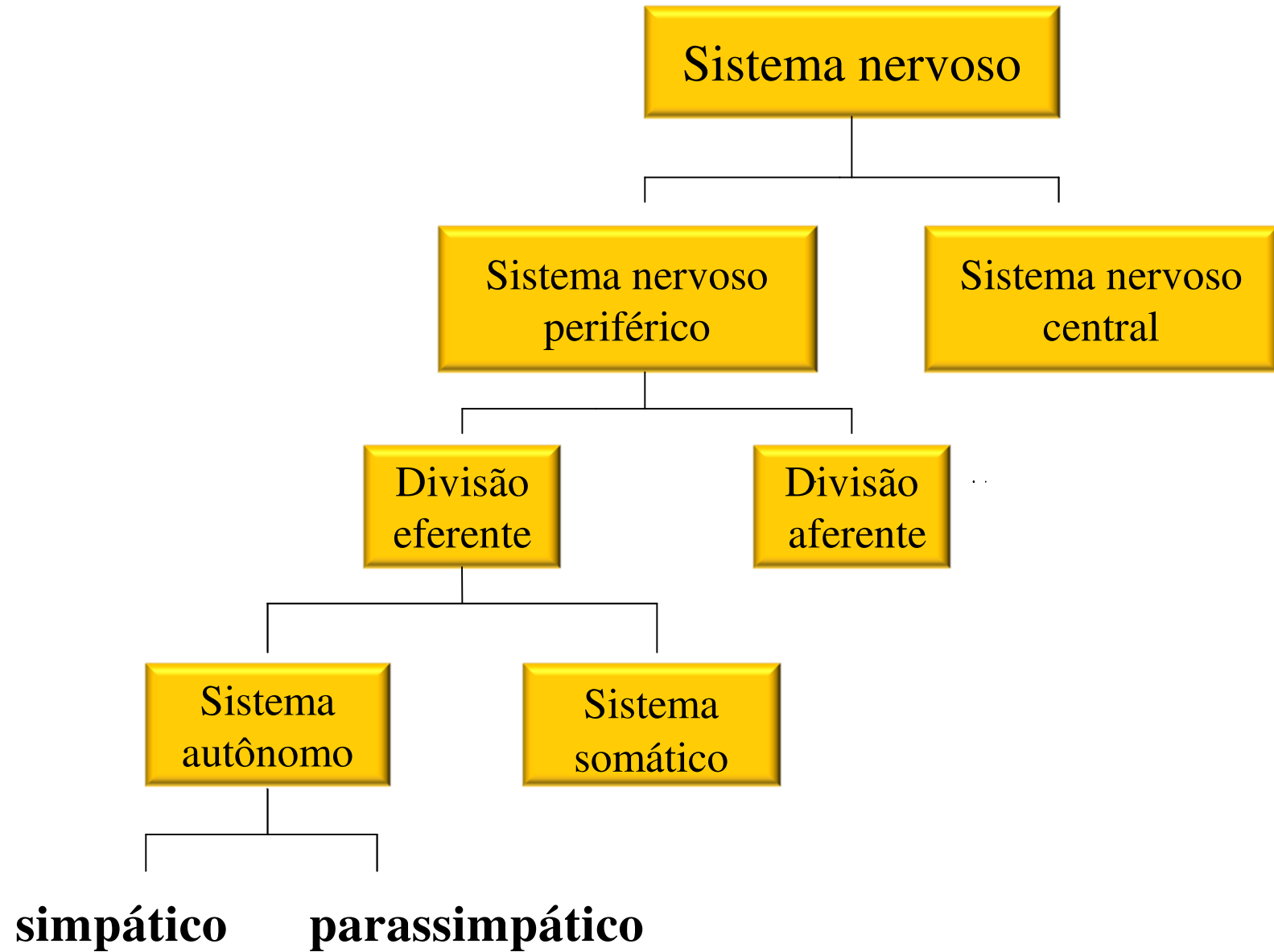
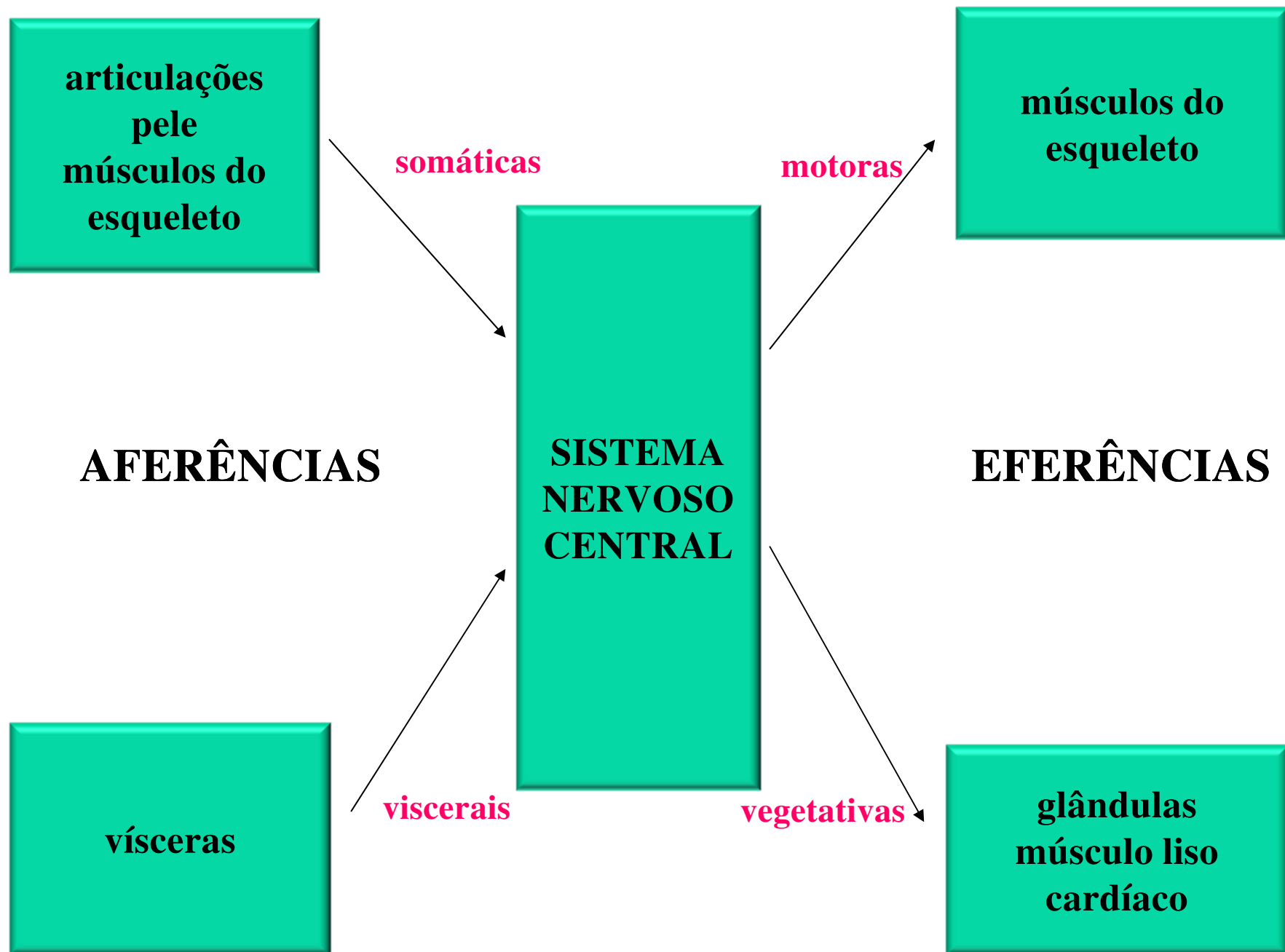
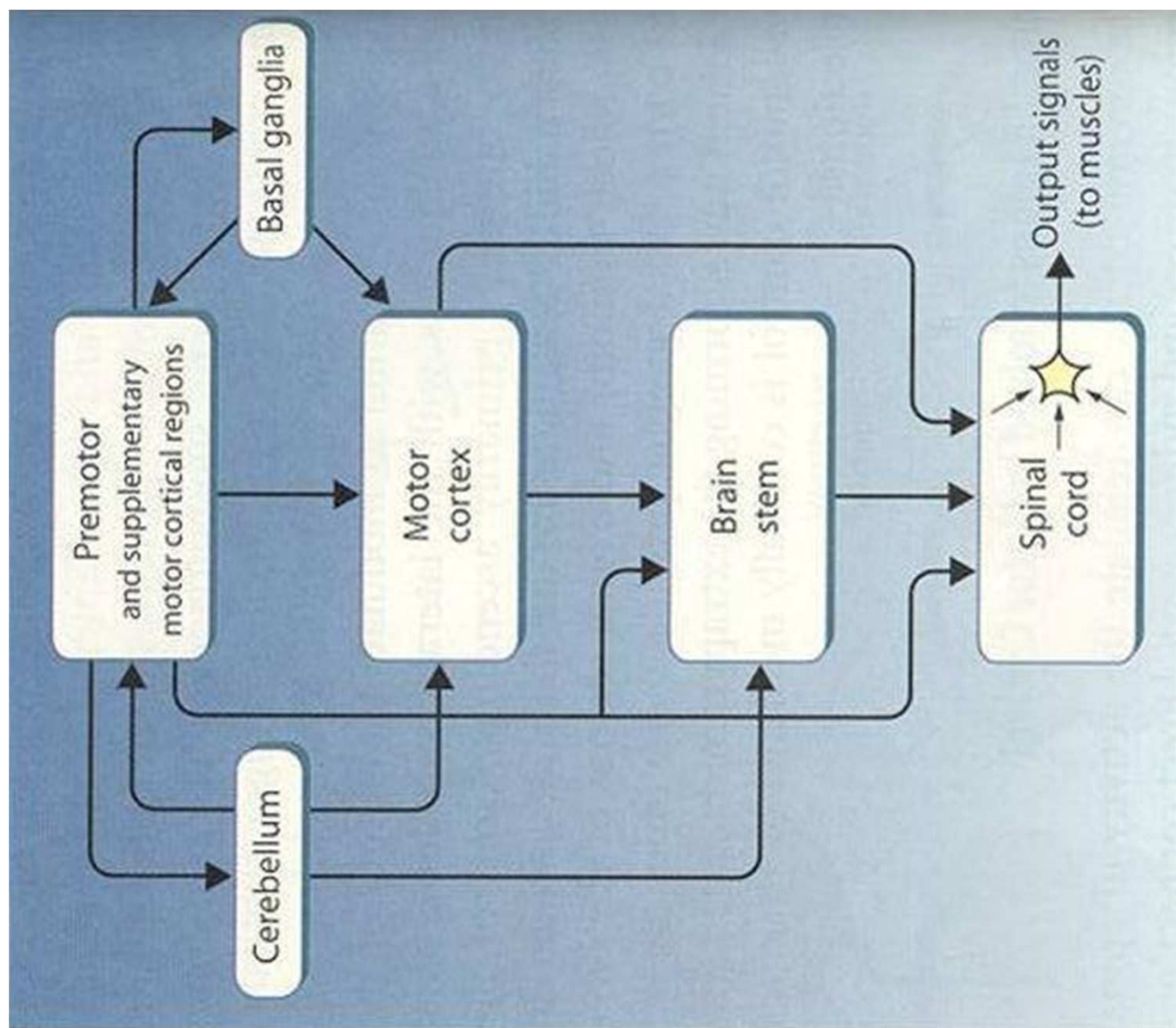




Ricardo Mario Arida
Depto Fisiologia – UNIFESP



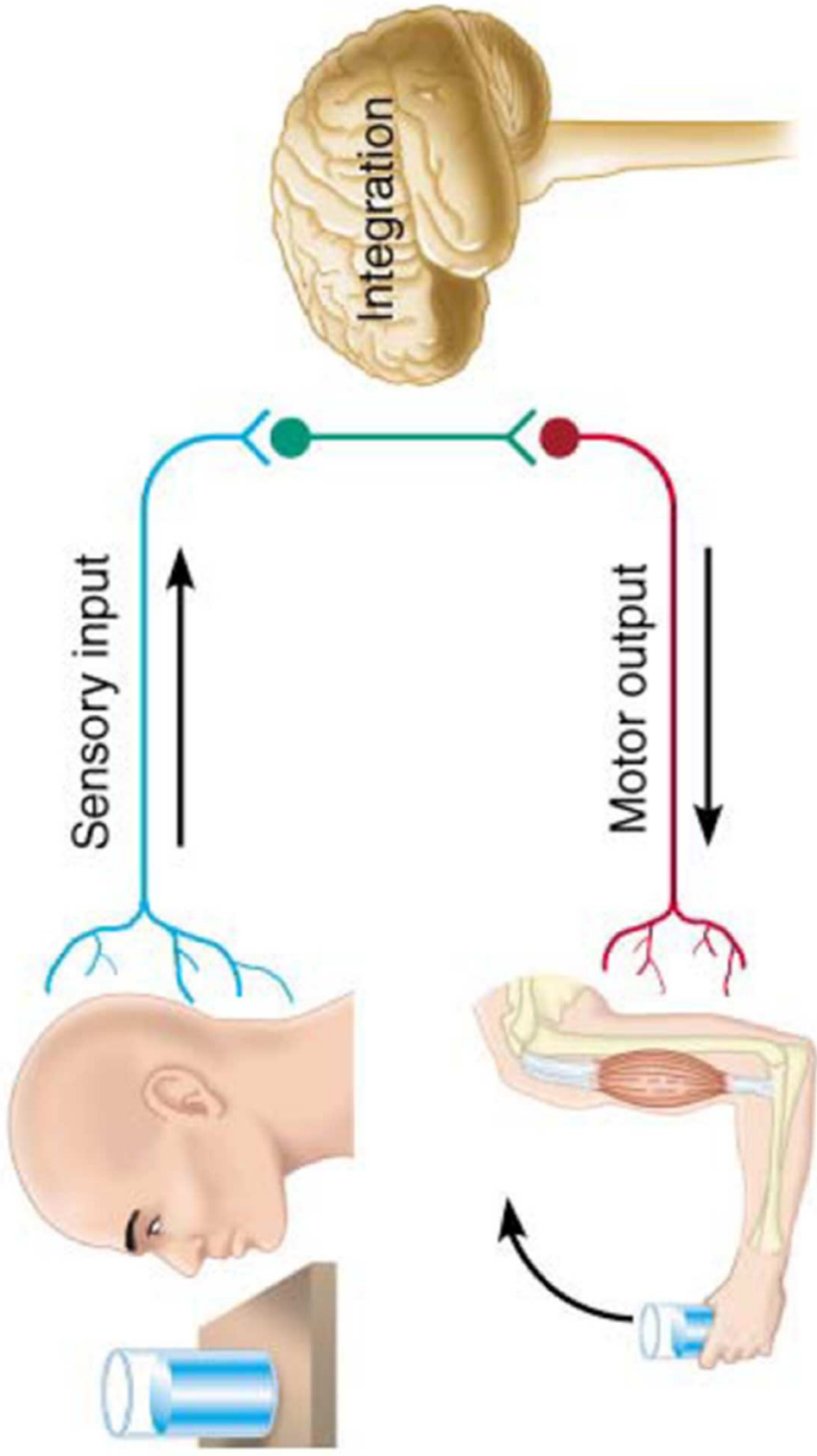




Sistema sensorial



Sistema motor

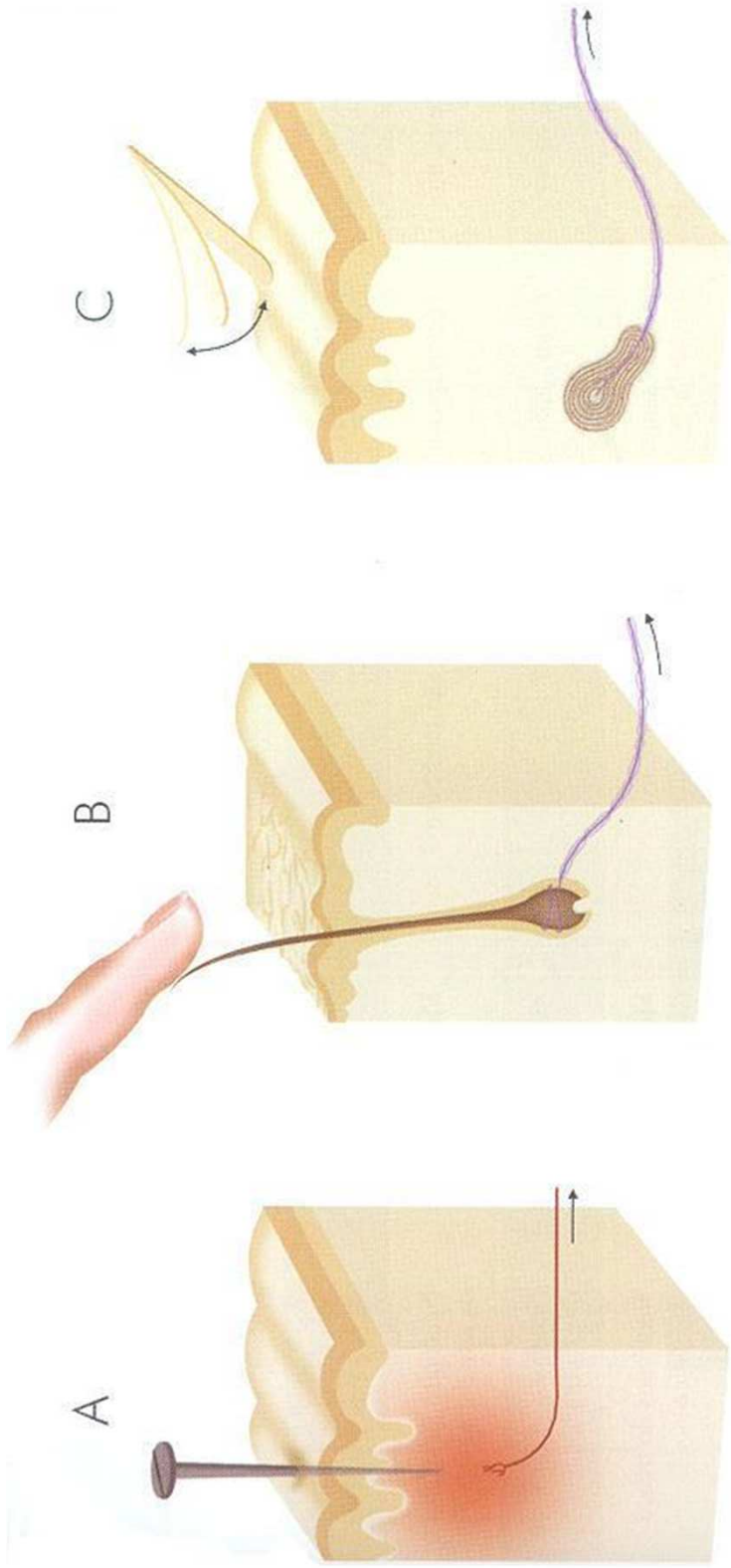


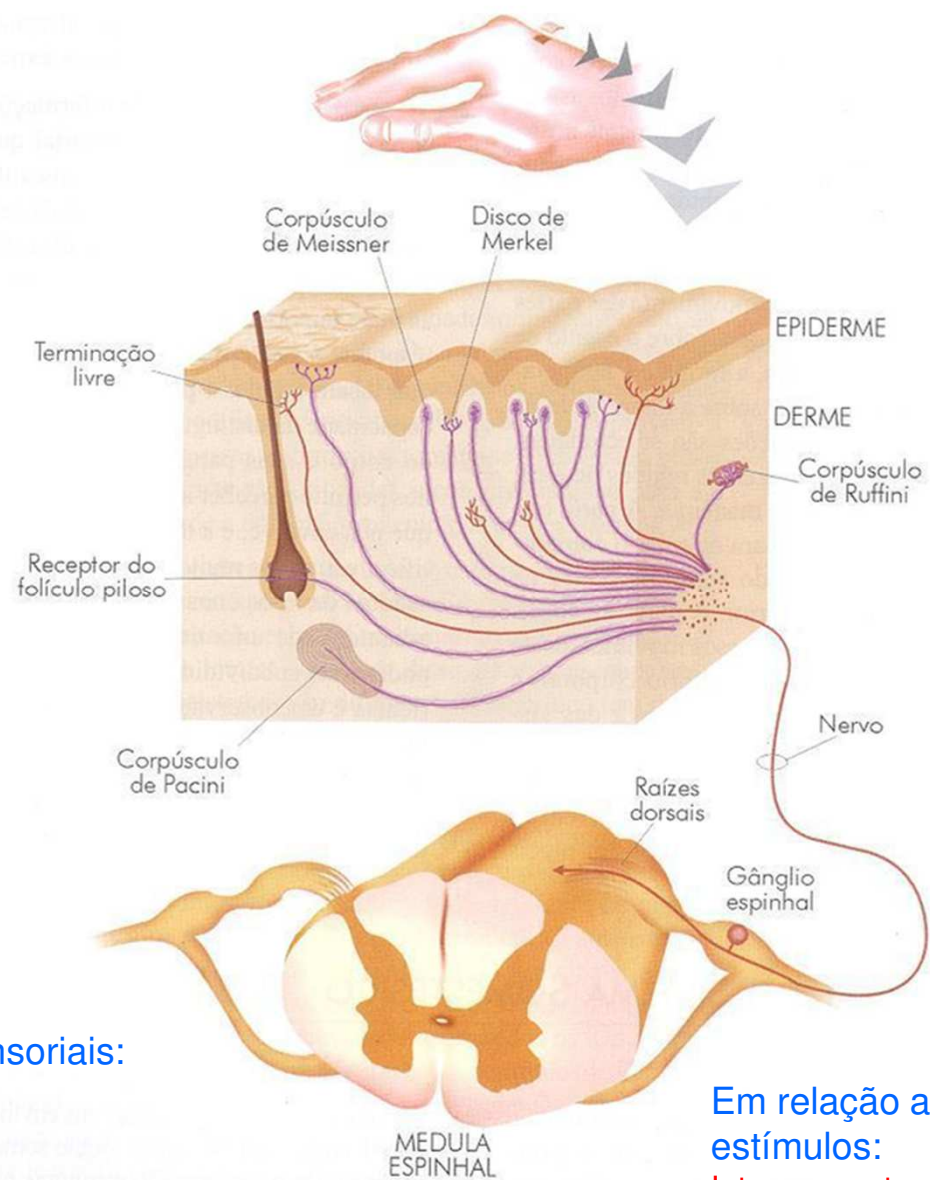
SISTEMA SENSORIAL

transforma energia física em informação neural

SISTEMA MOTOR

transforma informação neural em energia física





Tipos de receptores sensoriais:

Mecanorreceptores
 Quimiorreceptores
 Fotorreceptores
Termorreceptores
 Nociceptores

Em relação ao local onde se capta os estímulos:

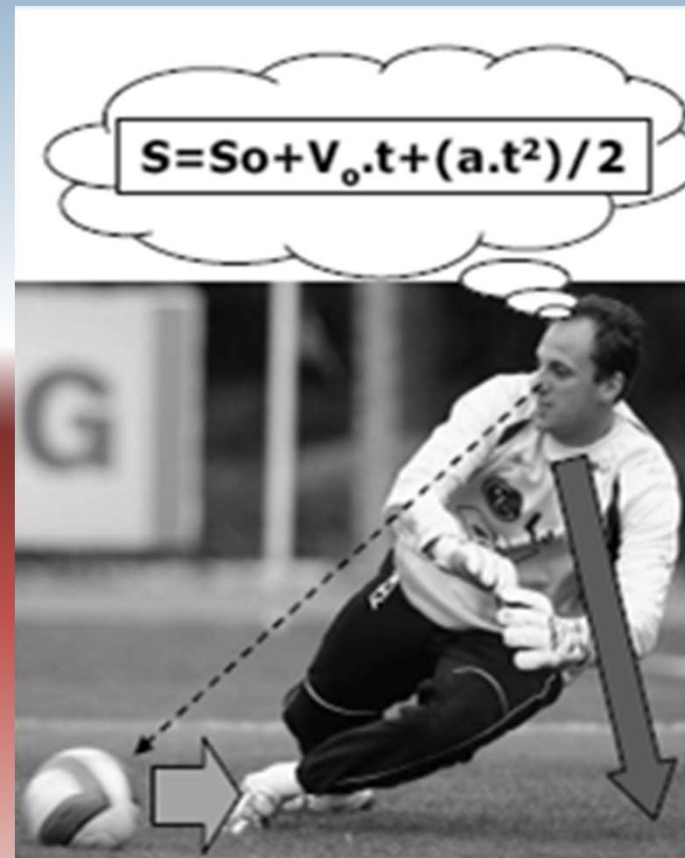
Interorreceptores
Exterorreceptores
Propriorreceptores

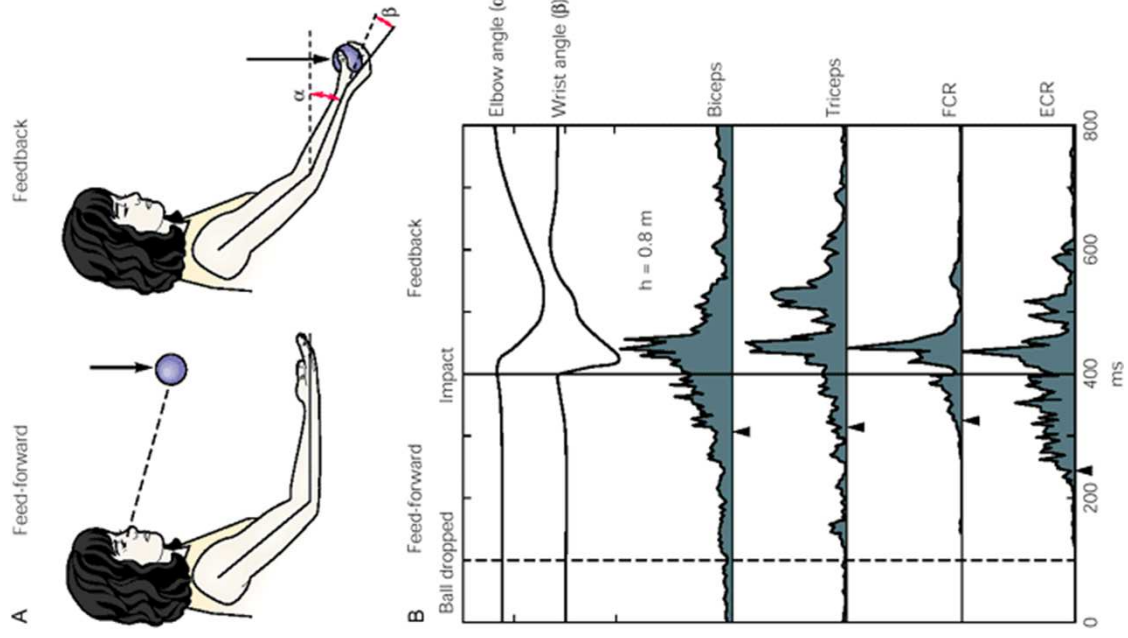
A informação sensorial é usada para corrigir erros através de mecanismos de **feedback e feedforward**

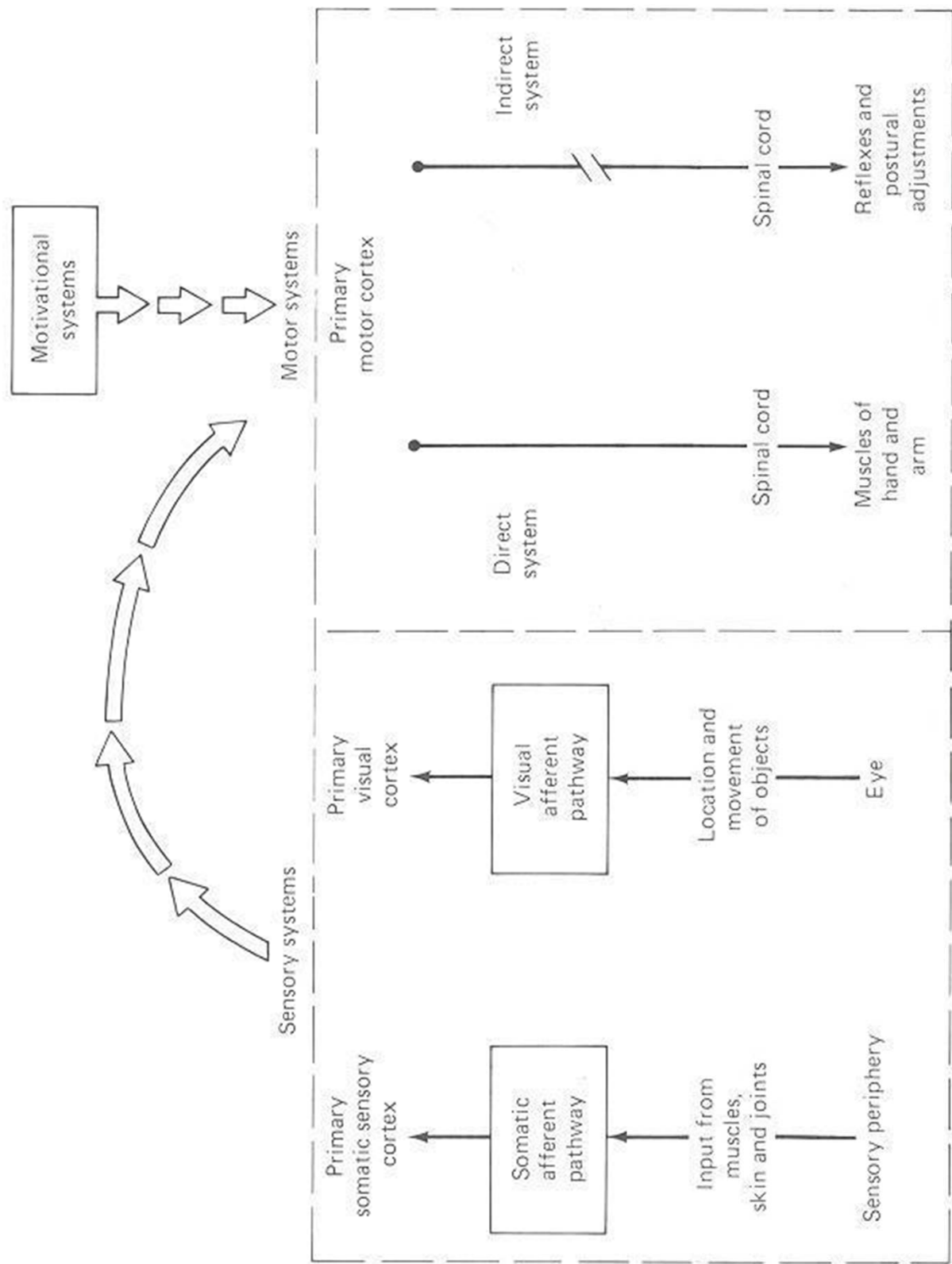
feedback
retroalimentação

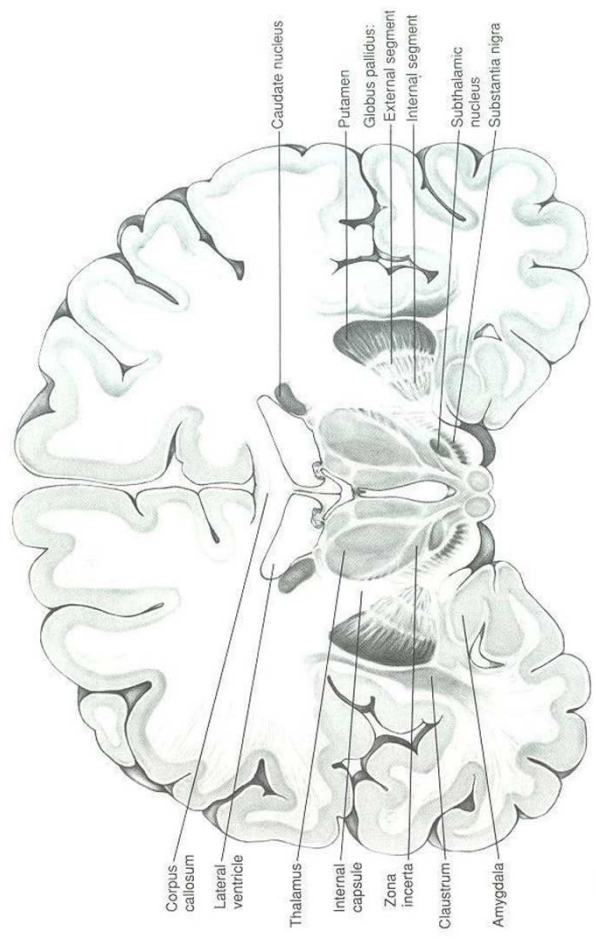
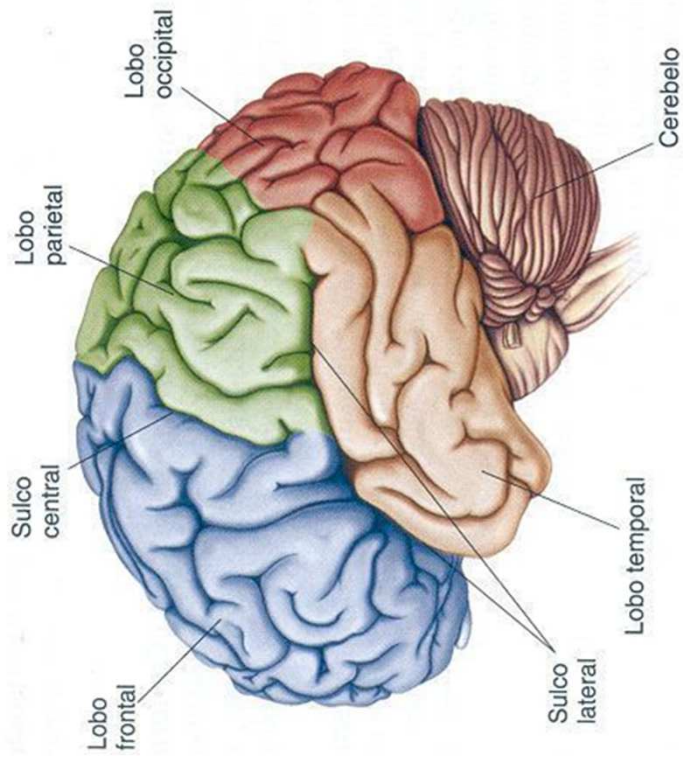


