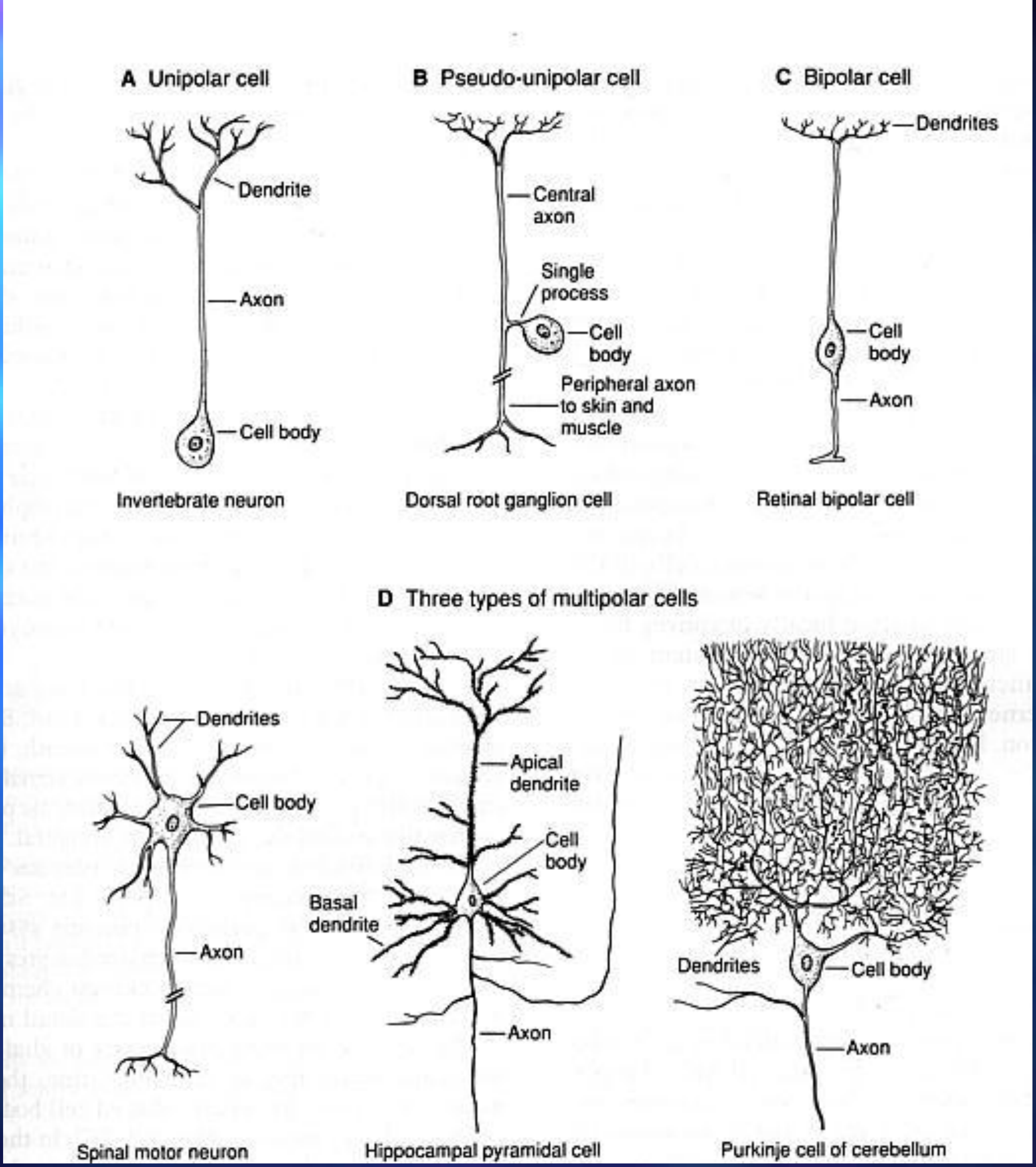
Paulo Marcelo Dias de Magalhães
UFOP

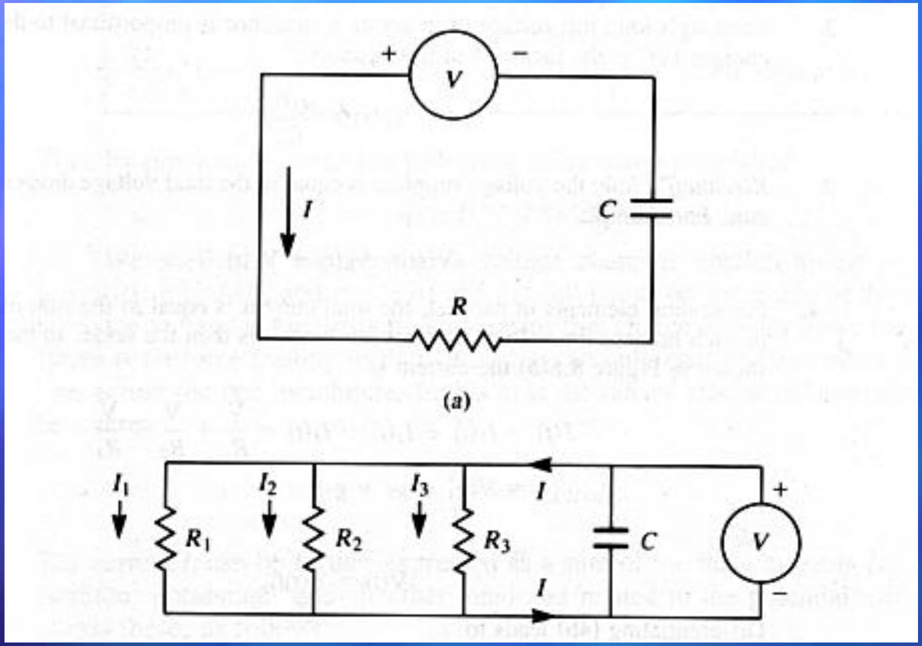
Áreas Relacionadas

Matemática: Sistemas Dinâmicos	Redes Neurais:	Neurologia:	Psicologia:	Filosofia:
S. Russell (1844) Onda Solitária	McCulloch-Pitts (1943) Neurônio formal	DuBois-Reymond (1849) Potencial de ação	Fechner (1860) Element der Psychophysik	Descartes (1637) Discurso do Método
Korteweg-de Vries (1895) Equação KdV	Wiener (1948) Cybernetics	Helmholtz (1850) Velocidade finita	Freud (1895) Der Entwurf	Leibniz (1704) Novos Ensaios
Van der Pol (1934) Oscilações não lineares	Cragg-Temperley (1955) Memória: Histerese Ferromagnética	Hermann (1879) "Heat Equation"	Lewin (1920) Psicologia Topológica	Kant (1781) Crítica da Razão Pura
Kolmogorov-Petroviski-Piskounov (1937) Traveling wave/difusão genética	Beurle (1956) Massa de Neurônios	Bernstein (1890) Hipótese da membrana	Lacan (1960/70) Psicanálise x Topologia	Husserl (1900) Fenomenologia Conhec.
Rashevsky (1938) Modelo ativação propagação	Rosenblat (1958) Perceptrons	Ramón y Cajal (1908) Ind. funcional neurônio	Galatezer-Levy (1978) Catástrofe x Psicanálise	Bergson (1919) L'Érnegie Spirituelle
Bonhoeffer (1948) Modelo iron wire	Widrow-Hoff (1960) Adalines	Lucas/Adrian (1909/1914) ”Tudo ou nada"	Moran (1991) Caos x Psicanálise	Merleau_Ponty (1945) Fenom. da Percepção
FitzHugh (1955) Limiar da membrana	Caianiello (1961) Mecânica estatística p/ massa neuronal	Fricke (1923) Existência da membrana capacitância elétrica		Chalmers (1996) Teoria da Consciência
Nagumo-Arimoto-Yoshizawa (1962) KPP + FitzHugh	Marr (1969) ACAMs	Young (1936) Lula gigante		
FitzHugh-Nagumo (1968) Model.Mat. Pot. Ação da Membrana	Pellionisz-Linás (1980) Cerebellum Tensor métrico	Cole (1938/39/49) voltagem da membrana var. dep. principal		
	Hopfield (1982/84) conecções simétricas	Hodgkin-Huxley (1952) Modelo matemático		


