

## SISTEMA NERVOSO

### Meta

Nesta aula serão apresentadas as principais características e adaptações do sistema nervoso dos vertebrados.

### Objetivos

Ao final desta aula, o aluno deverá:  
identificar as estruturas que formam o sistema nervoso dos vertebrados, e entenda suas principais adaptações.

### Pré-requisitos

É importante que o aluno tenha entendido os termos utilizados em Anatomia que foram revisados na primeira aula. Como o sistema nervoso coordena todos os demais, é importante que todos os conteúdos estudados tenham ficado bem claros.



(Fonte: <http://www.bitspin.net>)

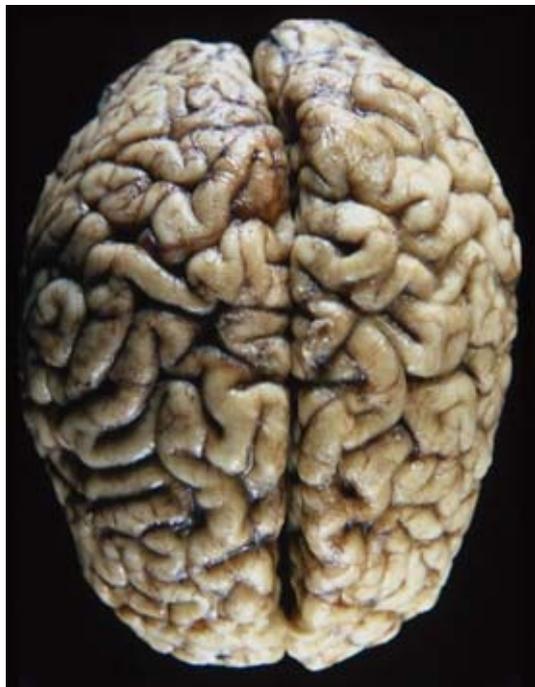
### INTRODUÇÃO

Os animais estão cercados por estímulos variados (e.g. luz, som, substâncias químicas, campos eletromagnéticos) que precisam ser captados, interpretados e, a partir daí, gerar ações. No início uma única célula era responsável por todas as funções vitais de um organismo, porém com a evolução, os seres foram se tornando cada vez mais elaborados. Este fato gerou a necessidade de um controle mais aprimorado, resultando em um aumento da complexidade dos mecanismos de comunicação entre as células e os órgãos.

O sistema nervoso, também chamado de sistema neural, surgiu de uma propriedade fundamental à vida: a irritabilidade, ou seja, a capacidade de responder aos estímulos ambientais. Cabe a este receber as informações dos receptores, transmiti-las aos efetores, geralmente músculos, que respondem a estes estímulos e, por último, regular o comportamento, integrando as informações sensoriais com as armazenadas (experiência passada).

Um sistema nervoso é definido pela existência de neurônios, células especializadas para receber estímulos e apresentar respostas. O sistema nervoso dos vertebrados está dividido em sistema nervoso central (SNC), constituído pelo encéfalo e medula espinhal, e sistema nervoso periférico (SNP), representado pelos demais neurônios que estão fora do SNC.

O SNP é formado por uma parte somática e outra autônoma. A região

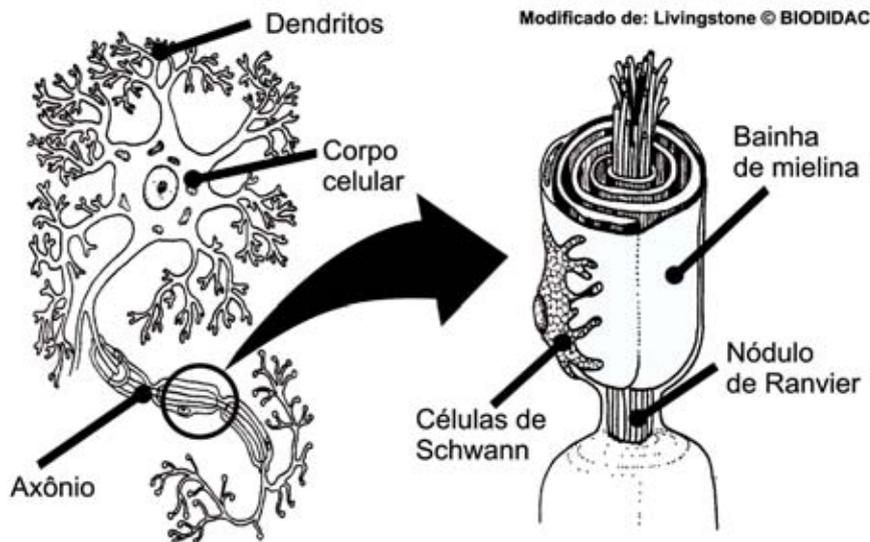


somática é responsável pela coordenação dos movimentos do corpo e também pela percepção de estímulos externos. É esta região que regula as atividades que estão sob controle consciente. Já a parte autônoma está dividida em sistemas nervosos: simpático, parassimpático e entérico. O primeiro responde ao perigo iminente ou stress, e é responsável pelo aumento do número de batimentos cardíacos e da pressão arterial, entre outras mudanças fisiológicas. O segundo, por outro lado, torna-se evidente quando o organismo está relaxado (descançando), sendo ele o responsável pela constrição pupilar, a redução dos batimentos cardíacos, a dilatação dos vasos sanguíneos e a estimulação dos sistemas digestivo e urogenital. Por último temos o sistema nervoso entérico, que gerencia todos os aspectos da digestão, do esôfago ao estômago, intestino delgado e cólon.

(Fonte: <http://www.agenciaaids.com.br>)

## NEURÔNIO

A célula conhecida como neurônio constitui a unidade funcional do sistema nervoso. Esta unidade é formada por um corpo celular, dendritos e um axônio. O corpo celular pode possuir aspecto oval ou semelhante a uma estrela irregular, que mantém o núcleo e vários grânulos de Nissl, que contribui com a síntese proteica. Os dendritos são processos afilados responsáveis pela transmissão de informações para o corpo celular provenientes de outros neurônios. Já o axônio, conduz o impulso nervoso para fora do corpo celular. Este processo pode ser curto ou longo, mas normalmente possui menos ramificações que os dendritos. A maioria dos axônios possui uma bainha de mielina, formada pelo enroscamento de dobras das células de Schwann (cerca de 70 voltas). Estas células se dispõem ao longo dos axônios em formação, presentes fora do encéfalo e da medula espinhal. A bainha de mielina é responsável por uma rápida condução e pela manutenção do neurônio. Em determinados pontos do filamento protoplasmático a bainha de mielina é interrompida. A estas interrupções dá-se o nome de nódulos de Ranvier. Fora do sistema nervoso central, os neurônios possuem uma fina membrana que recobre a bainha de mielina. Esta membrana também é formada por células de Schwann e recebem o nome de neurilema.

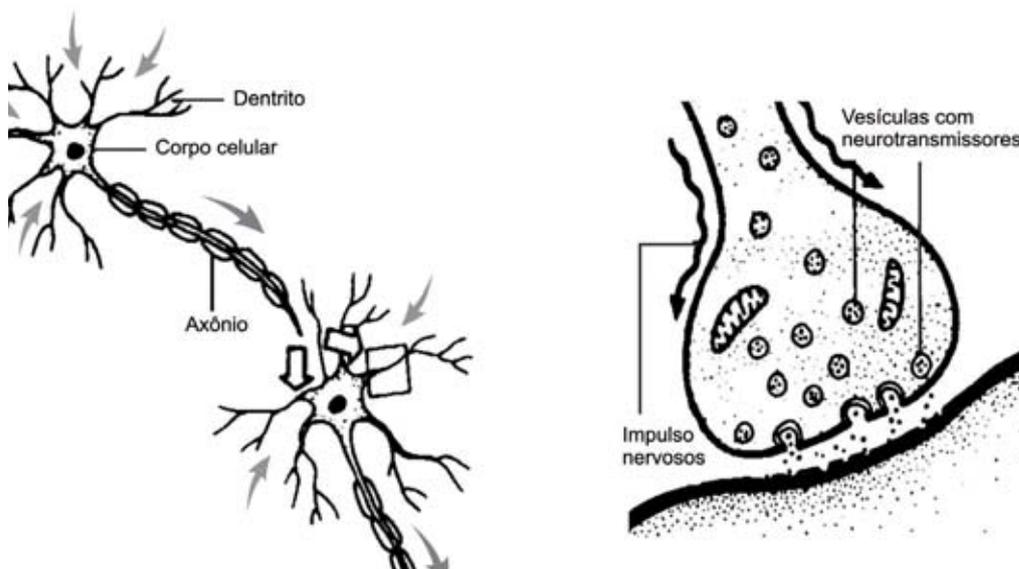


Estrutura de um neurônio com destaque para os nódulos de Ranvier e a bainha de mielina.

O neurônio é responsável pela propagação do impulso nervoso, fenômeno elétrico que ocorre ao longo da membrana superficial da fibra nervosa. Embora exista semelhança entre todos os impulsos, as mensagens enviadas são decodificadas baseadas na frequência dos impulsos em cada fibra, pelo número de fibras ativas e pelas conexões existentes entre os neurônios. A

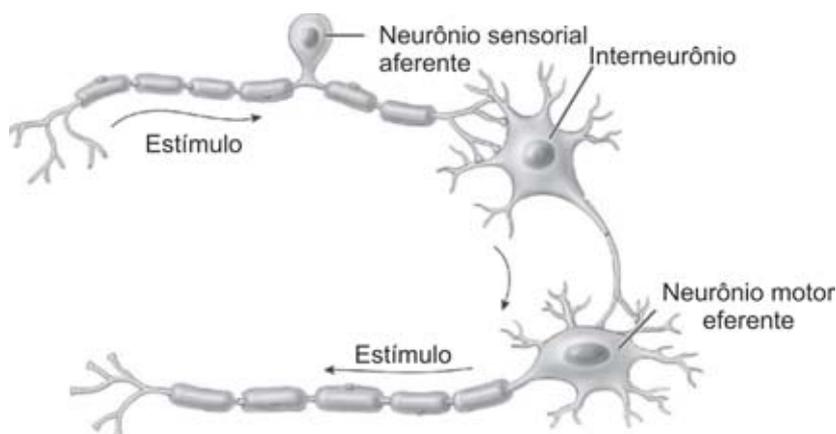
## Cordados I

união funcional do axônio de um neurônio com o dendrito ou corpo celular de outro é conhecida como sinapse. Na parte final do axônio existe um alargamento conhecido por botão sináptico, onde encontramos as vesículas pré-sinápticas que armazenam os neurotransmissores.



Sentido do impulso nervoso em um neurônio e sinapse evidenciando o botão sináptico e as vesículas pré-sinápticas nas quais ficam armazenados os neurotransmissores.

Quanto à função, os neurônios podem ser classificados em: 1) sensoriais (aférente ou sensitivo), os que transportam os estímulos das extremidades do corpo para o sistema nervoso central; 2) motores (eferentes), responsáveis por levar os sinais do sistema nervoso central até as extremidades (músculos, pele, glândulas); 3) interneurônios (associação), os que conectam vários neurônios no interior do cérebro e da medula espinhal.



Tipos funcionais de neurônios.