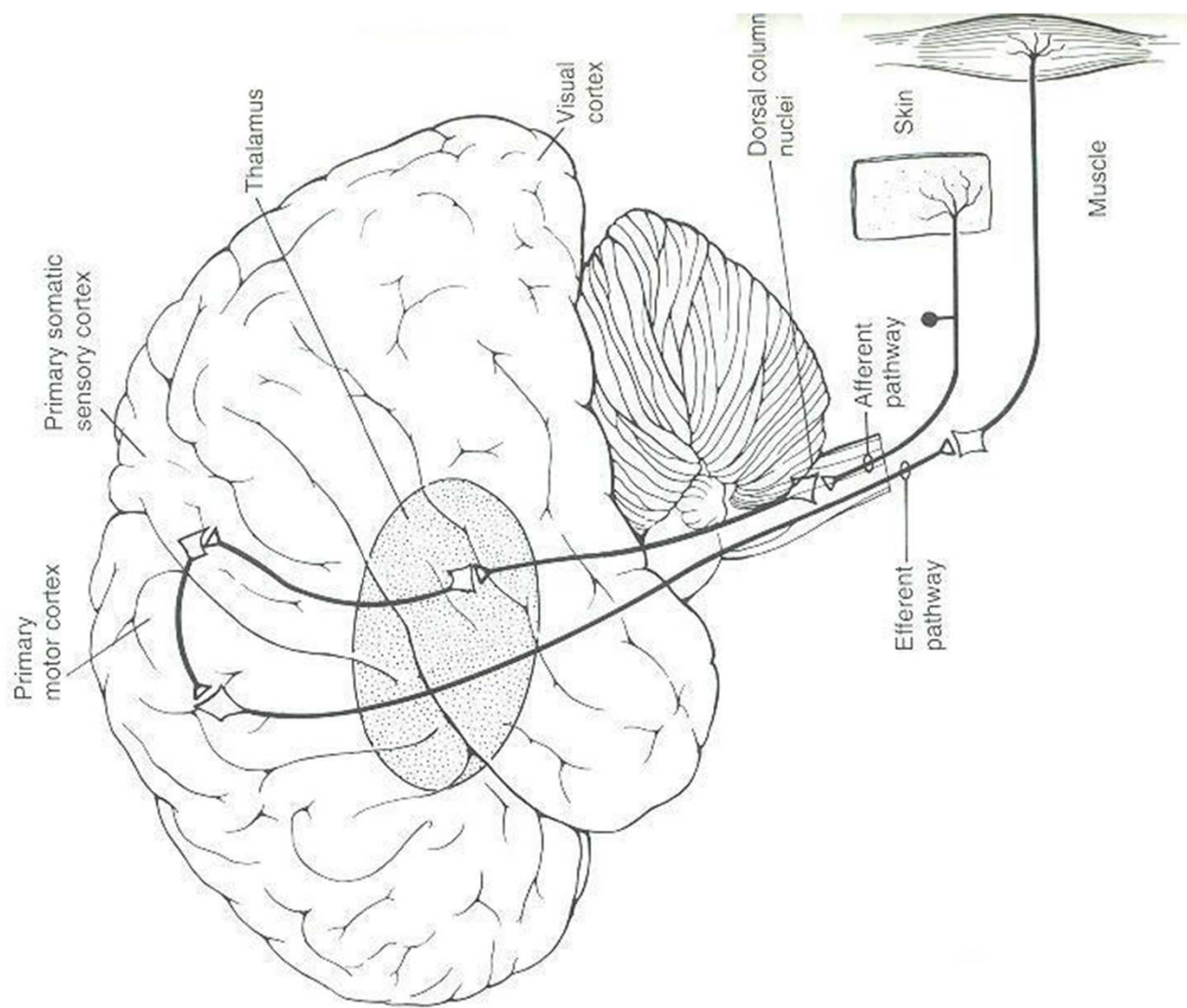
feedforward
anteroalimentação











Sistema motor

3 classes:

movimentos voluntários

respostas reflexas

padrão motor rítmico

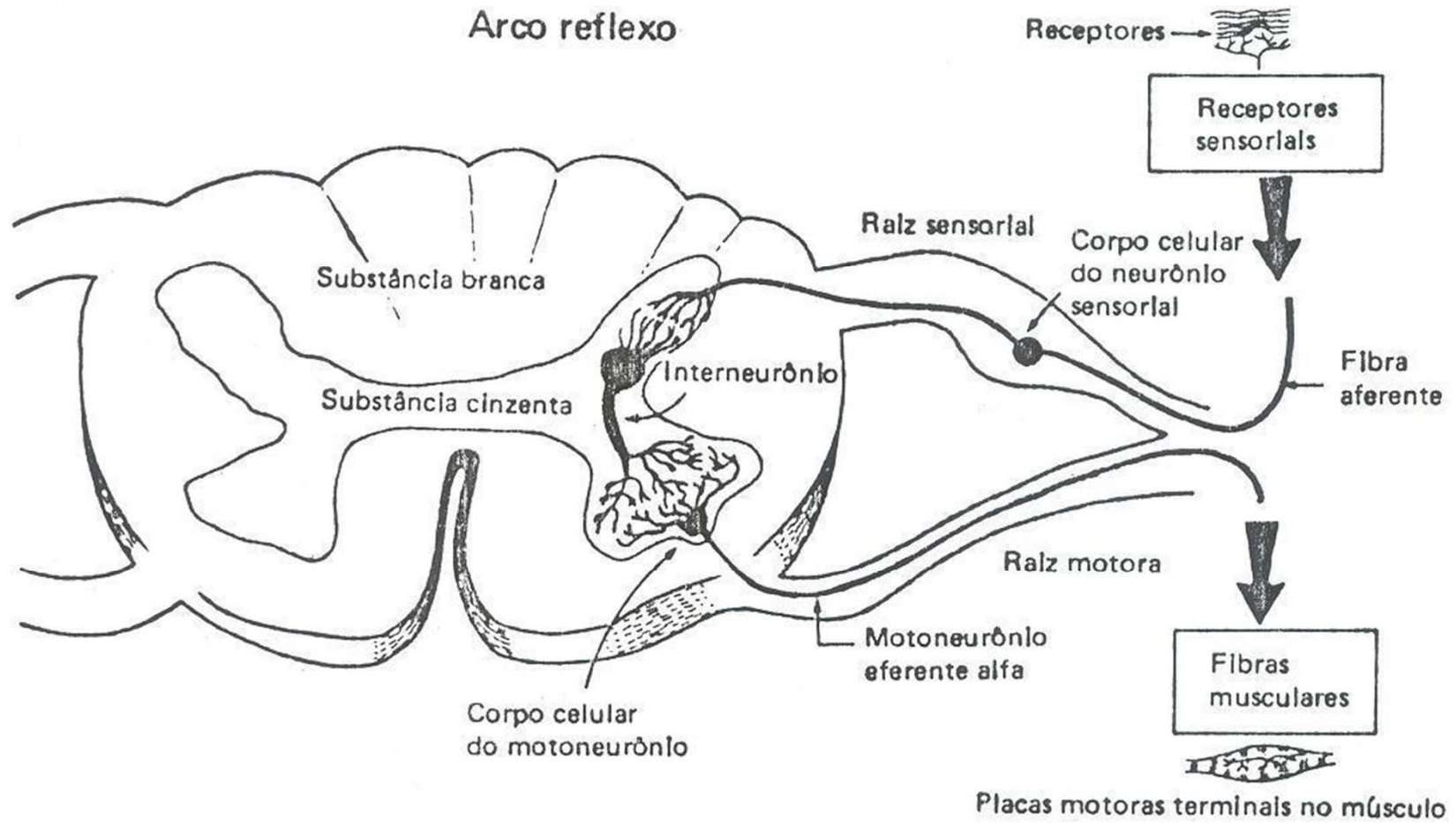
Três níveis na hierarquia do controle motor

medula espinhal

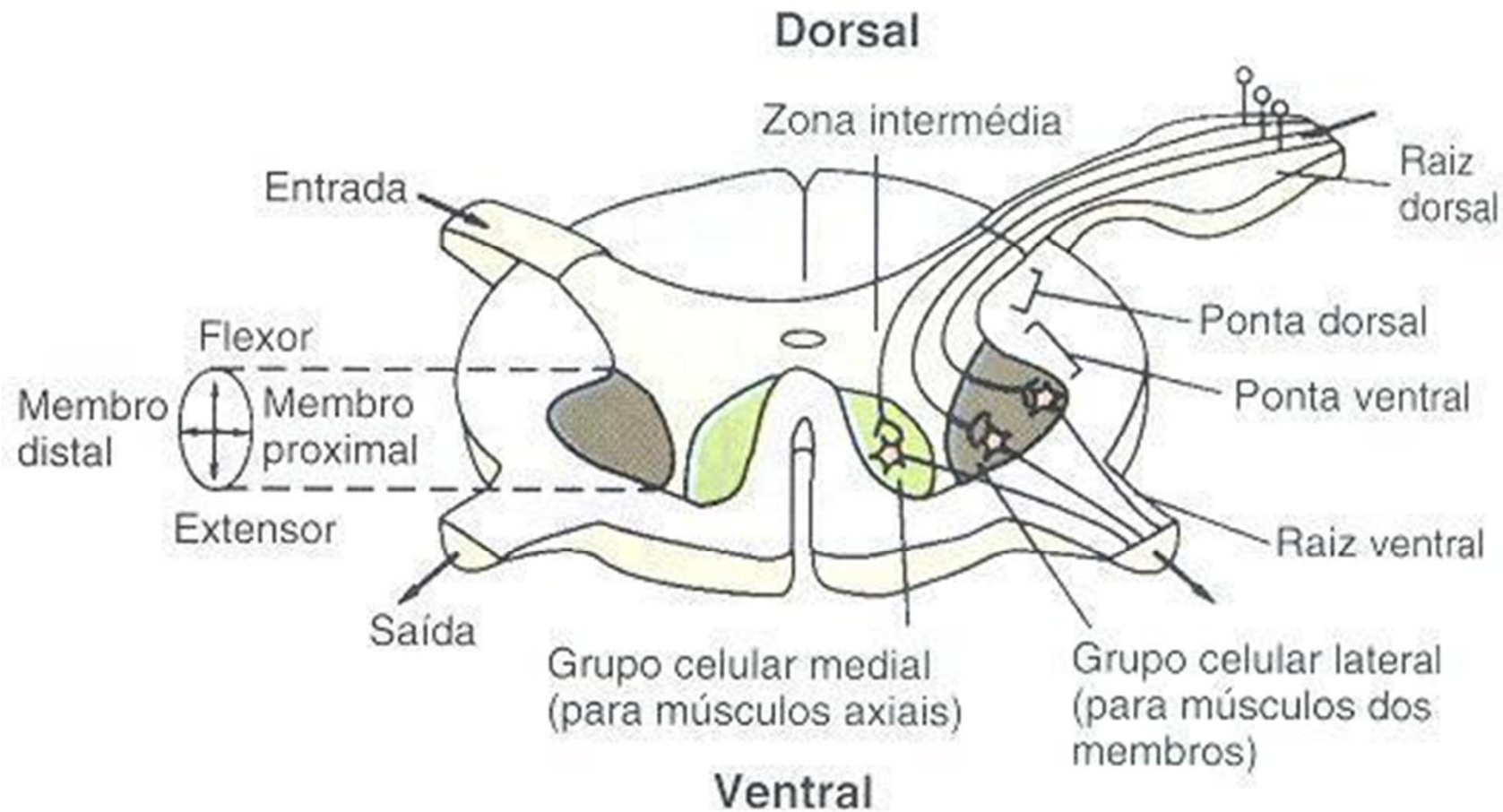
tronco cerebral

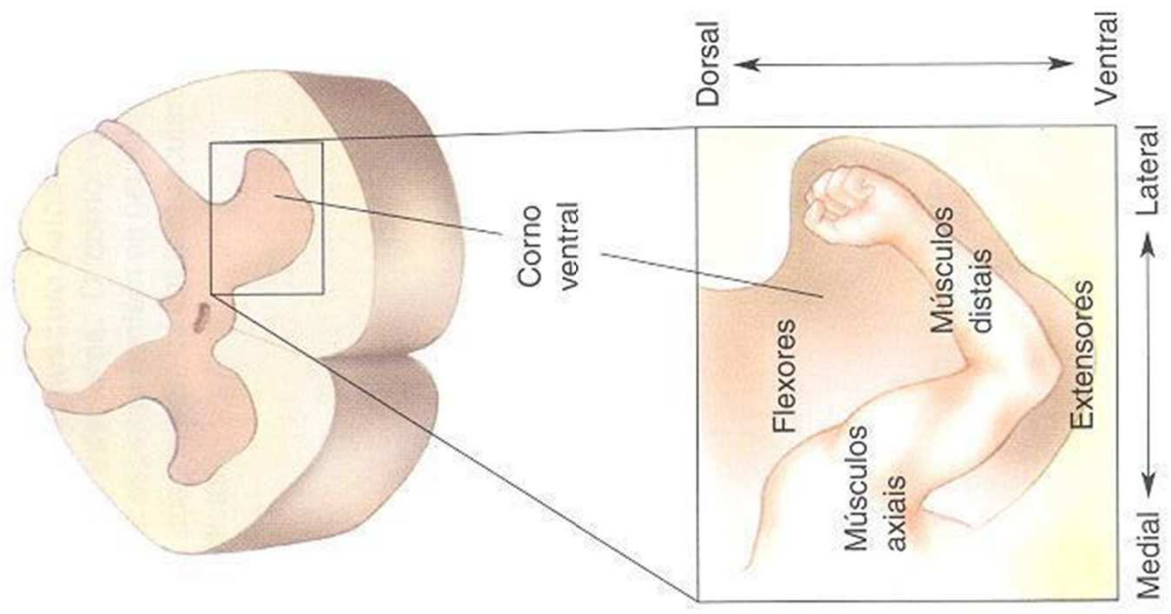
área cortical motora

Medula espinhal



Organização topográfica dos neurônios motores na medula espinhal





Receptores musculares

- fusos musculares
- órgãos tendinosos de golgi

Tipos de receptores sensoriais:

Mecanorreceptores

Quimiorreceptores

Fotorreceptores

Termorreceptores

Nociceptores

Em relação ao local onde se capta os estímulos:

Interorreceptores

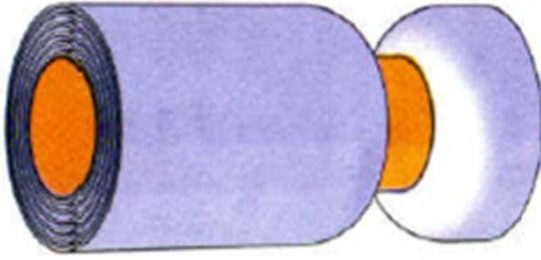
Exterorreceptores

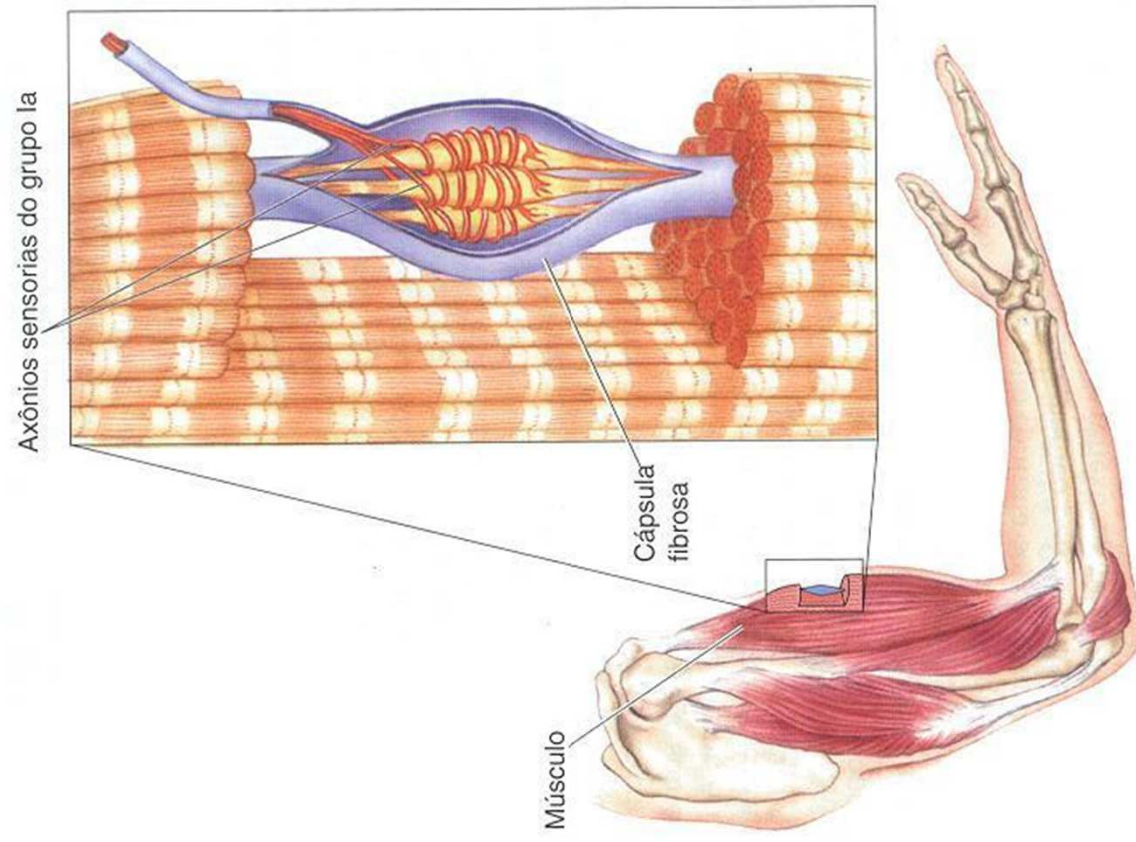
Propiorreceptores

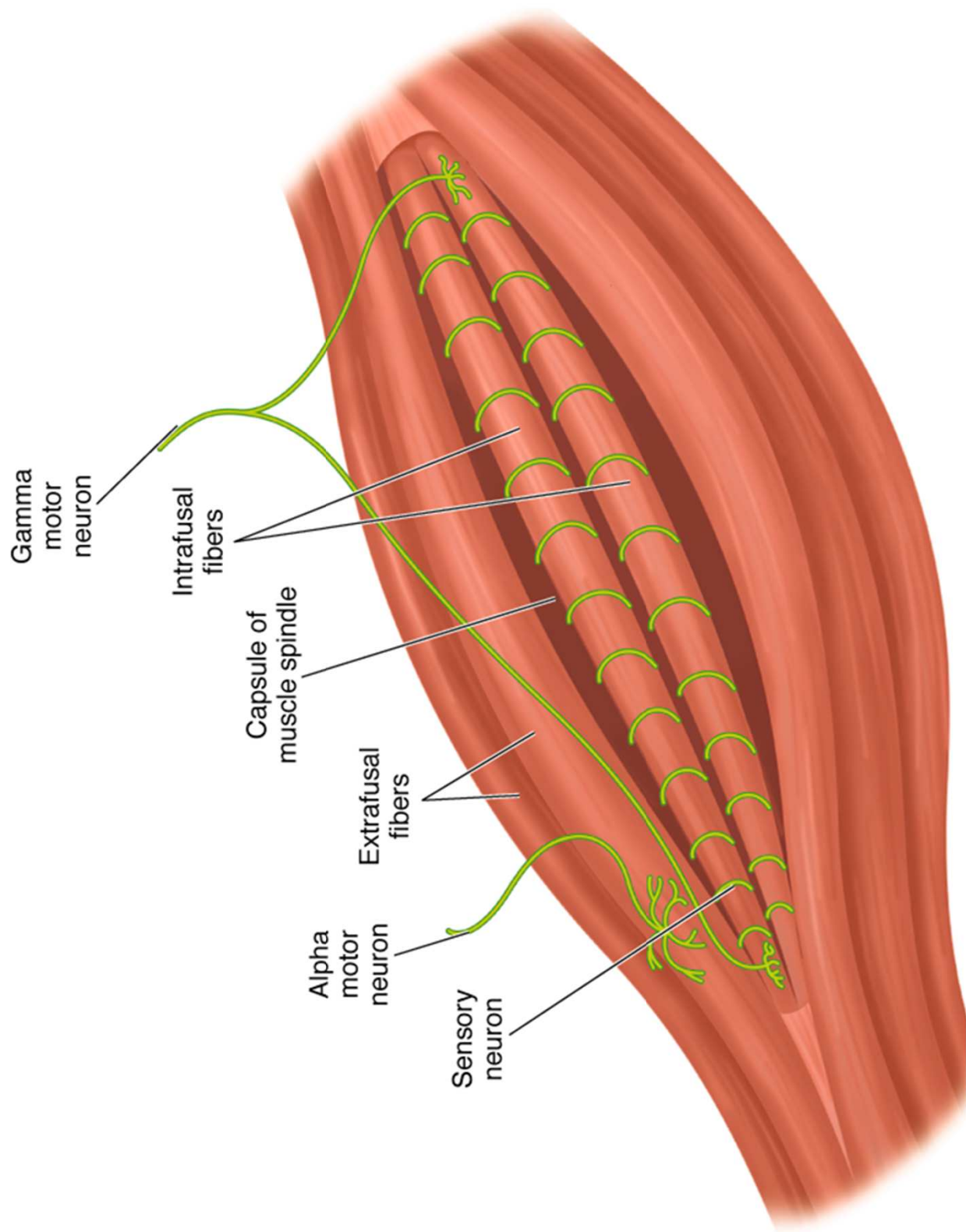
Estrutura e inervação do fuso muscular

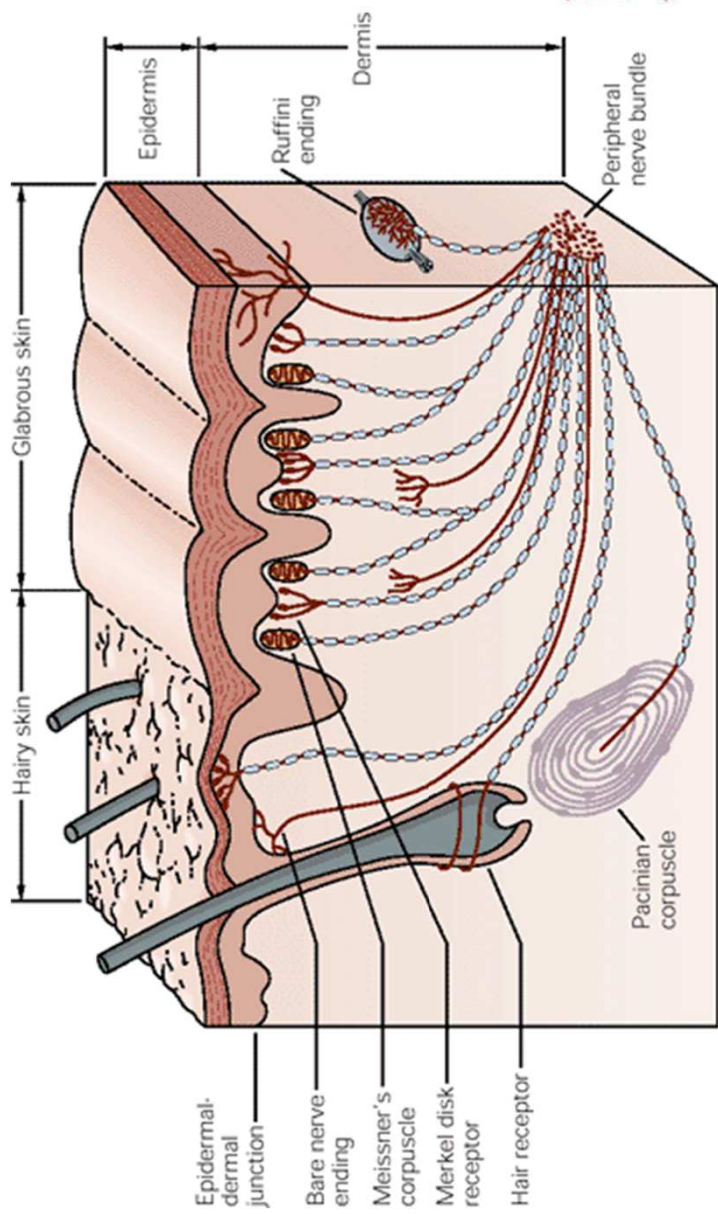
- **Terminações sensoriais**
 primária ou tipo I
 secundária ou tipo II
- **Fibras eferentes gama**

Classificação Das Fibras Nervosas

Axônios da pele		Axônios vindos dos músculos							
A α		Grupo I				13-20		80-120	
A β		II				6-12		35-75	
A δ		III				1-5		5-30	
C		IV				0.2-1.5		0.5-2	
Receptores sensoriais		Proprioceptores do músculo esquelético		Mecanorreceptores da pele		Dor, temperatura		Temperatura, dor, prurido (coceira)	







Terminações nervosas livres

Receptor de extremidade expandida

Pêlo tátil



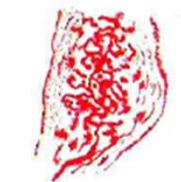
Corpúsculo de Pacini



Corpúsculo de Meissner



Corpúsculo de Krause



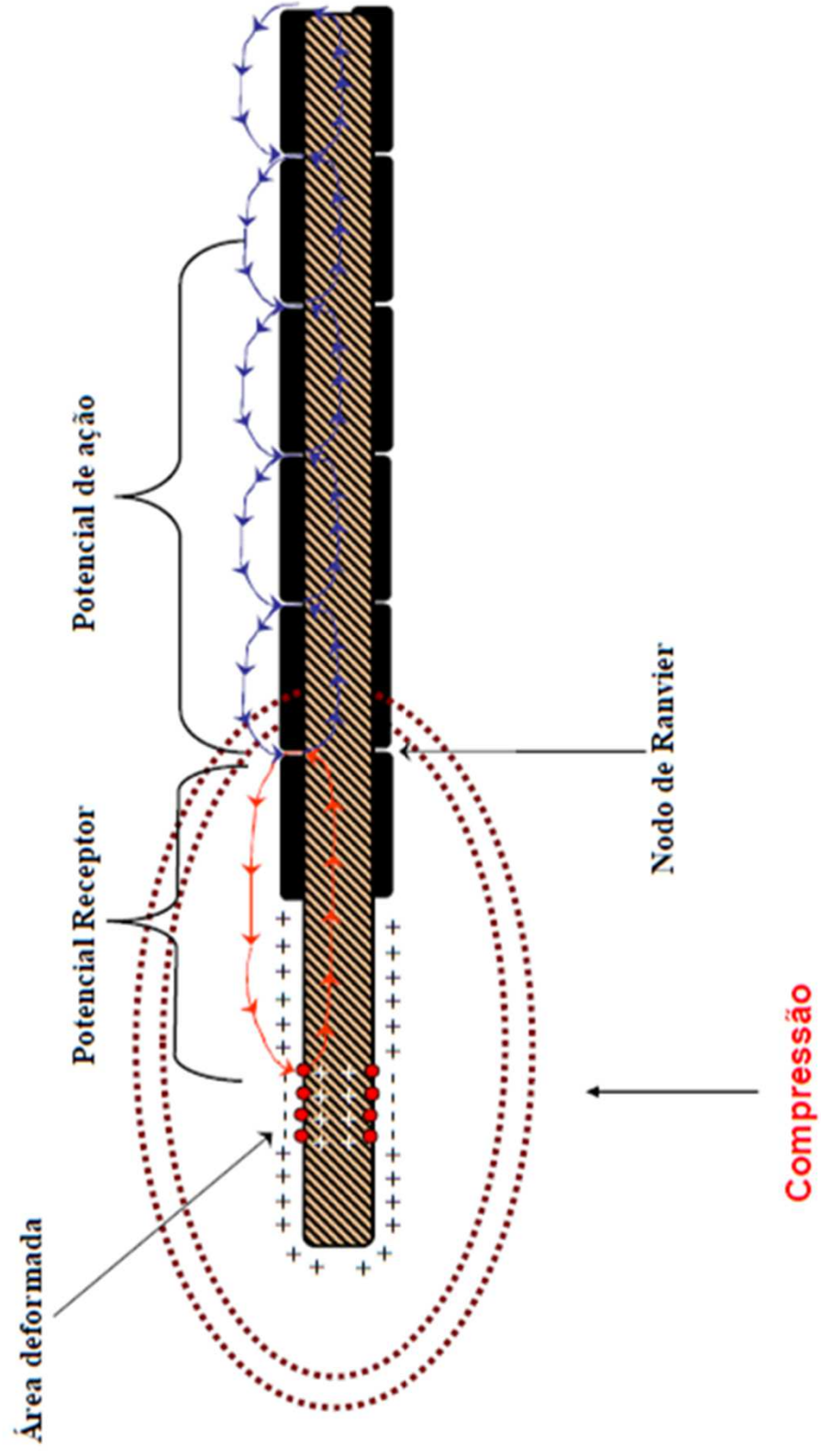
Órgão terminal de Ruffini

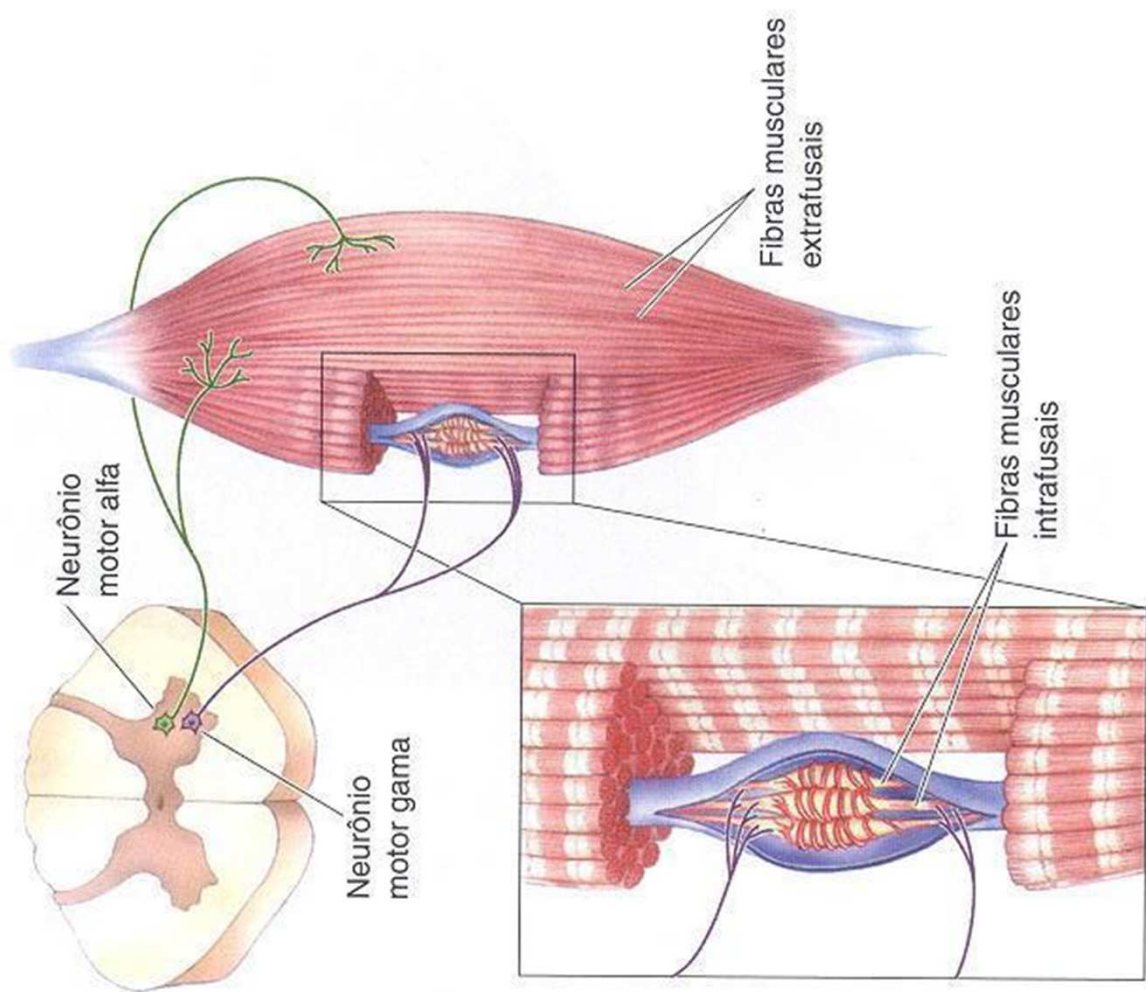


Aparelho tendinoso de Golgi



Fuso neuromuscular



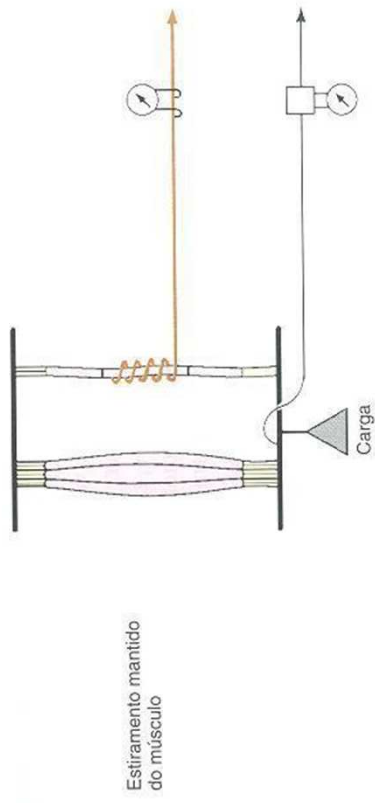


Excitação dos receptores fusais

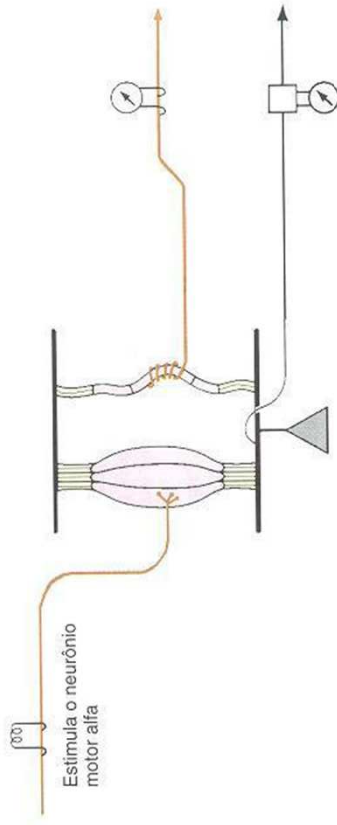
O receptor do fuso pode ser excitado de 2 maneiras:

- **o alongamento de todo o músculo produzirá estiramento da região média do fuso e portanto excitará o receptor**
- **mesmo se não houver modificação do comprimento do todo o músculo, a contração das extremidades das fibras fusais também distenderá as regiões médias das fibras fusais e portanto excitará o receptor**