Apical dendrites
Excitatory terminal fiber of an axon
Inhibitory terminal fiber of an axon
Nucleus
Perikaryon
Cell body
Basal dendrites
Axon (initial segment)
Axon hillock
Node of Ranvier
Myelin sheath
Axon
Presynaptic cell
Terminal
Presynaptic terminal
Synaptic cleft
Dendrite
Postsynaptic dendrite
Postsynaptic cells


Dendrites
Presynaptic terminal
INTEGRATION
POST-SYNAPTIC CURRENT
Soma
Axon hillock
SPIKE INITIATION
IMPULSE CONDUCTION
Axon
TRANSMITTER SECRETION


A Unipolar cell
Dendrite
Axon
Cell body
Invertebrate neuron
B Pseudo-unipolar cell
Central axon
Single process
Cell body
Peripheral axon to skin and muscle
Dorsal root ganglion cell
C Bipolar cell
Dendrites
Cell body
Axon
Retinal bipolar cell
D Three types of multipolar cells
Dendrites
Cell body
Axon
Spinal motor neuron
Apical dendrite
Cell body
Basal dendrite
Axon
Hippocampal pyramidal cell
Dendrites
Cell body
Axon
Purkinje cell of cerebellum



Lei de Ohm:

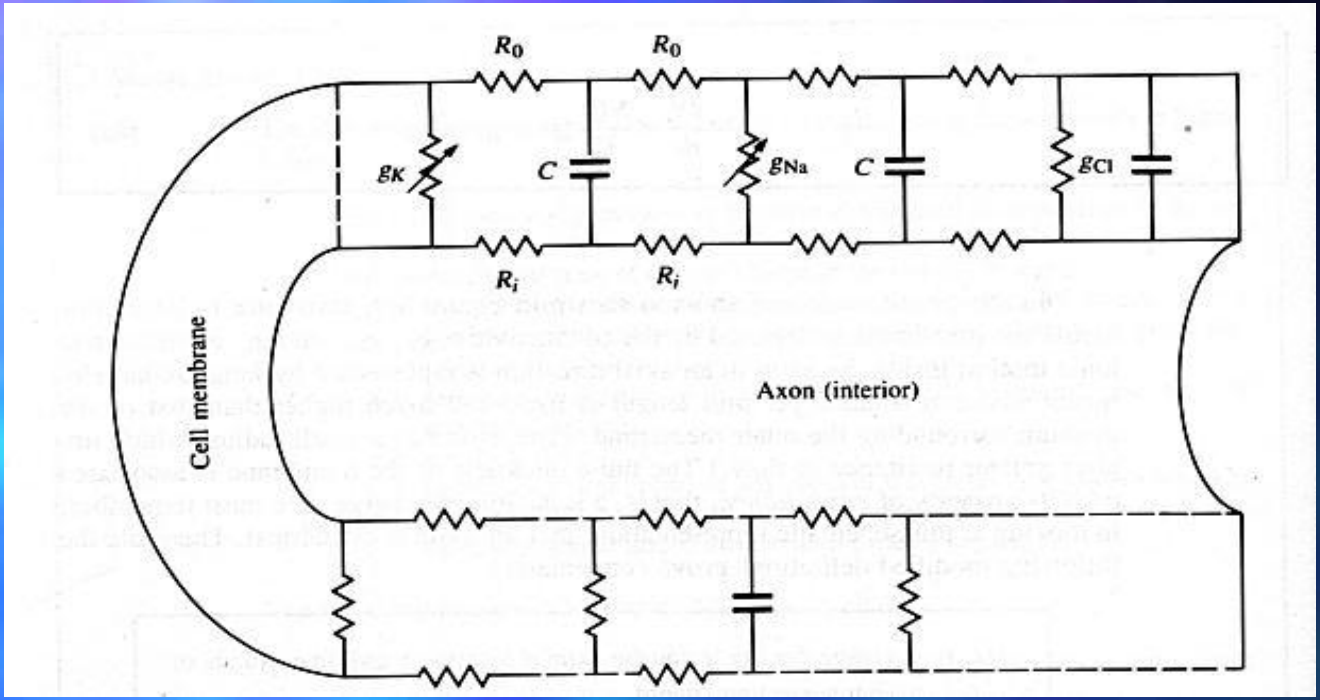
$$V_R(t) = R\, I(t)$$

Lei de Faraday:

$$V_C(t) = \frac{q(t)}{C}$$

Lei de Kirchhoff:

$$V(t) = V_C(t) + V_R(t)$$



Axônio Cilíndrico (Ax):

q(x,t)=densidade da carga em (x,t)$\in$Ax

C=capacitância da membrana (1μfd)

I_i(x,t)=corrente de íons positivos entrando em Ax

v(x,t)=desvio da voltagem em relação ao repouso em (x,t)

a = raio do Ax

Experimento *voltage-clamp* (Ax grampeado e exisado):

$$q = q(t)\ ,\ I_i = I_i(t)\ ,\ v = v(t)$$

Conseqüência

(i) a voltagem é a mesma em todos os pontos do interior de Ax.

(ii) não há corrente longitudinal.

(iii)a única corrente é através dos canais de íons da membrana.

Neste caso

$$\frac{dq}{dt} = -2\pi\, aI_i = -2\pi\, a(I_{Na} + I_K + I_L)$$

onde I_{Na}, I_K, I_L estão relacionados a *ddp* causada pelos respectivos íons positivos do seguinte modo:

$$I_{Na} = g_{Na}(v - v_{Na})$$

$$I_K = g_K(v - v_K)$$

$$I_L = g_L(v - v_L)$$

onde v_{Na}, v_K e v_L são as voltagens da membrana em repouso relativas aos íons Na^+, K^+ e L. Tem-se que

$$v_{Na} = -15\text{mV}, \quad v_K = 12\text{mV}, \quad v_L = -10{,}5989 \text{ mV}.$$

Caixa Preta: Hodgkin, Huxley e Katz especularam sobre um possível mecanismo governando as condutividades iônicas g_{Na}, g_K, assumindo que g_L=cte.Depois de um grande número de tentativas, meticulosamente verificadas através de calculadoras mecânicas, eles concluíram pela necessidade de introduzir novas variáveis sensíveis a voltagem:

$$h(v), \; m(v), \; n(v)$$

Essas quantidades hipotéticas foram interpretadas como aglomerados de proteínas que deveriam atuar em conjunto para abrir ou fechar um canal de íon , sendo *m* responsável pela ativação dos Na^+, *h* pela desativação dos Na^+ e *n pela ativação dos* K^+. Entretanto, essa caracterização não foi feita com base em um conhecimento efetivo dos mecanismos moleculares, mas sim de modo a coincidir com os resultados experimentais. Com esse objetivo conjecturou-se que

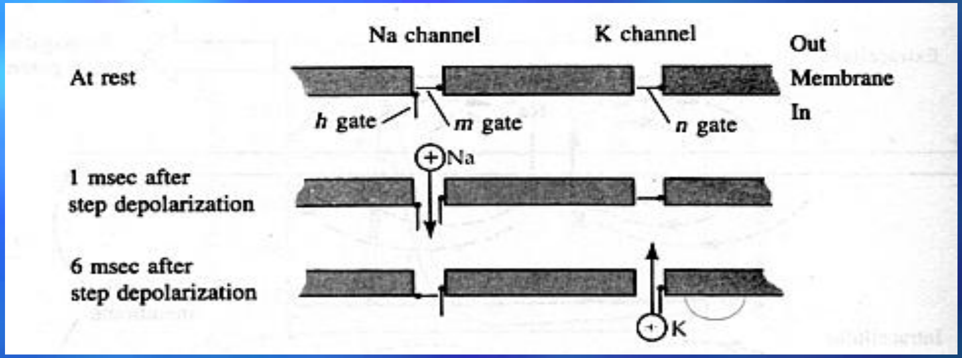
$$g_{Na} = \bar{g}_{Na} m^3(v) h(v), \quad g_K = \bar{g}_K n^4(v)$$