Já com relação aos seus prolongamentos, os neurônios podem ser classificados em:

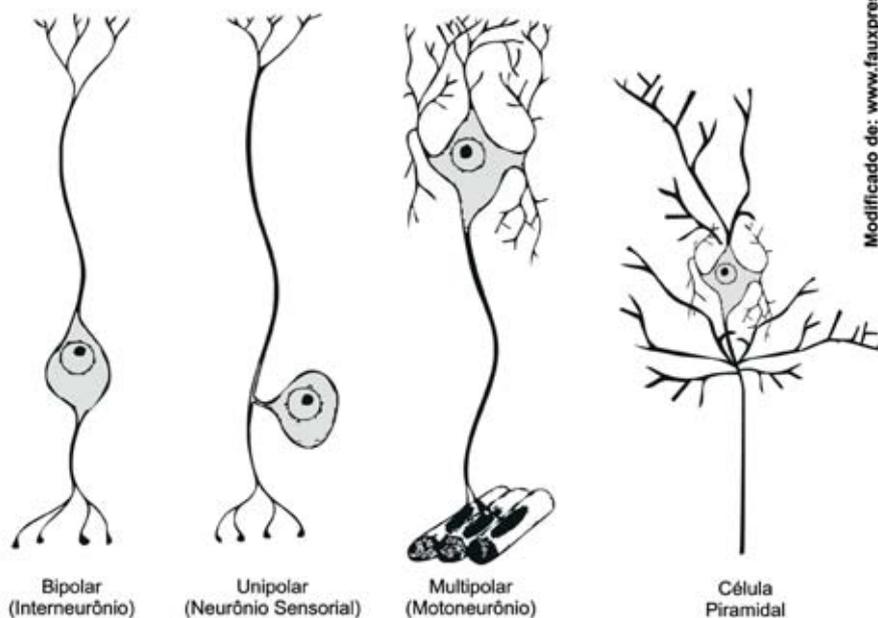
- Neurônio Unipolar: Possui apenas um único axônio saindo do corpo celular. São normalmente raros, ocorrendo em invertebrados ou em processos embrionários.

- Neurônio Bipolar: Possui dois axônios com origem em locais opostos do corpo celular. Esta configuração axônica encontra-se somente entre neurônios sensoriais, como por exemplo, em sistemas visuais, auditivos e olfativos.

- Neurônio Pseudounipolar: Desenvolveram-se inicialmente como neurônios bipolares, mas eventualmente os dois axônios se unem formando um único axônio que emerge do corpo celular. Este axônio divide-se em dois. O primeiro vai para o sistema nervoso periférico, como por exemplo, receptores sensoriais ou fibras musculares; e o outro para o sistema nervoso central, mais especificamente para a medula.

- Neurônio Multipolar: Possui apenas um único neurônio e vários dendritos. Este é o tipo de neurônio mais comum no sistema nervoso, tais como os neurônios piramidais e as células de Purkinje.

### Tipos básicos de neurônio



Tipos de neurônios baseado em seus prolongamentos.

Além dos neurônios, outros tipos celulares podem estar presentes no interior do encéfalo e da medula espinhal. Estes tipos celulares recebem o nome de células da glia ou da neuróglia. Elas são responsáveis pela sus-

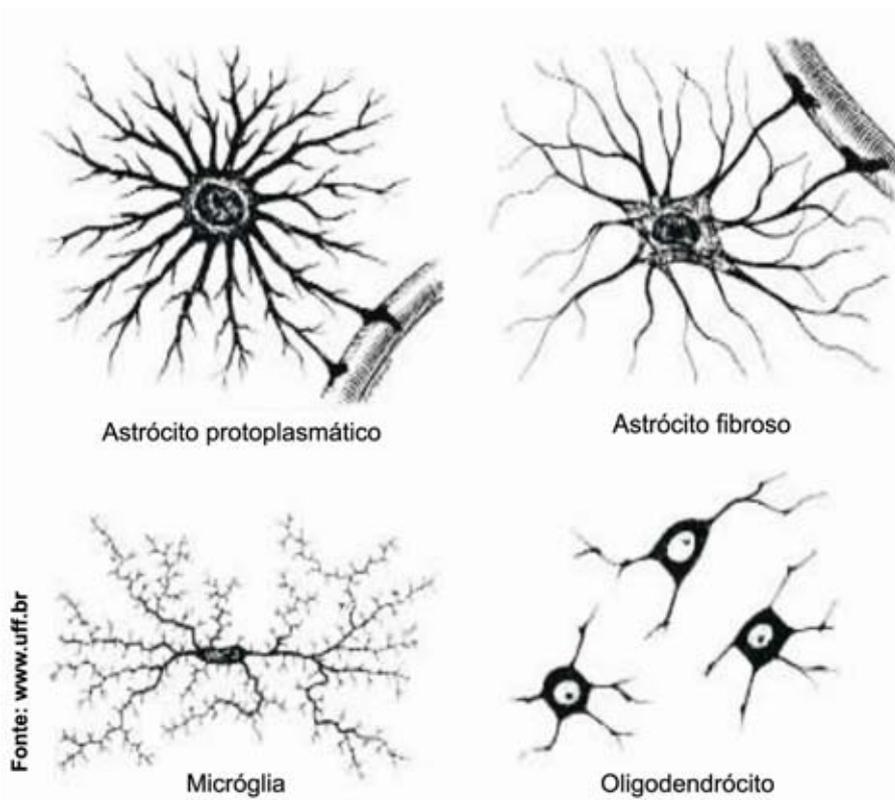
tentação, proteção, isolamento, transporte iônico e nutrição dos neurônios. Aproximadamente metade do volume do encéfalo é formado pela neurógliia.

Três tipos celulares podem ser distinguidos:

- astrócitos - constituem as maiores células da neurógliia, sendo responsáveis pela sustentação e nutrição dos neurônios. Preenchem os espaços entre os neurônios, regulam a concentração de diversas substâncias com potencial para interferir nas funções neuronais normais. Estão envolvidas também no processo regenerativo.

- oligodendrócitos - encontrados apenas no sistema nervoso central. São as células responsáveis pela formação da bainha de mielina.

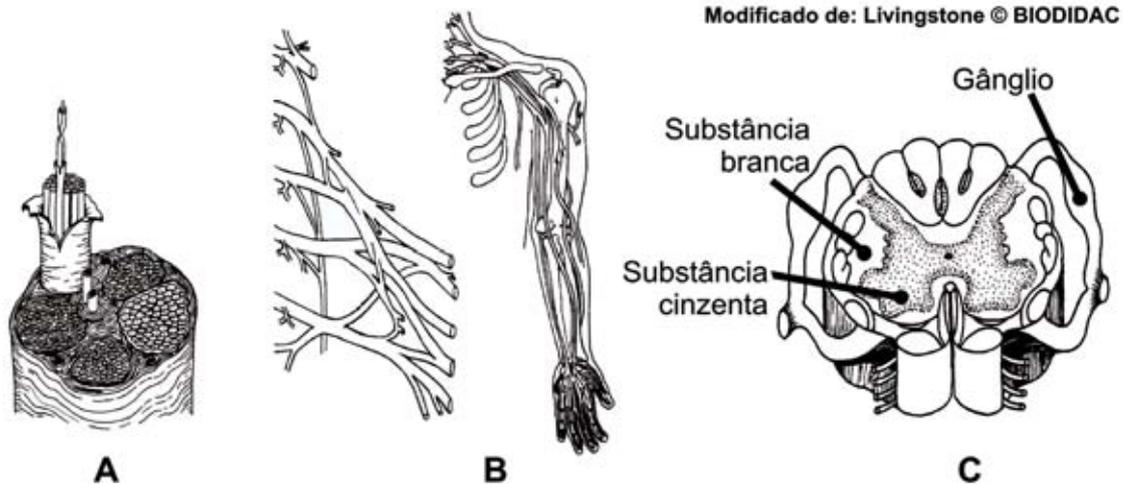
- micróglia - são células fagocitárias, análogas aos macrófagos e que participam da defesa do sistema nervoso. Auxiliam na regeneração do tecido nervoso.



Tipos celulares que compõem a neurógliia.

Feixes são normalmente formados de agrupamentos de fibras longas de neurônios funcionalmente relacionados. Quando estes feixes estão no interior da medula são chamados de tratos, e quando fora do SNC, de nervos. Na medula, o conjunto de tratos mielínicos forma a substância branca, enquanto que os corpos celulares e as fibras amielínicas (dendritos sensoriais e

axônios motores), de coloração mais escura, originam a substância cinzenta. Os nervos podem apresentar gânglios, que são intumescências formadas por agregados de corpos celulares. Nos apêndices, vários nervos espinhais se reúnem e se entrelaçam, trocando feixes de fibras, a estes entrelaçamentos dá-se o nome de plexo.



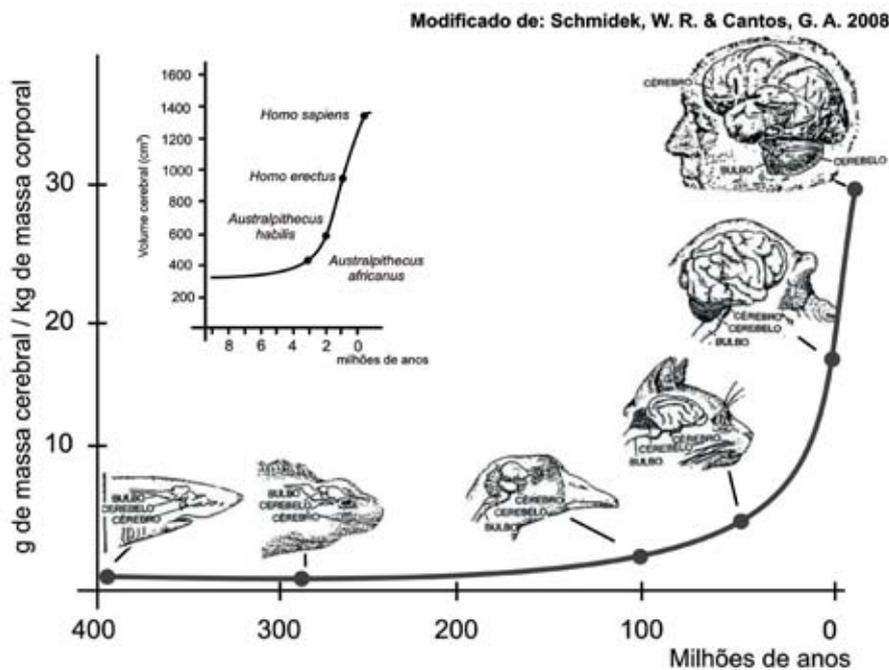
Nervos (A), plexo (B), gânglios e posição dos tratos miélnicos (substância branca) e amielínicos (substância cinzenta) em um corte transversal de medula espinhal (C).

Dois tipos de fibras podem ser observados: as somáticas e as viscerais. As fibras somáticas podem ser sensoriais ou motoras, estando associadas à pele e seus derivados e aos músculos voluntários. Já as fibras viscerais, que também podem ser divididas em sensoriais e motoras, estão relacionadas aos músculos involuntários e às glândulas dos vários sistemas de órgãos. Estes conjuntos de fibras são relativamente independentes (estruturalmente e funcionalmente) e responsáveis por desencadear respostas antagônicas. Por conta disto estas fibras juntas fazem parte do que é designado como sistema nervoso autônomo (simpático e parassimpático). Maior detalhamento sobre esta parte do sistema nervoso será dado mais adiante.

## SISTEMA NERVOSO DOS VERTEBRADOS

O padrão ancestral que representaria todos os vertebrados lembra o de um peixe, e muito provavelmente foi a partir de um modelo como este que as pressões ambientais foram favorecendo sucessivas mudanças adaptativas em diferentes ambientes, originando a diversidade de espécies que temos hoje. Quando comparamos as diferentes classes de vertebrados é possível verificar uma tendência progressiva de aumento do encéfalo (encefalização) e junto com ela, mecanismos progressivamente mais complexos no processamento e análise das informações sensoriais (aumento do número de neurônios) e dos comandos motores aos órgãos efetadores do corpo somático e visceral.

A encefalização dos vertebrados levou ao desenvolvimento de diversas capacidades funcionais como: respostas rápidas, alta capacidade de armazenamento de informações, aumento na complexidade e flexibilidade do comportamento e habilidade de fazer associações entre eventos passados, presentes e (pelo menos nos seres humanos) futuros.



Crescimento relativo do cérebro ao longo da evolução dos vertebrados (Imagem extraída do artigo: Schmidek, W.R. & Cantos, G.A. 2008. Evolução do sistema nervoso, especialização hemisférica e plasticidade cerebral: um caminho ainda a ser percorrido. Revista Pensamento Biocêntrico 10:181-204.)