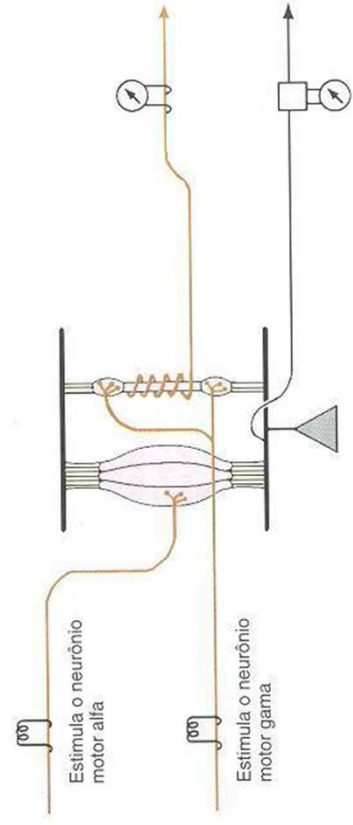
A



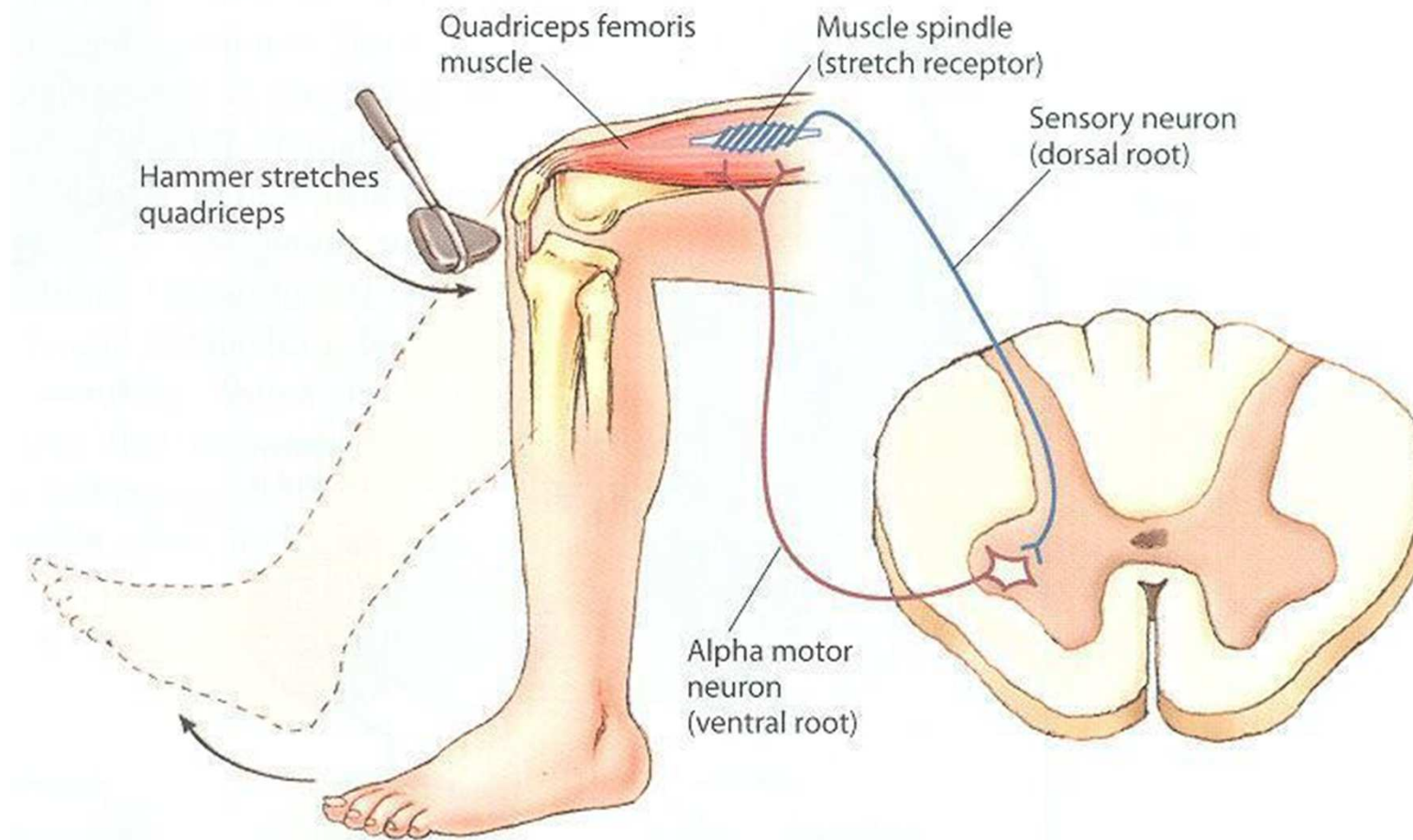
B

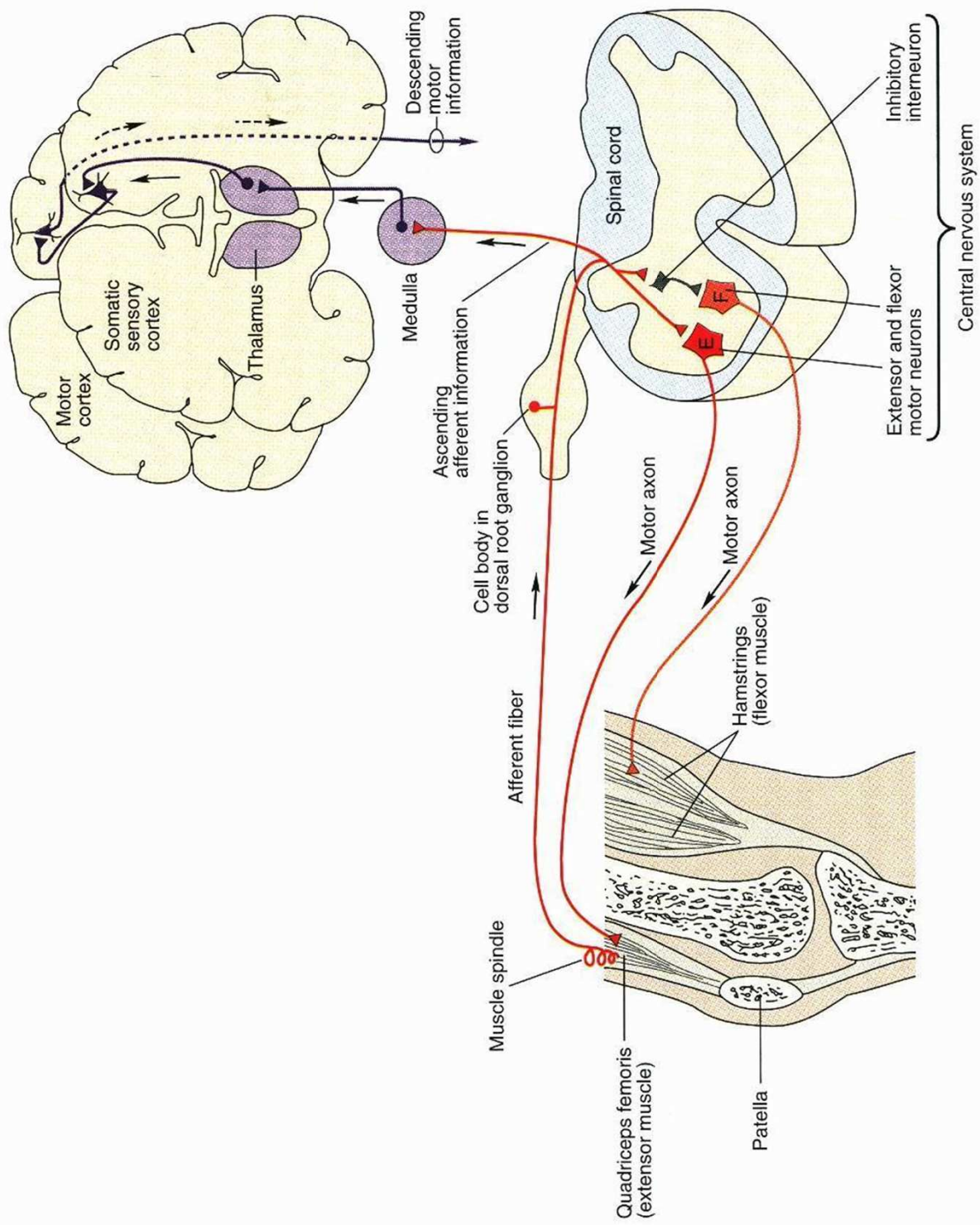


C

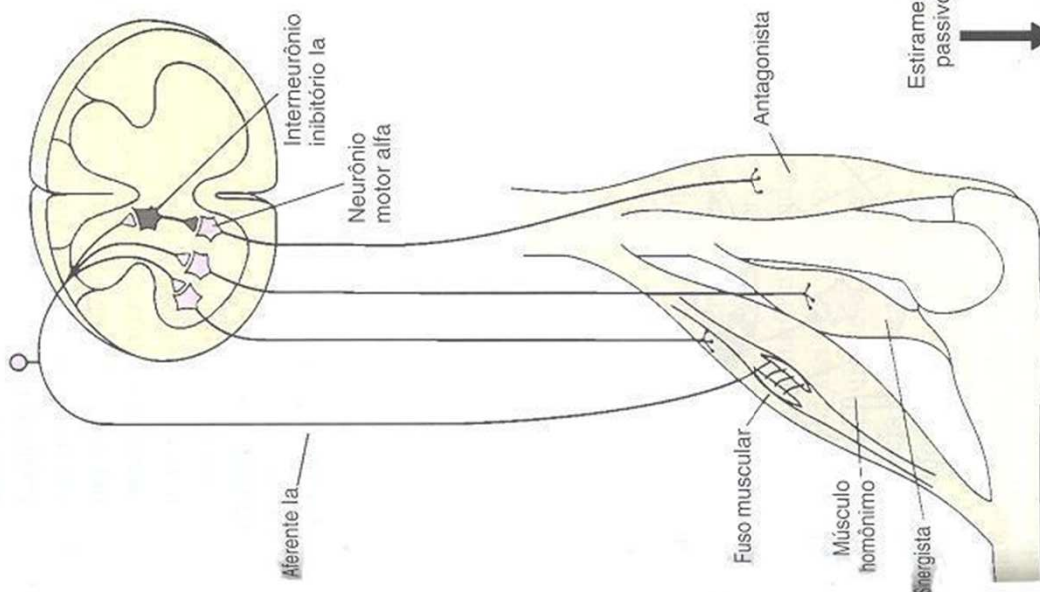


Reflexo de estiramento muscular

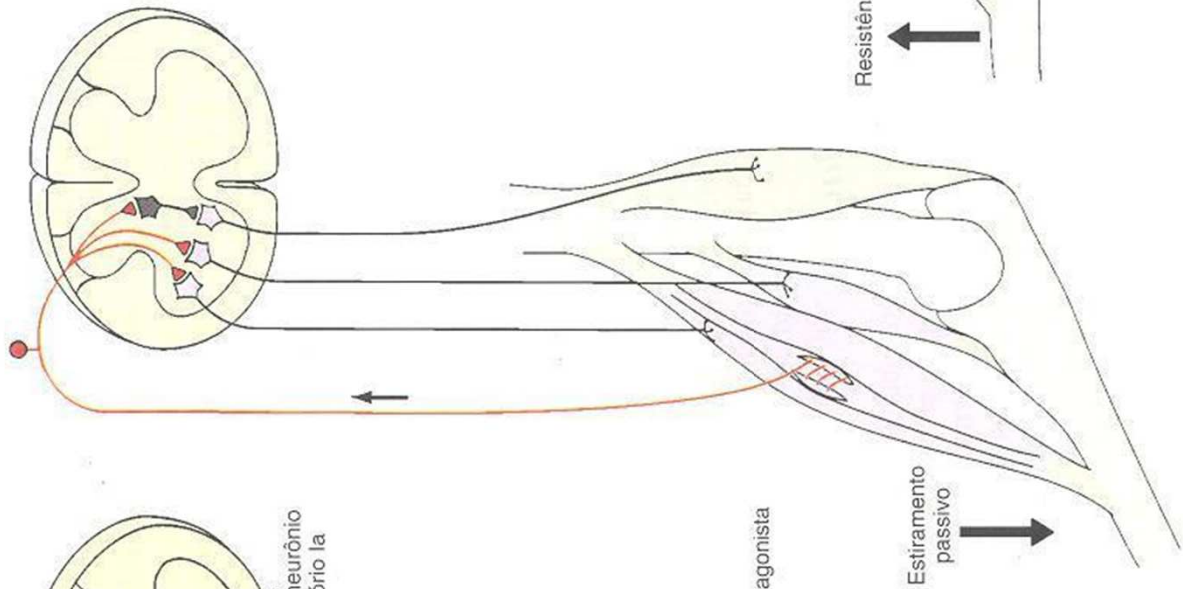




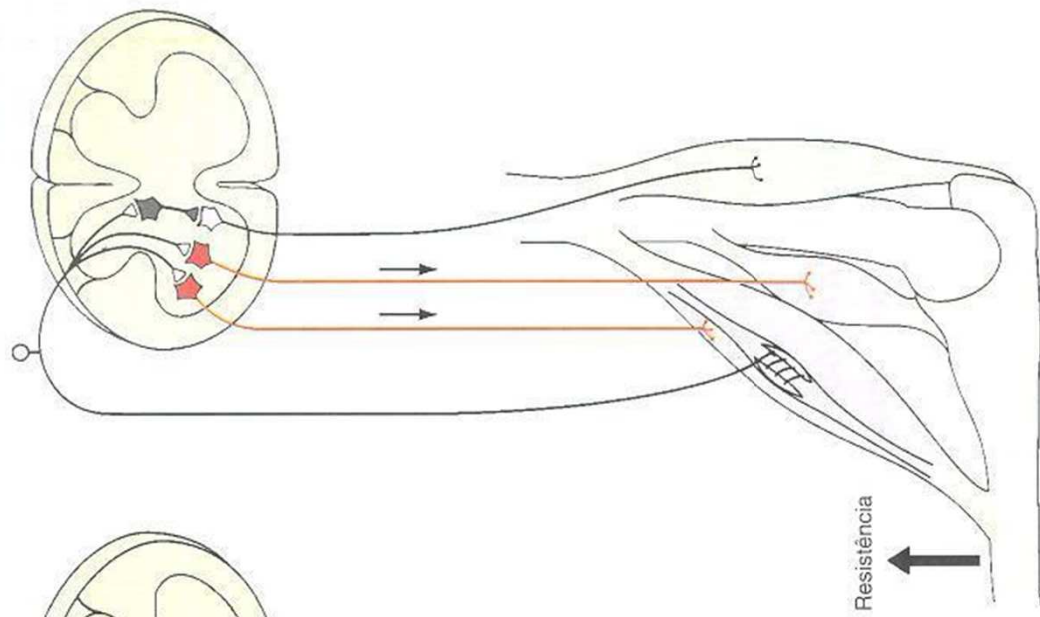
A Circuito reflexo neuronal



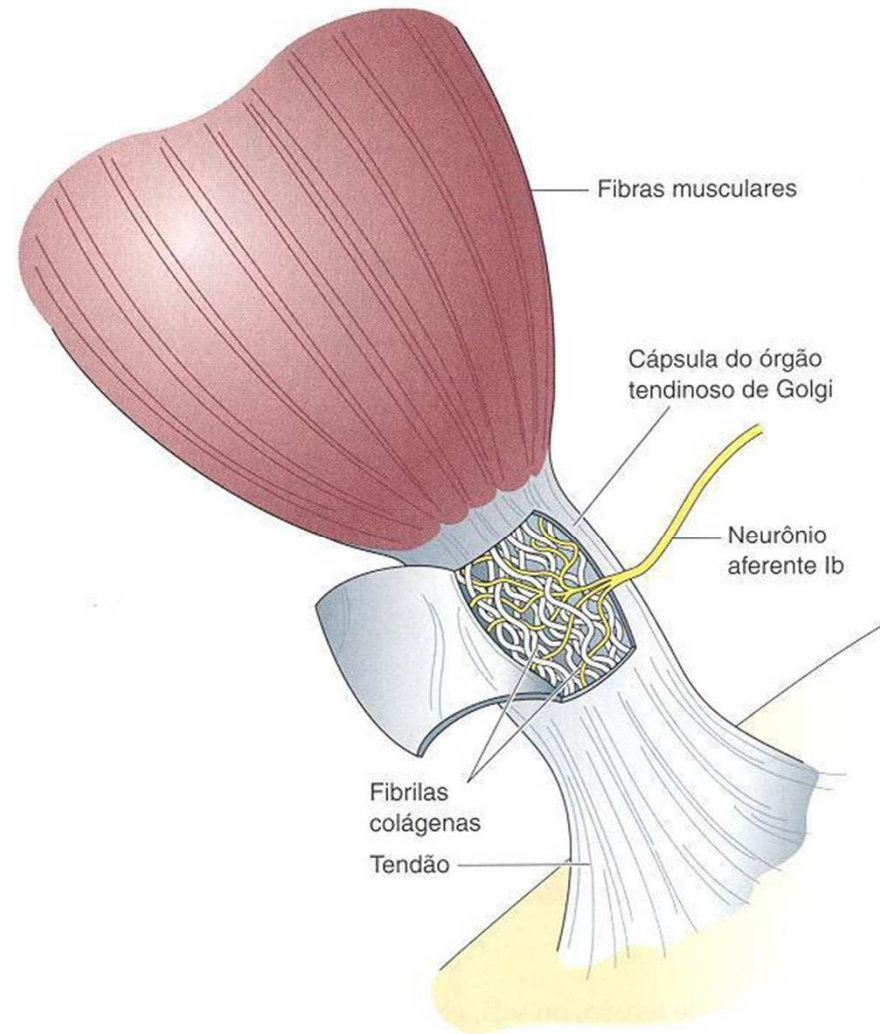
B Estiramento

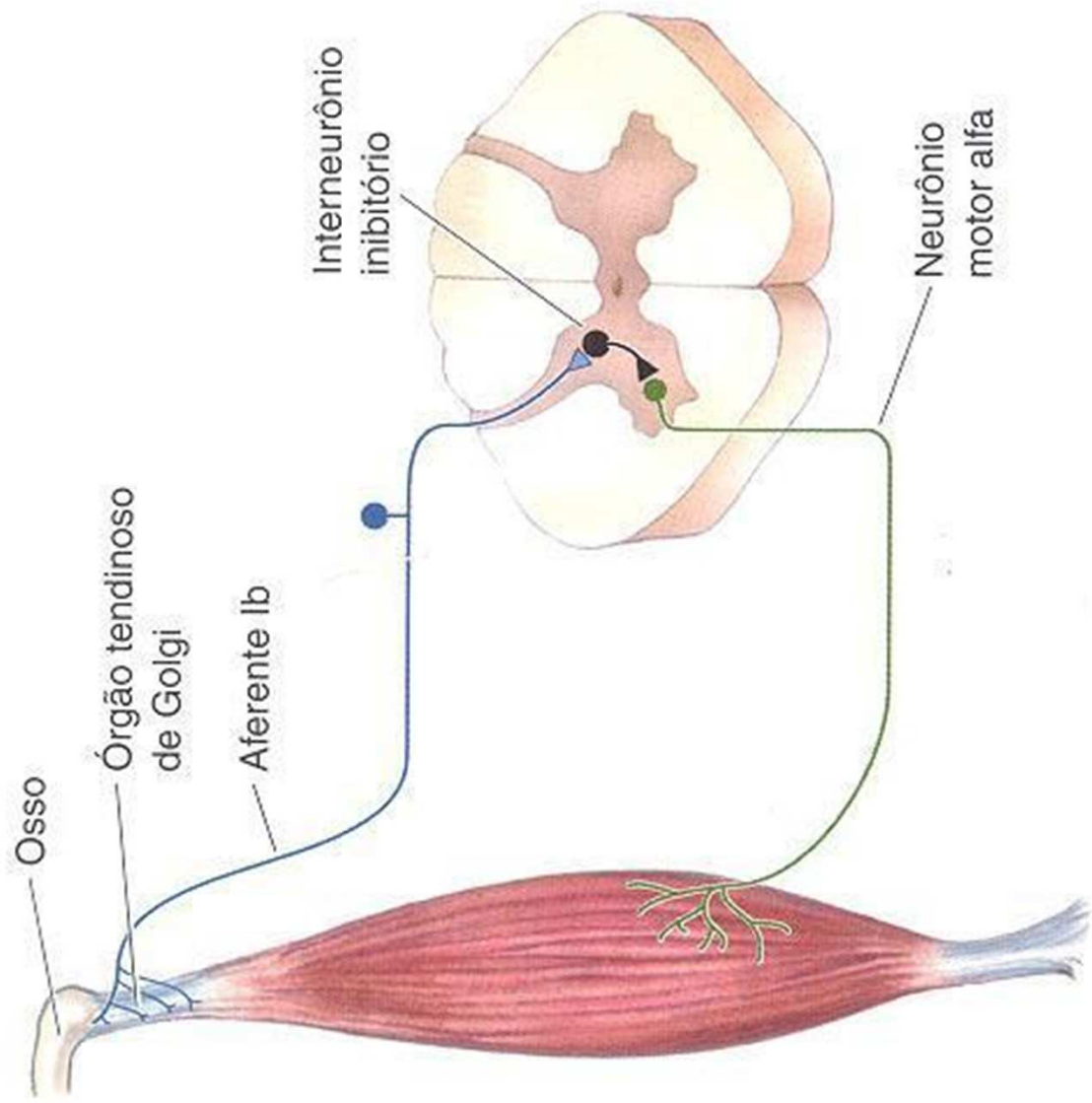


C Contração

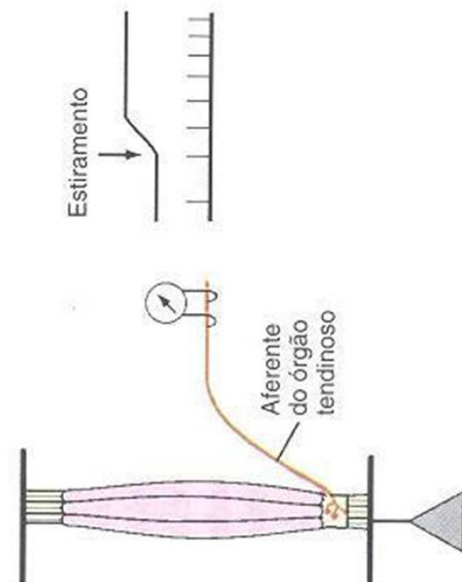
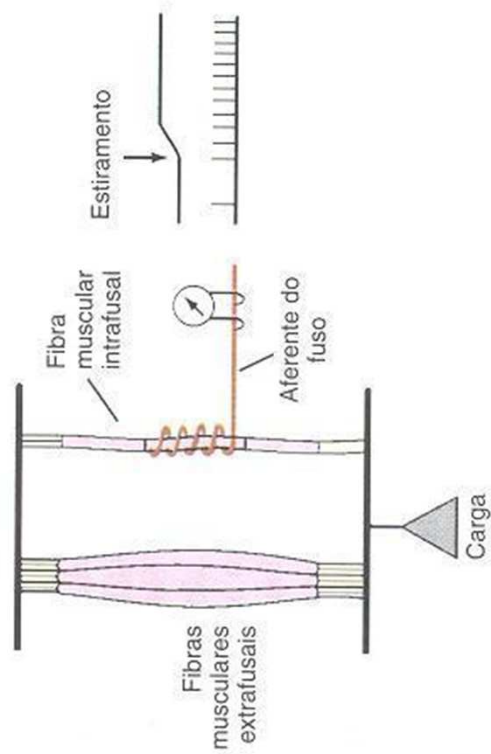


Orgão tendinoso de golgi

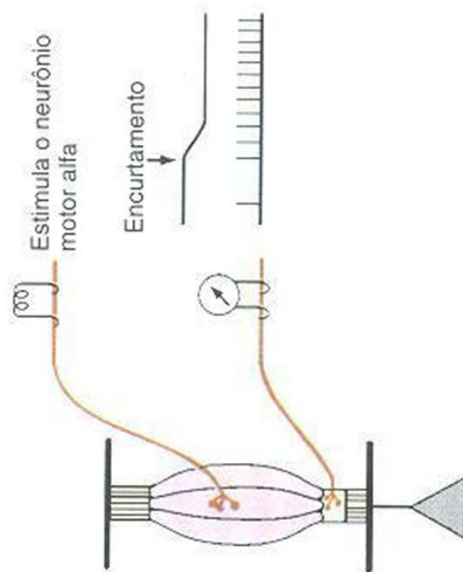
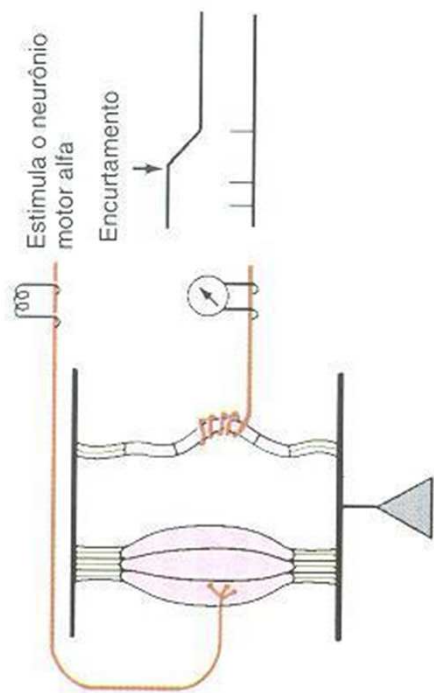




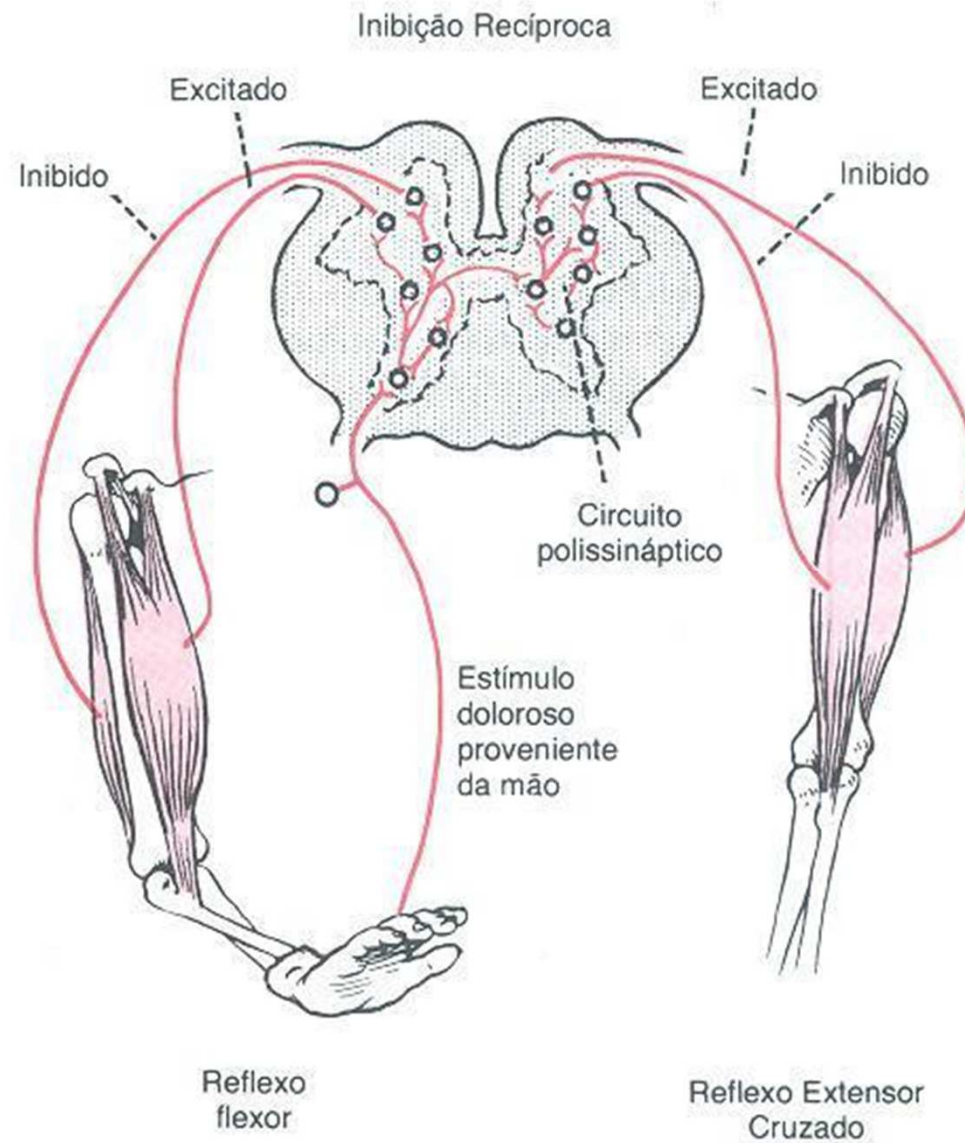
A. Músculo estirado



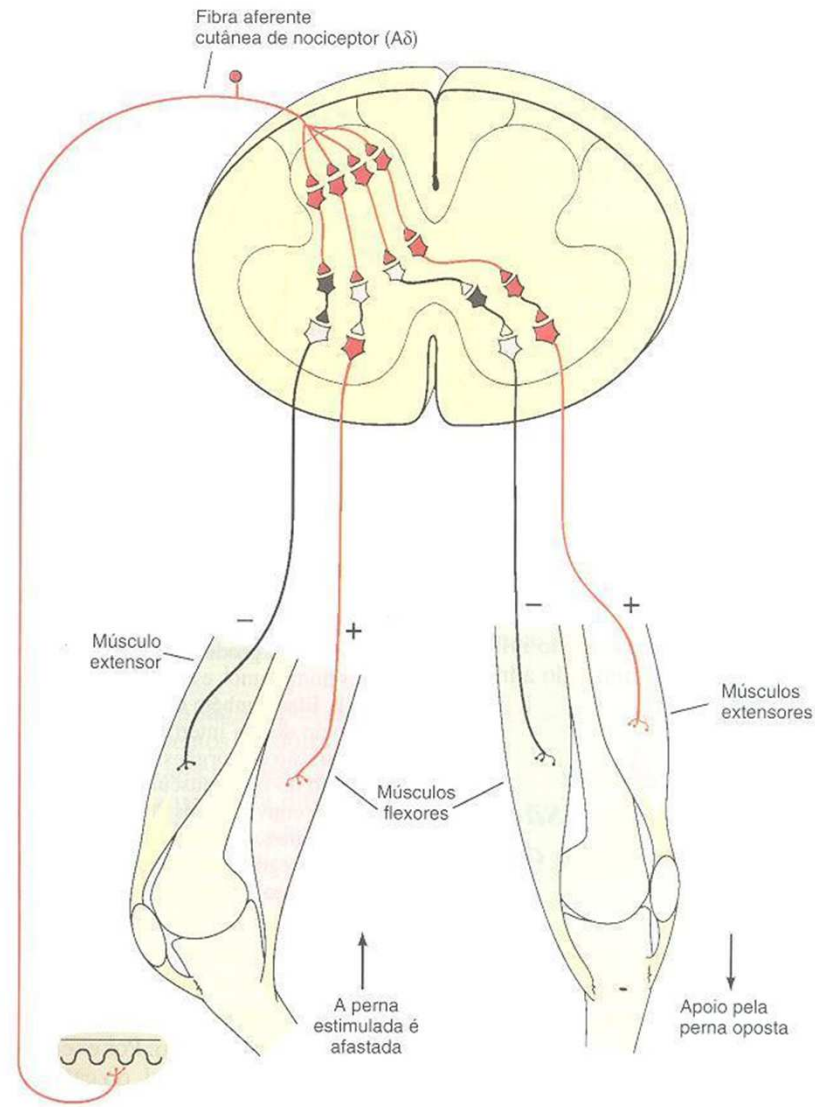
B. Músculo contraído



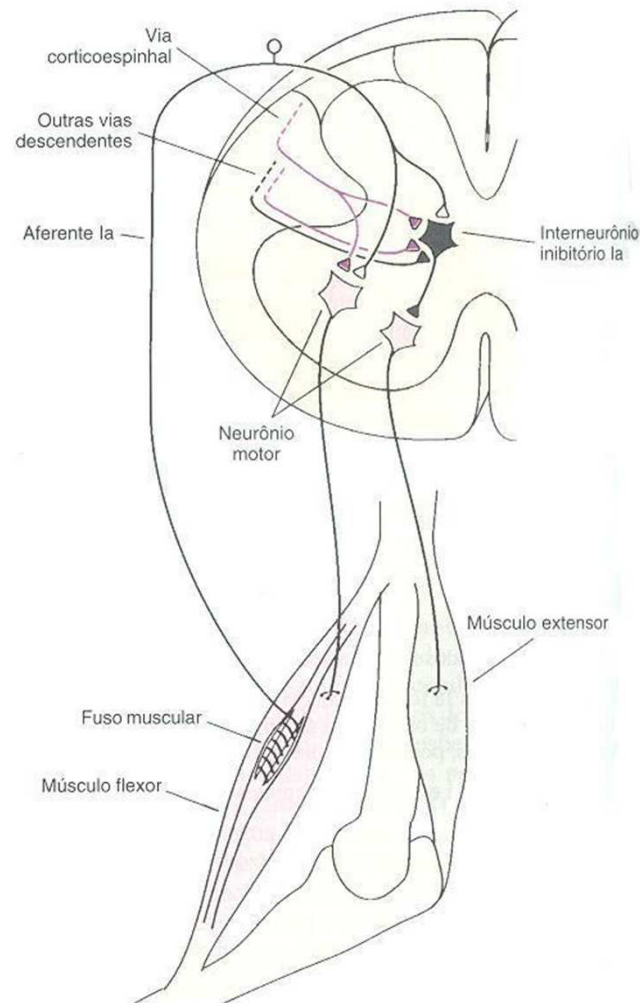
Reflexo flexor – Reflexo extensor cruzado

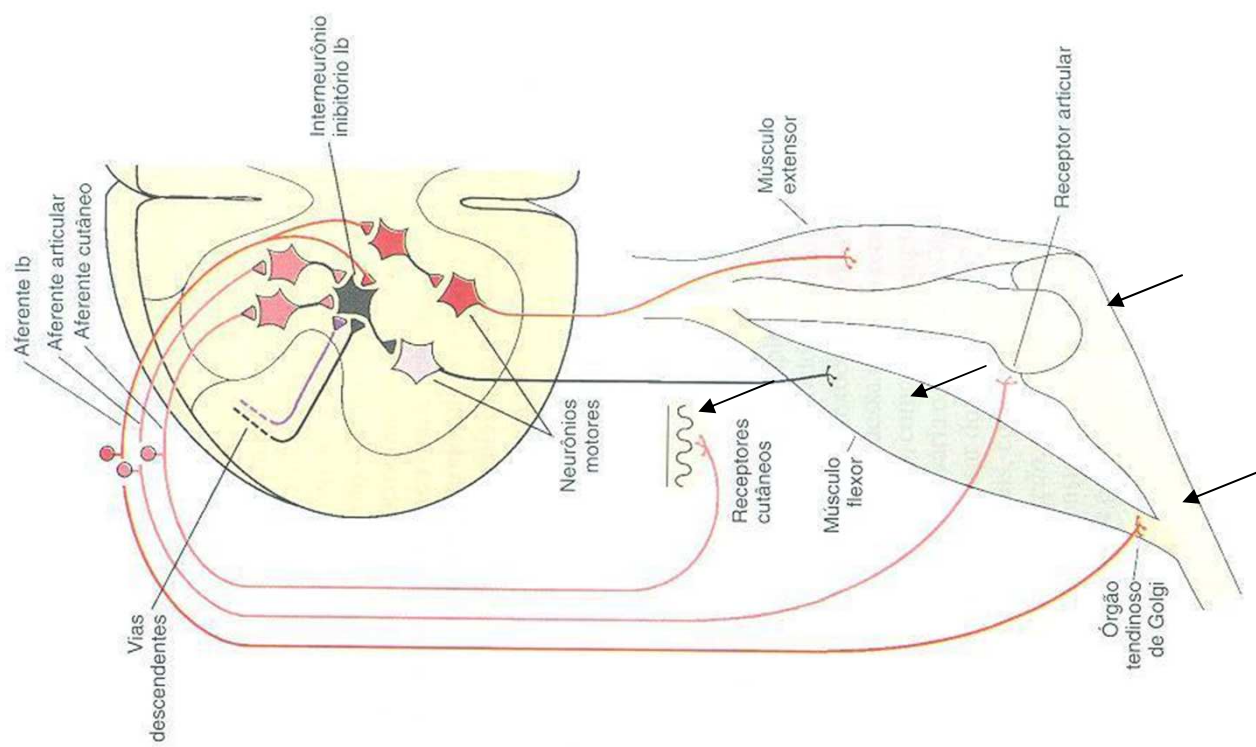


Reflexo extensor cruzado



Os centros motores superiores coordenam a ação motora com um comando para os neurônios inibitórios





Unidade motora

- **princípio do tudo ou nada**
- **proporção de inervação**

Unidade motora

- **características das unidades motoras**
(fibras L-R-I)
- **propriedades dos neurônios motores**
 - 1-diâmetro - velocidade condução
 - 2-neurônios motores de unidades motoras lentas excitam a baixas frequências

Unidade motora

- **graduação da força**
corpo celular menor – limiar + baixo
princípio do tamanho
- **padrão de ativação**
sincrônico
assincrônico

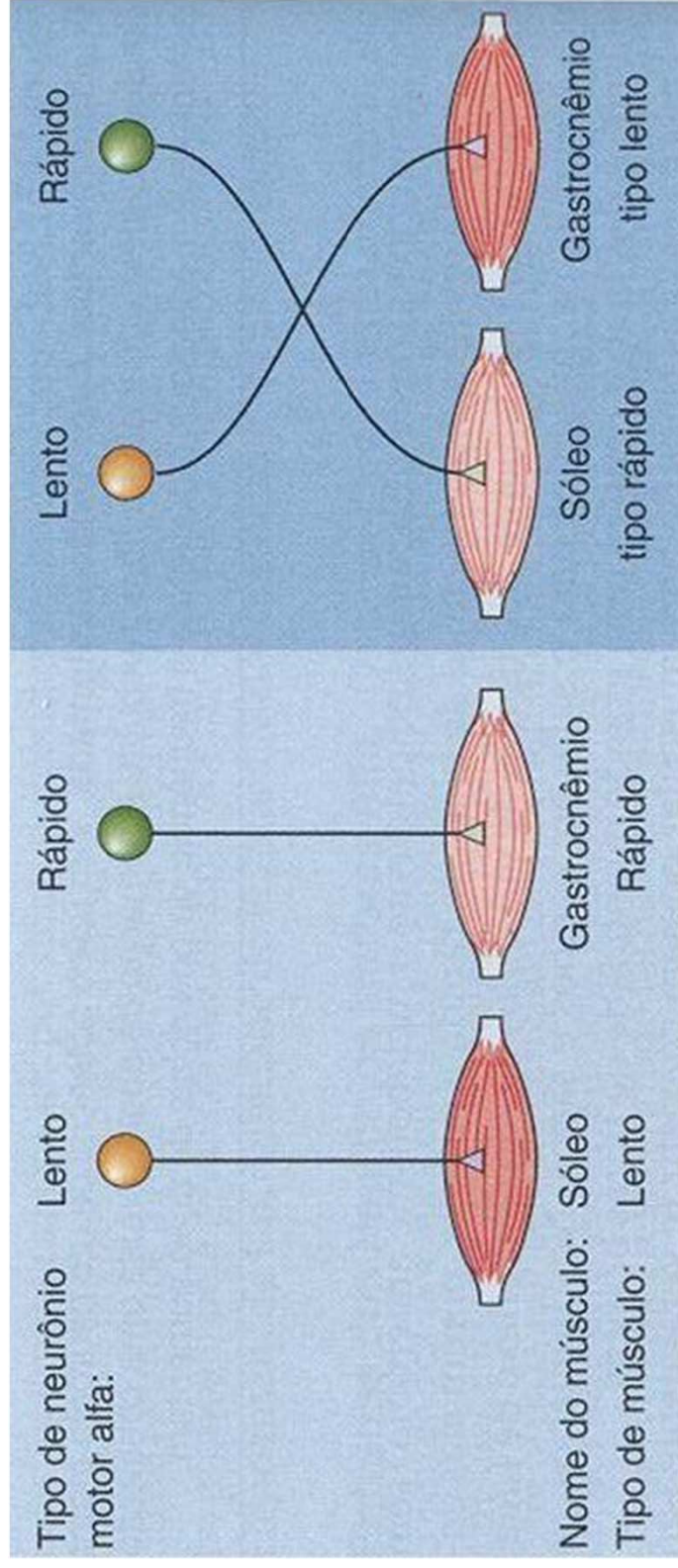
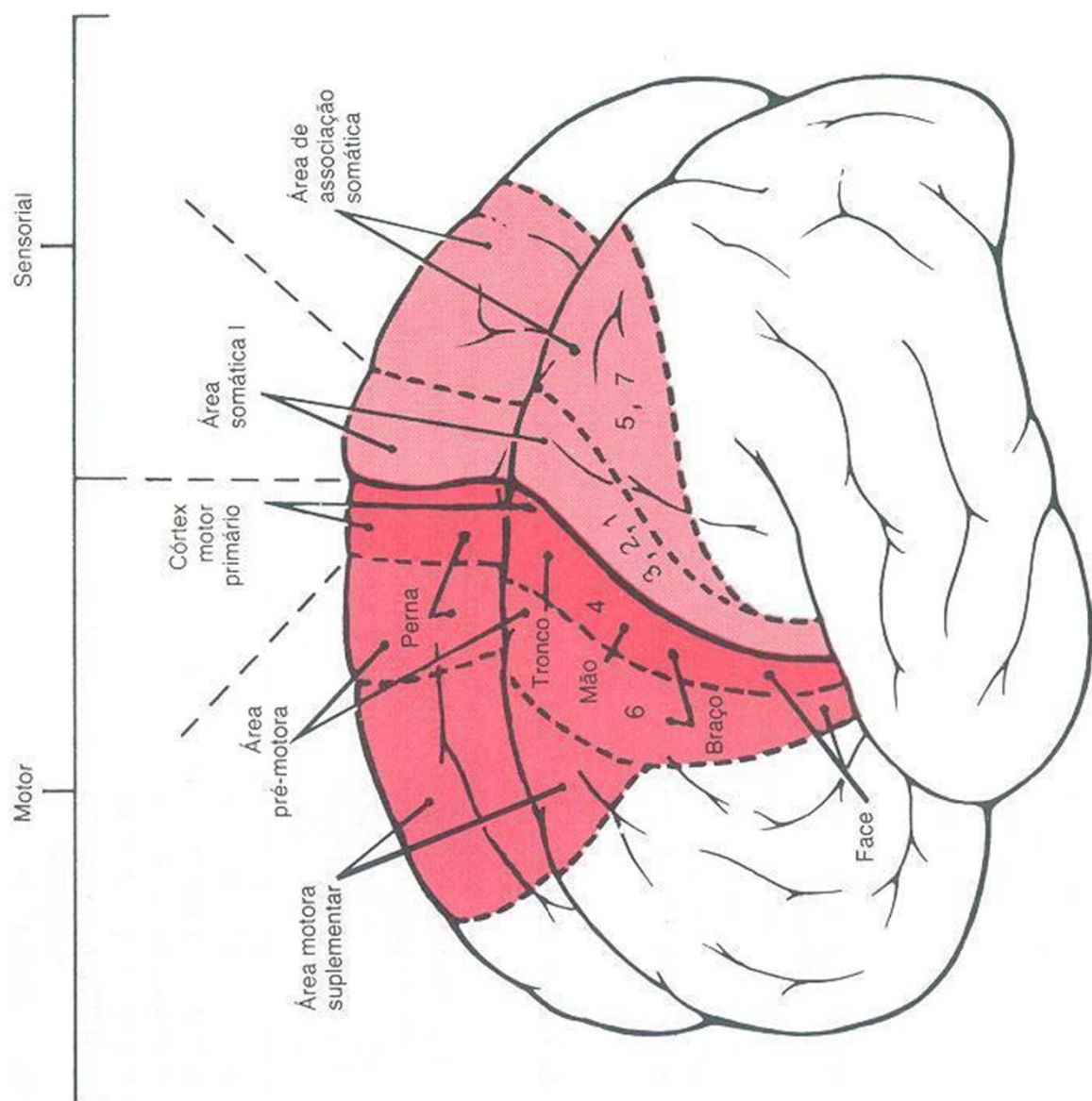