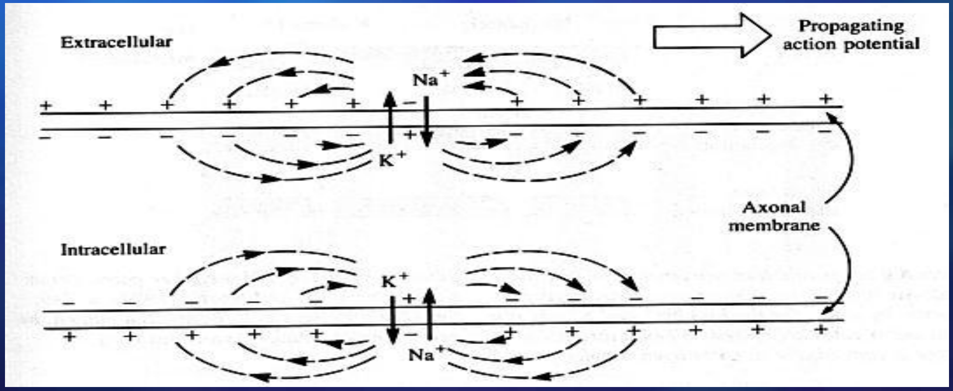
A idéia principal foi sugerir que *h*,*m*, e *n* atuam como “portões” , cuja dependência à voltagem é caracterizada através das seguintes EDO’s:

$$\frac{dh}{dt} = \alpha_h(v)(1-h) - \beta_h(v)h \qquad \alpha_h(v) = 0{,}07e^{v/20}\ ,\ \beta_h(v) = \frac{1}{e^{(v+30)/10}+1}$$

$$\frac{dm}{dt} = \alpha_m(v)(1-m) - \beta_m(v)m \qquad \alpha_m(v) = 0{,}1\frac{(v+25)}{e^{(v+25)/10}-1}\ ,\ \beta_m(v) = 4e^{v/18}$$

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_n(v)(1-n) - \beta_n(v)n \qquad \alpha_n(v) = 0{,}01\frac{(v+10)}{e^{(v+10)/10}-1}\ ,\ \beta_n(v) = 0{,}125e^{v/80}$$





Modelo de Hodgkin-Huxley

" A quantitative descreption of membrana current and its application to conduction and excitation in nerve" . Jour. Physiol. 117, 500-544.

$$(HH):\begin{cases} \dfrac{dv}{dt} = -\bar{g}_{Na} m^3(v)h(v)(v - v_{Na}) - \bar{g}_K n^4(v)(v - v_K) - \bar{g}_L(v - v_L) \\ \dfrac{dm}{dt} = 0{,}1\dfrac{(v+25)}{(e^{(v+25)/10} - 1)}(1-m) - 4e^{v/18} m \\ \dfrac{dh}{dt} = 0{,}07e^{v/20}(1-h) - \dfrac{h}{e^{(v+30)/10} + 1} \\ \dfrac{dn}{dt} = 0{,}01\dfrac{(v+10)}{(e^{(v+10)} - 1)} - 0{,}125e^{v/80} n \end{cases}$$

+: O sucesso do modelo reside no fato dele descrever com grande precisão muitas outros fatos que não foram utilizados na sua formulação.

+:Os coeficientes $\alpha_m(v)$, $\alpha_n(v)$ e suas derivadas não estão definidos para v=-25 e v=-10 respectivamente. Definindo

$$\alpha_m(-25) = 1, \frac{d\alpha_m}{dt}(-25) = -\frac{1}{20}, \alpha_n(-10) = \frac{1}{10}, \frac{d\alpha_n}{dt}(-10) = -\frac{1}{200}$$

o lado direito das equações satisfaz as condições de Lipschitz em relação as variáveis dependentes em qualquer paralelepípedo limitado no espaço de fase (v,m,h,n). De modo que vale o teorema de existência e unicidade (Picard-Lindelöf) então existe uma única solução para cada condição inicial $(v(t_0),m(t_0),h(t_0),n(t_0))$ definida em $[t_0, +\infty[$.

- :O modelo contém uma caixa-preta: (m,h,n) que não está efetivamente relacionada com a dinâmica molecular dos canais de íons.