## ORGANIZAÇÃO GERAL SISTEMA NERVOSO

O sistema nervoso é constituído de duas partes: 1) sistema nervoso central (SNC) e 2) sistema nervoso periférico (SNP). O SNC está protegido por uma armadura óssea: o encéfalo fica encerrado dentro do crânio e a medula, no interior da coluna vertebral (no canal neural das vértebras). Os nervos cranianos e espinhais emergem dos forames ósseos. O encéfalo é subdividido em três estruturas anatômicas: o cérebro (telencéfalo e o diencéfalo), cerebelo e o tronco encefálico. O tronco encefálico está situado entre a medula, e o diencéfalo é subdividido no sentido rostro-caudal em mesencéfalo, ponte e bulbo. O SNP é formado pelos nervos espinhais e cranianos, gânglios, terminais sensitivos e motores, cujas fibras nervosas colhem informações sensoriais para o SNC e, a partir deste, enviam mensagens aos órgãos efetores.

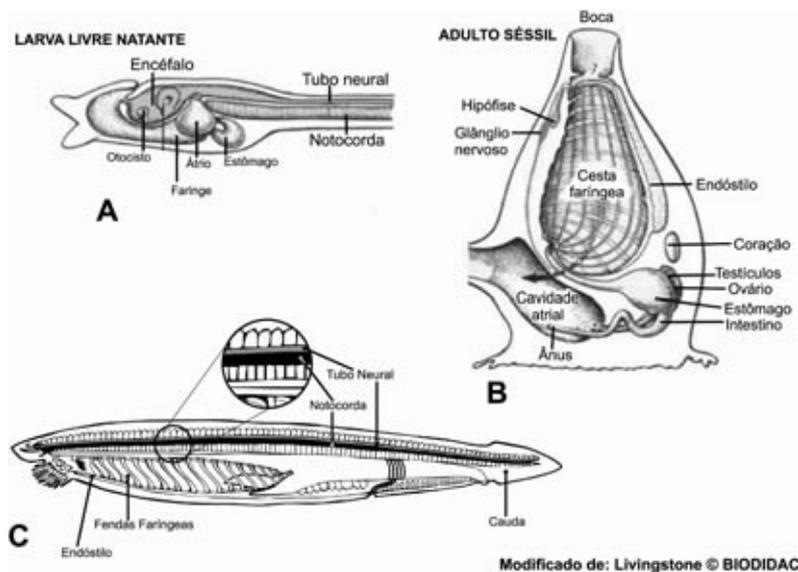


Organização geral do sistema nervoso dos vertebrados.

## SISTEMA NERVOSO CENTRAL

### ENCÉFALO

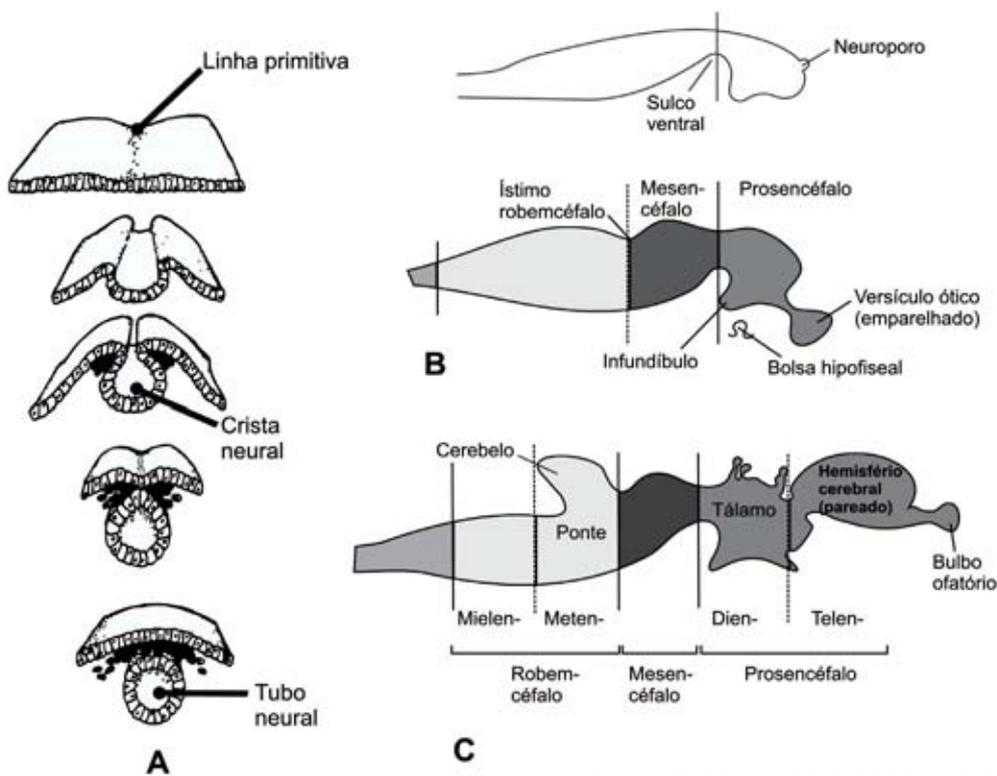
Os primeiros cordados não chegaram a formar um encéfalo. Na fase larval dos Urochordata é possível observar uma dilatação anterior que se modifica junto com o restante do tubo nervoso, após a metamorfose, em um gânglio nervoso simples. Já nos Cephalochordata a porção anterior do tubo nervoso é diferenciada, formando uma expansão com três divisões.



Desenho esquemático dos sistemas nervosos de Urochordata (larva – A e adulto – B) e Cephalochordata - C.

## Cordados I

Nos primeiros estágios do desenvolvimento embrionário dos vertebrados, surge como um tubo oco de tecido neural. Este tubo neural estende-se ao longo do embrião em sua porção dorsal. Na extremidade anterior do embrião o tubo forma três vesículas encefálicas, separadas por constrições, que darão origem ao prosencéfalo, mesencéfalo e o rombencéfalo, enquanto o restante do tubo forma a medula espinhal. Cada uma das três regiões do encéfalo embrionário origina várias estruturas do encéfalo adulto por constrições adicionais. O prosencéfalo embrionário origina uma região central conhecida por diencéfalo e uma estrutura que se projeta bilateralmente chamada de telencéfalo. O diencéfalo, a parte caudal do prosencéfalo, é constituído por uma porção superior chamada tálamo, e uma inferior conhecida como hipotálamo (alguns autores trazem uma terceira divisão o epitálamo). O telencéfalo consiste em dois hemisférios cerebrais (direito e esquerdo), também chamado, em conjunto, de cérebro. O mesencéfalo permanece inicialmente indiviso, porém ele contribui para a formação do encéfalo médio dos adultos representado pelos lobos ópticos e auditivos e pelos nervos cranianos III e IV. O mesencéfalo e o rombencéfalo juntos são chamados de tronco encefálico. A partir do rombencéfalo embrionário forma-se um metencéfalo rostral, que irá originar o cerebelo e a ponte no adulto, e um mielencéfalo caudal, que dará origem ao bulbo.

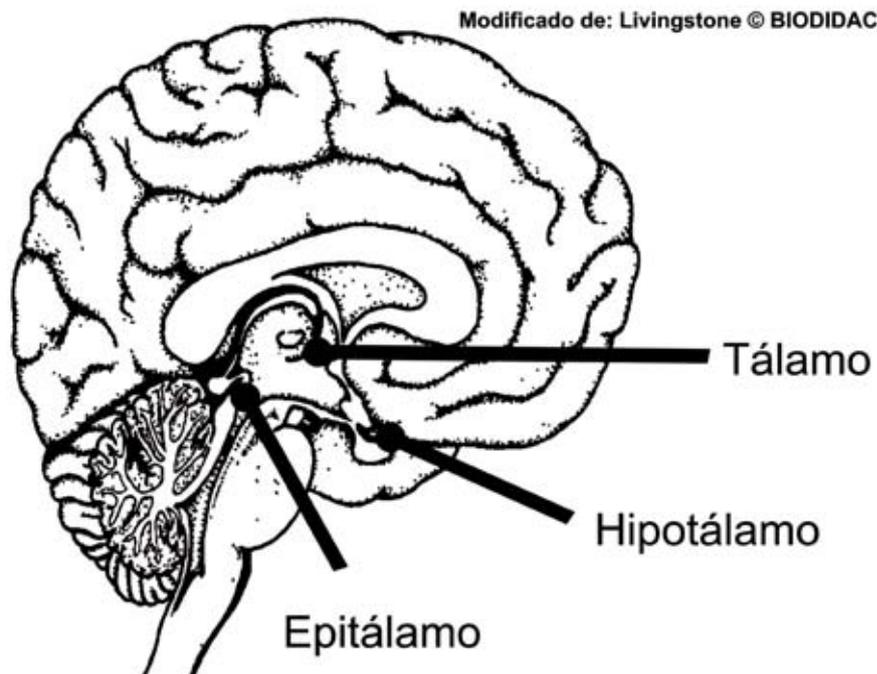


Modificado de: Livingstone © BIODIDAC; Hildebrand & Goslow JR, 2006

Formação do tubo nervoso dorsal (A) e das vesículas primárias (B) e secundárias (C) nos vertebrados.

Vesículas primárias	Vesículas Secundárias	Derivados nos amniotas adultos
Prosencéfalo	Telencéfalo	Tratos olfatórios
		Hemisférios cerebrais
		Corpo estriado
		Hipocampo
	Diencefalo	Tálamo
		Hipófise
Órgão pineal		
Mesencéfalo	Mesencéfalo	Encéfalo médio: lobos ópticos e auditivos, nervos cranianos III e IV
Rombocéfalo	Metencéfalo	Cerebelo
		Ponte
	Mielocéfalo	Bulbo: formação reticular, nervos cranianos V-XII

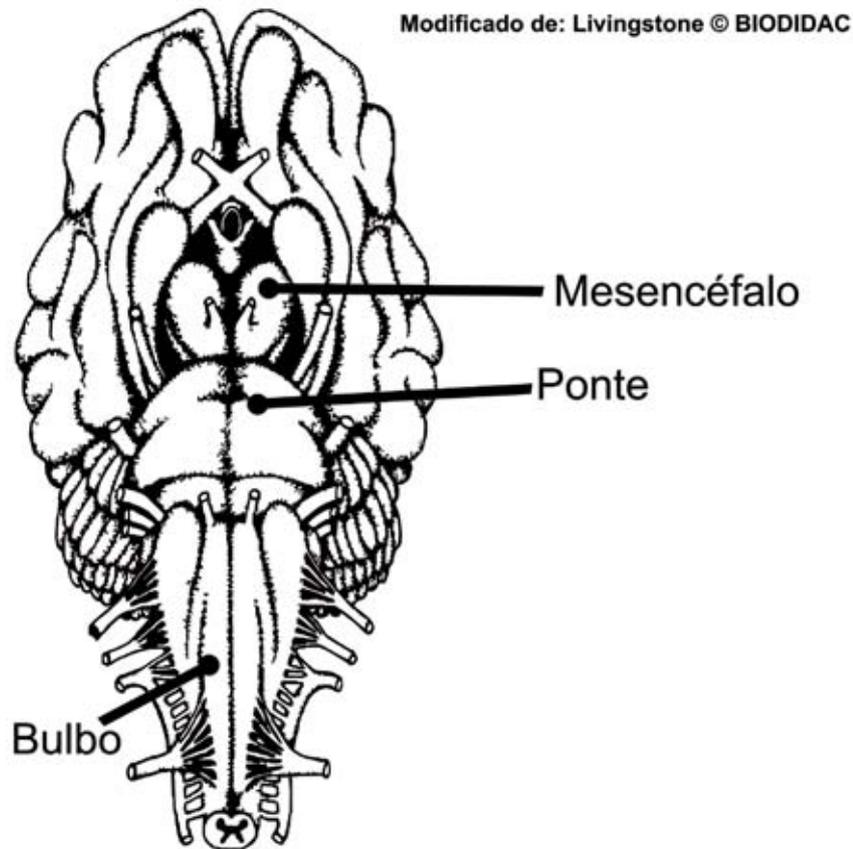
O diencefalo é formado a partir da região anterior do prosencéfalo. Ele se diferencia em epitálamo, tálamo e hipotálamo. O epitálamo está localizado na região posterior e superior do diencefalo contendo funções endócrinas (glândula pineal – hipófise) e não endócrinas (habênulas). Esta região afeta a pigmentação da pele (age nos melanócitos) em peixes, anfíbios e répteis e regula os ritmos biológicos em aves e mamíferos. O tálamo corresponde à maior parte do tronco encefálico rostral. É responsável pela coordenação principal de impulsos sensoriais de todas as partes do corpo. O hipotálamo corresponde à parte ventral do diencefalo. Contribui para o controle das funções autônomas do corpo, incluindo o balanço hídrico, a regulação da temperatura, o apetite e a digestão, a pressão sanguínea, o sono, o comportamento sexual e as emoções.