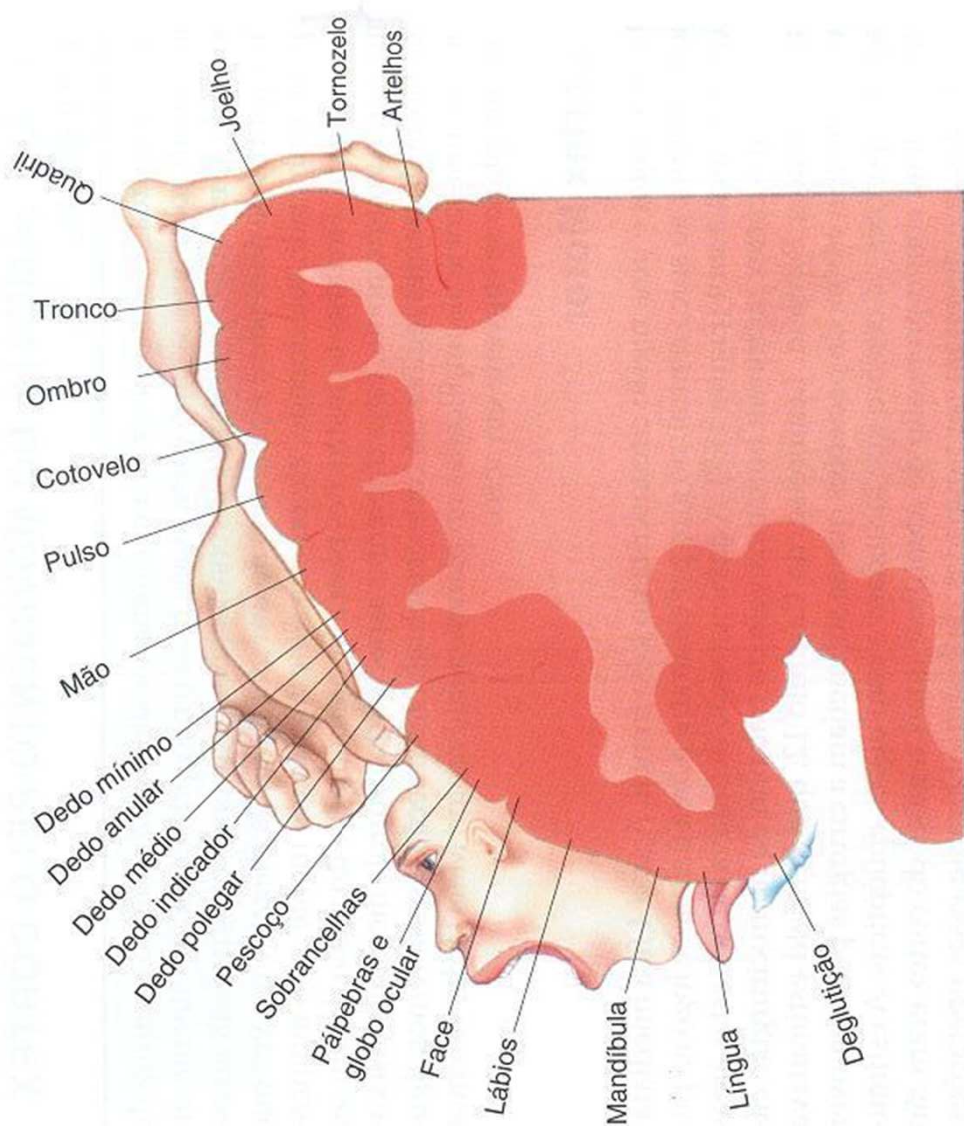
Tabela 11.2
Os Tipos de Unidades Motoras e sua Correlação com as Fibras Musculares

<i>Propriedades</i>	<i>Tipo L</i>	<i>Tipo RF</i>	<i>Tipo RRF</i>
Fibras musculares	L	R	Intermediárias
Motoneurônios	Pequenos	Grandes	Médios
Axônios	Finos	Calibrosos	Médios
Limiar de excitabilidade	Baixo	Alto	Médio
Velocidade de condução	Baixa	Alta	Média
Frequência de disparo	Baixa	Alta	Média
Tempo de contração	Longo	Curto	Intermediário
Velocidade de contração	Lenta	Rápida	Rápida
Força contrátil	Pequena	Grande	Média
Resistência à fadiga	Alta	Baixa	Alta

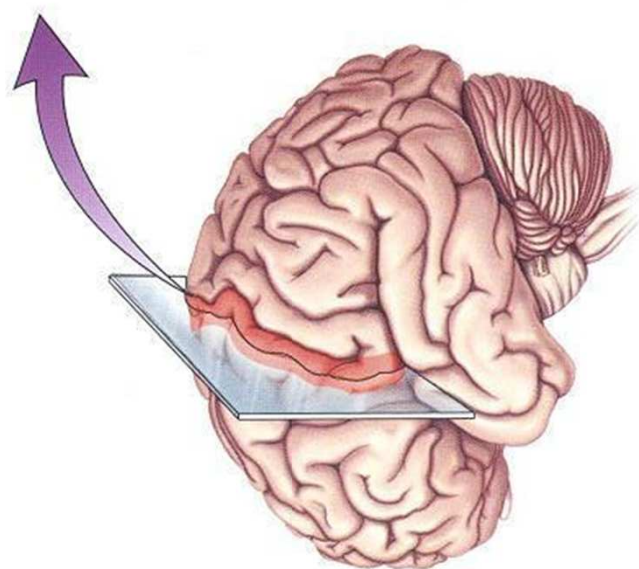
Córtex Motor





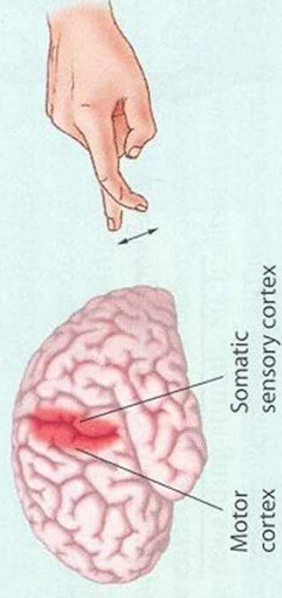


Um mapa somatotópico do giro pré-cen-tral humano.

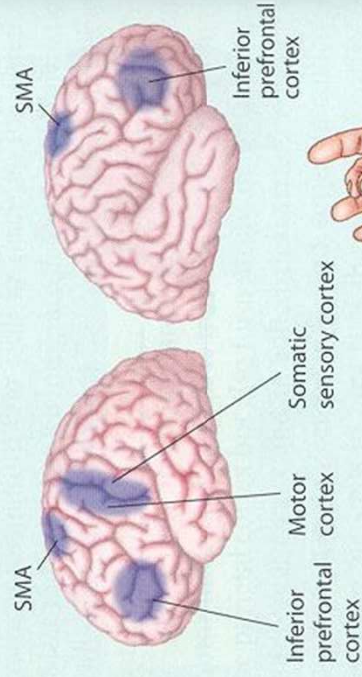




Simple flexion performed with right index finger

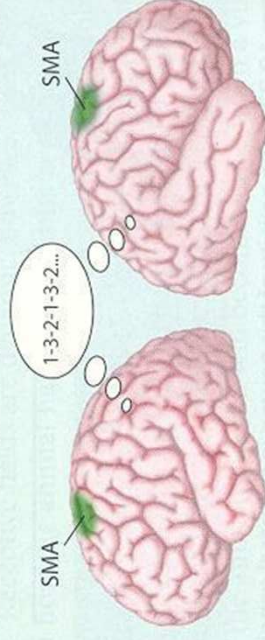


Movement sequence performed with fingers of right hand



1-3-2-1-3-2...

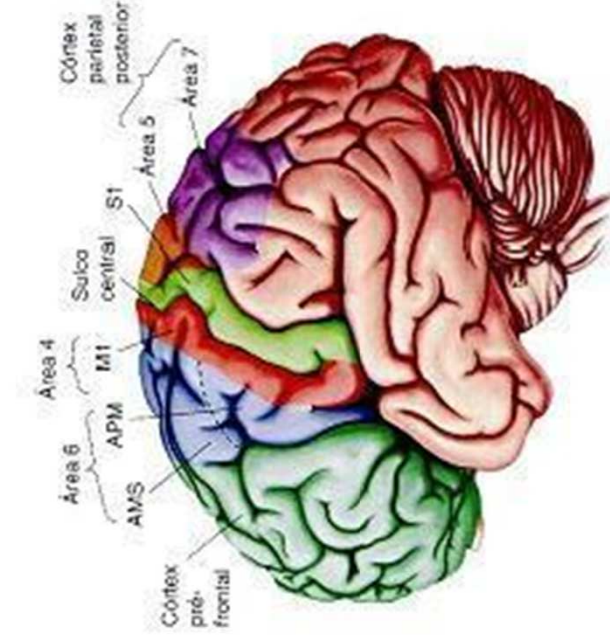
Movement sequence imagined with fingers of right hand



Critérios para a classificação das áreas motoras corticais

Uma área motora deve

- projetar e receber de outras regiões motoras
- provocar distúrbios motores quando lesada
 - provocar movimentos quando estimulada
- possuir atividade neural e fluxo sanguíneo aumentados, precedendo e acompanhando a execução dos movimentos



Área Motora primária

M1 - execução dos movimentos voluntários

Área Pré-Motora

PM - planejamento dos movimentos voluntários
(UM Proximais)

Área Motora Suplementar

MS - planejamento dos movimentos voluntários
(UM Distais)

Área Motora Cingulada

MC - participa de movimentos que têm conotação emocional

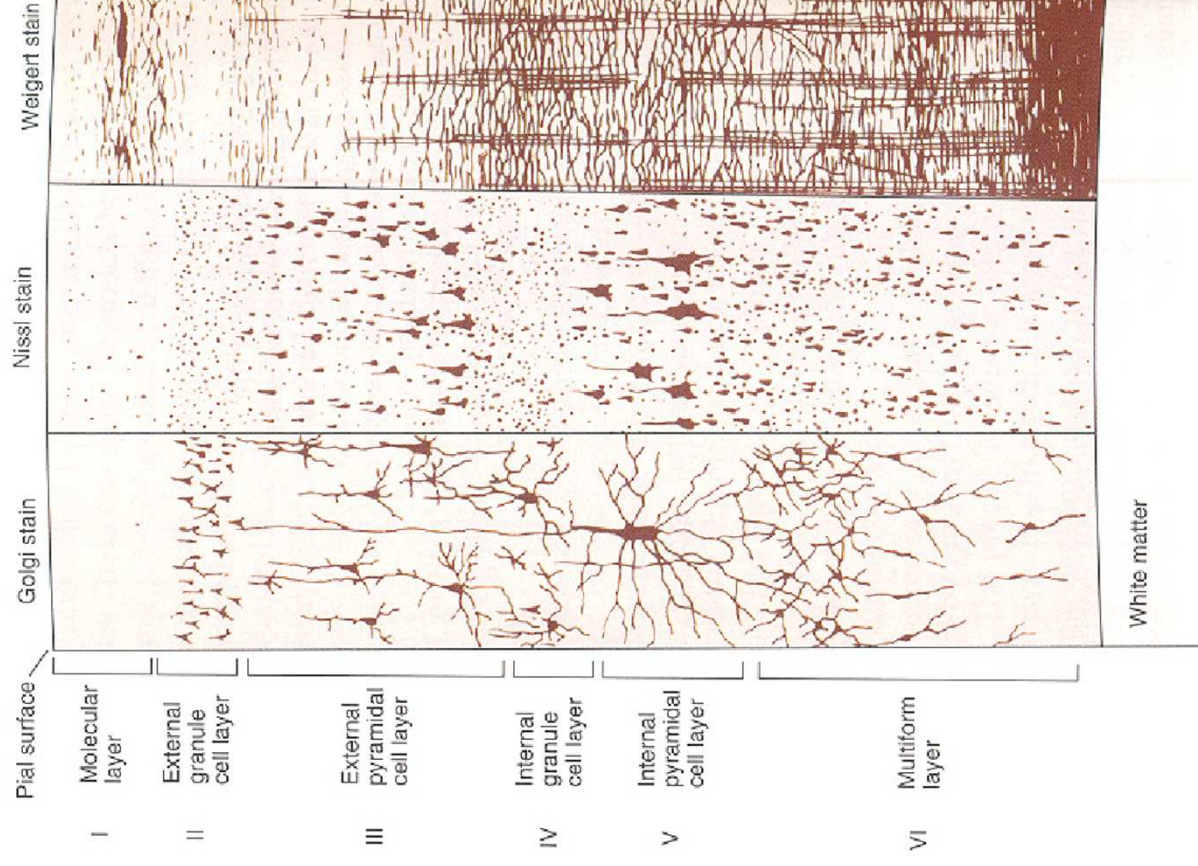
Quem são as unidades de comando no córtex
Onde se encontram?

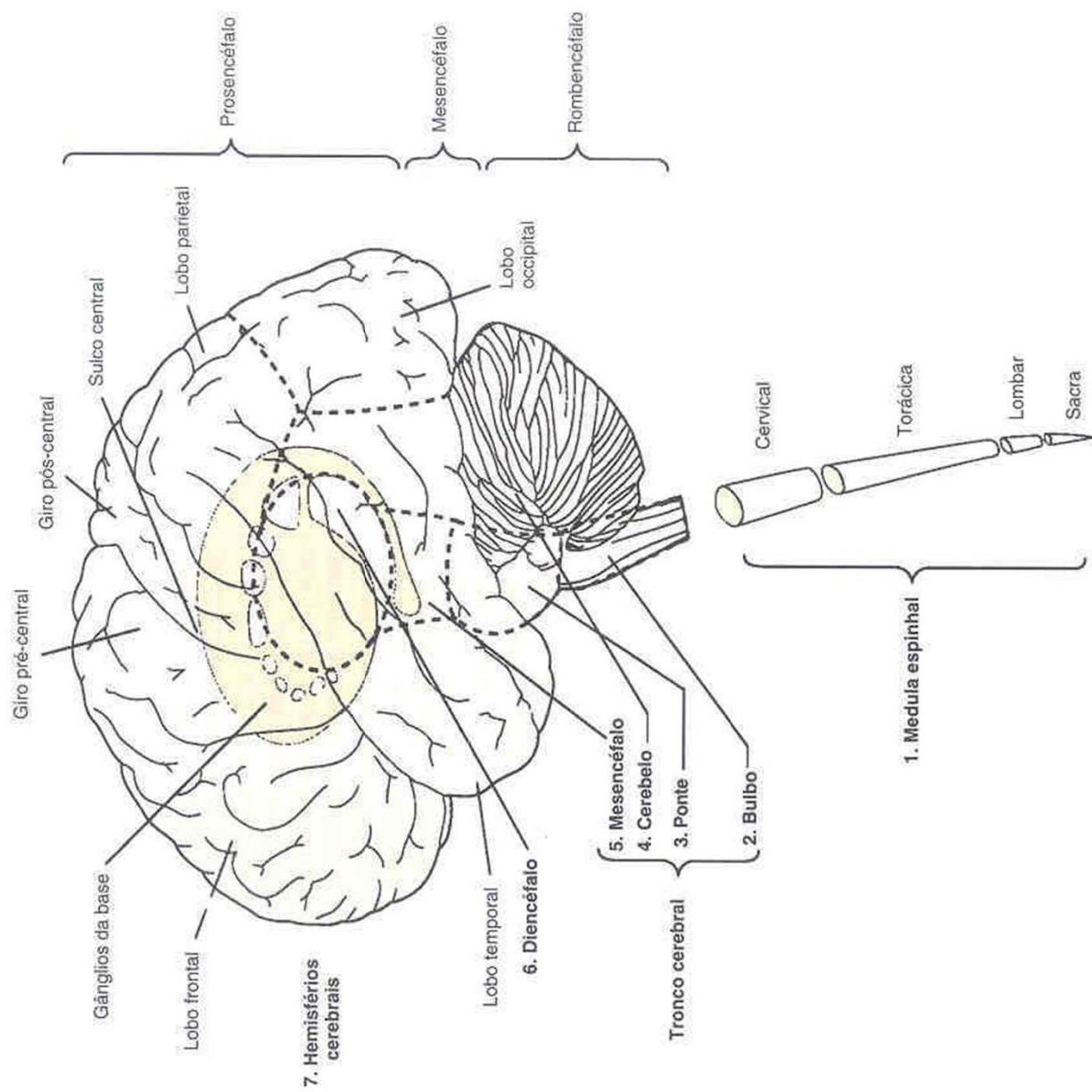
Células Gigantes de Betz

População de neurônios piramidais grandes ($\varnothing=100\mu\text{m}$)
Camada cortical V

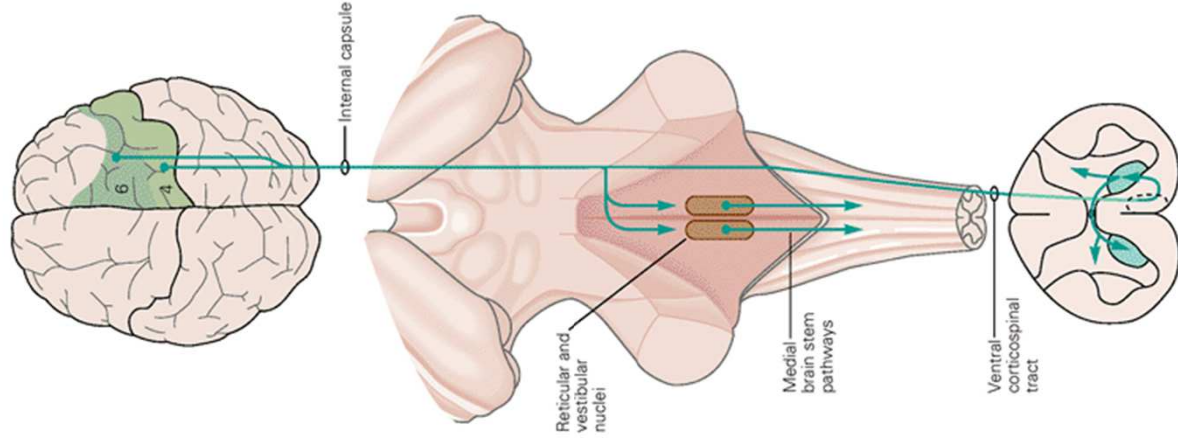
Aferências: Tálamo (VLc) – [que recebe aferências do cerebelo]
Outras áreas corticais (6, 3, 2 e 1)

Eferências: Medula
Colaterais para outras regiões subcorticais
[processamento sensorio-motor]

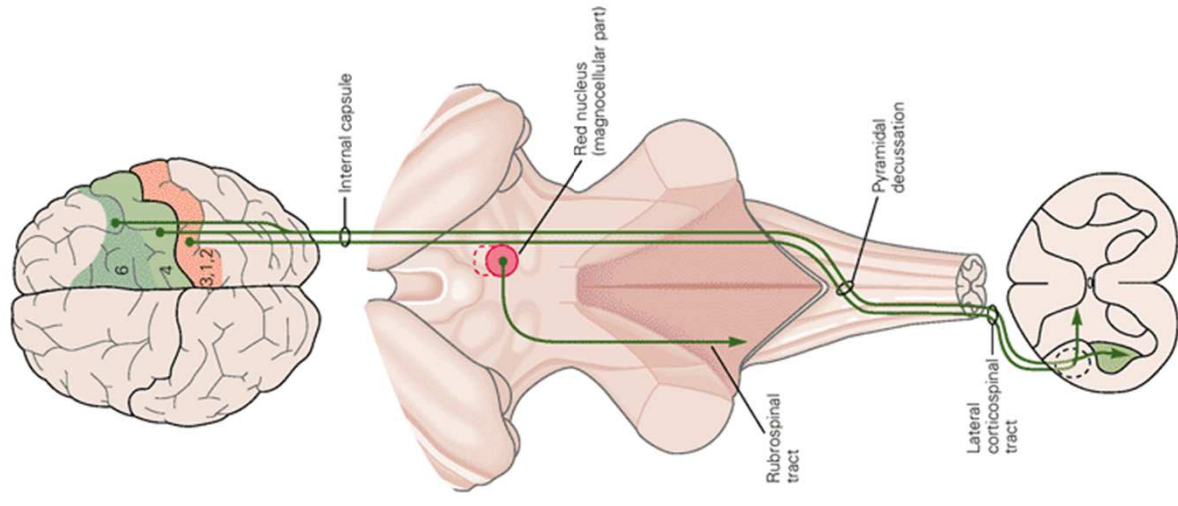




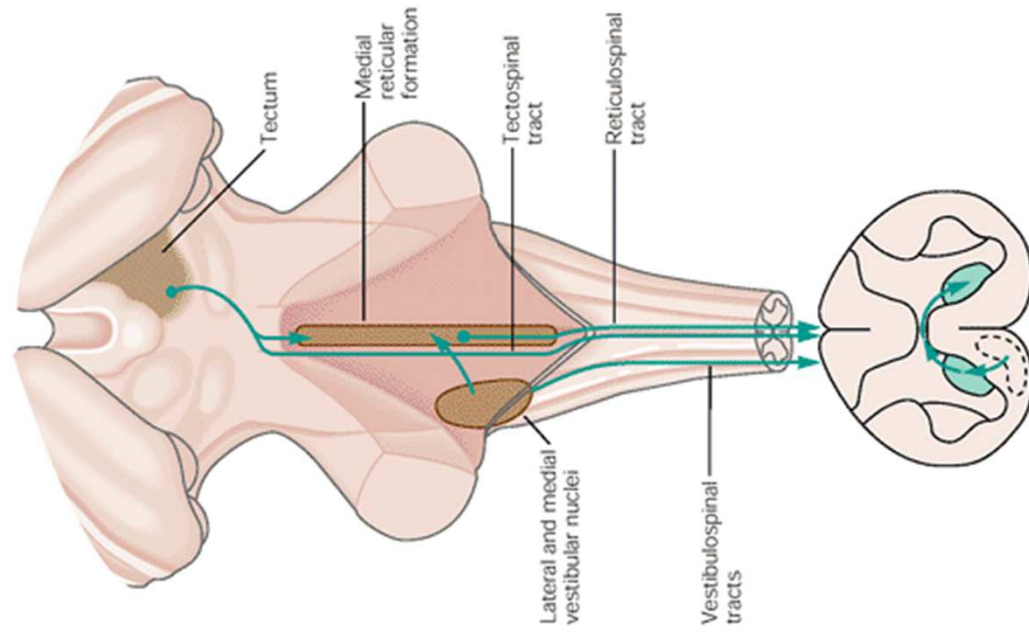
A Ventral corticospinal tract



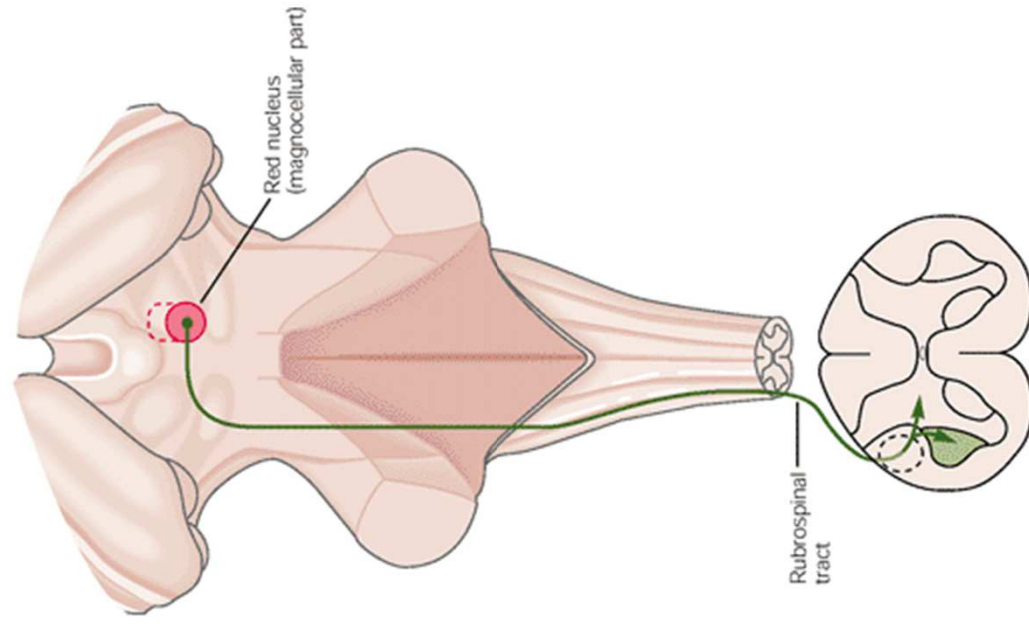
B Lateral corticospinal tract



A Medial brain stem pathways



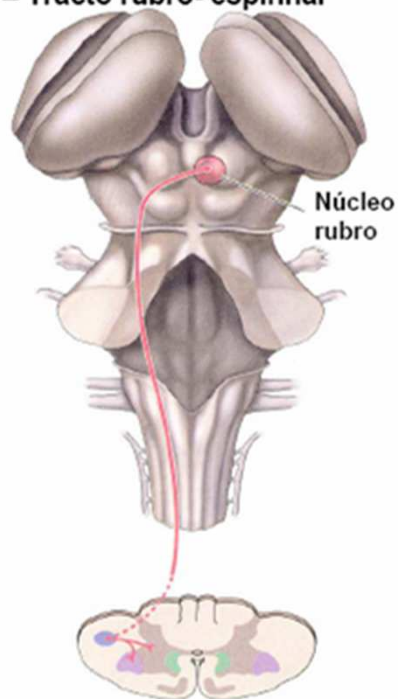
B Lateral brain stem pathways



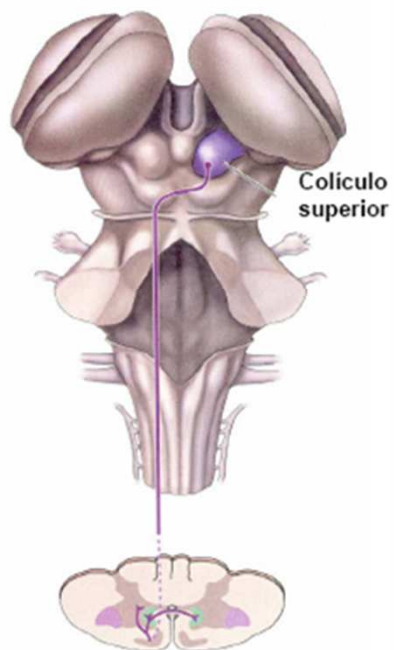
Via descendente lateral

Vias descendentes mediais

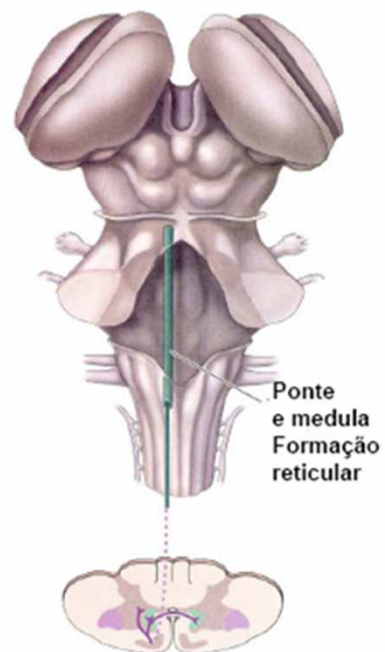
B – Tracto rubro-espinal



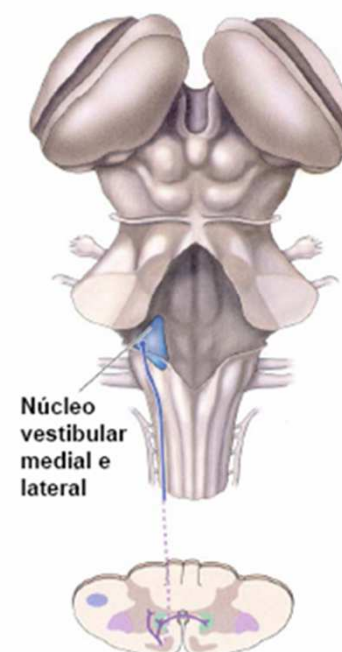
A – Tracto tecto-espinal
Músculos do pescoço