Regiões correspondentes ao tálamo, hipotálamo e epitálamo.

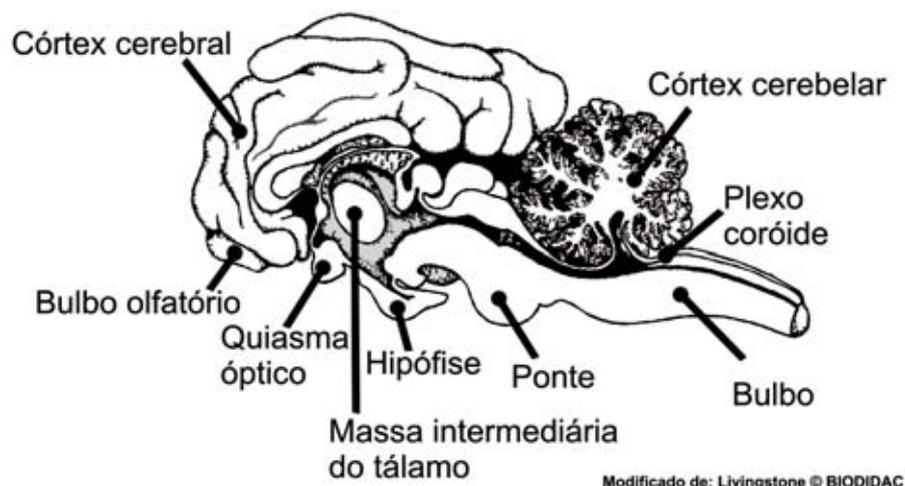
O tronco encefálico representa o eixo central do encéfalo, correspondendo a uma haste na qual o cérebro e o cerebelo se apoiam. Possui uma complexa rede de neurônios que em parte servem de estações de retransmissão do cérebro para o cerebelo e medula e vice-versa. É a primeira região a se formar durante a ontogenia, sendo também a menos variável e a mais parecida com a medula espinhal quanto à estrutura. Recebe todos os nervos cranianos com exceção dos nervos terminal e olfatório. O mesencéfalo e o mielencéfalo adultos são normalmente chamados de encéfalo médio e bulbo, respectivamente.

Os derivados do mielencéfalo controlam a frequência cardíaca, a força de contração, estabelecem taxas respiratórias, conduzem informações ao cerebelo e regulam os movimentos intestinais. A medula oblonga ou bulbo é o ponto de origem de alguns nervos cranianos (VII - X ou VII - XII), serve de passagem de fibras ascendentes e descendentes.



Tronco encefálico de um mamífero: bulbo, ponte e mesencéfalo.

O cerebelo e a ponte são os principais derivados do metencéfalo. Contribuem para coordenação das funções motoras e manutenção do equilíbrio dos vertebrados. O cerebelo desenvolve-se a partir da região dorsal do metencéfalo, um pouco depois do desenvolvimento do tronco encefálico. Possui dois hemisférios e extensas conexões com o cérebro e a medula. Ao contrário do cérebro, cada hemisfério está mais relacionado com o mesmo lado do corpo. O cerebelo dos amniotas e de alguns peixes é um apêndice conspícuo do tronco encefálico, cobrindo grande parte da porção caudal de sua superfície dorsal. Agnatas e anfíbios possuem cerebelos pequenos e lisos. Nas aves e nos mamíferos esta estrutura é bem grande, lobado e convoluto formando giros e sulcos.



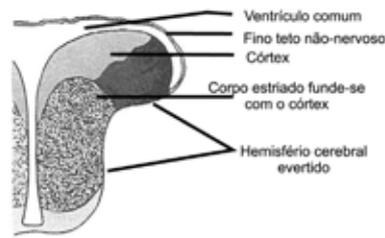
Vista sagital do cérebro de um carneiro.

Todos os vertebrados possuem um cérebro com o mesmo plano básico; mudanças evolutivas ocorrem por perda, fusão ou aumento de diferentes regiões. O cérebro (telencéfalo adulto) corresponde à porção anterior e principal do encéfalo que é formada por dois hemisférios cerebrais. De um modo geral, o cérebro direito recebe informações sensoriais e controla os movimentos do lado esquerdo do corpo e o mesmo acontece em relação ao cérebro esquerdo. Os corpos celulares de neurônios funcionalmente relacionados concentram-se na superfície do cérebro e cerebelo, constituindo o córtex. Três partes são reconhecidas no córtex: paleocórtex, arquicórtex e neocórtex. Em geral o paleocórtex (exceções actinoptérgios e mamíferos) é lateral ao ventrículo e o arquicórtex dorsal e mediano ao mesmo. O neocórtex pode estar entre as outras partes ou, aparentemente em répteis e aves, ser ventral ou lateral ao ventrículo. O neocórtex é responsável por receber as informações olfativas, visuais e auditivas. O paleocórtex regula as emoções e a memória em curto prazo, além de controlar as seqüências de ações em movimentos complexos é representado pelo giro para-hipocampal. O arquicórtex é constituído pelo hipocampo, importante para a memória de relações espaciais.

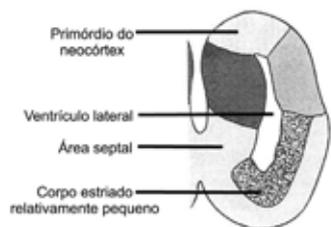
Modificado de: Hildebrand & Goslow JR, 2006



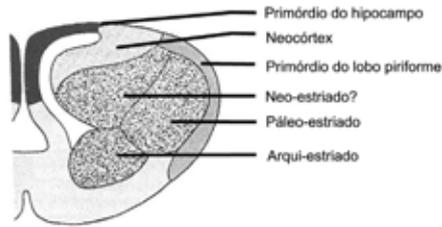
ELASMOBRANCHII



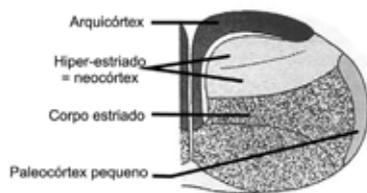
TELEOSTEI



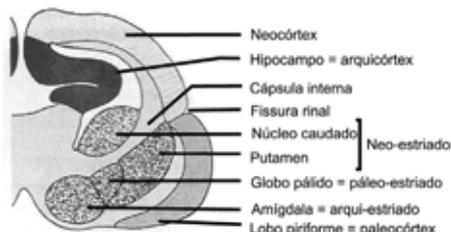
AMPHIBIA



REPTILIA



AVES

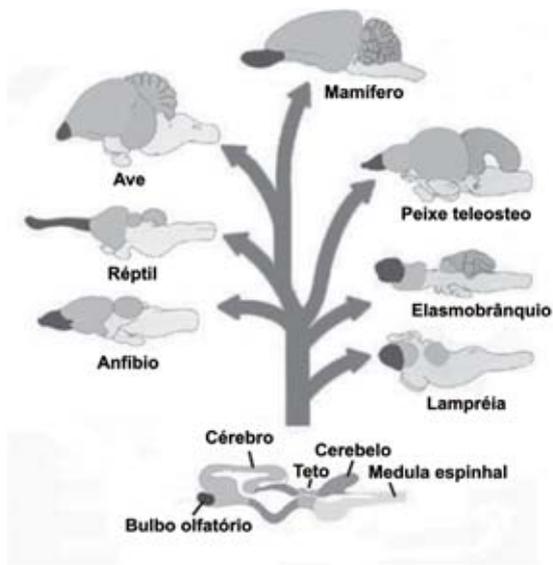
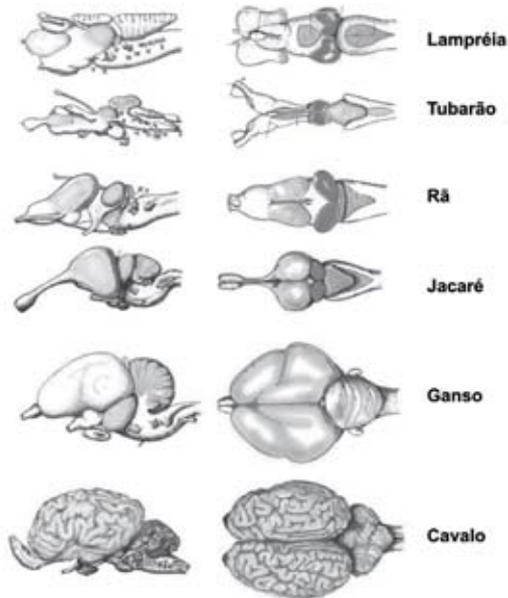


MAMMALIA PRIMITIVOS

Córcex cerebral (corte transversal) de alguns vertebrados: paleocórcex, arquipórcex e neocórcex.

Como já foi comentado, existe uma tendência ao longo da evolução dos vertebrados para o aumento do tamanho da parte anterior (Prosencéfalo), o que possibilitou o desenvolvimento de comportamentos mais complexos e um melhor controle muscular. A coordenação dos movimentos dos membros torna-se mais complicada, em razão do aumento na entrada de informações sensoriais e também da saída de respostas motoras. O hemisfério esquerdo em humanos está relacionado com a linguagem, capacidades matemática e de aprendizado além de processos seqüenciais de pensamento. Já o hemisfério direito coordena as atividades espaciais, musicais, artísticas e perceptivas.

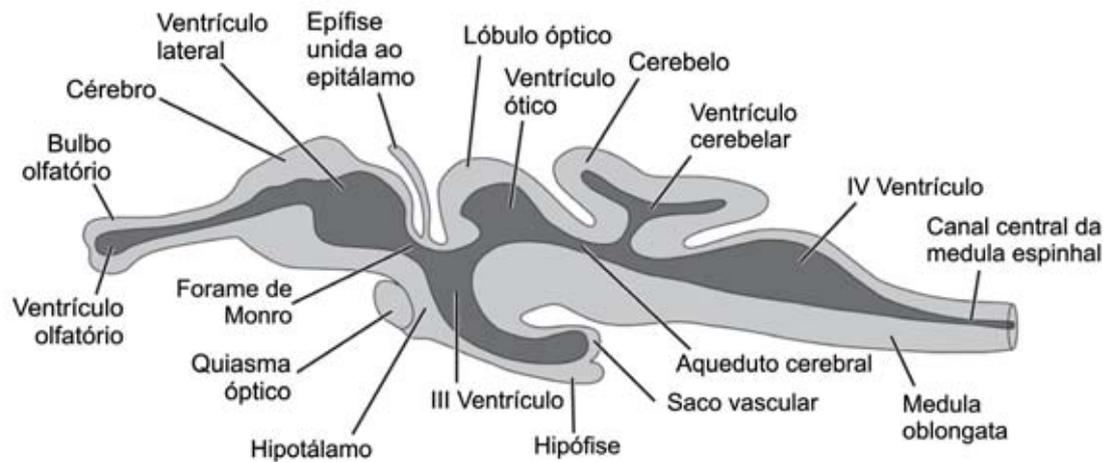
## Cordados I



Evolução do encéfalo em vertebrados.

O mesencefalo é formado pelo teto, que inclui os lobos ópticos, que recebem fibras da retina e que possui tamanho dependente da importância da visão para o animal, os lobos auditivos recebem as fibras do ouvido interno. Em peixes e anfíbios, integra informações visuais, táteis e auditivas.

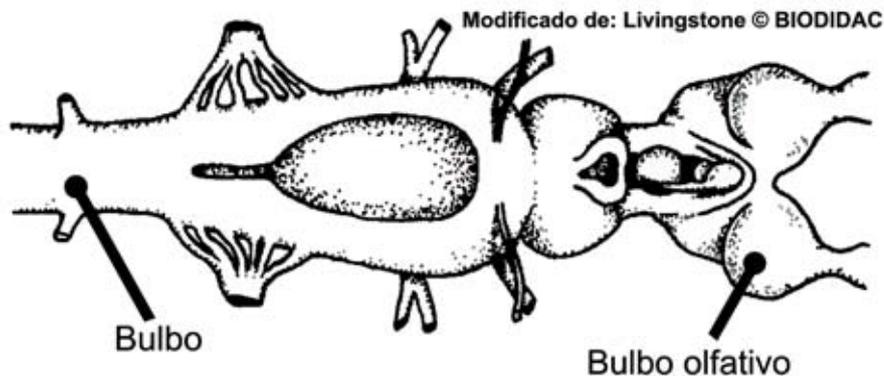
Modificado de: Walker & Liem, 1994



Estrutura generalizada da parte mais cranial do sistema nervoso de um vertebrado.