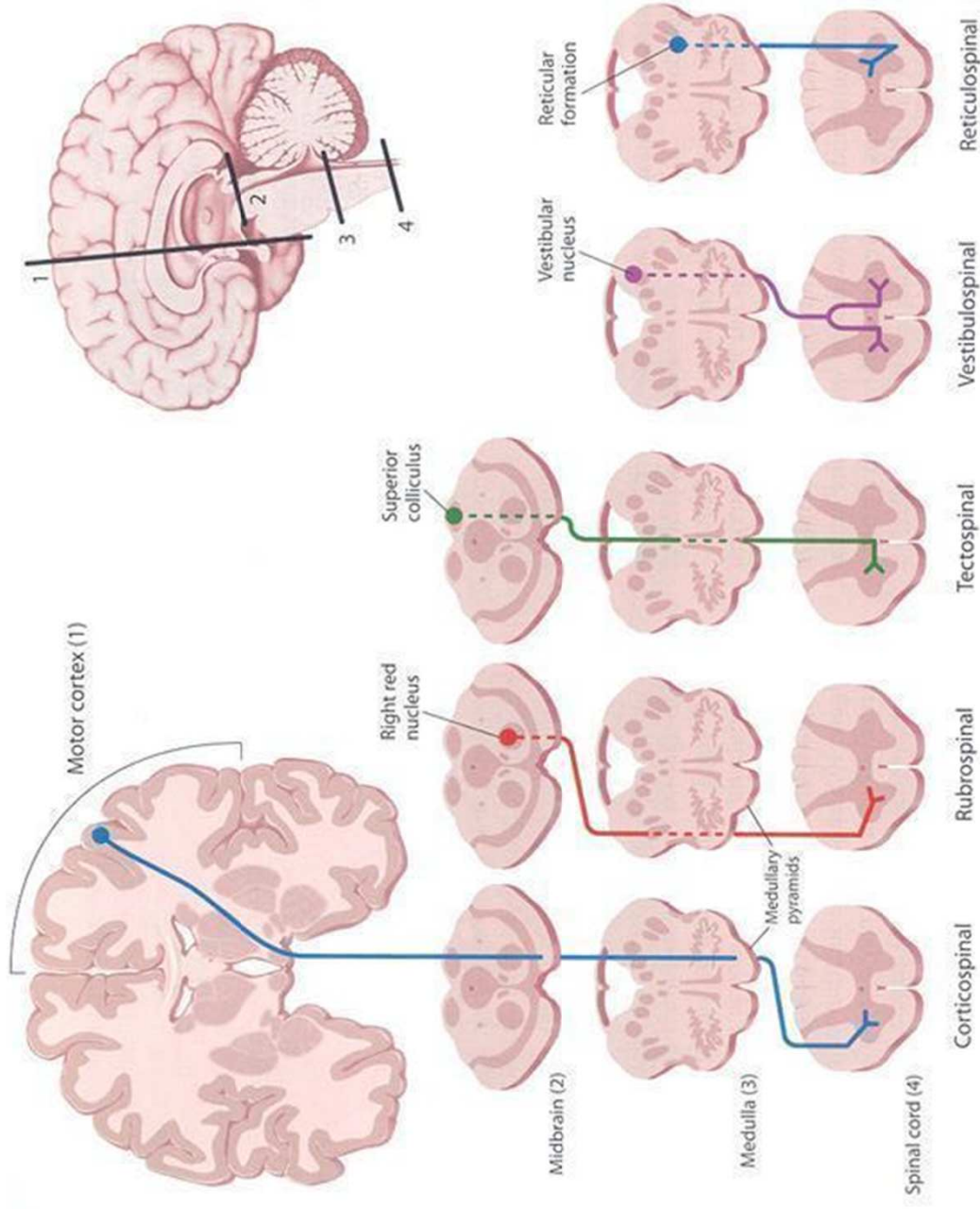


B – Tracto retículo-espinal
Postura

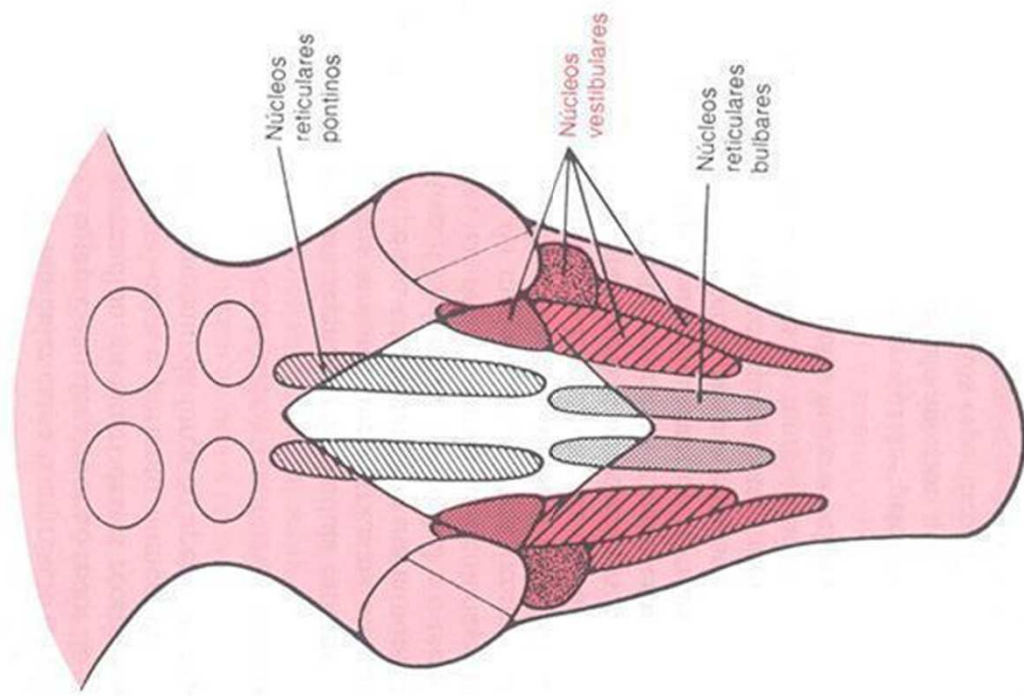


C – Tractos vestibulo-espinal
Postura e equilíbrio

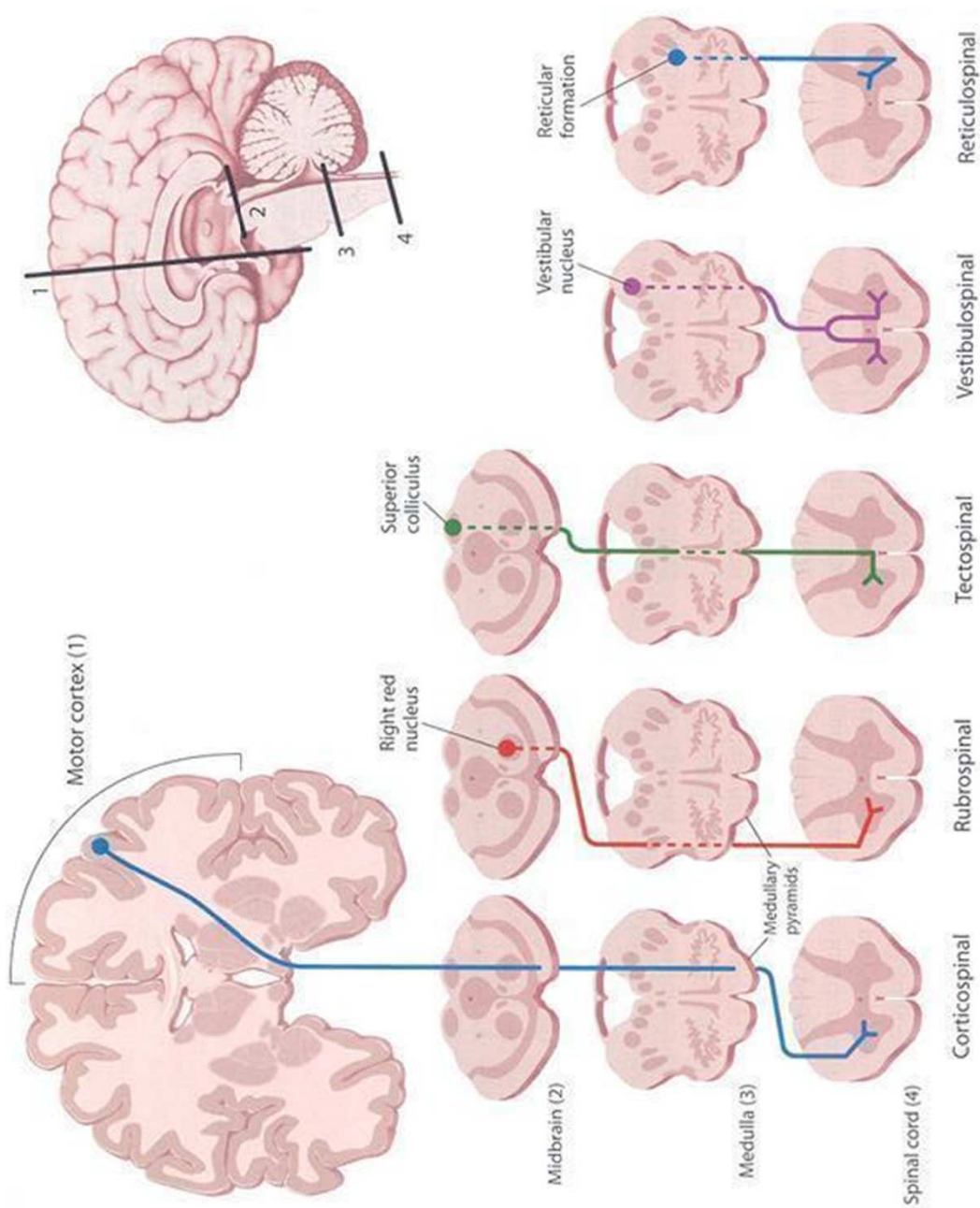




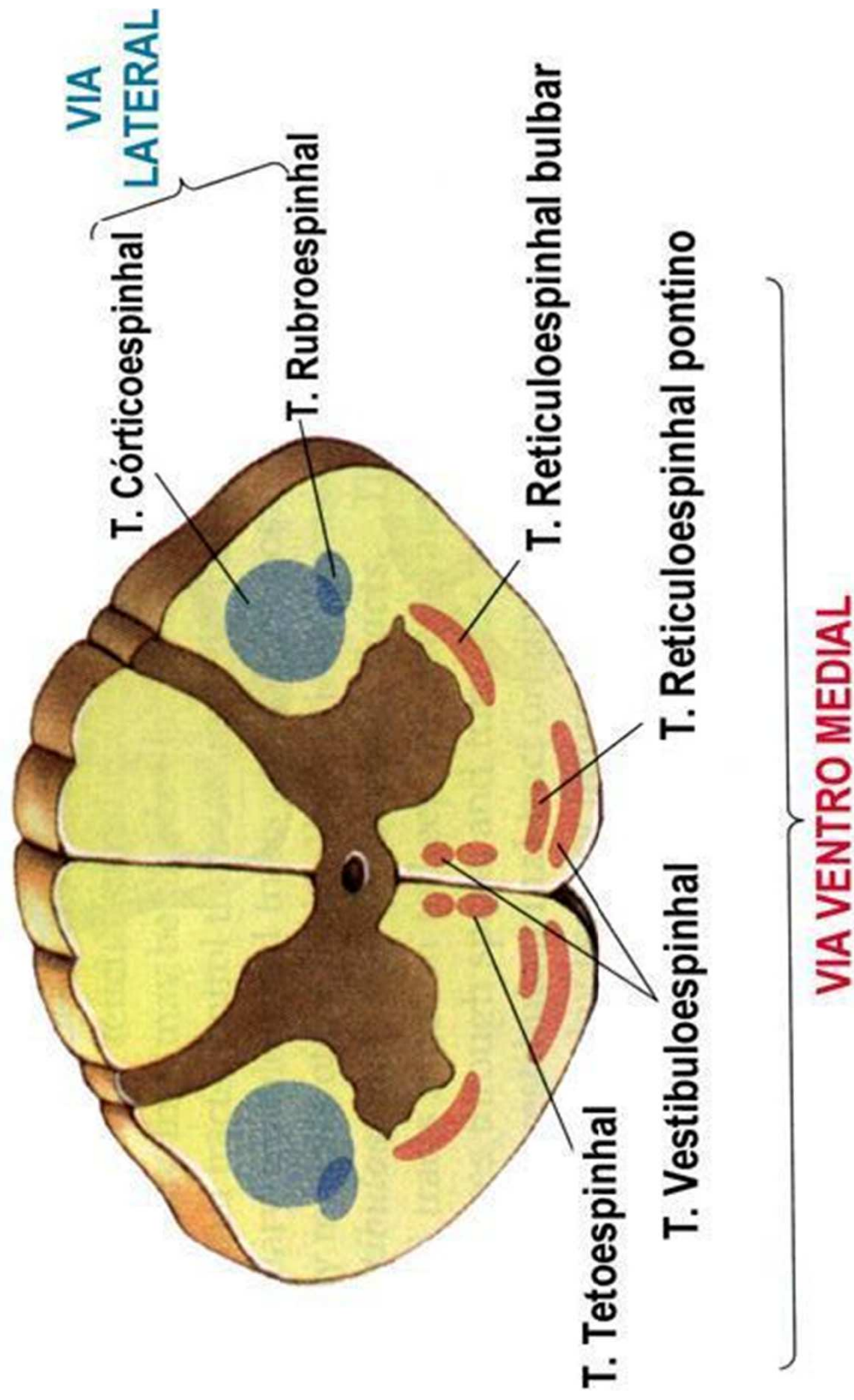
The brain innervates the spinal cord via the pyramidal and extrapyramidal tracts. The pyramidal, or cortico-spinal tract originates in the cortex, and almost all of the fibers cross over to the contralateral side at the pyramids. Extrapyramidal tracts originate in various subcortical nuclei, and terminate in both contralateral and ipsilateral regions of the spinal cord. Adapted from Bear et al. (1996).



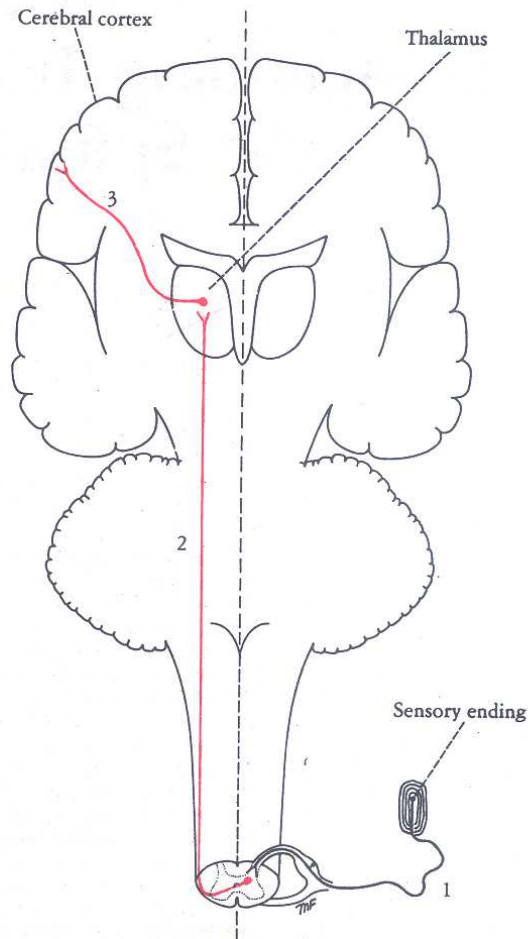
Localização dos núcleos reticulares e vestibulares no tronco cerebral.



The brain innervates the spinal cord via the pyramidal and extrapyramidal tracts. The pyramidal, or cortico-spinal tract originates in the cortex, and almost all of the fibers cross over to the contralateral side at the pyramids. Extrapyramidal tracts originate in various subcortical nuclei, and terminate in both contralateral and ipsilateral regions of the spinal cord. Adapted from Bear et al. (1996).

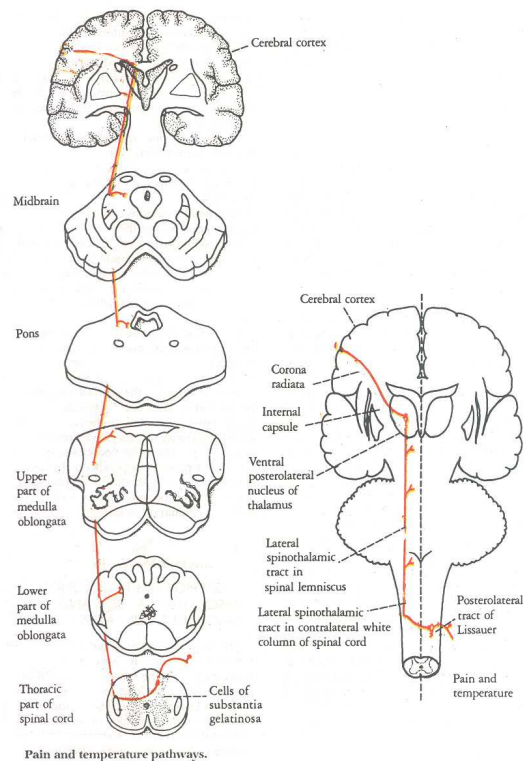


Vias ascendentes

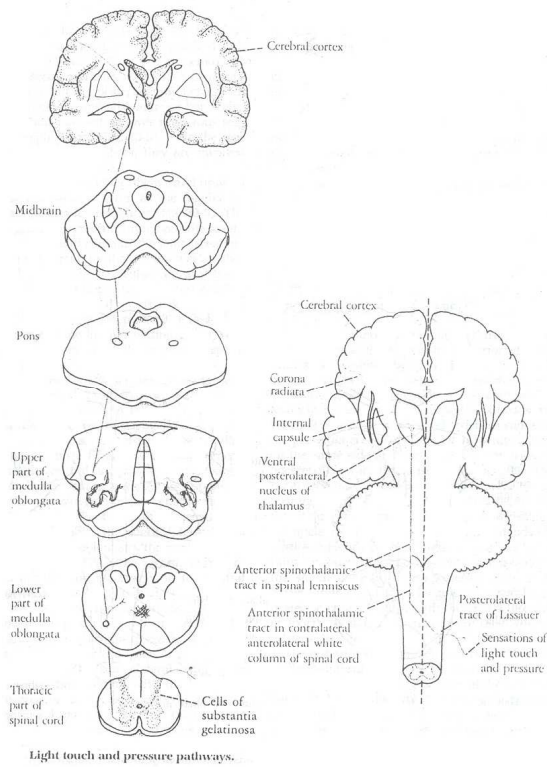


Forma simplificada das vias ascendentes
(de uma terminação nervosa para o córtex cerebral)

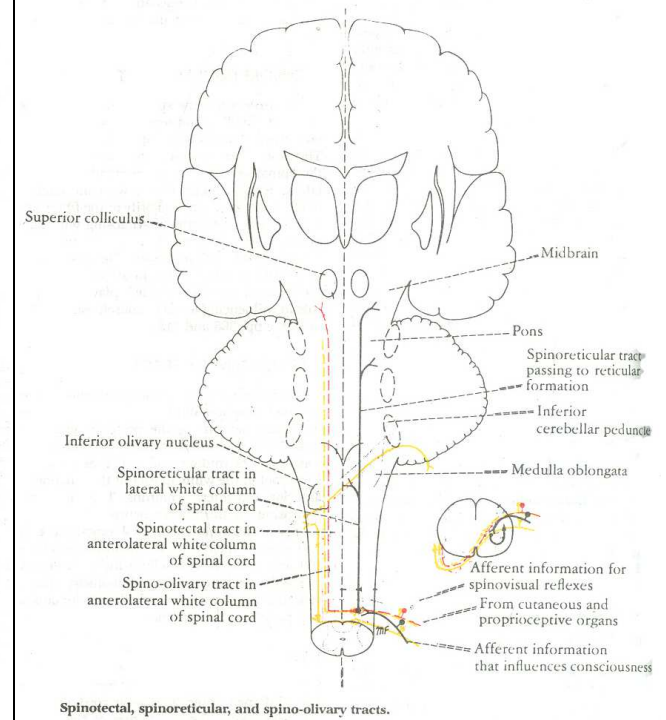
Vias de temperatura e dor

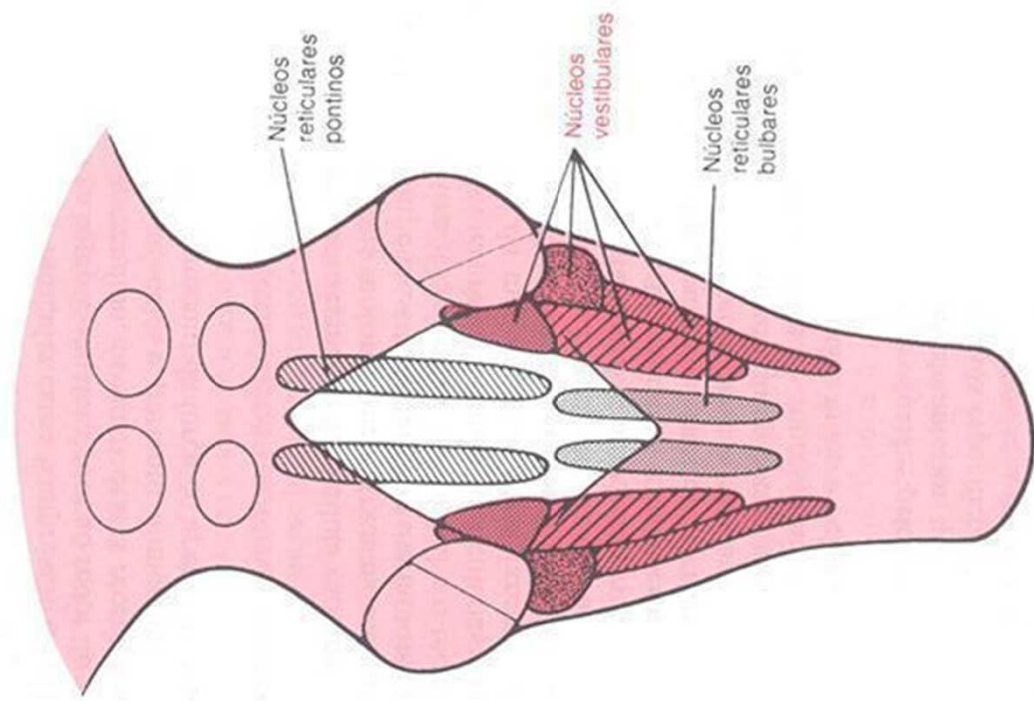


Vias de tato e pressão

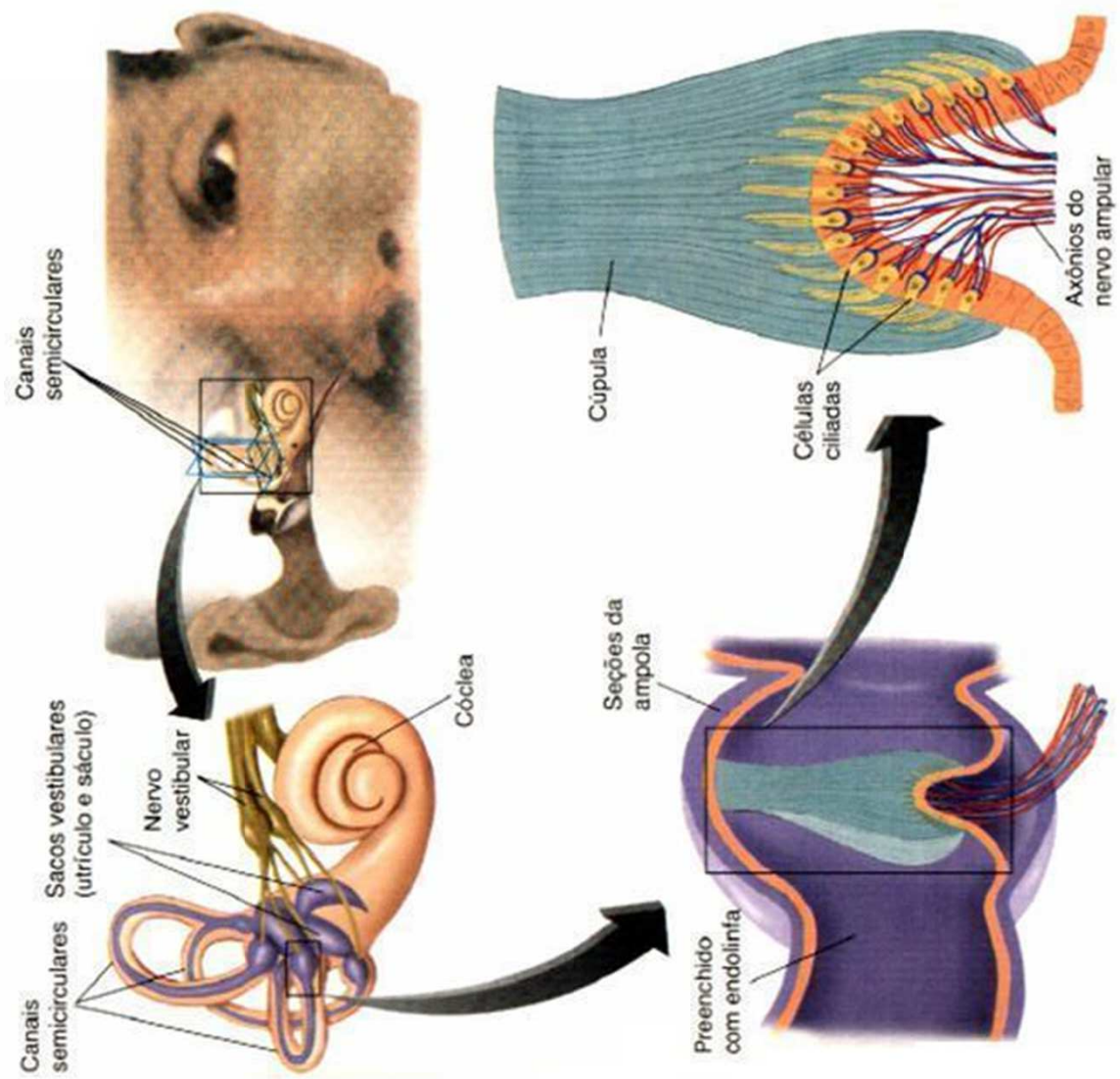


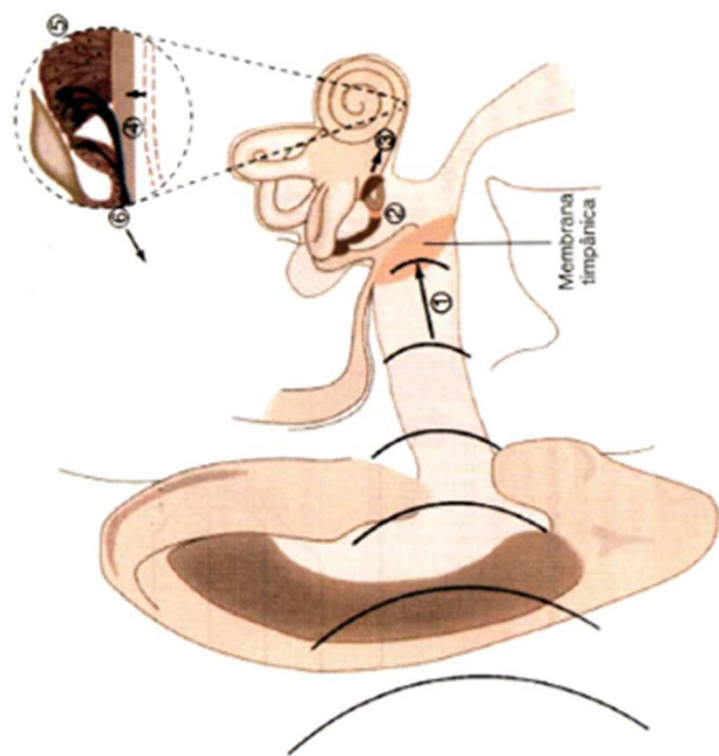
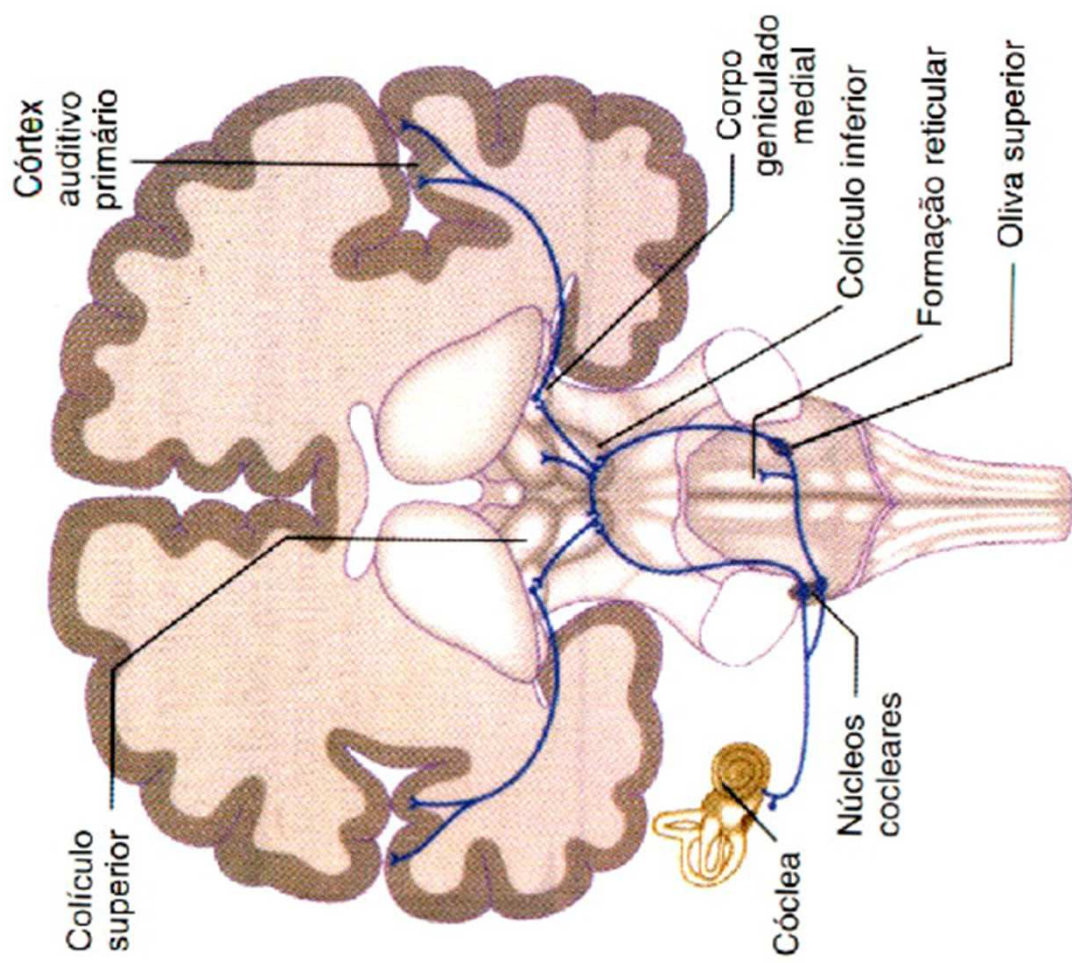
Vias espino-tectal, espino-reticular e espino-olivar



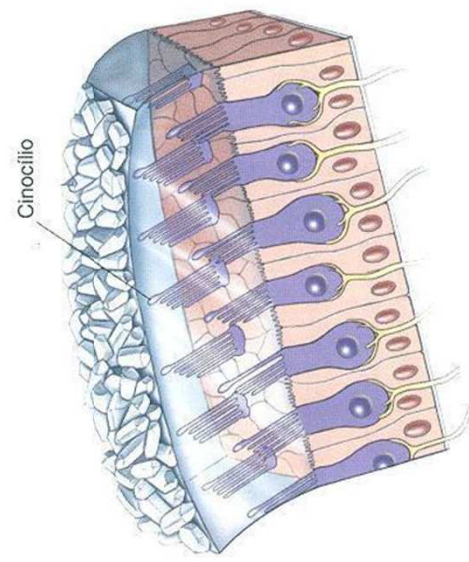
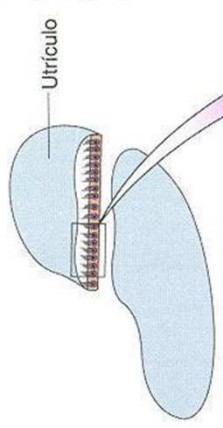


Localização dos núcleos reticulares e vestibulares no tronco cerebral.

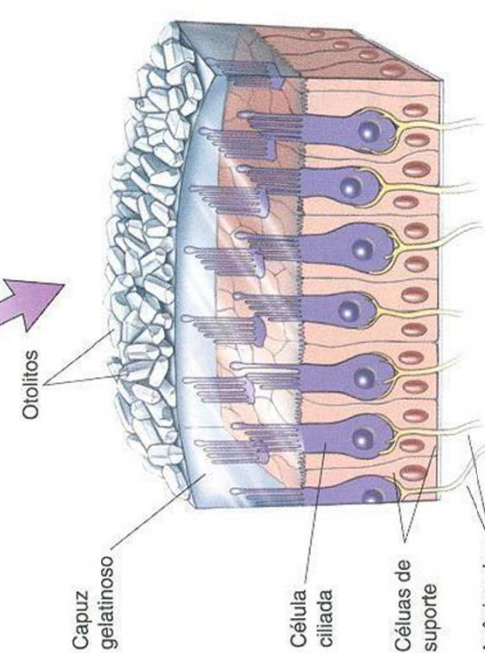




Células ciliadas da mácula respondendo à inclinação. Quando a mácula do utrículo está no plano horizontal (cabeça aprumada), os cílios das células ciliadas também permanecem retos. Quando a cabeça e a mácula inclinam-se, a gravidade puxa os otólitos para baixo, o que deforma o capuz gelatinoso e encurva os cílios.

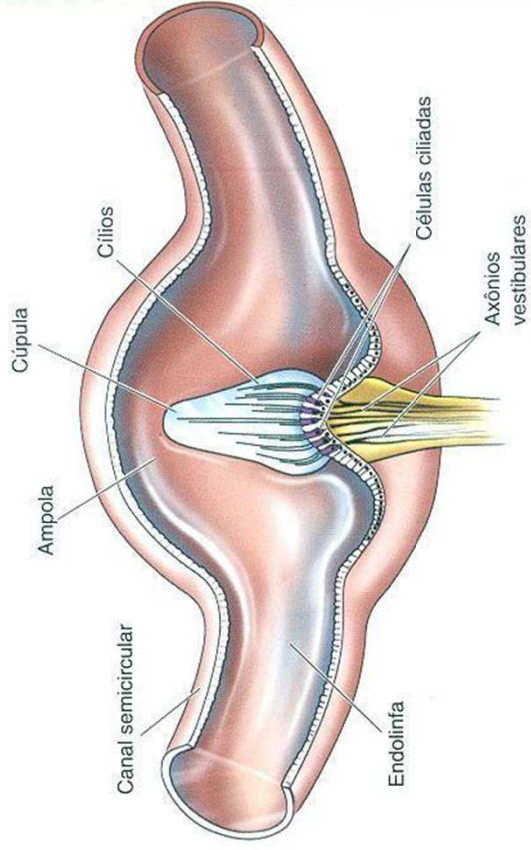


Cabeça inclinada

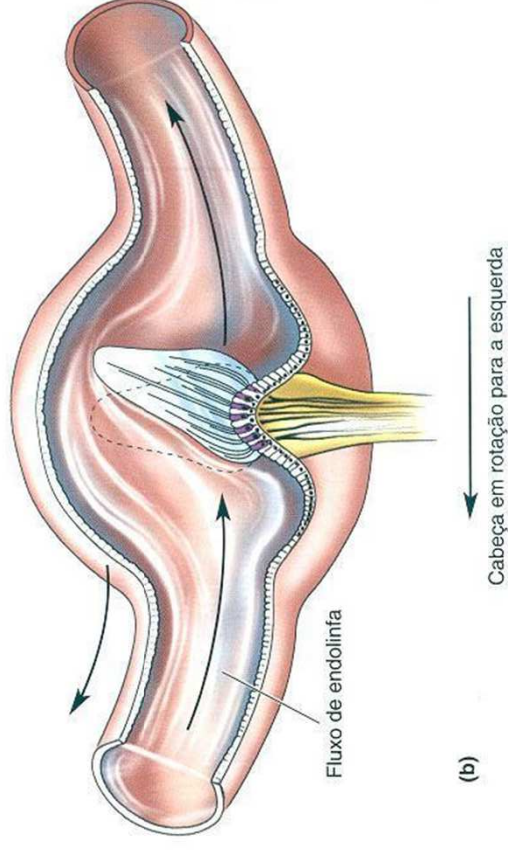


Cabeça aprumada

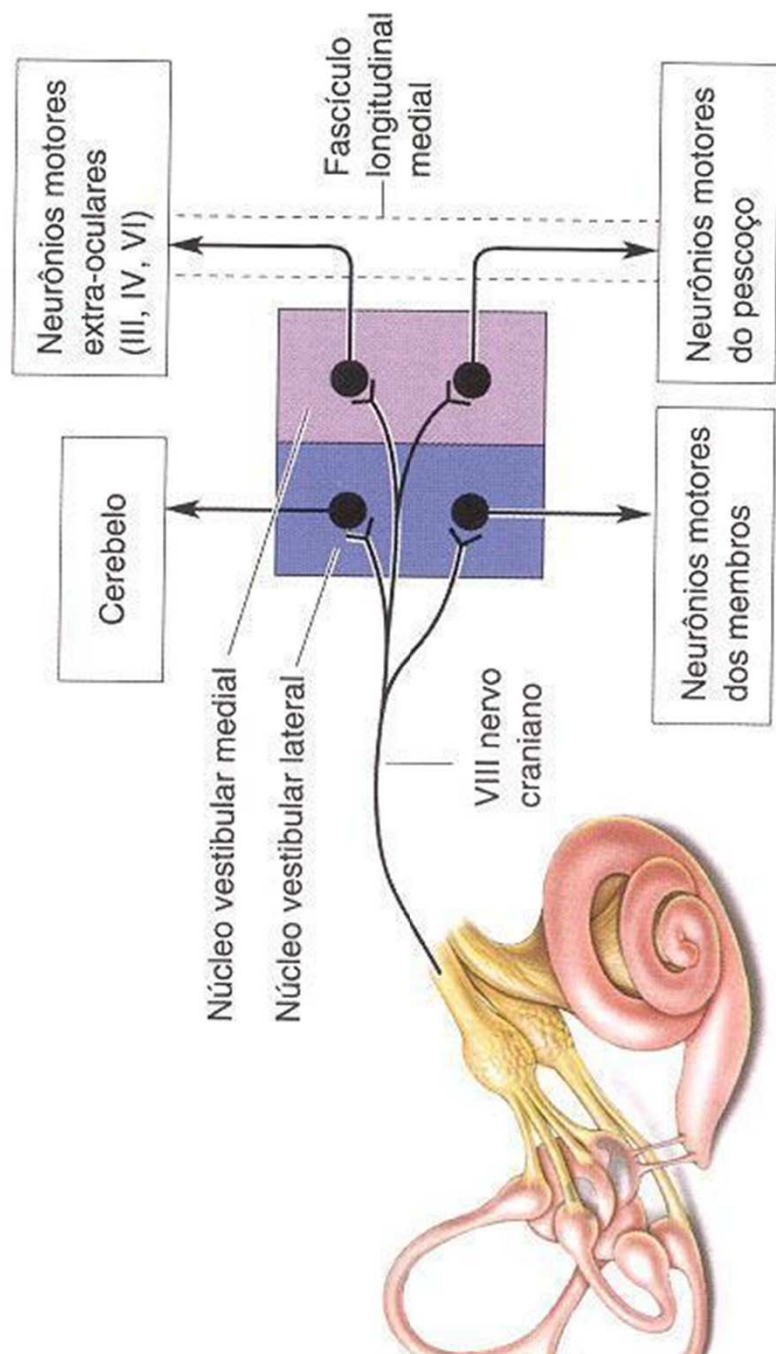
Uma secção transversal através da ampola de um canal semicircular. (a) Os cílios das células ciliadas penetram na cúpula gelatinosa, a qual está banhada pela endolinfa que preenche os canais. (b) Quando os canais rotam para a esquerda, a endolinfa atira-se e aplica uma força de sentido oposto sobre a cúpula, dobrando os cílios situados no seu interior.