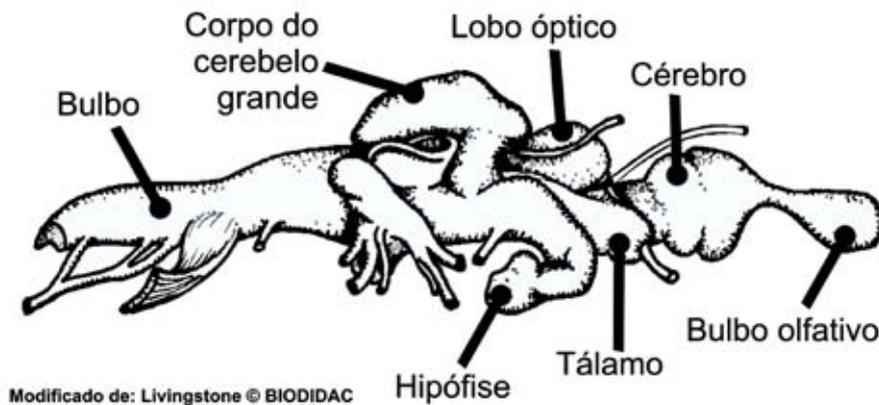
## EVOLUÇÃO DO ENCÉFALO

- Agnatos – encéfalo primitivo; grandes bulbos olfativos; lobos ópticos são evidentes nas lampreias e pequenos nas feiticeiras; cerebelo rudimentar. Não há uma delimitação clara dos núcleos da base e do córtex cerebral (paleo e arquicórtex), ou seja, como na medula, não há uma clara distinção entre substância cinzenta e branca. O cerebelo é pouco desenvolvido nestes animais que mal se locomovem e, quando o fazem, são lentos.



Encéfalo de uma lampreia.

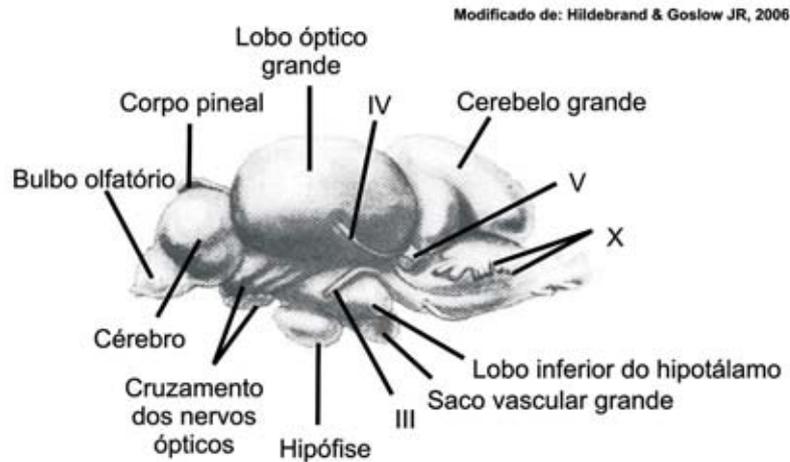
- Elasmobranchii – encéfalo bem desenvolvido, com bulbos olfativos e cerebelos grandes nas espécies ativas.



Encéfalo de um tubarão.

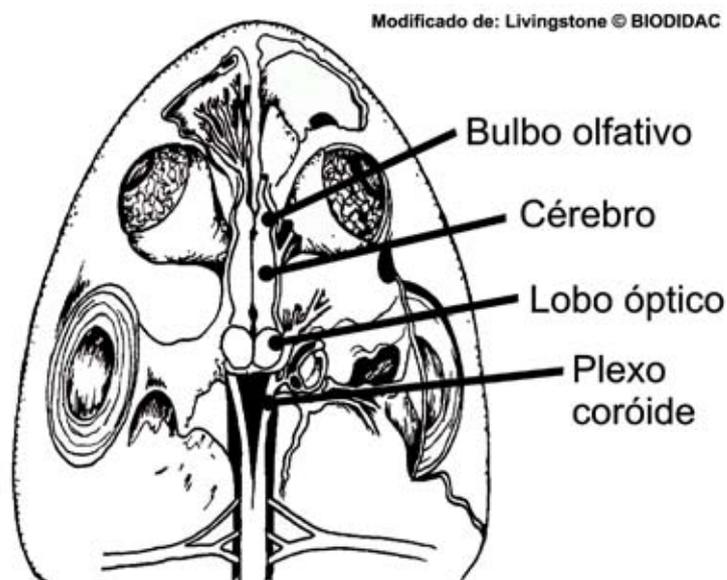
- Osteichthyes – encéfalos diversificados com lobos ópticos volumosos, cerebelo liso, mas normalmente grande, e no bulbo existem vias amplas relacionadas a gustação.

## Cordados I



Encéfalo de um peixe ósseo.

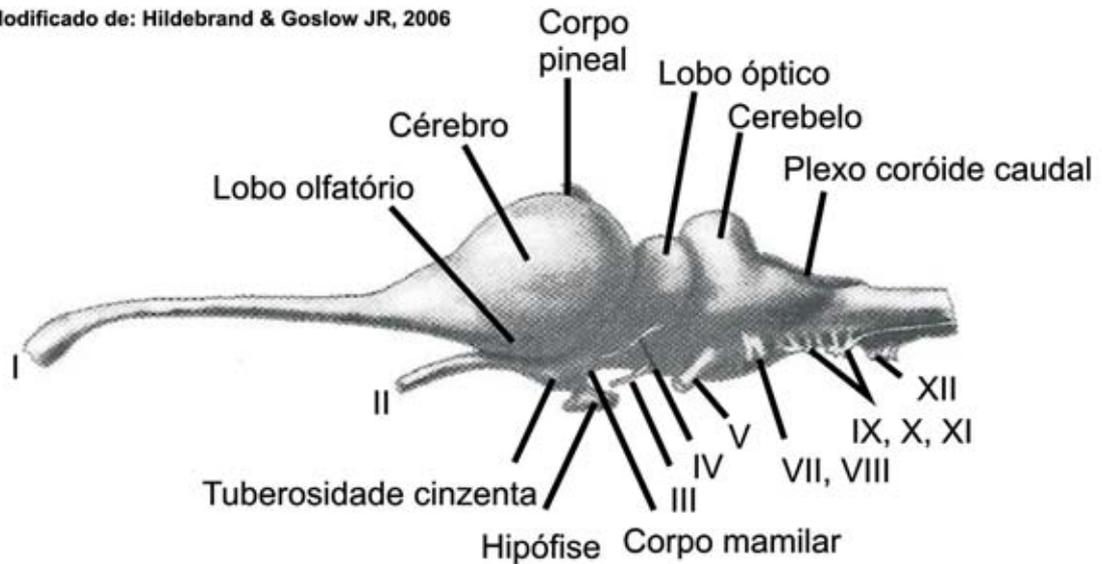
- Amphibia – encéfalos não especializados com hemisférios cerebrais mais separados. Lobos ópticos apresentam dimensões moderadas em anuros e pequenas em urodelos e o cerebelo é rudimentar. Observa-se pouca mudança em relação aos elasmobrânquios mais avançados. Possuem áreas piriformes e hipocampais distintas e observa-se um aumento do tálamo dorsal (sensorial). O teto do mesencéfalo é bem desenvolvido, sendo que o processamento visual e o comportamento associado são integrados nesse nível. O mesencéfalo é o mais alto nível da hierarquia motora dos anfíbios. A existência dos quatro membros torna a medula cervical e lombar maiores em relação à torácica. O cerebelo é rudimentar.



Encéfalo de um anfíbio.

- Répteis – encéfalo estreito, alongado e quase reto, com bulbos olfativos tendendo a ser menores que os dos peixes. Os tratos olfativos são longos, o cerebelo é liso e maior nos nadadores e rudimentar nas serpentes. Os lobos ópticos são conspícuos e o corpo estriado é bastante desenvolvido, havendo rudimentos de neocórtex associados. Neste grupo a substância cortical se tornou tipicamente externa e delgada. O tálamo dorsal é maior ainda e mais complexo do que nas aves e a porção ventral apresenta praticamente todas as organizações presentes nos mamíferos. Possui um sentido visual aguçado, com os lobos ópticos sendo bem desenvolvidos.

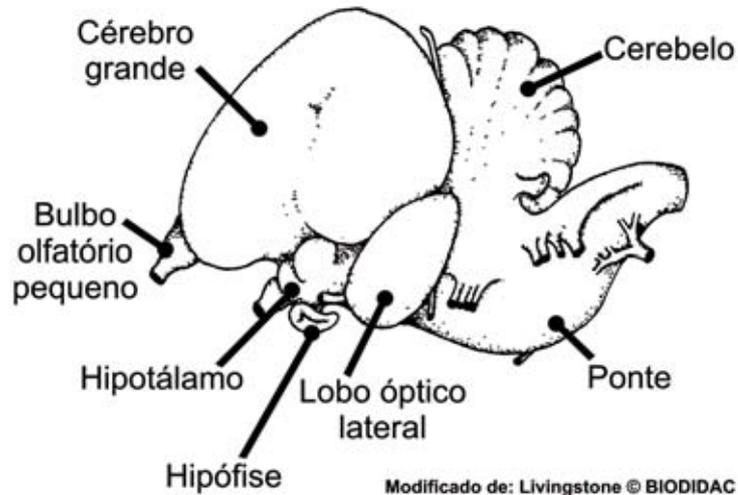
Modificado de: Hildebrand & Goslow JR, 2006



Encéfalo de um réptil evidenciando os nervos cranianos.

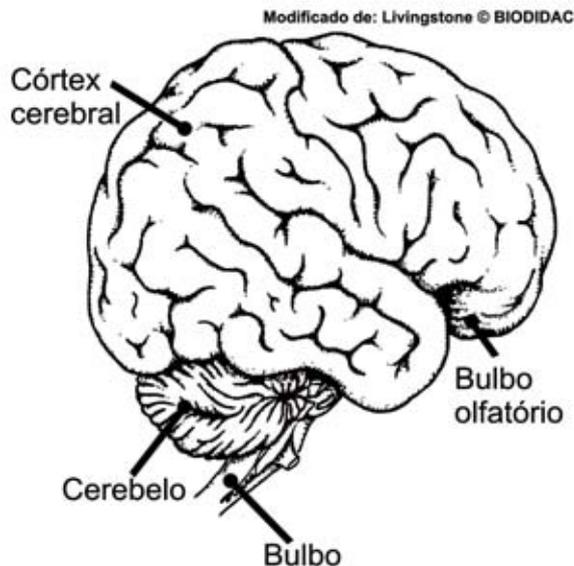
- Aves – encéfalos relativamente grandes, uniformes e peculiares; bulbos e tractos olfativos são evidentes nos animais necrófagos, hemisférios cerebrais grandes. O cerebelo é bem desenvolvido estando relacionado à ampla capacidade de manobras locomotoras como o vôo. O sentido olfativo não é o mais importante, com exceção dos animais necrófagos. O grande aumento do telencéfalo está associado ao aumento do corpo estriado. O tálamo dorsal é ainda maior assim como os lobos ópticos e os temporais.

## Cordados I



Encéfalo de uma ave.

- Mamíferos – bulbos e tratos olfativos variam de imensos a muito pequenos. Os hemisférios cerebrais são lisos na maioria dos pequenos mamíferos e convolutos nos grandes. Cerebelo grande, também bastante convoluto e relativamente largo. O amplo desenvolvimento do neocórtex é a marca registrada do grupo e corresponde ao mais alto nível da hierarquia funcional. O amplo desenvolvimento do neocórtex resulta numa nova e grande comissura, o corpo caloso que interliga os dois hemisférios neocorticais. O tálamo bastante proeminente é a estação de retransmissão principal. Os lobos ópticos nos mamíferos se encontram bastante reduzidos, participando apenas na integração dos reflexos visuais.



Encéfalo de um mamífero.

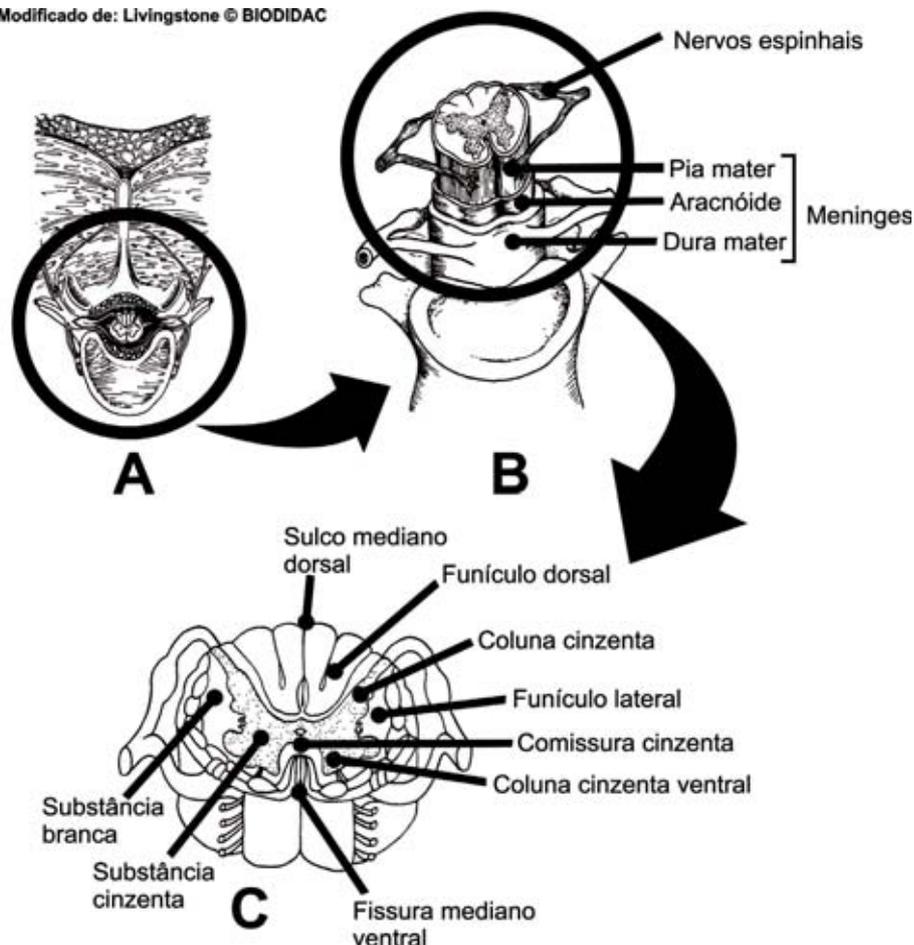
## MEDULA ESPINHAL

A porção alongada do sistema nervoso central, alojada no interior do canal neural é conhecida por medula espinhal. Esta estrutura tem por funções receber o importe de impulsos, integrá-los e coordená-los, transmiti-los ao local adequado no interior do sistema nervoso central e, por fim, enviar respostas de modo apropriado ao sistema nervoso periférico.

Se fizermos um corte transversal de uma medula espinhal, podemos evidenciar as seguintes partes:

- Substância cinzenta – região mais interna de coloração escura e formato irregular lembrando uma letra “H”. Esta região se divide em:
  - Colunas cinzentas dorsais – formadas pelos corpos celulares dos interneurônios (região medial – estabelece sinapses com fibras sensoriais somáticas e região mais externa – estabelece sinapses com fibras sensoriais viscerais);
  - Colunas cinzentas ventrais – formadas pelos corpos celulares dos neurônios motores somáticos. Os corpos celulares dos neurônios motores viscerais situam-se numa posição pequena, intermediária e lateral;
  - Comissuras cinzentas – representada pela região que une as colunas cinzentas (direita e esquerda). São responsáveis pela transmissão das fibras de um lado da medula para o outro.
  - Substância branca – formada pelo conjunto de tratos mielínicos. A substância branca externa é dividida pelo sulco mediano dorsal e pela fissura mediana ventral da medula. As metades formadas são ainda divididas pelas colunas cinzentas em três funículos como segue abaixo:
    - Funículo dorsal – situado entre a coluna dorsal e o sulco mediano dorsal. Responsável por enviar axônios em direção ao encéfalo;
    - Funículo ventral – localizado entre a fissura ventral e a coluna vertebral. Transmite axônios para longe do encéfalo;
    - Funículo lateral – está posicionado entre as colunas dorsal e ventral, sendo responsável por transmitir fibras em ambas as direções.
  - Meninges – uma ou mais camadas de tecido que recobrem a medula espinhal fornecendo sustentação e proteção a mesma. São semelhantes e contínuas com as meninges do encéfalo.

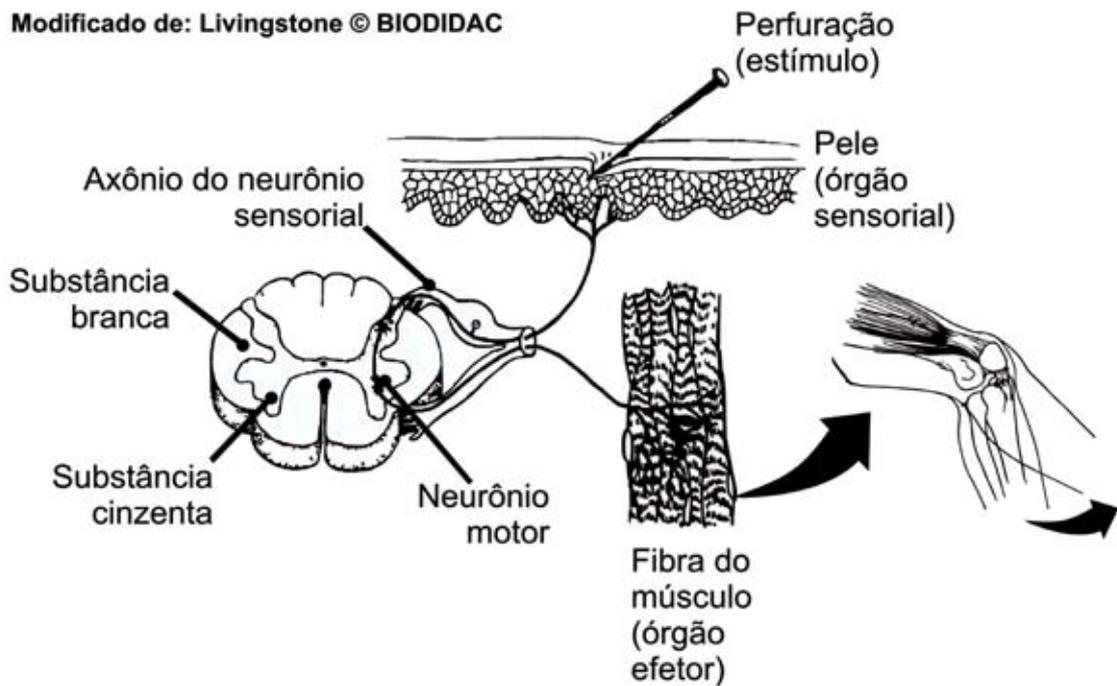
Modificado de: Livingstone © BIODIDAC



Estrutura geral da medula espinhal de um mamífero. Corte transversal (A), posição em relação à coluna vertebral, evidenciando os nervos espinhais e as meninges (B) e visão mais ampla sem o revestimento das vértebras (C).

### ARCO REFLEXO

O arco reflexo é caracterizado por uma reação involuntária rápida às alterações ambientais. Ele é originado de um estímulo externo antes mesmo do cérebro tomar conhecimento do estímulo periférico, conseqüentemente, antes deste comandar uma resposta. Os arcos reflexos são comandados pela substância cinzenta da medula espinhal e do bulbo. O conjunto que desencadeia esta reação é formado por um receptor, um aferente, sistema nervoso central, um eferente, e um efeitor. Os efetores são representados pelos músculos, glândulas, células ciliadas, órgãos elétricos, cromatóforos, etc. Os nervos segmentares da medula espinhal são separados em raízes sensitivas dorsais e raízes motoras ventrais. Da união dos corpos celulares das células nervosas se formam os gânglios da raiz dorsal.

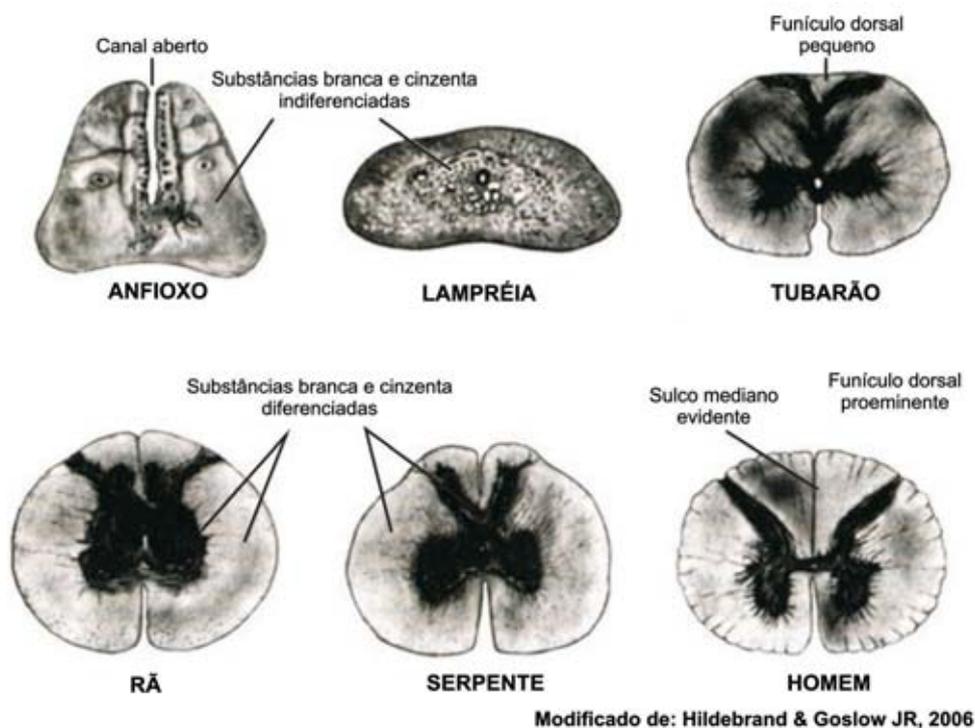


Conjunto de estruturas que formam o arco reflexo.

### EVOLUÇÃO DA MEDULA ESPINHAL

Algumas variações são encontradas na medula espinhal dos cordados. A conformação mais simples é a observada nos anfioxos que não apresentam distinção entre as substâncias cinzenta e branca, devido à ausência da mielina neste grupo. O canal do epêndima também não se fecha comunicando-se por meio de um sulco com o espaço em torno da medula. Nos agnatas um canal central (canal do epêndima) é formado, e a medula tem um aspecto largo com superfície ventral côncava que se ajusta à notocorda. Neste grupo as substâncias branca e cinzenta permanecem ainda indistintas. Nos demais grupos de peixes e nos anfíbios, a medula assume uma conformação quase circular quando observada em seção transversal. Agora é possível distinguir as substâncias cinzenta e branca. Por último temos os amniotas cujas medulas espinhais possuem sulco e fissura profundas. Próximo aos membros é possível observar as intumescências cervical e lombar.