(a) Cabeça em repouso

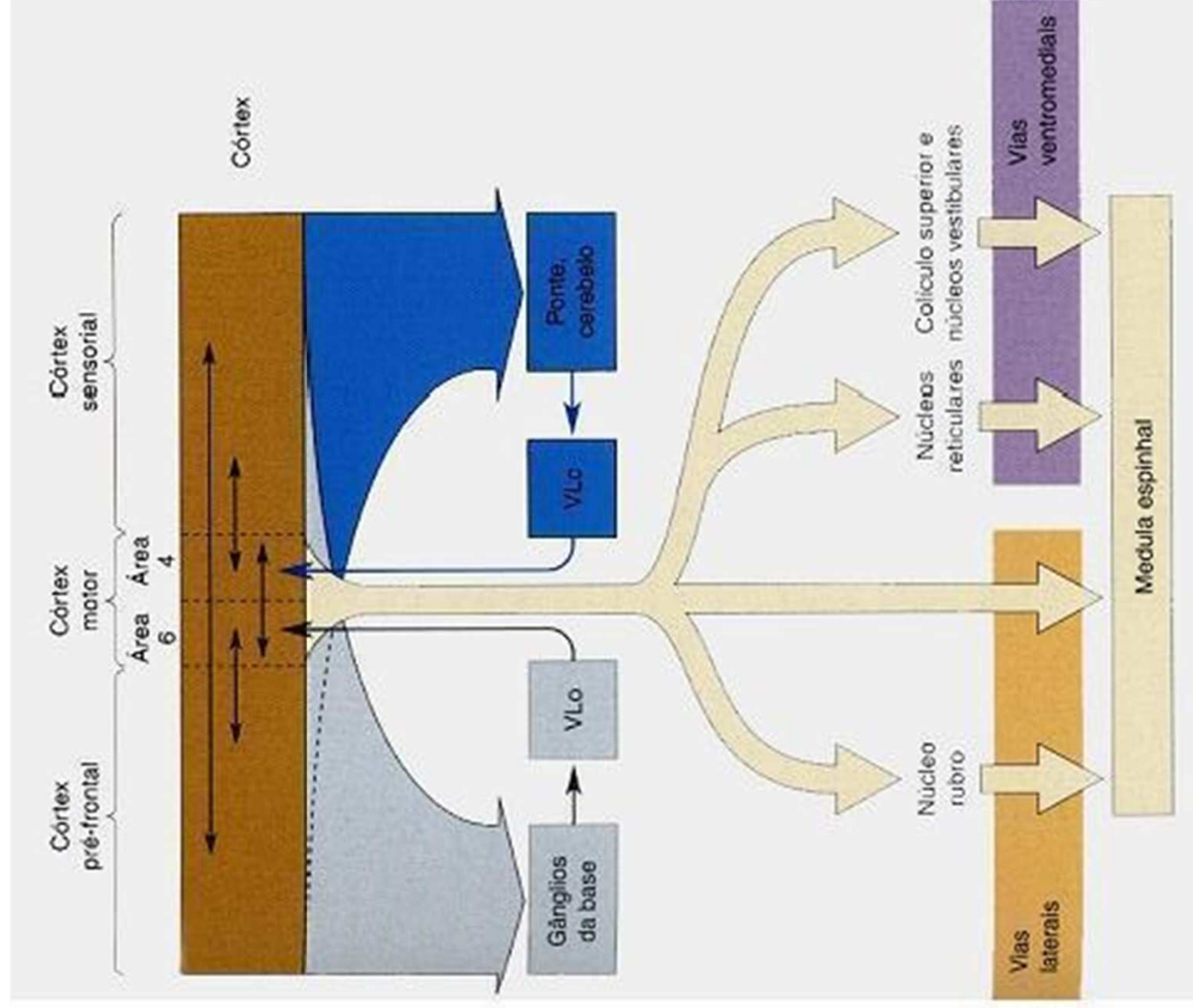


(b)



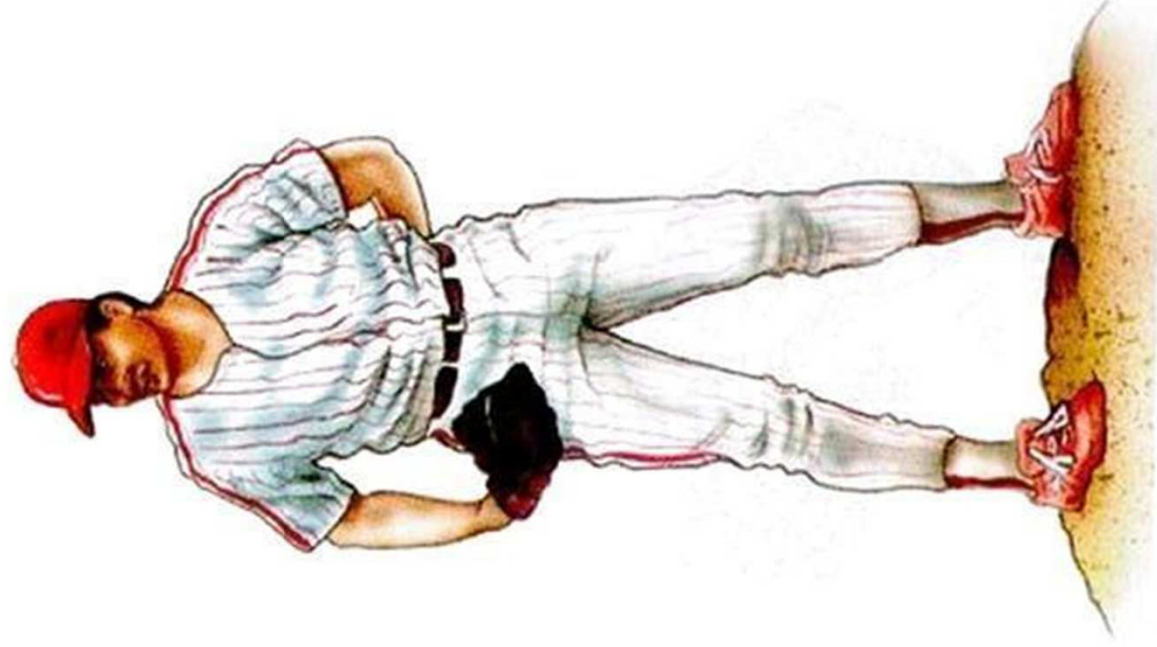
Movimento Voluntário

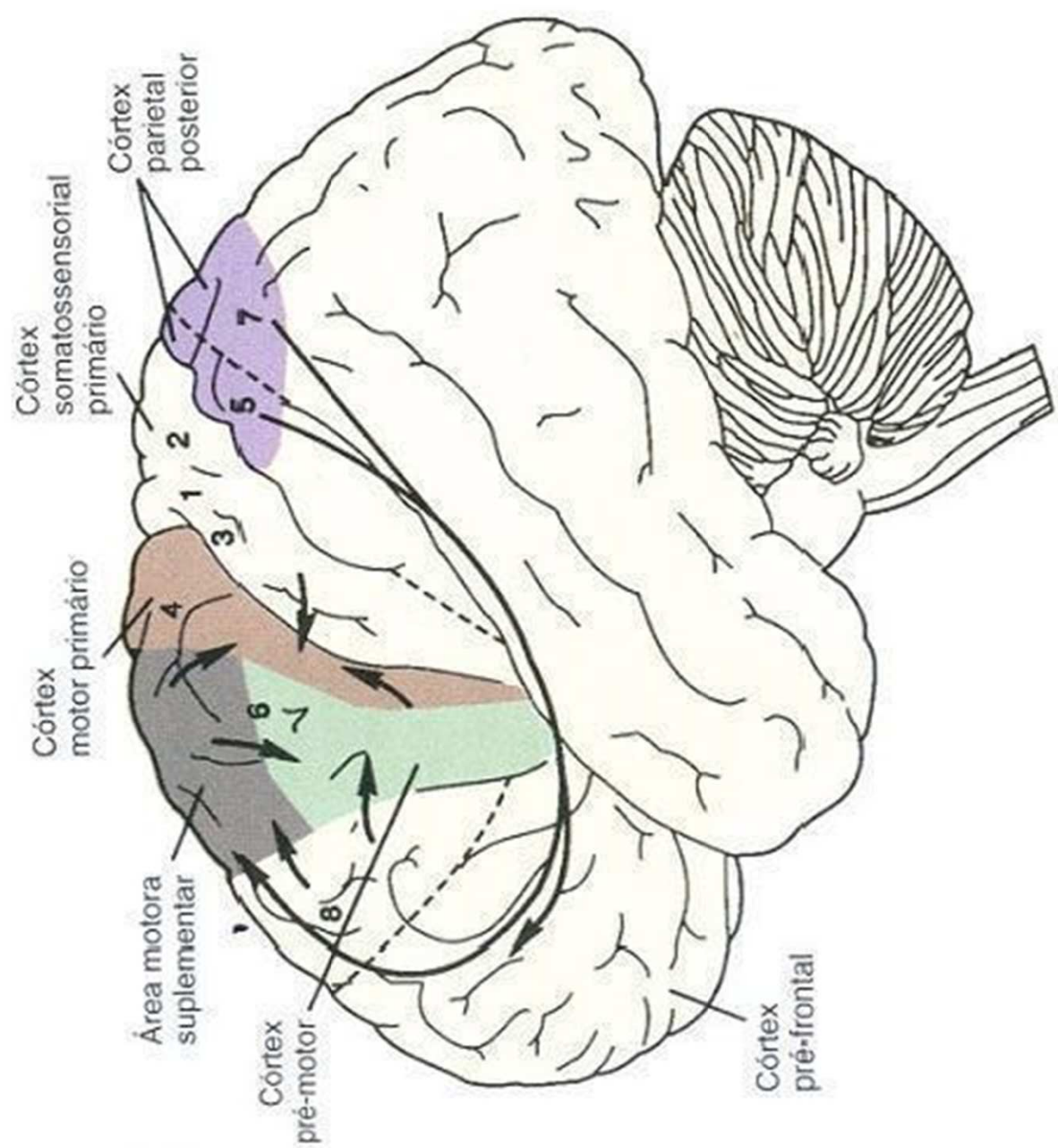
Planejamento Execução Controle

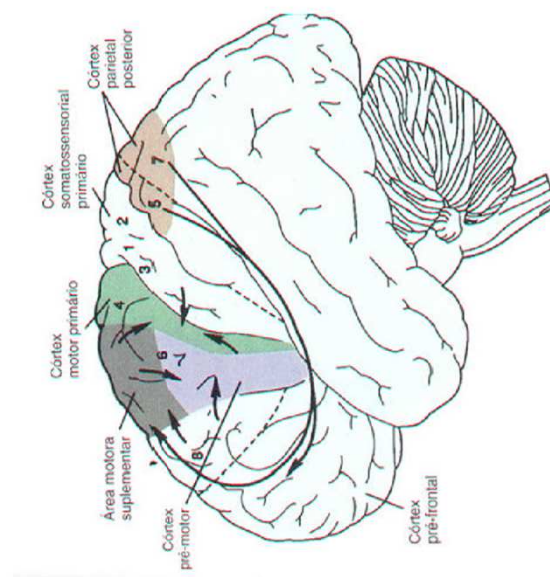
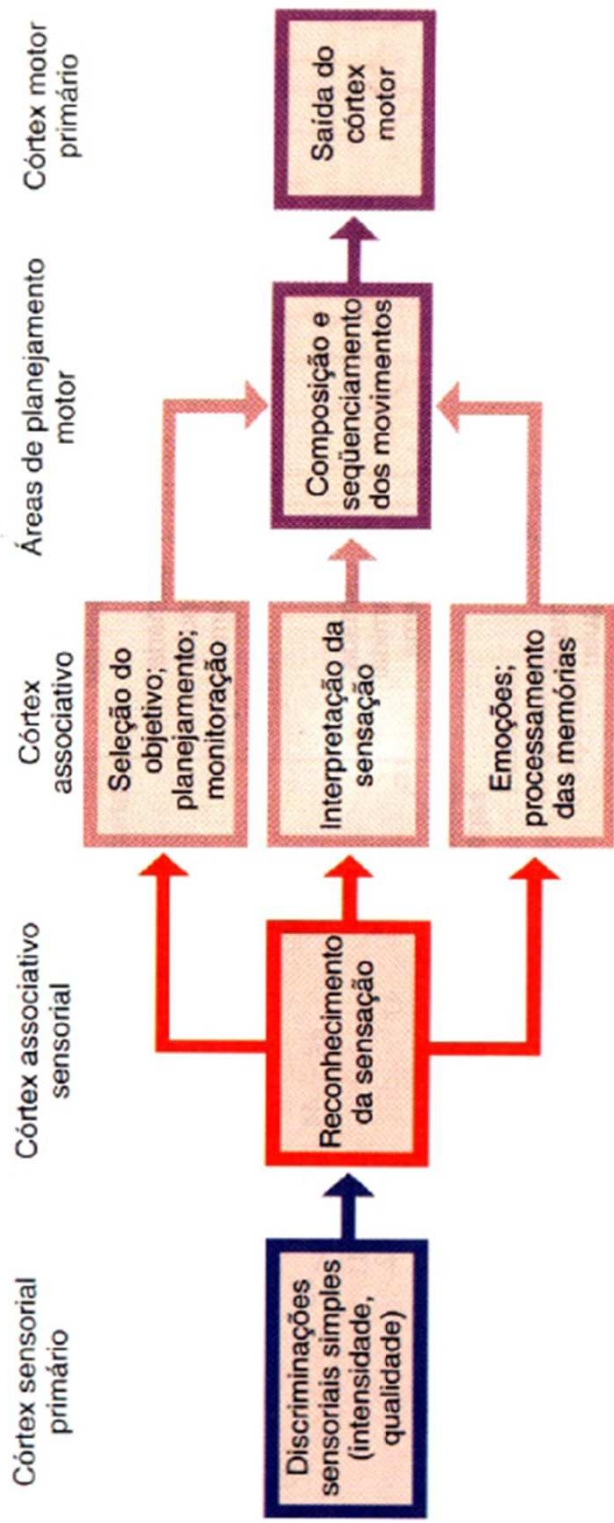


As contribuições dos
córtices
parietal posterior
e
pré-frontal

Planejamento.....







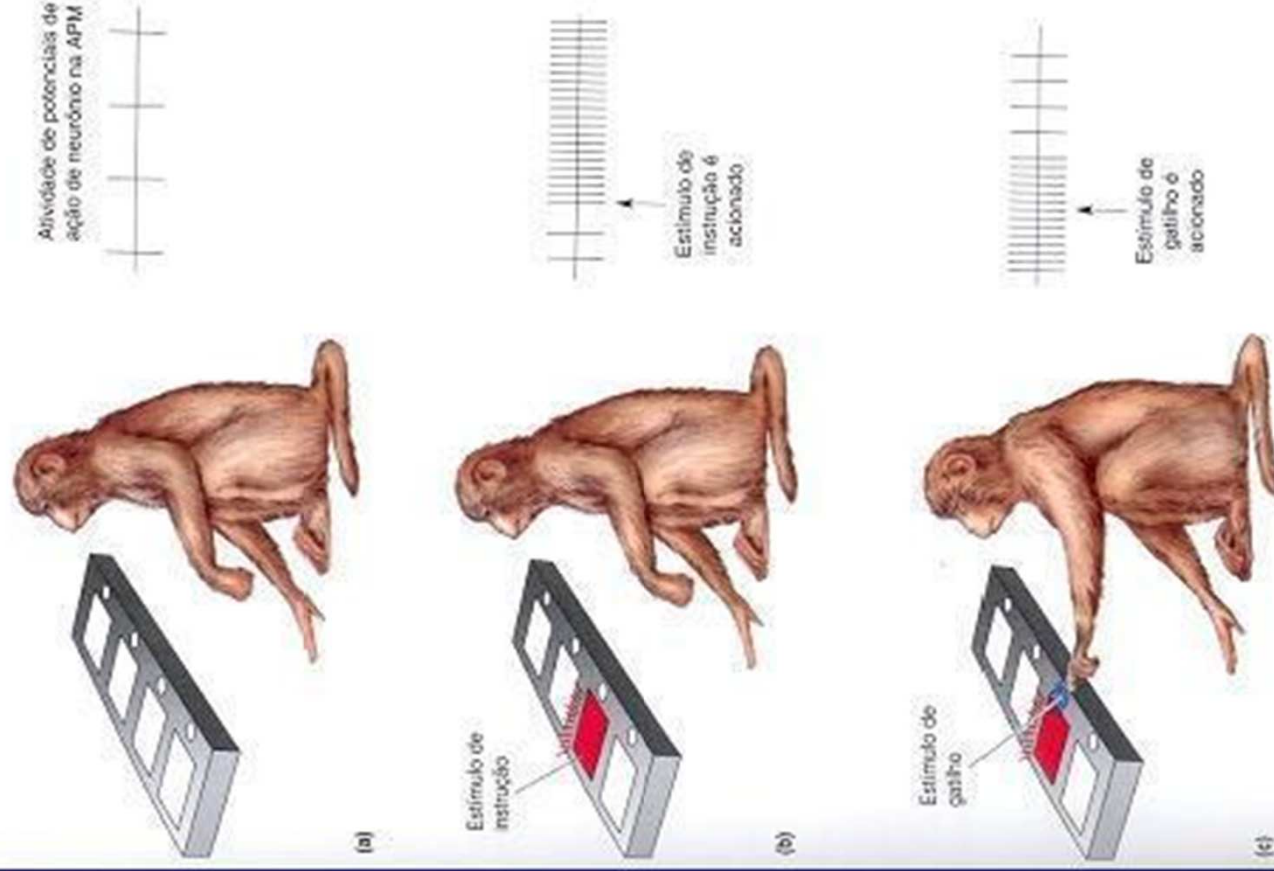
"Plano do Movimento"

PREPARAR, APONTAR, FOGO!

PREPARAR: depende da atividade nos lobos parietal e frontal (com a contribuição dos "centros de alerta")

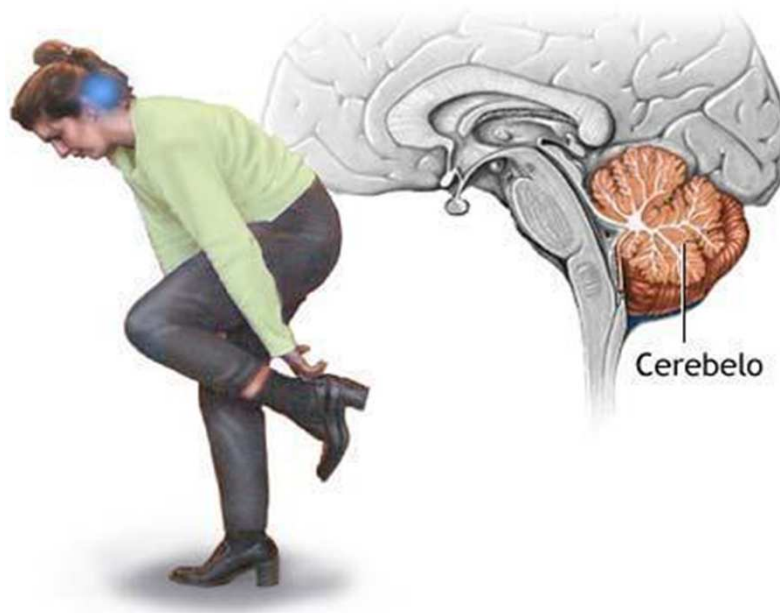
APONTAR: depende das APM e MAS, onde estratégias de movimentos são projetadas e mantidas até serem executadas.

FOGO: APM envia o sinal para M1



CEREBELO

Funções cerebelares na motricidade

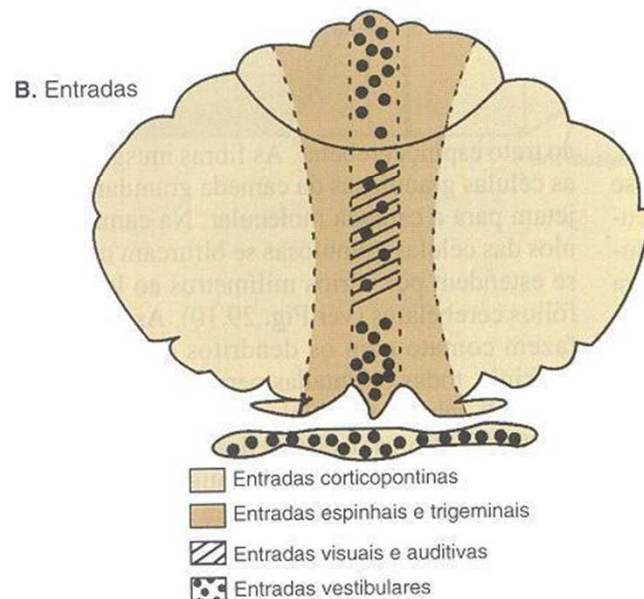
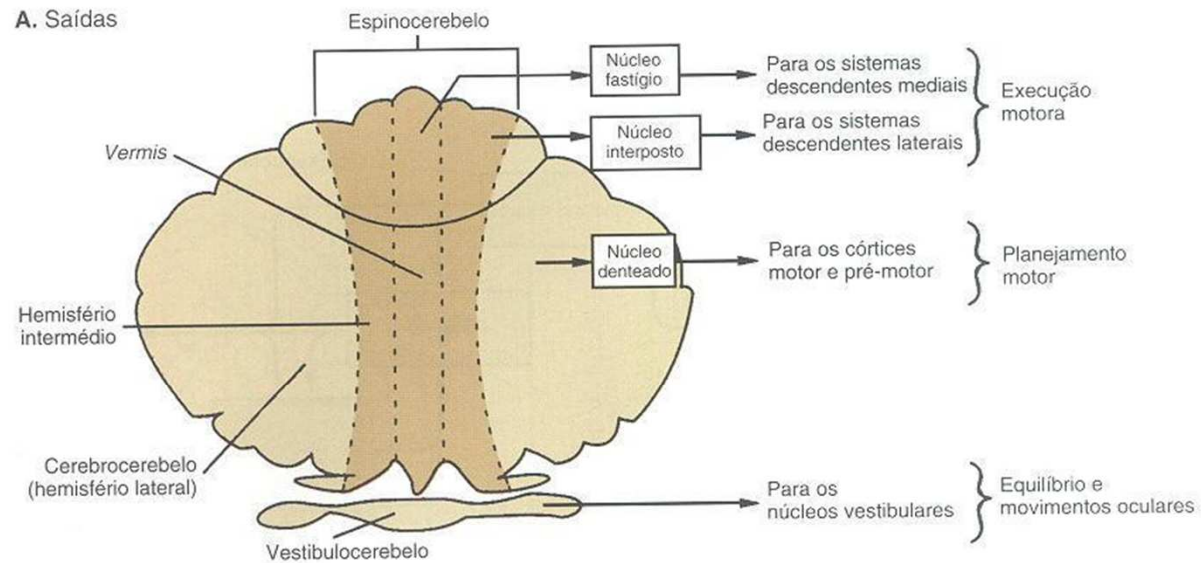


Manutenção do equilíbrio e da postura
Controle do tônus muscular
Planejamento dos movimentos voluntários
Aprendizagem motora

Cerebelo

- *Compara os movimentos reais representados pela informação de feedback sensorial periférico com os movimentos pretendidos*
- *Ajuda o córtex no planejamento do próximo movimentos enquanto o movimento presente ainda está sendo executado*
- *Aprende pelos próprios erros*

Áreas funcionais anatômicas do cerebelo



vermis - eixo corporal, pescoço, ombros e quadril

zona intermediária - regiões distais dos membros (mãos e pés)

zona lateral - planejamento geral dos movimentos

Vias aferentes cerebelares

4 feixes: 2 ventrais e 2 dorsais

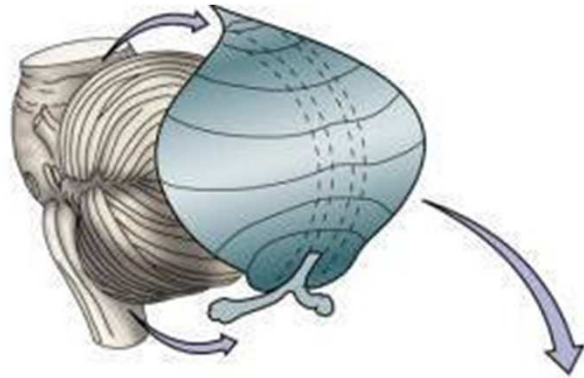
espinocerebelares dorsais

- entram pelo pedúnculo cerebelar inferior e são provenientes dos fusos musc., O.T.G., receptores táteis e articulares

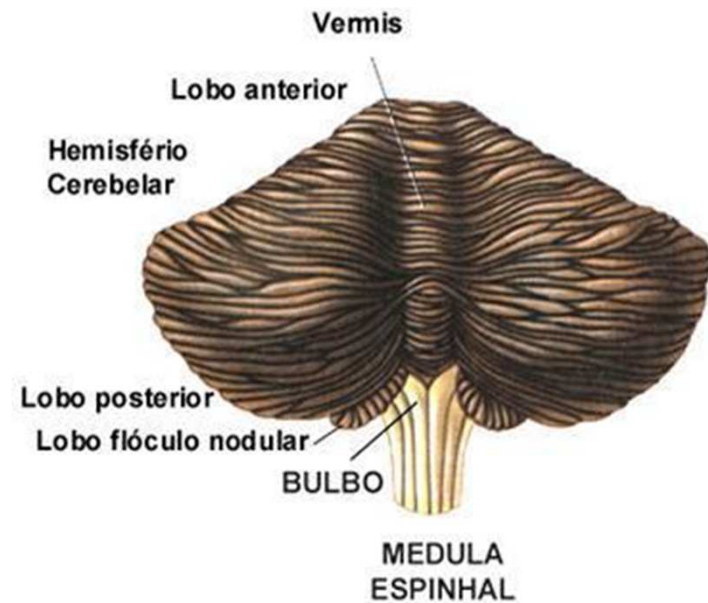
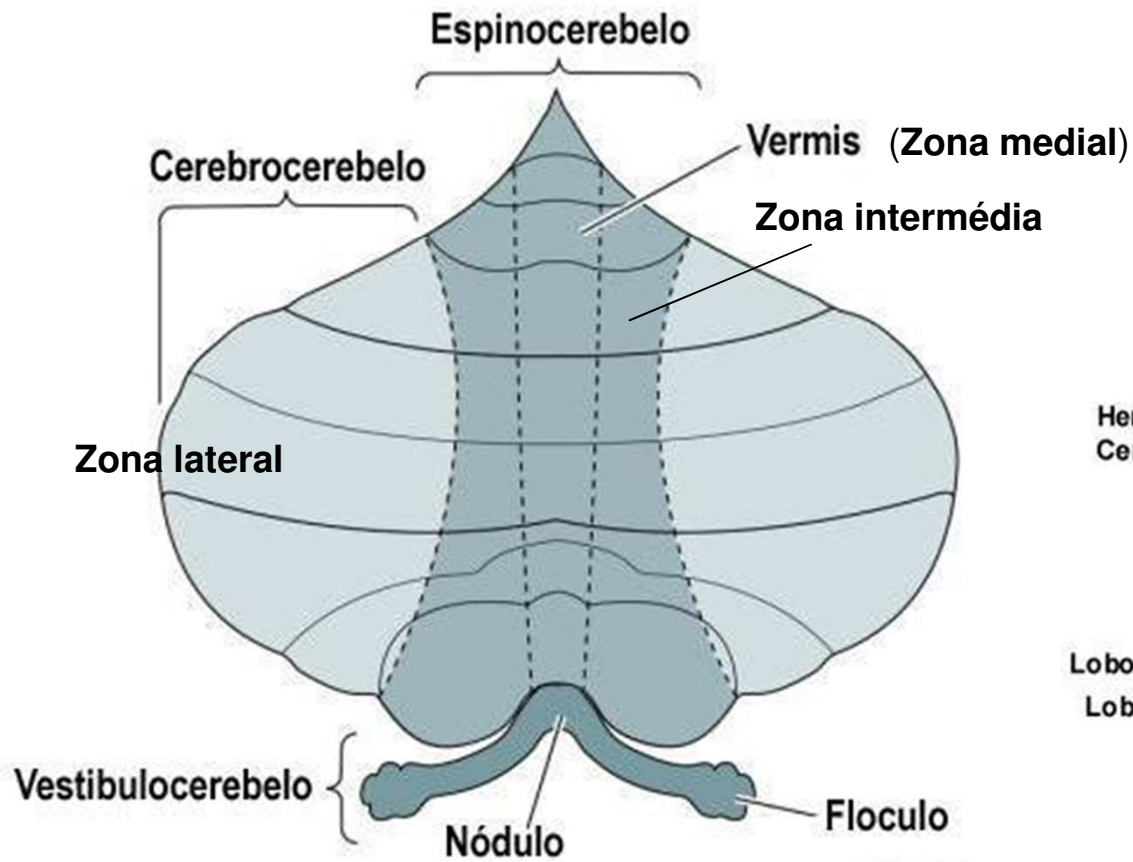
espinocerebelares ventrais

- entram pelo pedúnculo cerebelar superior
- dos sinais motores que chegam às pontas anteriores da medula espinhal, provenientes do encéfalo (feixes corticoespinhais e rubroespinhais)

CLASSIFICAÇÃO DO CEREBELO



ANATOMICA transversal	ANATÔMICA longitudinal	FILOGENETICA	FUNCIONAL
Lobo anterior	Zona medial + Intermedia	Paleocerebelo	Espinocerebelo
Lobo posterior	Zona lateral	Neocerebelo	Cérebrocerebelo
Lobo flóculo-nodular	Floculo-nodulo	Arquicerebelo	Vestibulocerebelo



Função do cerebelo para o equilíbrio e postura

nas alterações rápidas das posições do corpo

Função de amortecimento dos movimentos

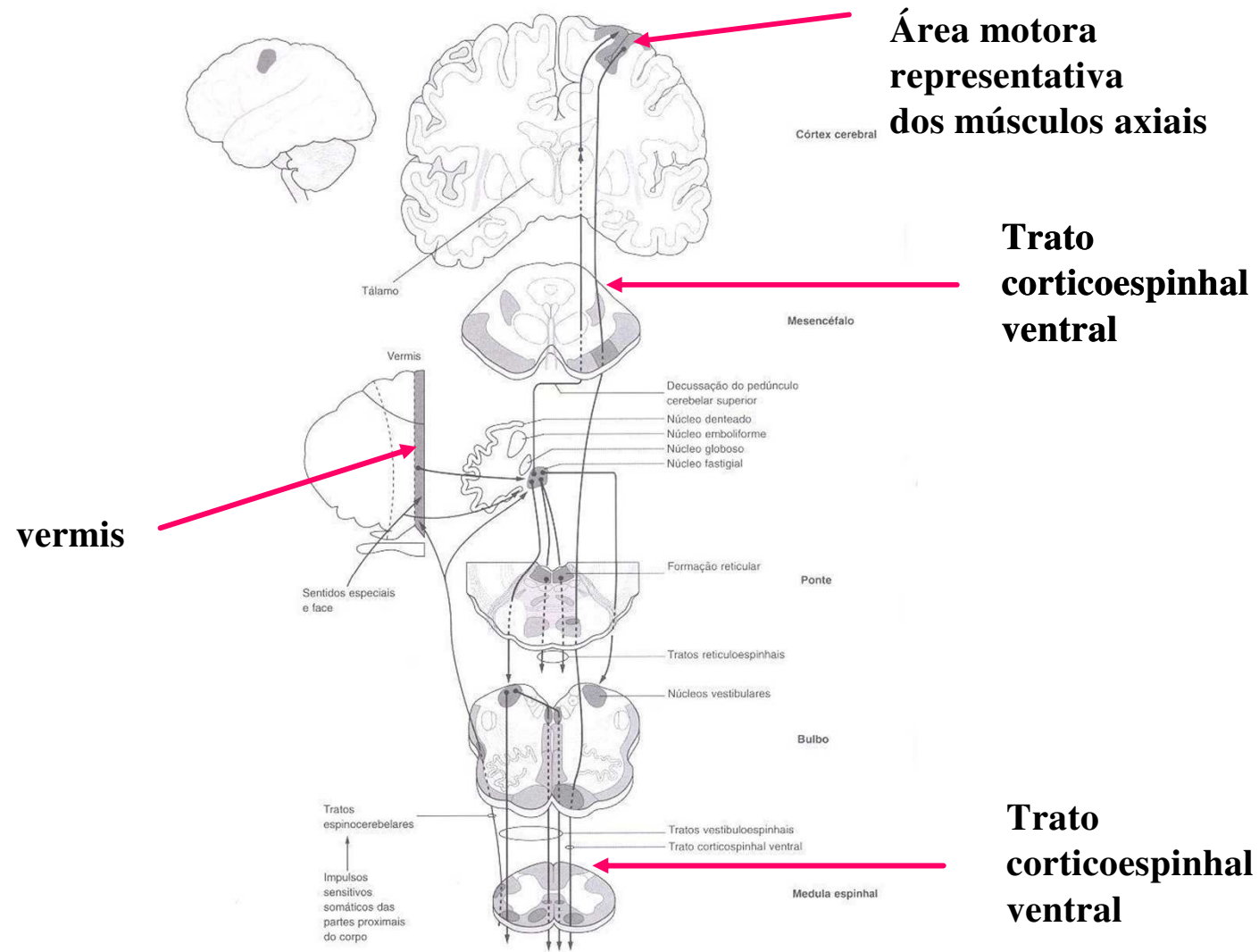
Movimentos pendulares

**O cerebelo participa do
aprendizado motor**

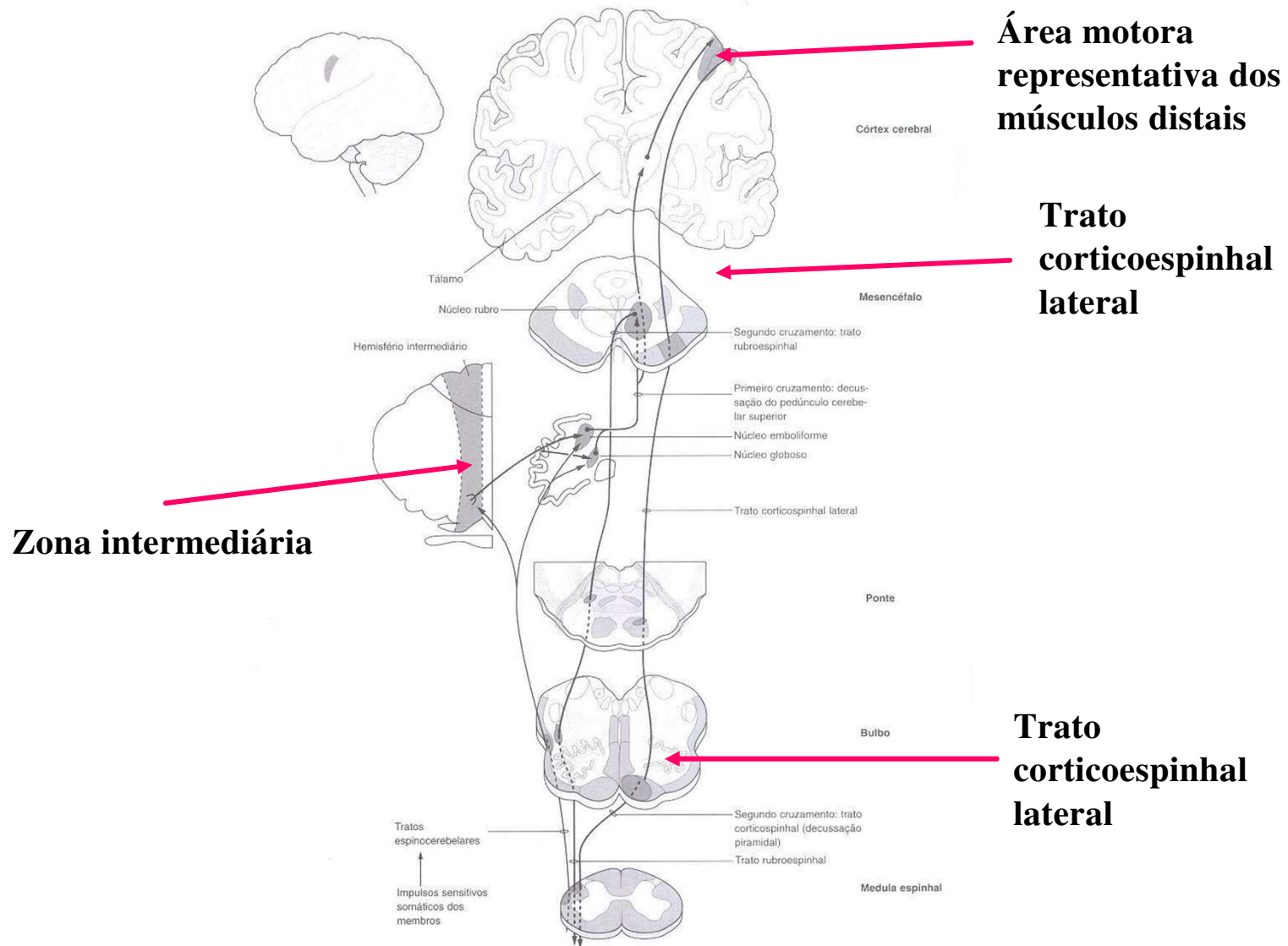
Controle cerebelar dos movimentos balísticos

Movimentos rápidos (digitação)

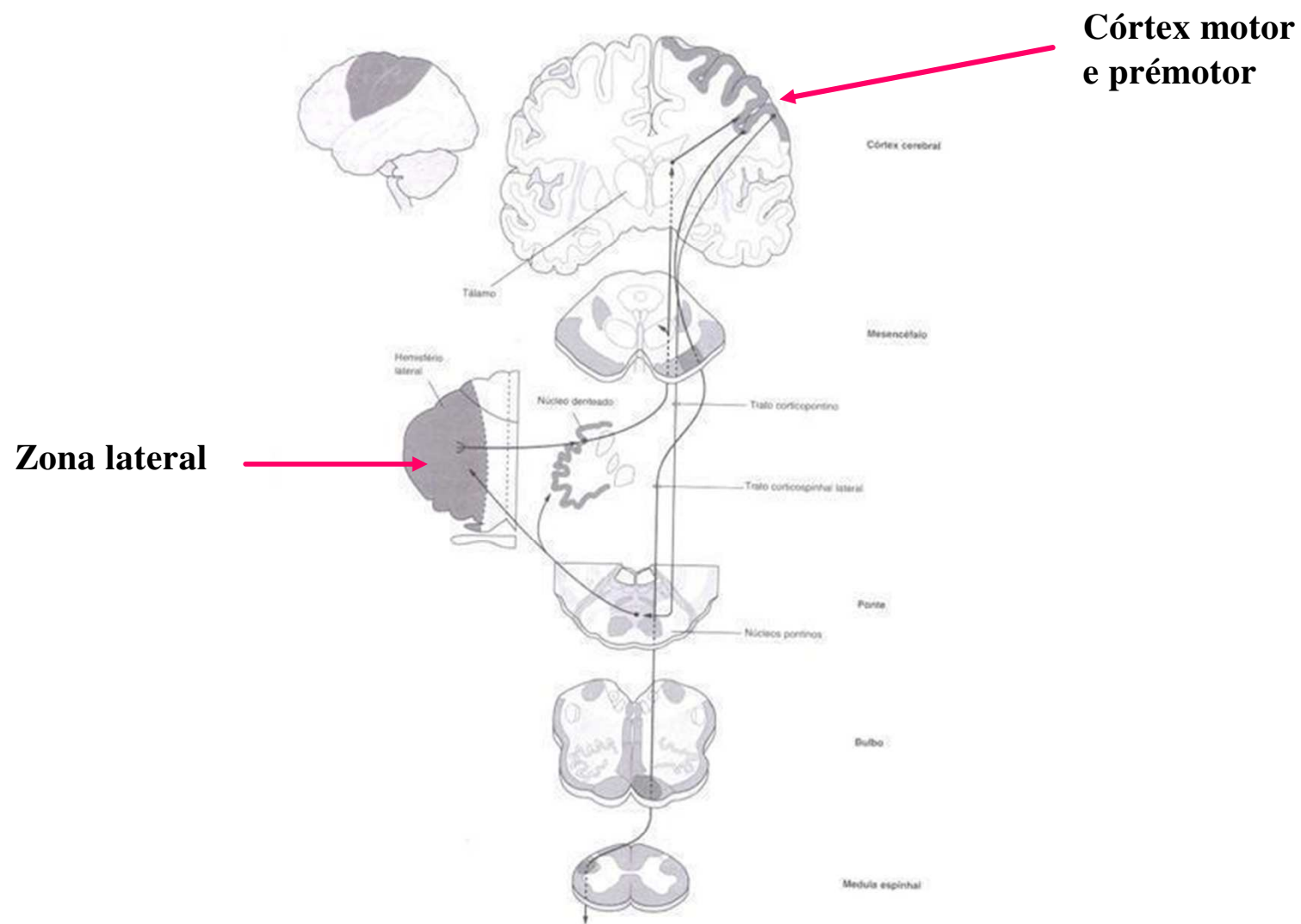
- Alterações com remoção do cerebelo**



O vermis cerebelar recebe impulsos do pescoço e tronco, bem como do labirinto e dos olhos. Seus impulsos eferentes, dos núcleos fastigiais profundos, seguem principalmente para áreas do córtex cerebral que originam o trato corticoespinhal ventral (o qual controla os músculos do tronco e pescoço) e para os sistemas reticuloespinhal e vestibuloespinhal descendentes (que modulam o tônus e a postura axiais). Portanto, uma lesão dessa área compromete a marcha e a estação. (Reproduzido com permissão de Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. 1991. *Principles of Neural Science*, 3ª ed. Norwalk, CT: Appleton & Lange.)

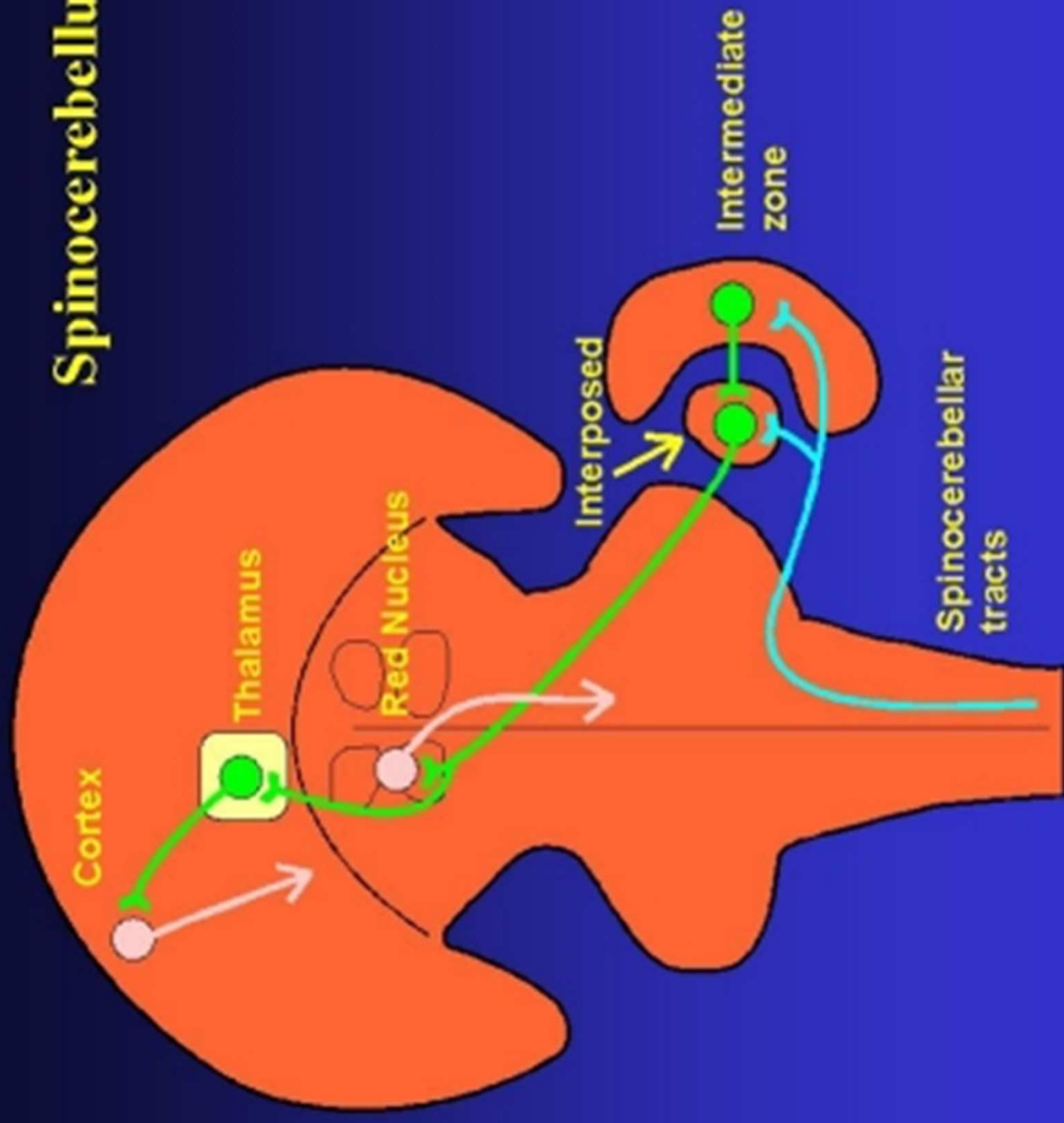


A zona intermediária do cerebelo recebe informações dos membros e projeta-se, direta ou indiretamente, para os sistemas descendentes dorsolaterais (tratos corticoespinal e rubroespinal) que controlam os movimentos ativos dos membros. (Reproduzido com permissão de Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. 1991. *Principles of Neural Science*, 3ª ed. Norwalk, CT: Appleton & Lange.)

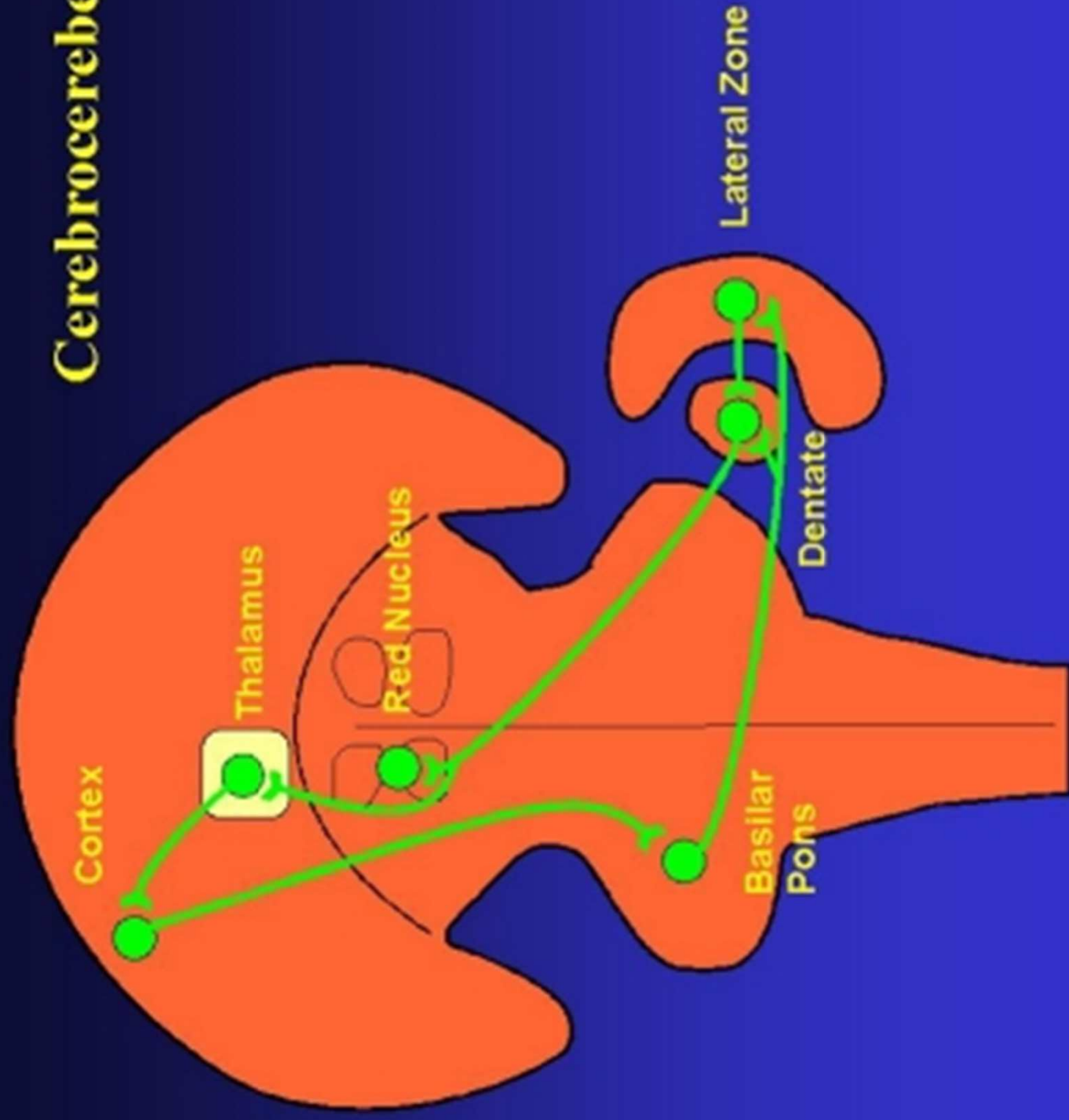


A zona lateral de cada hemisfério cerebelar (cerebrocerebelo) recebe impulsos, através dos núcleos pontinos, do córtex cerebral e projeta-se, por meio do núcleo ventral lateral do tálamo, para o córtex cerebral motor e pré-motor. O cerebrocerebelo participa do planejamento, do início e da sincronização dos movimentos dos membros. (Reproduzido com permissão de Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. 1991. *Principles of Neural Science*, 3ª ed. Norwalk, CT: Appleton & Lange.)

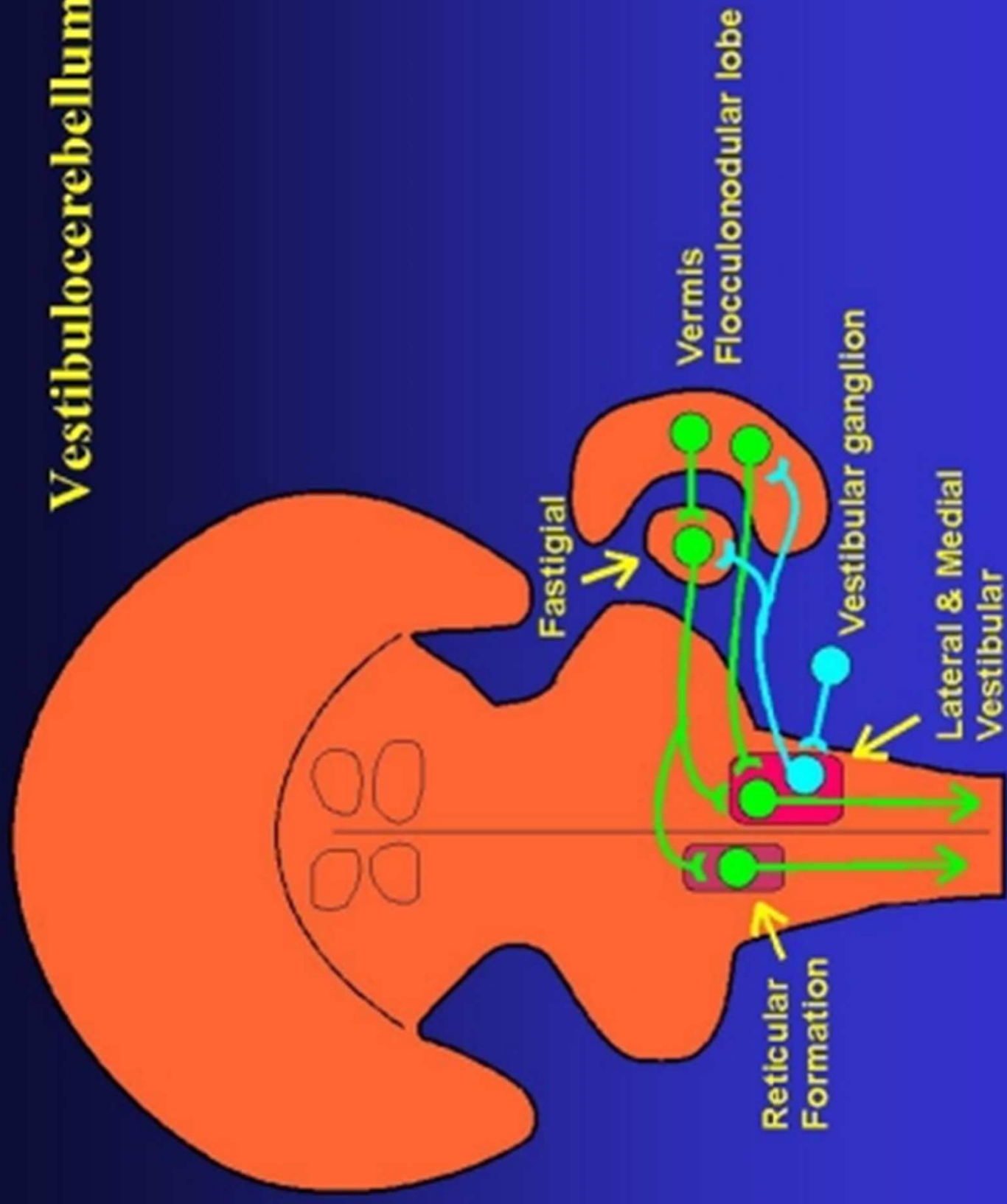
Spinocerebellum



Cerebrocerebellum



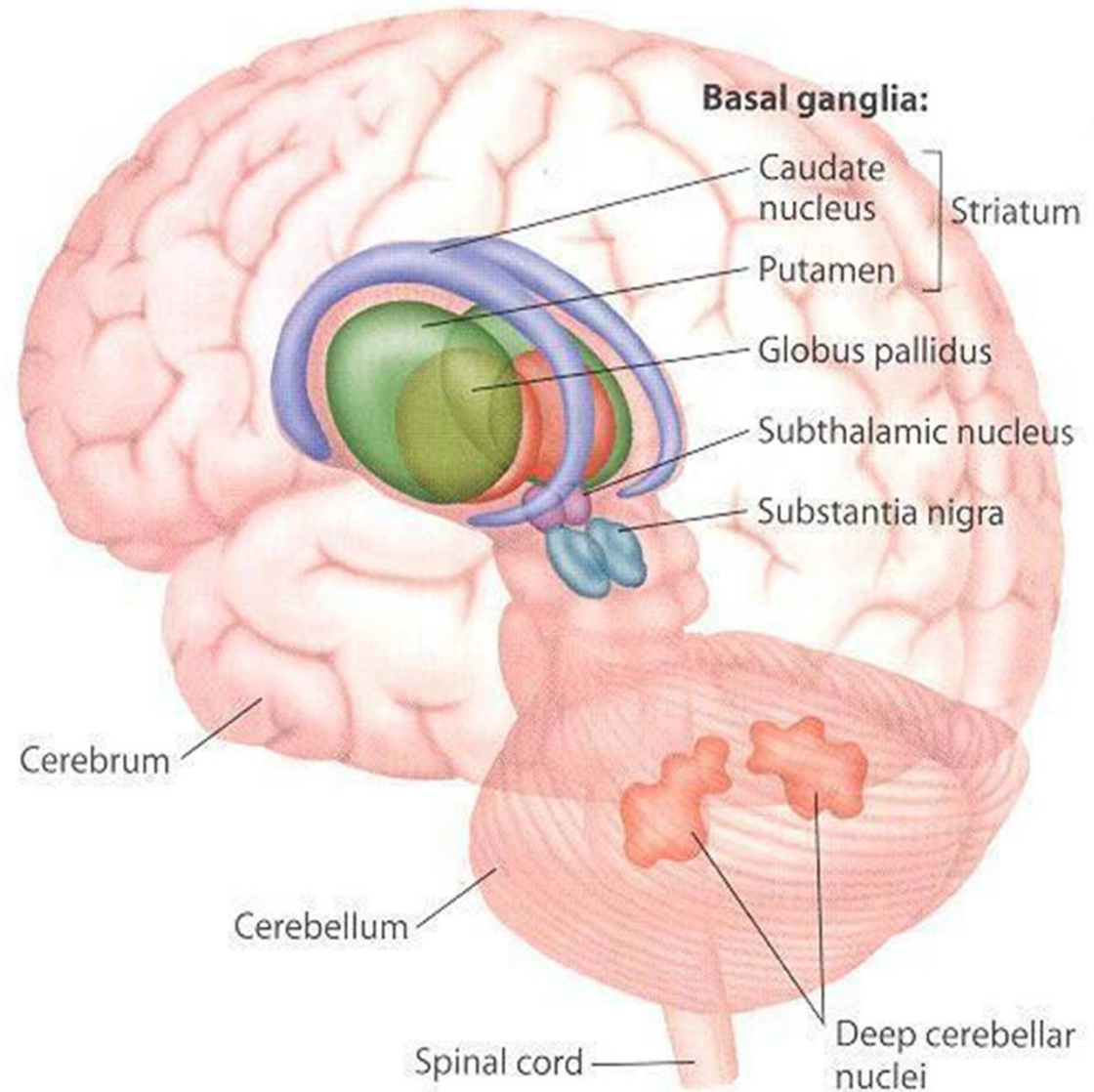
Vestibulocerebellum



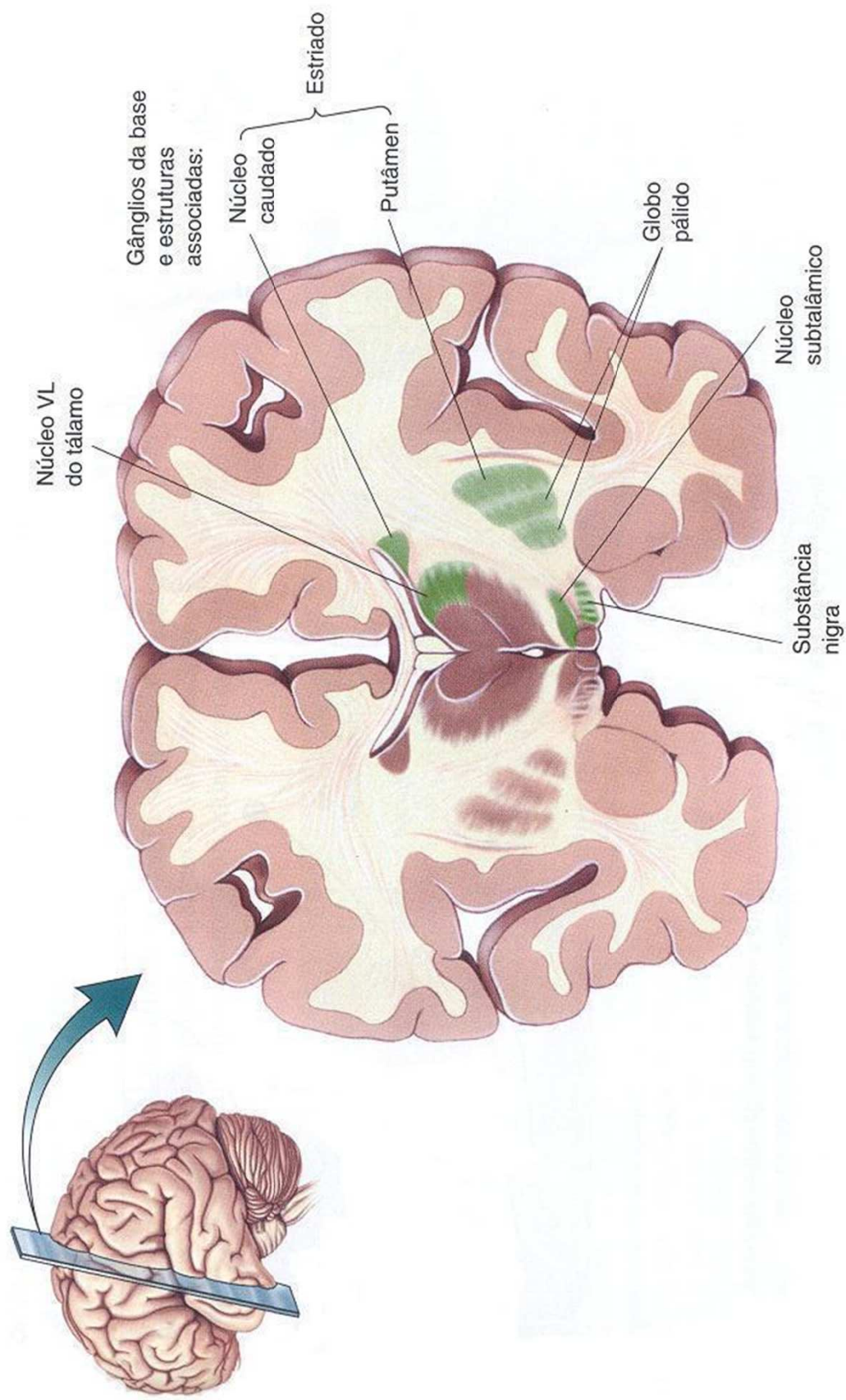
Núcleos da Base

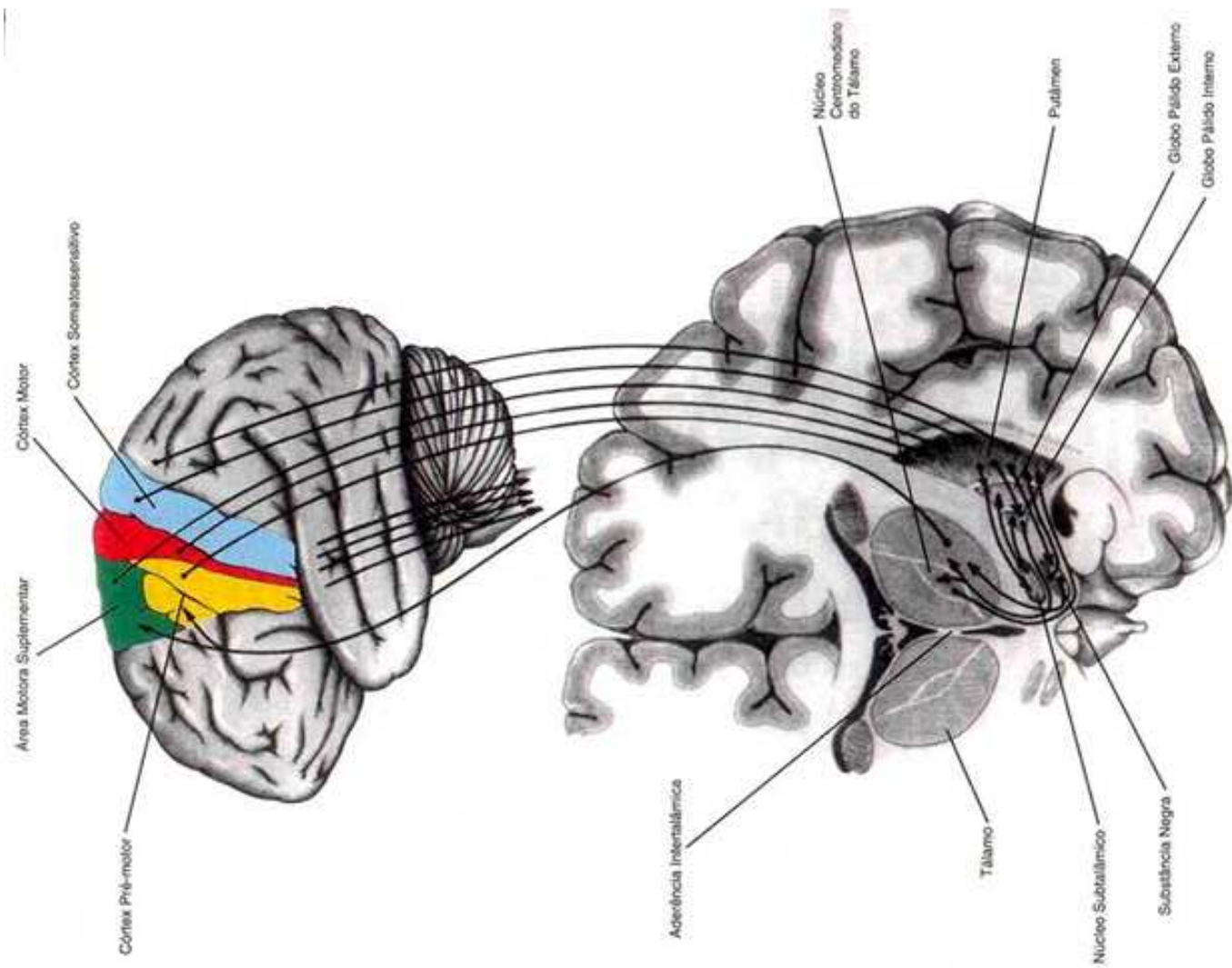
5 núcleos subcorticiais:

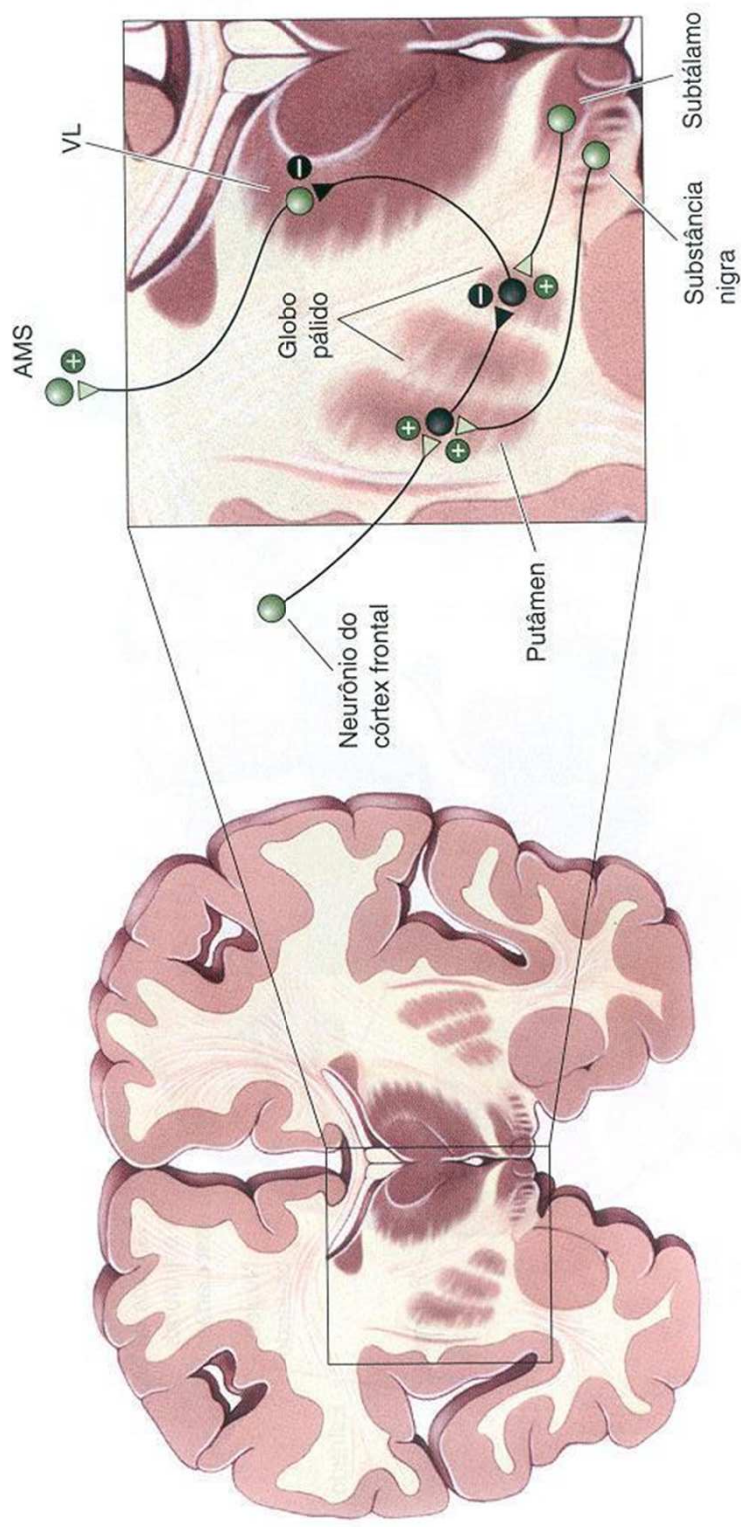
- caudado
- putâmem
- globo pálido
- núcleo subtalâmico
- substância negra



Os Gânglios da Base



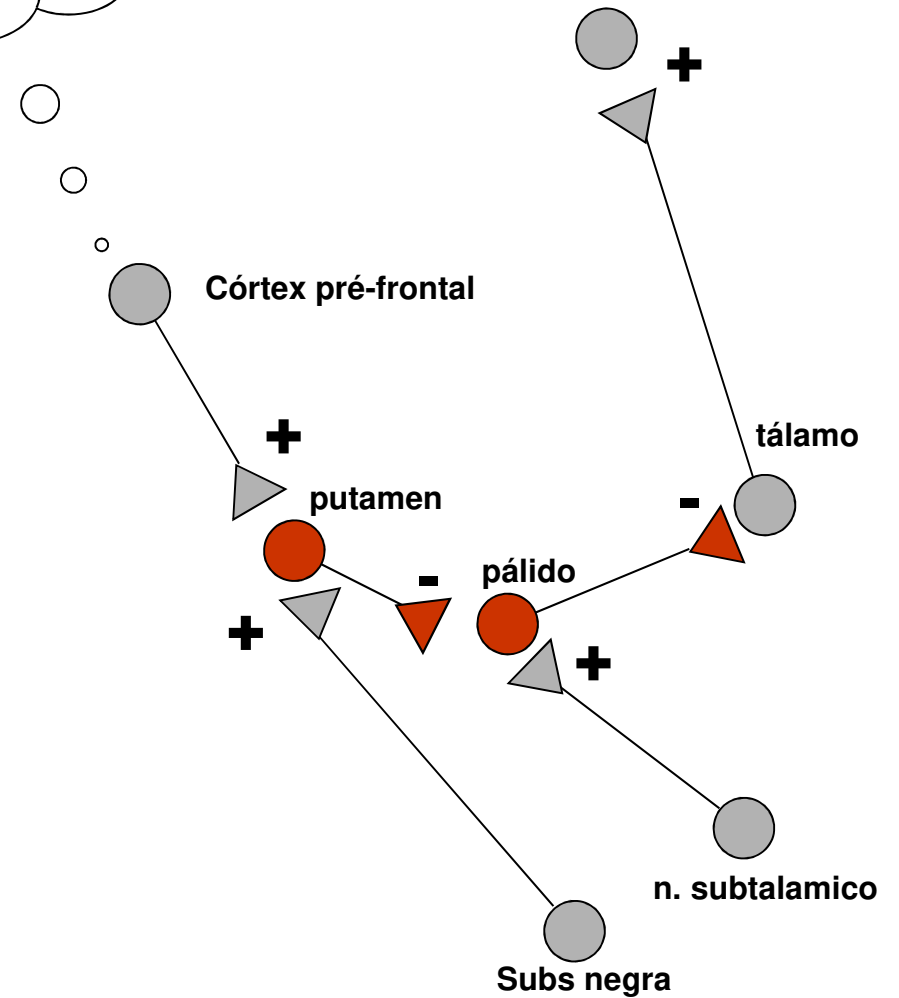
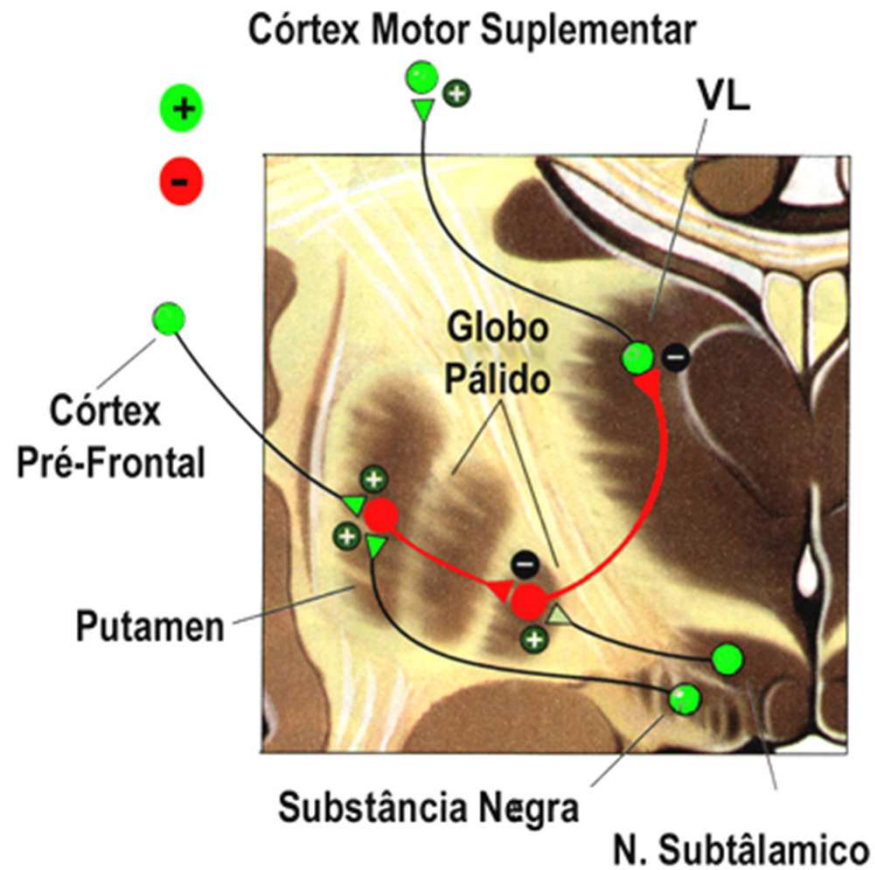




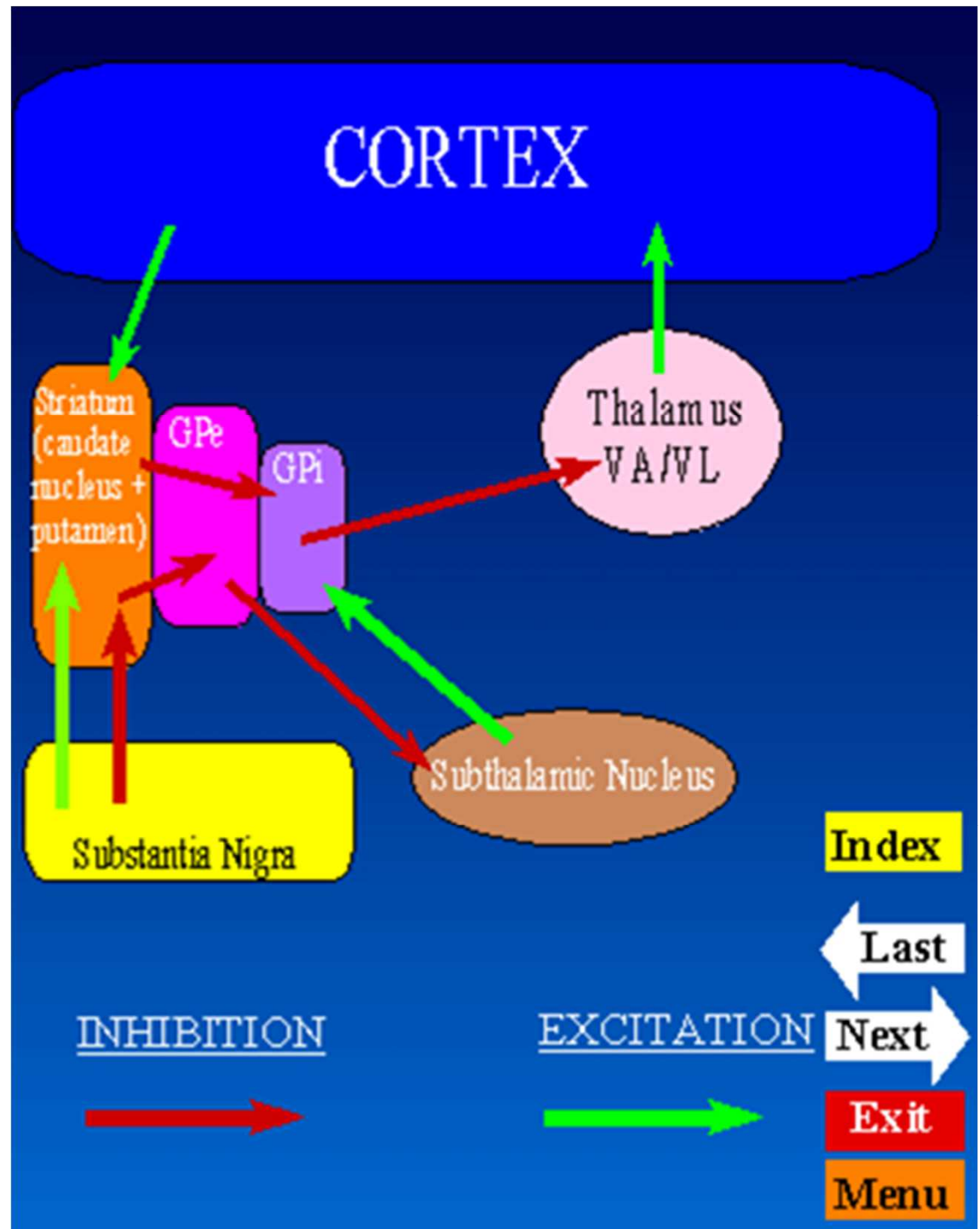
Um diagrama da circuitaria da alça motora através dos gânglios da base. Sinapses marcadas com sinal de adição (+) são excitatórias; aquelas marcadas com sinal de subtração (-) são inibitórias.