## Cordados I



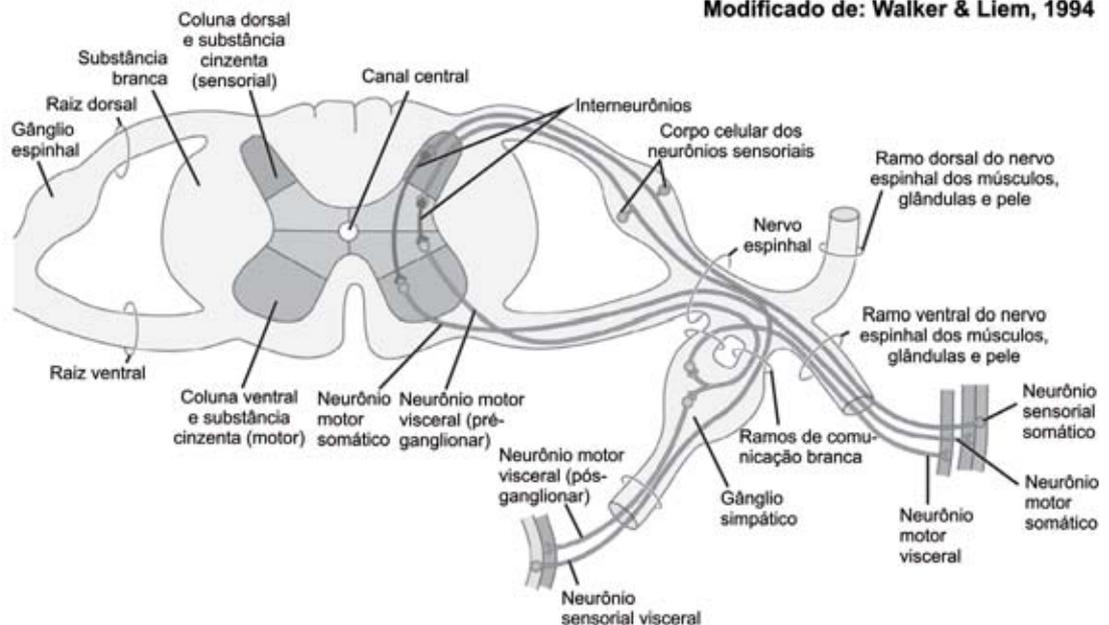
Aspecto geral da medula espinhal de alguns vertebrados.

## SISTEMA NERVOSO PERIFÉRICO

### NERVOS ESPINHAIS

Nos vertebrados podemos observar nervos pareados que surgem da medula espinhal por meio de raízes dorsais e ventrais, que se unem para formar os nervos espinhais. De um modo geral, as raízes dorsais estão associadas com a sensibilidade somática e visceral e as raízes ventrais, com a motricidade somática e visceral. Quatro tipos de fibras nervosas podem ser distinguidos: sensorial somática (aferente), sensorial visceral, motora somática (eferente) e motora visceral.

Modificado de: Walker &amp; Liem, 1994

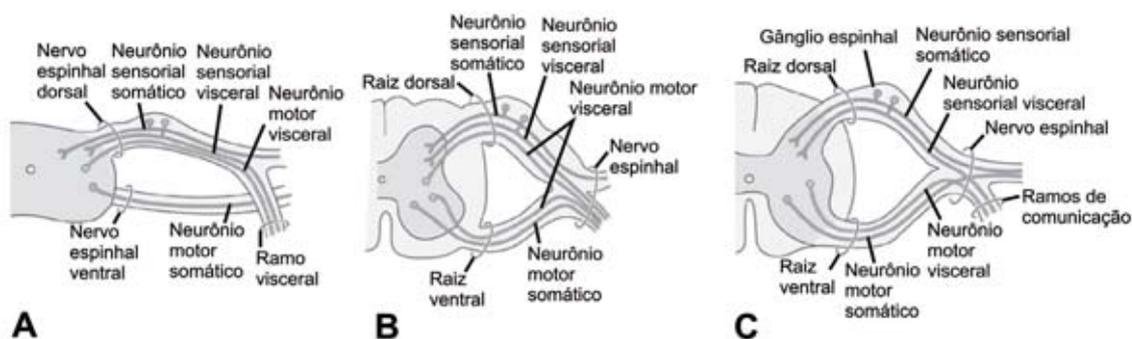


Medula espinhal de um mamífero evidenciando os nervos espinhais.

O número e o modo de emergência das fibras nervosas variam entre os grupos de cordados. Nos anfioxos é possível identificar uma série de nervos espinhais dorsais pares, onde três tipos de fibras estão presentes, sendo elas denominadas: sensoriais somáticas da pele e da musculatura, sensoriais viscerais dos órgãos internos e motores viscerais. Os nervos espinhais ventrais neste caso estão ausentes, apesar de já terem sido confundidos com fibras musculares especializadas de disposição segmentar e que se estendem até a superfície da medula. Nas lampreias estão presentes as raízes dorsal (com fibras sensoriais somática, sensoriais viscerais e motoras viscerais) e ventral (apenas fibras motoras somáticas), porém elas não se unem. Já nas feiticeiras, demais grupos de peixes e nos anfíbios, os nervos dorsais (constituídos por fibras sensoriais somáticas e viscerais e por fibras motoras viscerais) e ventrais (fibras motoras somáticas e viscerais), unem-se externamente à coluna vertebral para formar um único nervo espinhal por segmento em cada lado do corpo. Nos amniotas ocorre a união das raízes dorsais e ventrais dos nervos espinhais no interior da coluna vertebral. Cada raiz dorsal une-se à medula ao mesmo nível que o da correspondente raiz ventral e não posterior a ele. Normalmente todas as fibras motoras viscerais partem da medula pela raiz ventral. Na raiz dorsal partem apenas neurônios sensoriais.

## Cordados I

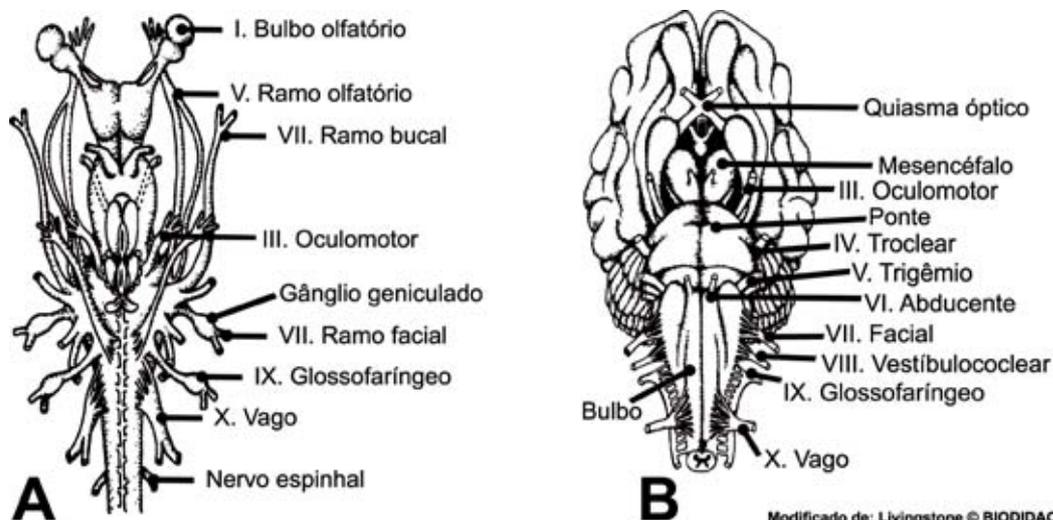
Modificado de: Walker & Liem, 1994



Nervos espinhais de uma lampreia (A), de um anfíbio (B) e de um amniota (C).

### NERVOS CRANIANOS

Os nervos cranianos são aqueles que emergem diretamente do encéfalo e que possuem funções mais especializadas. A maioria deles se liga ao tronco encefálico, exceção apenas dos nervos olfatórios e ópticos que se unem respectivamente ao telencéfalo e ao diencefalo. Treze pares de nervos cranianos são reconhecidos, com o nervo terminal sendo denominado de 0, uma vez que ele foi descrito após todos os outros terem recebidos números de I a XII.



Nervos cranianos de um tubarão (A) e de um carneiro (B).

Os nervos cranianos estão divididos em três séries: a) série dorsal, representada pelos nervos de números 0, V que está dividido em duas ou três partes, VII e IX); b) série ventral, com os nervos III, IV, VI, XXII; c) série especial, também chamada de série espinhal, composta pelos nervos

I, II, VII, VIII, IX e X. Abaixo existe um resumo com as principais características de cada par de nervo craniano.

- NERVO TERMINAL (0) - originado no epitélio nasal e, às vezes, no órgão vomeronasal. Aparentemente media respostas a feromônios sexuais. Pode possuir um ou mais gânglios, sendo classificado como nervo sensorial somático. Está presente em todos os vertebrados, com exceção dos agnatas, Latimeria, aves e alguns mamíferos (incluindo o homem) e é mais desenvolvido nos elasmobrânquios.

- NERVO OFTÁLMICO (I) – dirige-se do epitélio olfatório e do órgão vomeronasal (se presente) até o bulbo olfatório do encéfalo. Está presente em todos os vertebrados, variando em tamanho dependendo da qualidade do sentido do olfato, e estando freqüentemente dividido em muitos ramos.

- NERVO ÓPTICO (II) – presente em todos os vertebrados, dirigindo-se do olho ao encéfalo.

- NERVO OCULOMOTOR (III); TROCLEAR (IV) e ABDUCENTE (VI) – inervam a musculatura extrínseca dos olhos e são constituídos por nervos motores somáticos. Estão presentes em todos os vertebrados.

- NERVO TRIGÊMEO (V): olfatório (V1); maxilar (V2) e mandibular (V3) – possuem dois ramos nos vertebrados com um nervo olfatório profundo independente, e três nos demais vertebrados. Inervam as regiões das maxilas (e.g. dentes, gengiva). São exclusivamente sensoriais somáticos e estão presentes em todos os vertebrados.

- NERVO FACIAL (VII) - está associado à fenda espiracular e aos derivados do arco hióideo. Este constitui também o primeiro nervo da série especial a reter todos os componentes dos nervos dorsais ancestrais: sensoriais somáticos para as áreas relacionadas à pele; sensoriais viscerais para todos os músculos derivados do arco hióideo. Nos peixes está relacionado ao sistema da linha lateral.

- NERVO ESTADO-ACÚSTICO (VESTÍBULO –COCLEAR OU AUDITIVO) (VIII) – inerva a orelha interna. Sempre apresenta dois ramos principais, sendo que na maioria dos vertebrados, o ramo mais rostral serve a maior parte do órgão de equilíbrio e o ramo caudal serve tanto os órgãos de equilíbrio como da audição.

- NERVO GLOSSOFARÍNGEO (IX) - está associado à primeira fenda e arco branquial, faringe, sistema da linha lateral.

- NERVO VAGO (X) e ACESSÓRIO (XI) – o último (XI) foi identificado em amniotas e em algumas salamandras (derivado do Vago). Inervam a pele na região branquial e da orelha e também os botões gustativos caudais e da faringe, arcos branquiais posteriores, coração, pulmões e intestino. Divididos em troncos vagossimpático, vago ventral e vago dorsal.

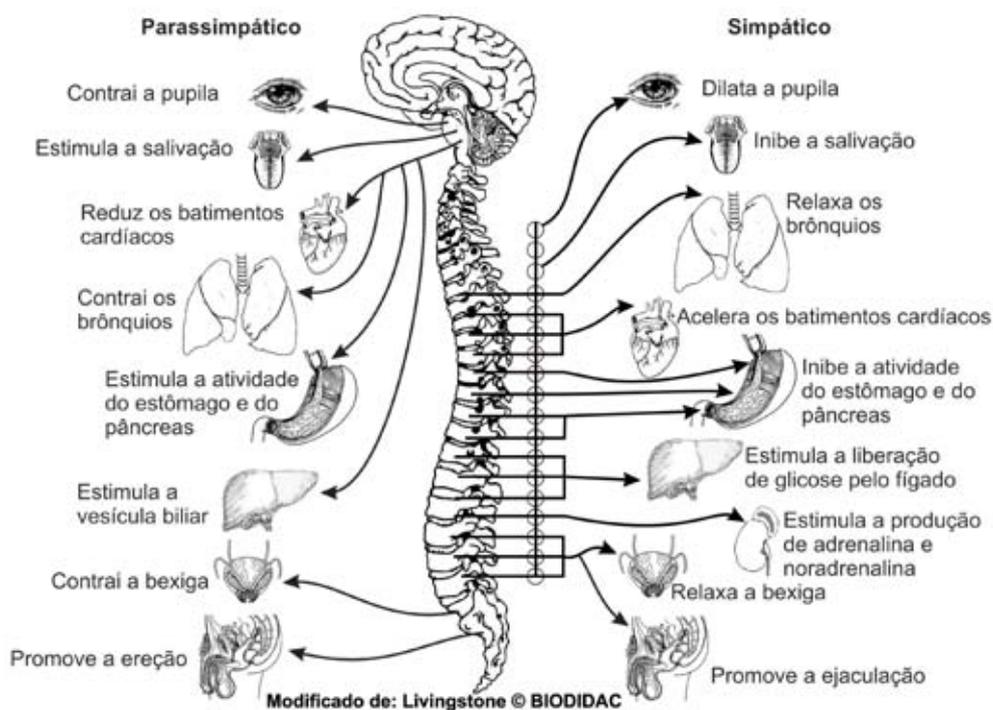
- HIPOGLOSSO (XII) - é exclusivamente somático e inerva os músculos hipobranquiais da garganta e da língua.

## SISTEMA AUTÔNOMO

O sistema nervoso autônomo (SNA) está relacionado ao controle da vida vegetativa ou, em outras palavras, ao controle das funções involuntárias do corpo. É também o principal responsável pelo ajuste automático do corpo frente às modificações do ambiente. Por exemplo, quando entramos em um ambiente frio, o sistema nervoso autônomo começa a agir, tentando impedir a queda de nossa temperatura corporal. Nossos pêlos se arrepiam e começamos a tremer para gerar calor. Ao mesmo tempo ocorre uma vasoconstrição nas extremidades de modo a impedir a dissipação do calor para o meio.

Esta parte do sistema nervoso se origina no encéfalo ou medula espinal. É composta apenas por fibras viscerais, formadas, cada uma, por dois neurônios motores. O sistema nervoso autônomo inerva o coração e vasos, alguns órgãos do sistema respiratório, glândulas, tubo digestório, órgãos urogenitais, células pigmentares, tecido adiposo e músculos intrínsecos do olho e da pele.

O SNA é dividido em sistema nervoso simpático e sistema nervoso parassimpático, formados por dois conjuntos distintos de nervos que controlam, em geral, os mesmos órgãos, mas de forma antagônica. Os nervos simpáticos (relacionado a atividades estressantes) têm ação excitatória sobre tais órgãos, colocando o organismo em estado de prontidão e alerta em situações de estresse. Os nervos parassimpáticos (relacionados às atividades não estressantes) atuam inibindo a atividade destes órgãos, levando o organismo a um estado de relaxamento.



Sistema nervoso autônomo: simpático e parassimpático de um homem.

**CONCLUSÃO**

Como foi visto, o sistema nervoso atua integrando todos os demais sistemas abordados neste curso. Ele é responsável pela captação e interpretação de estímulos e pela emissão de respostas. Como os demais sistemas, ele é fortemente influenciado pelas pressões do ambiente, o que resultou em um aumento de complexidade ao longo do tempo. Quanto maior forem as exigências em termos de captação, interpretação e emissão de respostas, mais desenvolvidos serão os sistemas de controle dos organismos. Se você prestou bem atenção a esta aula, deve ter notado que os sistemas nervosos mais simples são observados em organismo aquáticos como os peixes. Quando o primeiro grupo de vertebrado avançou para terra, novos estímulos tiveram que ser interpretados e novos tipos de ações controladas. Formas de locomoção, até então inexistentes, foram estabelecidas como o andar, correr, saltar ou mesmo voar, o que contribuiu para o desenvolvimento gradativo do sistema nervoso dos vertebrados.

**RESUMO**

O sistema nervoso (SN) tem por funções receber as informações dos receptores, transmiti-las aos efetores, geralmente músculos, que respondem a estes estímulos e, por último, regular o comportamento, integrando as informações sensoriais com as armazenadas (experiência passada). Este sistema é caracterizado pela presença de neurônios, células especializadas para receber estímulos e apresentar respostas. O neurônio é formado por um corpo celular, dendritos e um axônio. Os dendritos são processos afilados responsáveis pela transmissão de informações para o corpo celular provenientes de outros neurônios. Já o axônio, conduz o impulso nervoso para fora do corpo celular. Quanto à função, os neurônios podem ser classificados em: sensoriais (aférente ou sensitivo), motores (eferentes) e interneurônios (associação). Já com relação aos seus prolongamentos, os neurônios são nomeados: unipolar, bipolar, pseudounipolar e multipolar. Além dos neurônios, outros tipos celulares podem estar presentes no interior do encéfalo e da medula espinhal, as células da glia (neurógia), responsáveis pela sustentação, proteção, isolamento, transporte iônico e nutrição dos neurônios. Três tipos celulares podem ser distinguidos: astrócitos, oligodendrócitos e micróglia. O SN pode ser dividido em sistema nervoso central (SNC), constituído pelo encéfalo e medula espinhal, e sistema nervoso periférico (SNP), formado por uma parte somática e outra autônoma (SN simpático e SN parassimpático). Entre as classes de vertebrados existe uma tendência progressiva de aumento do encéfalo (encefalização), que levou ao desenvolvimento de diversas capacidades funcionais como: respostas rápidas, alta capacidade de armazenamento de informações, aumento na



complexidade e flexibilidade do comportamento e habilidade de fazer associações entre eventos passados, presentes e futuros (pelo menos nos seres humanos).



### ATIVIDADES

O objetivo desta prática é comparar o encéfalo de alguns vertebrados quanto ao desenvolvimento relativo de suas partes, relacionando com fatores históricos (filogenia) e ecológicos (modo de vida). Para esta atividade serão necessários encéfalos de vertebrados variados.

#### Procedimentos

Utilizando o material de dissecação, exponha as estruturas do sistema nervoso tomando o cuidado para não danificar as peças. Realize então as observações, identificações, comparações e esquemas pedidos a seguir.

#### PEIXE

Observe e aponte as seguintes estruturas: mielencéfalo (bulbo), metencéfalo (cerebelo e ponte), mesencéfalo (lobos ópticos), epitálamo (diencéfalo), telencéfalo (encéfalo), bulbo olfatório e lóbulo olfatório. Complete a figura se for necessário.

Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

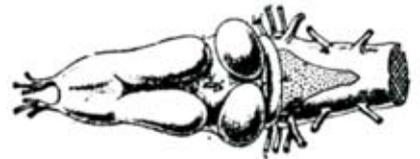
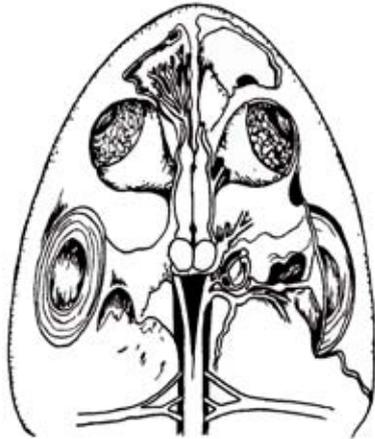


Encéfalo de um tubarão.

#### ANFÍBIO-RÃ

Observe e aponte as seguintes estruturas: mielencéfalo (bulbo), metencéfalo (cerebelo e ponte), mesencéfalo (lobos ópticos), epitálamo (diencéfalo), telencéfalo (encéfalo), bulbo olfatório e lóbulo olfatório. Complete a figura se for necessário.

Modificado de: Livingstone © BIODIDAC

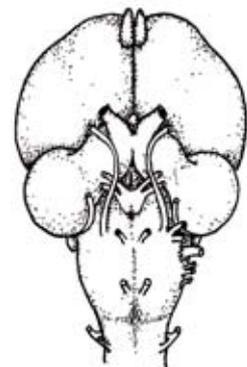
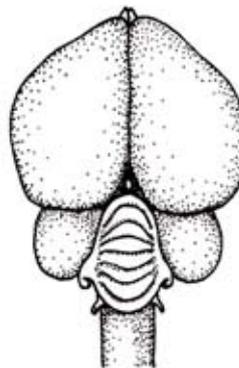
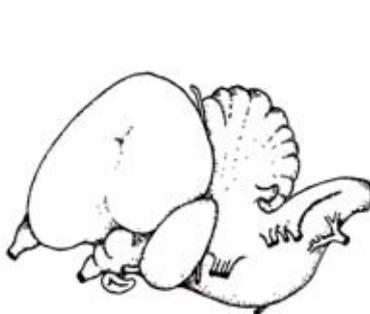


Encéfalo de um anfíbio.

### AVES

Observe e aponte as seguintes estruturas: mielencéfalo (bulbo), metencéfalo (cerebelo e ponte), mesencéfalo (lobos ópticos), epitálamo (diencéfalo), telencéfalo (encéfalo), bulbo olfatório e lóbulo olfatório. Complete a figura se for necessário.

Modificado de: Livingstone © BIODIDAC



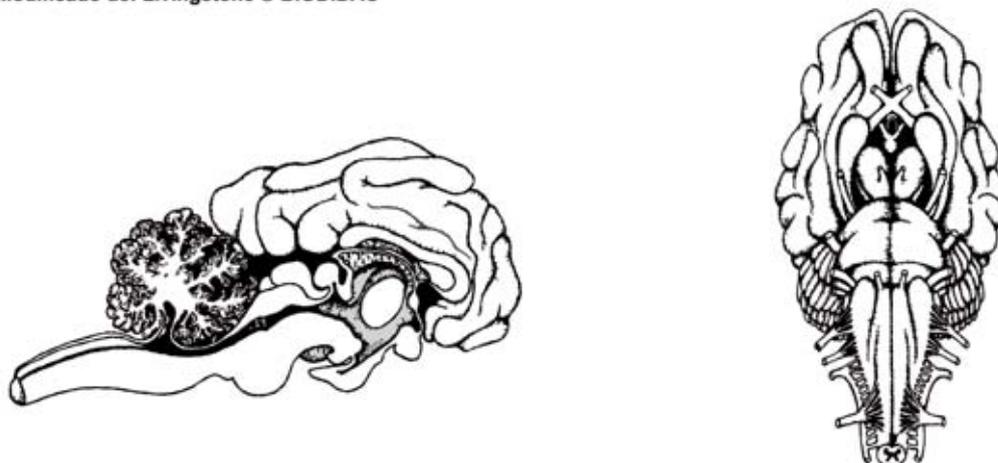
Encéfalo de uma ave.

### MAMÍFERO – RATO-BRANCO

Observe e aponte as seguintes estruturas: mielencéfalo (bulbo), metencéfalo (cerebelo e ponte), mesencéfalo (lobos ópticos), epitálamo (diencé-

falo), telencéfalo (encéfalo), bulbo olfatório e lóbulo olfatório. Complete a figura se for necessário.

Modificado de: Livingstone © BIODIDAC



PRÁTICA 4 – Encéfalo de um mamífero.

Com relação aos órgãos dos sentidos, elabore um texto contendo as seguintes informações:

- Principais órgãos dos sentidos encontrados nos vertebrados
- Tipos de estímulos captados
- Estruturas associadas aos mesmos
- Maior desenvolvimento de cada tipo de órgão em cada classe de Vertebrados
- Quimiorreceptores, mecanorreceptores e fotorreceptores (estruturas e funcionamento)



### PRÓXIMA AULA

Chegamos ao fim dos conteúdos abordados na disciplina Anatomia Comparada dos Cordados. Eles serão importantes para o entendimento de uma outra disciplina, a Biologia dos Cordados dada no quinto semestre.



### AUTO AVALIAÇÃO

Procure avaliar mentalmente o que foi visto em cada tópico, as principais características e adaptações aos ambientes em que os animais estão inseridos. Só encerre seus estudos quando realmente estiver seguro sobre o conteúdo trabalhado.

**REFERÊNCIAS**

HILDEBRAND, M.; GOSLOW- JR, G.E. **Análise da estrutura dos vertebrados**. 2 ed. São Paulo, Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2006.

HÖFLING, E.; et al. Chordata. São Paulo. Editora Universidade de São Paulo. 1995.

KARDONG, Kennet K. **Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution**. 4 ed. Boston: McGraw-Hill, 2006.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4 ed. São Paulo Atheneu Editora São Paulo Ltda. 2008.