Desejo de movimento

Área motora suplementar
PLANEJAMENTO

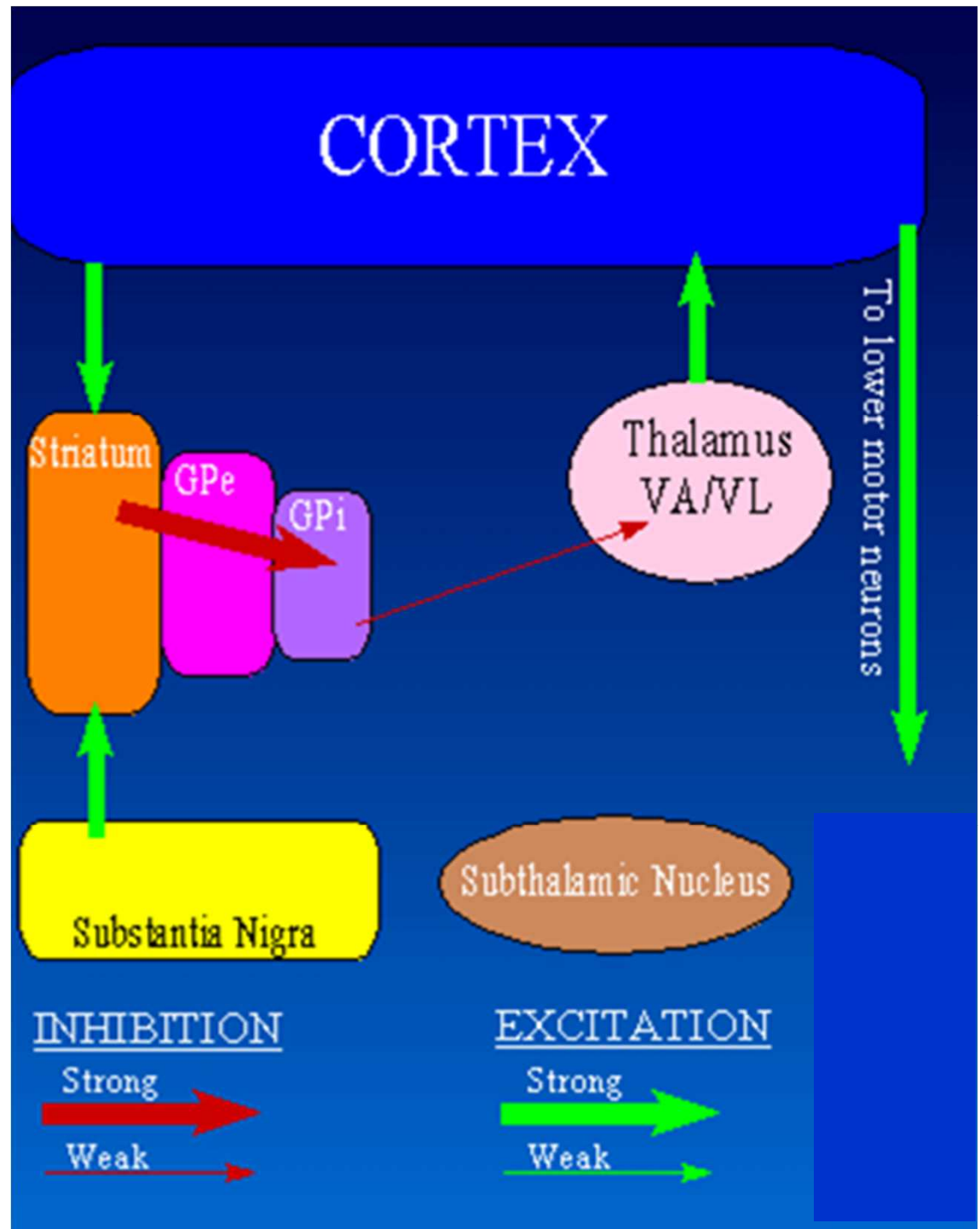


O córtex é **excitatório** para o estriado, enquanto o estriado é **inibitório** para o globo Pálido (GP). O GPe é **inibitório** para o subtálamo e o subtálamo é **excitatório** para a o GPi. O GPi é **inibitório** para o núcleo ventral anterior (VA) e o ventral lateral (VL) do tálamo. O tálamo é **excitatório** para o córtex motor. Todas estas sinapses mostrará se o tálamo tem uma forte ou fraca influência **excitatória** no córtex para facilitar o movimento intencional ou suprimir o movimento não intencional



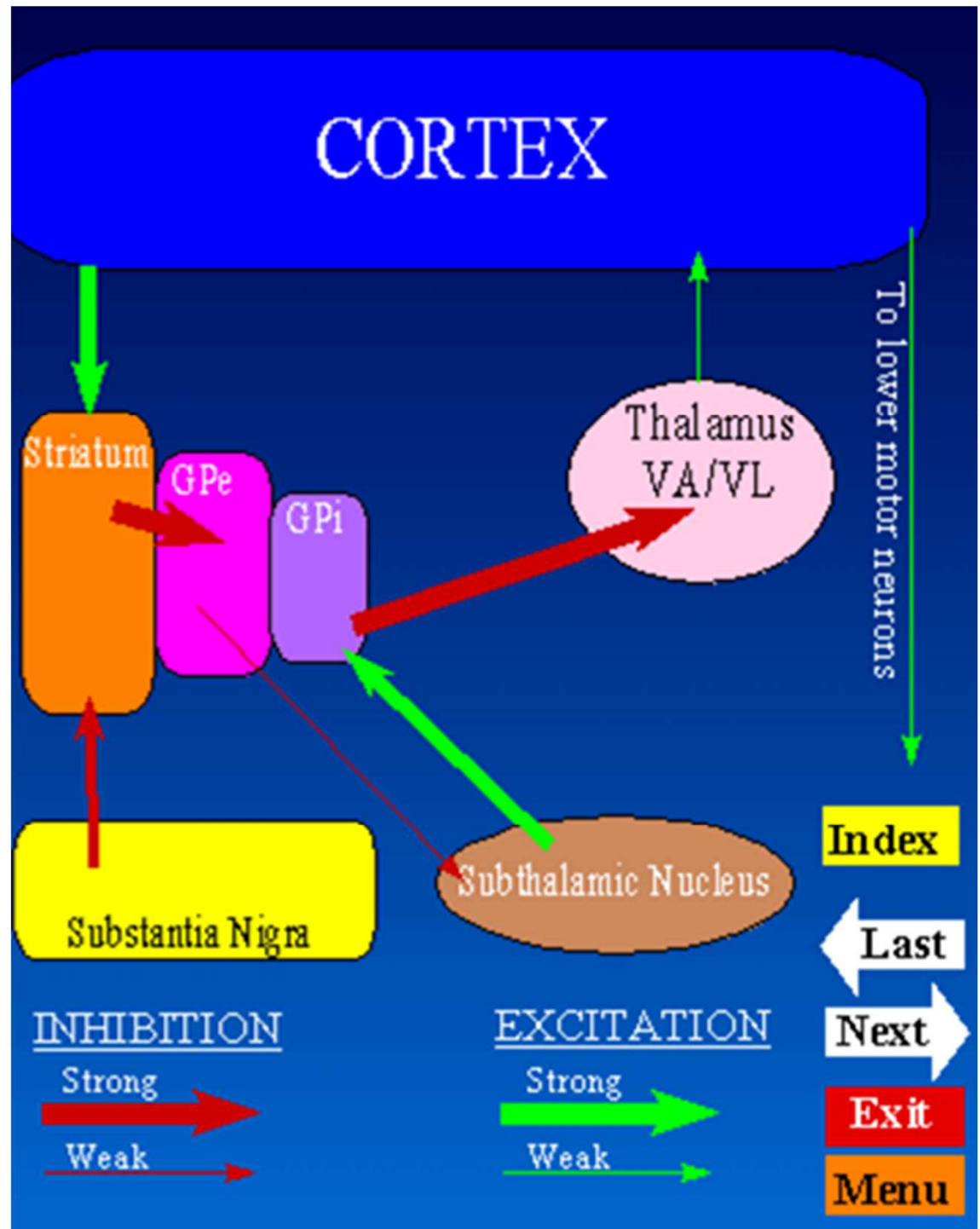
Via Direta

A via direta reforça os movimentos intencionados planejados pelo córtex motor que irão permitir a ação dos movimentos. Para isso ocorrer, o Tálamo precisa ter uma forte influência **excitatória** sobre os neurônios motores superiores no córtex motor. Isto irá subsequentemente resultar numa forte **excitação** pelo tracto corticoespinhal e corticobulbar sobre os neurônios motores inferiores. Isto é acompanhado de uma forte **excitação** dos neurônios estriatais pelo córtex e substância negra, resultando em uma forte **inibição** do GPi com subsequente fraca **inibição** dos núcleos VA/VL do tálamo.



Via Indireta

A via indireta resulta numa forte inibição do Tálamo para que um sinal fraco de **excitação** seja enviado para o córtex com fraca **excitação** dos tratos motores. O propósito desta via é reduzir a possibilidade de movimentos não intencionados. Isto é acompanhado por uma forte **excitação** do córtex para o estriado. Isto leva a uma forte **inibição** do núcleo GPe, o qual agora tem uma rota indireta para **inibir** fracamente o subtálamo. Isto resulta numa forte **excitação** do GPi seguido por uma forte **inibição** do VA/VL do tálamo e finalmente fraca **excitação** do córtex.



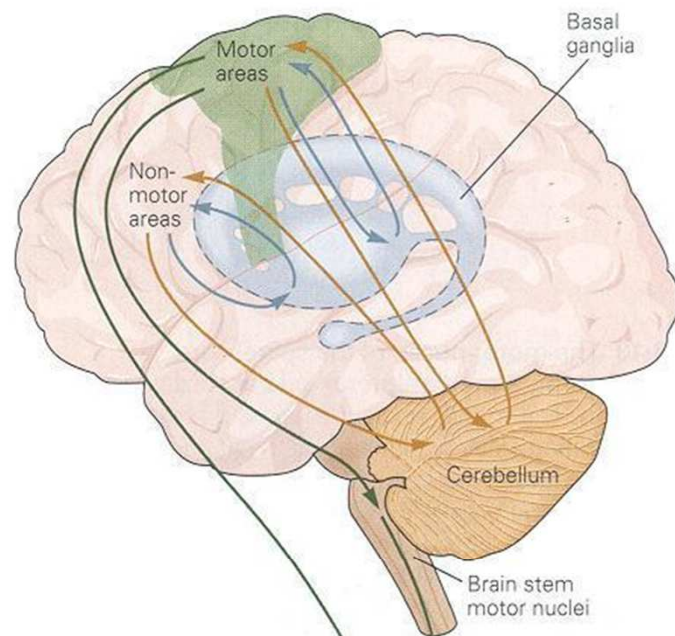
Núcleos da base

A via direta constitui um feedback positivo sobre os movimentos iniciados no córtex cerebral

A via direta aumenta os movimentos desejados

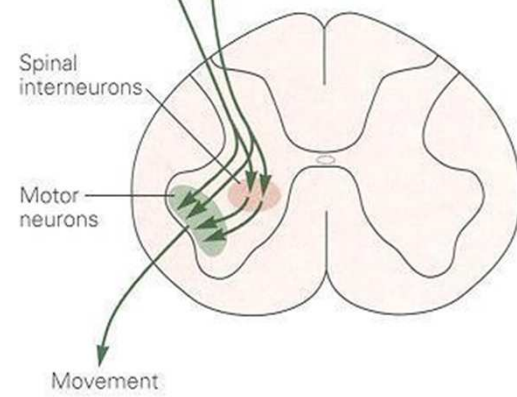
A via indireta constitui um feedback negativo sobre tais movimentos

A via indireta inibe os movimentos indesejados



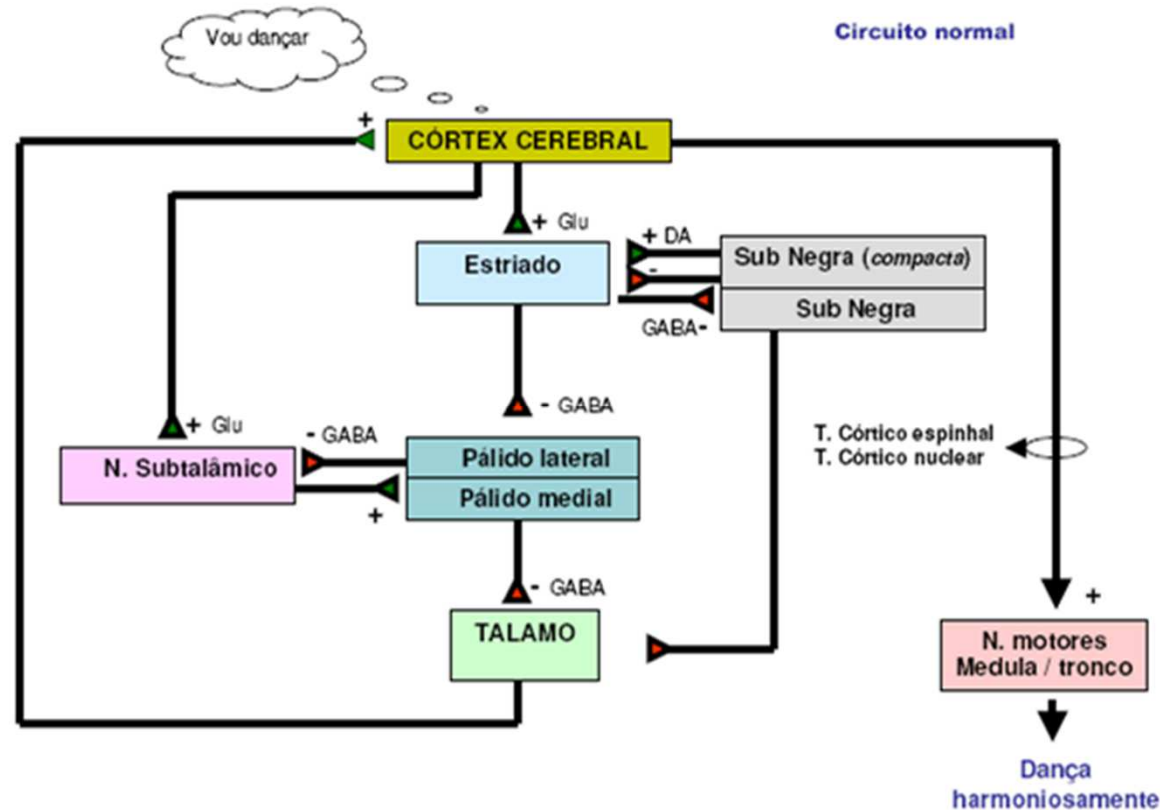
ENTRADAS → **CAUDADO PUTÂMEM**

SAÍDAS → **GLOBO PÁLIDO SUBST. NEGRA**



Como funciona o circuito básico?

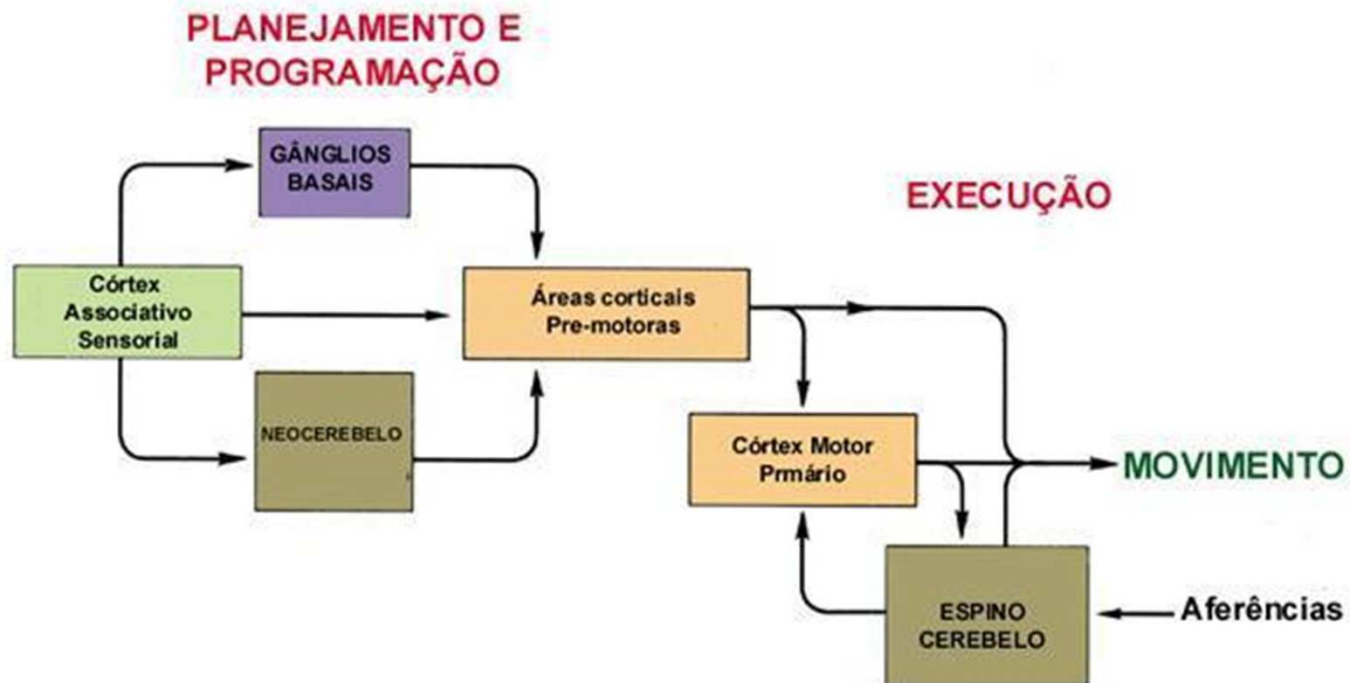
Quando áreas corticais associativas desejam um movimento, fibras córtico-estriatas anunciam essa idéia aos neurônios do estriado. Observe cuidadosamente o circuito abaixo. Se não há desejo de movimento significa que os tratos córtico-espinal e córtico-nuclear não precisam ser ativados e devem estar apropriadamente inibidos. É exatamente o que faz o núcleo pálido medial: inibe fortemente os neurônios talâmicos que excitam os neurônios corticais motor associativos (planejamento).



Então como liberar esse circuito quando ocorre um desejo de movimento?

Um desejo de movimento originado no córtex associativo excita poderosamente os núcleos estriatais cujos neurônios exercem efeitos inibitórios sobre os neurônios pálido-mediais inibitórios. A inibição de neurônios inibitórios causa liberação dos neurônios talâmicos, ou seja, a execução do planejamento e a iniciação do movimento pretendido. (Penso, logo planejo e inicio o movimento desejado). É assim que o circuito básico dos núcleos da base “autoriza” o planejamento do movimento voluntário. Esse circuito é modulado pelos núcleos subtalâmico (diencéfalo) e a substância negra (mesencéfalo) que fazem parte do circuito subsidiário.

NIVEL	ESTRUTURA	FUNÇÃO
Estratégia ALTO	Áreas associativas + Núcleos da Base + Cerebelo	Planejamento (Intenção) do movimento Programação Motora
Tática INTERMEDIÁRIO	Córtex Motor Primário + Cerebelo	Iniciação do programa motor Marcação de tempo e seqüência temporal e espacial Correção de erros durante a execução
Execução BAIXO	Tronco encefálico + Medula	Recrutamento de motoneurônios e interneuronios Ajustes necessários para a postura



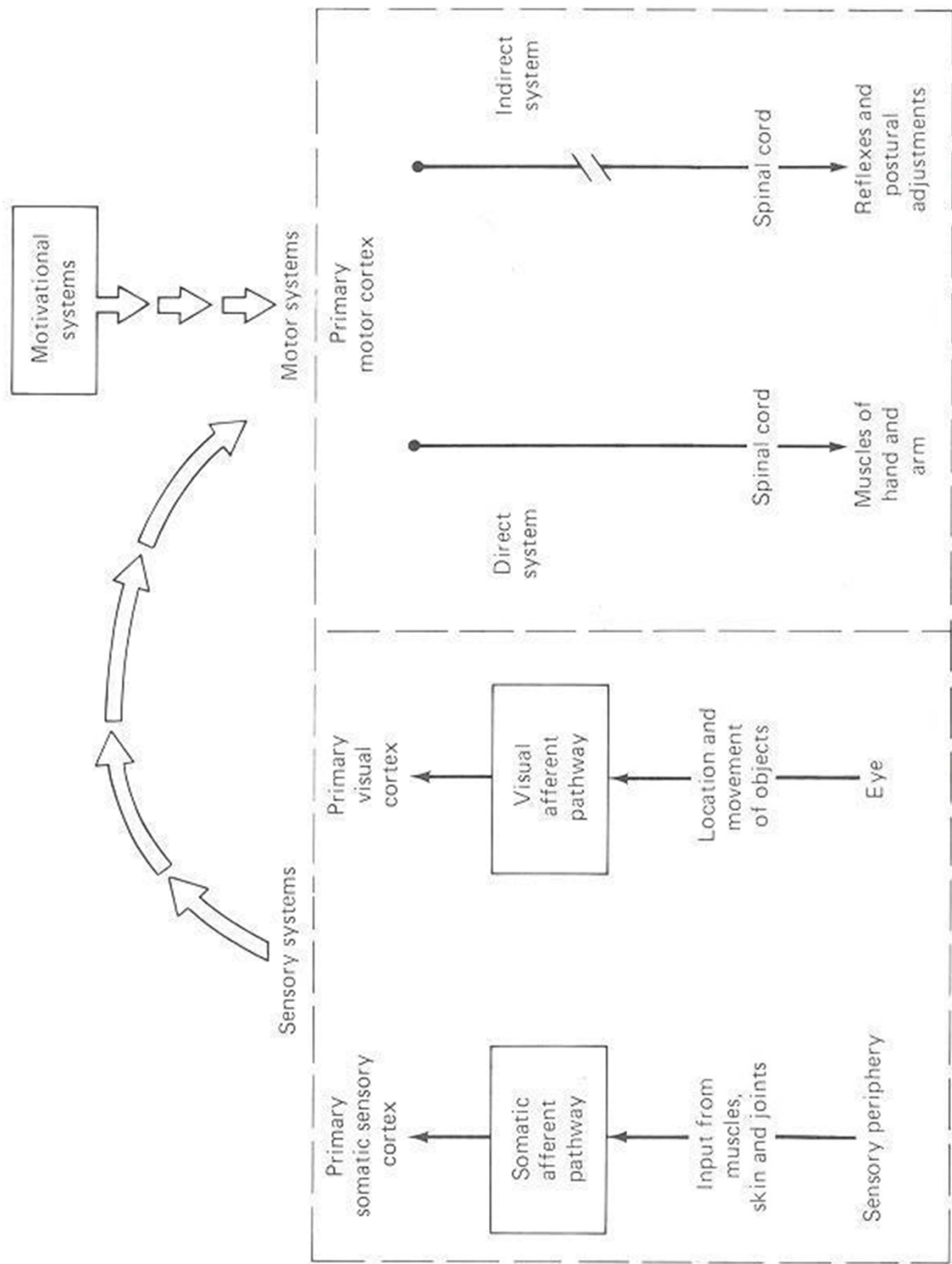
CONTROLE MOTOR

TIPOS DE MOVIMENTOS

	<i>Reflexo</i>	<i>Voluntário</i>	<i>Rítmico</i>
Estímulo que inicia o movimento	Via primariamente externa de receptores sensitivos; minimamente voluntário	Estímulos externos ou voluntários	Início e finalização voluntária
Exemplo	Reflexo patelar do joelho, tosse e reflexos posturais	Tocar piano	Caminhar, correr
Complexidade	Menos complexo; integrado no nível da medula espinal com modulação dos centros superiores	Mais complexo; integrado no córtex cerebral	Complexidade intermediária; integrado na medula espinal, requer estímulo inicial do centro superior
Observações	Inerente, rápido	Movimentos aprendidos que melhoram com a prática; uma vez aprendidos, podem tornar-se subconscientes ("memória muscular")	Circuitos espinais atuam como geradores de padrão; ativação destas vias exige estímulo inicial do tronco encefálico

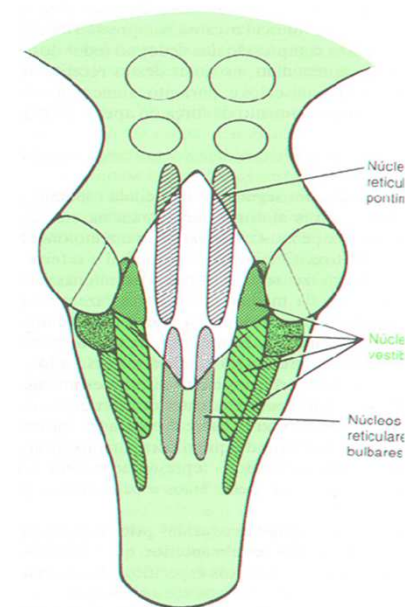


**O QUE FAZ INICIARMOS O
MOVIMENTO?**



Várias funções do comportamento evocadas pelo hipotálamo e outras estruturas límbicas são mediadas pelos núcleos reticulares

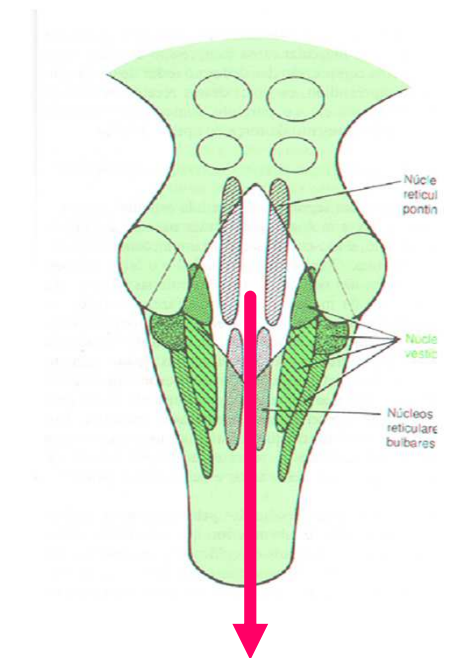
**Estimulação da área excitatória da formação reticular causa
↑ excitabilidade do córtex**



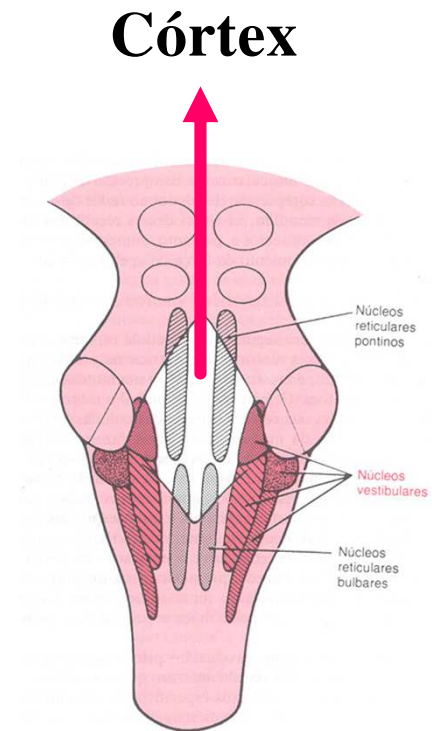
Localização dos núcleos reticulares e vestibulares

Sistema Reticular

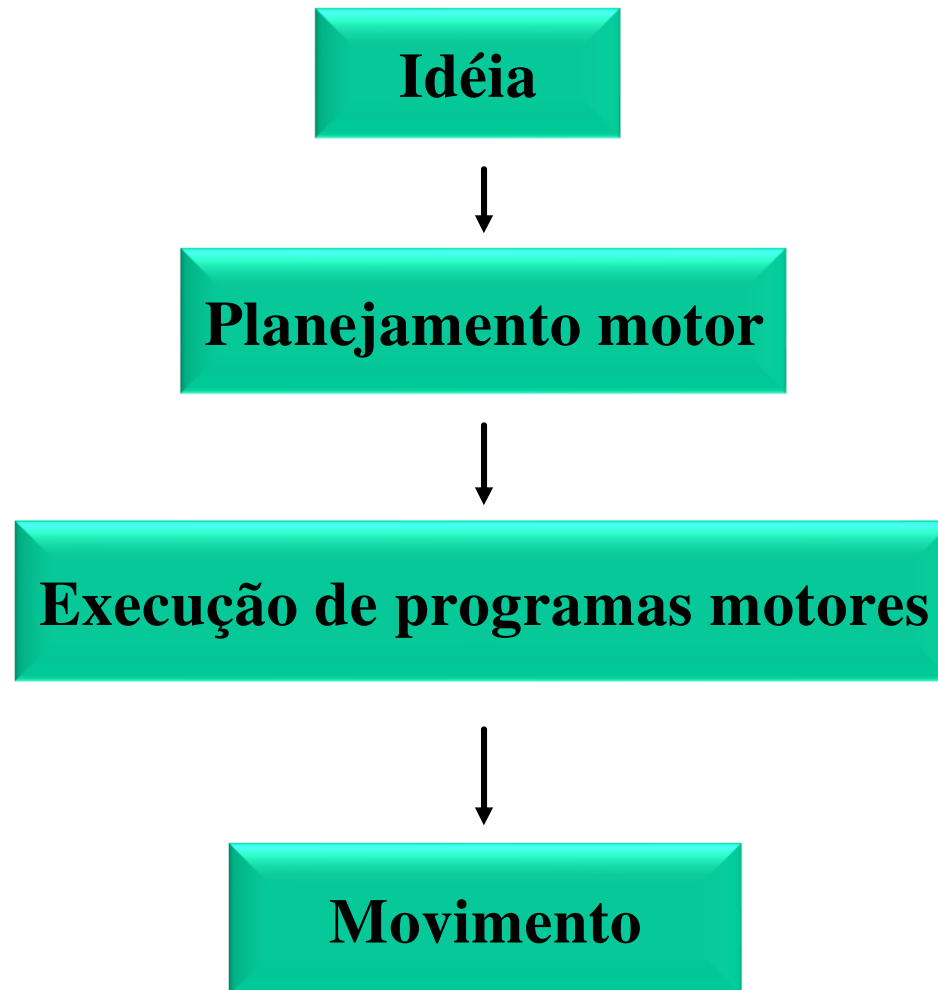
- **vias descendentes - medula espinhal**
- **vias ascendentes - tálamo-córtex**



Medula espinhal



Estágios na produção do movimento voluntário



Sistema límbico

hipotálamo

amígdala

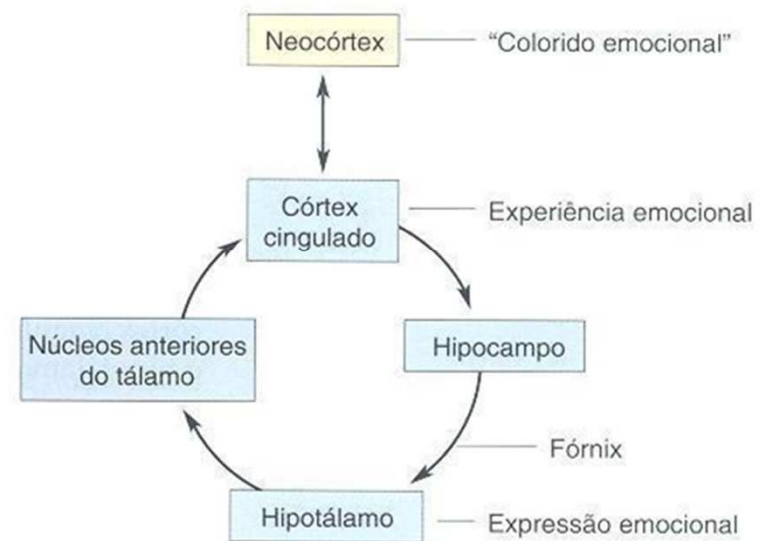
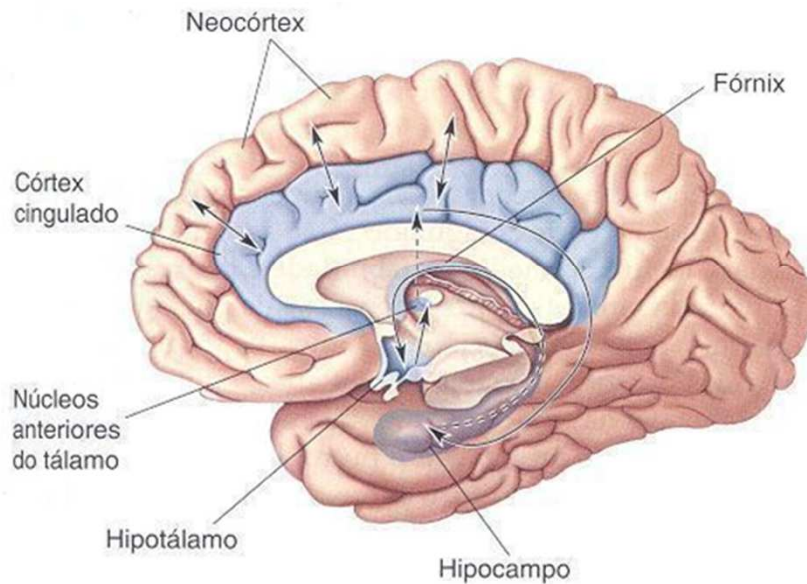
hipocampo

outras regiões

antigas do córtex



funcionam para motivar a maioria das atividades motoras



Sistema límbico

HIPOTÁLAMO



regulação cardiovascular
regulação temp. corporal
regulação água corporal
regulação gastrointestinal
regulação alimentar

estimulação de
estruturas límbicas



Amígdala
Hipocampo

punição
raiva
medo
fuga
impulso sexual

Controle motor

- jogador de basquete para o arremesso indo até o garrafão
- os circuitos espinhais são ativados e coordenados por comandos descendentes na via *ventromedial* (extensores contraem-flexores relaxam = flexores contraem-extensores relaxam)
- o arbitro entrega a bola para o jogador
- o peso da bola estira os flexores do braço. Aferentes do *grupo Ia* tornam-se mais ativos e levam a excitação dos neurônios motores que inervam os flexores
- os músculos contraem para segurar a bola contra a gravidade

Controle motor

- o jogador está pronto para arremessar a bola. Seu *neocórtex* está completamente ativado, ele está olhando para a cesta, para a bola e para os companheiros e adversário
- ao mesmo tempo as *vias ventromediais* estão ativadas para manter a posição ereta. Apesar de seu corpo estar parado, os neurônios dos *corpos anteriores da medula espinhal* estão disparando constantemente sob a influência das *vias ventromediais* mantendo os extensores da parte inferior da perna ativados
- o árbitro apita para ele iniciar o arremesso. A informação sensorial é comunicada aos *córtices parietal e pré-frontal*. Estas áreas, mais a área 6 iniciam o planejamento do movimento

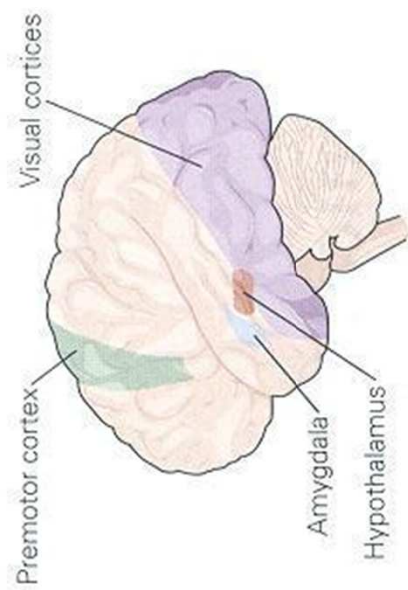
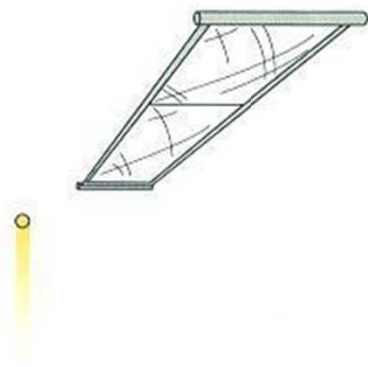
Controle motor

- a atividade pelos *núcleos da base* aumenta, acionando a iniciação do arremesso
- a atividade na *área motora suplementar* aumenta e é seguida imediatamente pela ativação do *córtex motor primário*. Sinais são então emitidos aos axônios das vias laterais
- o cerebelo, ativado pelas entradas *córtico-ponto-cerebelares*, usa estas instruções para coordenar o momento da atividade descendente de forma que uma sequência adequada de contrações musculares pode acontecer
- *eferências corticais* para a *formação reticular* promovem a liberação dos músculos antigravitacionais

Controle motor

- finalmente, sinais da *via lateral* ativam os neurônios motores e interneurônios da medula espinhal que promovem a contração dos músculos. O arremessador lança a bola
- ele avalia o arremesso, ele transpira, está com raiva e nervoso porque não acertou o arremesso
- estas últimas reações não são responsabilidades do *sistema motor somático*
- são responsáveis pelo sistema comportamental

A



B

