

# Introdução à neuroanatomia e à neurofisiologia

## **ARMANDO DO SANTOS AFONSO JR.**

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), São Paulo, Brasil.

*E-mail:* armandosajunior@outlook.com

## **ANDYARA CRISTIANNE ALVES**

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), São Paulo, Brasil.

*E-mail:* andyara cristianealves89775@gmail.com

## **CLARA HELEN OLIVEIRA BEZERRA**

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), São Paulo, Brasil.

*E-mail:* fisioterapeutaclara@gmail.com

## **LUIZ RENATO RODRIGUES CARREIRO**

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), São Paulo, Brasil.

*E-mail:* luizrenato.carreiro@mackenzie.br

## **NATALIA BECKER**

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), São Paulo, Brasil.

*E-mail:* natalia.becker@mackenzie.br

## **Resumo**

Este artigo aborda conceitos básicos sobre neuroanatomia e neurofisiologia relacionados com o tema de neurodesenvolvimento e transtornos associados. Inicialmente, o artigo apresenta os aspectos das células fundamentais do sistema nervoso, isto é, neurônios e neuroglia. Neste estudo, abordam-se os tipos de neuroglia, que são diferenciados de acordo com sua função, e as estruturas dos neurônios (corpo celular, dendrito, axônio e terminais axonais). Os processos eletroquímicos de transmissão neuronal são discutidos, desde a mudança no potencial da membrana em repouso até a geração do potencial de ação e a eventual propagação sináptica do sinal. Apresentam-se ainda as sinapses e os principais neurotransmissores do sistema nervoso. O sistema nervoso como um todo é dividido e analisado, incluindo suas porções centrais e periféricas, e, mais especificamente, suas subdivisões em cérebro, cerebelo e tronco encefálico, e sistema nervoso somático, autônomo/visceral e entérico, respectivamente. A medula espinhal

Recebido em: 13/10/2022

Aprovado em: 29/11/2022



Este artigo está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional

e seus nervos medulares e cranianos também são mostrados como parte do sistema nervoso periférico, assim como as principais vias ascendentes (dorsal-lemnisco medial e espinotalâmica lateral) e descendentes (corticospinal lateral), e suas funções sensoriais e motoras. Uma tabela foi construída para resumir as funções dos 12 pares de nervos cranianos. Uma segunda tabela ajuda a ilustrar as diferentes funções do sistema nervoso simpático (luta ou fuga) e parassimpático (descanso e digestão), subdivisões do sistema nervoso autônomo. Por fim, o conceito de neuroplasticidade é brevemente discutido, considerando sua importância para o neurodesenvolvimento.

### Palavras-chave

Neuroanatomia. Neurofisiologia. Neurônios. Sistema nervoso central. Sistema nervoso periférico.

## Introduction to neuroanatomy and neurophysiology

### Abstract

This article covers basic concepts in neuroanatomy and neurophysiology related to the topic of neurodevelopment and associated disorders. Initially, the article introduces the fundamental cells of the nervous system, i.e., neurons and neuroglia. The types of neuroglia are differentiated according to their function, while the structures of neurons (cell body, dendrite, axon and axon terminals) are presented. The electrochemical processes of neuronal transmission are discussed, from changes in the resting membrane potential to the generation of the action potential and eventual synaptic propagation of the signal. Synapses and the main neurotransmitters of the nervous system are also presented. The nervous system as a whole is divided and analyzed, including its central and peripheral portions, and, more specifically, its subdivisions into cerebrum, cerebellum and brainstem and somatic, autonomic/visceral and enteric nervous systems, respectively. The spinal cord and its spinal and cranial nerves are also shown as part of the peripheral nervous system, as are the major ascending (dorsal-medial lemniscus and lateral spinothalamic) and descending (lateral corticospinal) pathways and their sensory and motor functions. A table was constructed to summarize the functions of the twelve cranial nerves. A second table helps to illustrate the different functions of the sympathetic (fight-or-flight) and parasympathetic (rest-and-digest) nervous system, subdivisions of the

autonomic nervous system. Finally, the concept of neuroplasticity is briefly discussed, considering its importance for neurodevelopment.

### Keywords

Neuroanatomy. Neurophysiology. Neurons. Central nervous system. Peripheral nervous system.

## Introducción a la neuroanatomía y neurofisiología

### Resumen

Este artículo cubre conceptos básicos en neuroanatomía y neurofisiología relacionados con el tema del neurodesarrollo y los trastornos asociados. Inicialmente, el artículo presenta las células fundamentales del sistema nervioso, es decir, las neuronas y la neuroglía. Se diferencian los tipos de neuroglía según su función, mientras que se presentan las estructuras de las neuronas (cuerpo celular, dendrita, axón y terminales axónicos). Se discuten los procesos electroquímicos de la transmisión neuronal, desde el cambio en el potencial de membrana en reposo hasta la generación del potencial de acción y la eventual propagación sináptica de la señal. También se presentan las sinapsis y los principales neurotransmisores del sistema nervioso. El sistema nervioso como un todo se divide y analiza, incluidas sus porciones central y periférica y, más específicamente, sus subdivisiones en cerebro, cerebelo y tronco encefálico y sistemas nerviosos somático, autónomo/visceral y entérico, respectivamente. La médula espinal y sus nervios medulares y craneales también se muestran como parte del sistema nervioso periférico, al igual que las principales vías ascendentes (lemnisco dorsal-medial y espinotalámico lateral) y descendentes (corticoespinal lateral) y sus funciones sensoriales y motoras. Se construyó una tabla para resumir las funciones de los doce nervios craneales. Una segunda tabla ayuda a ilustrar las diferentes funciones del sistema nervioso simpático (lucha o huida) y parasimpático (descanso y digestión), subdivisiones del sistema nervioso autónomo. Finalmente, se discute brevemente el concepto de neuroplasticidad, considerando su importancia para el neurodesarrollo.

### Palabras clave

Neuroanatomía. Neurofisiología. Neuronas. Sistema nervioso central. Sistema nervioso periférico.

## INTRODUÇÃO

Este artigo se propõe a fazer um resumo dos principais temas relacionados à neuroanatomia e à neurofisiologia, sem se aprofundar muito. O objetivo é servir como um material introdutório para quem se interessar por essas áreas. Para um estudo mais aprofundado, é recomendada a leitura dos trabalhos listados nas referências.

## SISTEMA NERVOSO E SUAS FUNÇÕES

O sistema nervoso tem a função de captar informações, processá-las e gerar resposta aos estímulos que o corpo recebe (LENT, 2010; KANDEL *et al.*, 2021). É o sistema responsável pela coordenação das ações voluntárias e involuntárias e que garante o controle, a coordenação e a regulação dos sistemas do corpo. Esse sistema é dividido em sistema nervoso central (SNC) e sistema nervoso periférico (SNP) (EUNICE KENNEDY SHIVER NATIONAL INSTITUTE OF CHILD HEALTH AND HUMAN DEVELOPMENT, c2018). O SNC é responsável por enviar, receber e interpretar informações do resto do organismo. Assim, ele pode ser visto como o centro de controle do corpo. É nele que se localizam a grande maioria das células nervosas, seus prolongamentos e suas conexões. O SNP é constituído principalmente por prolongamentos neuronais que formam os nervos que permitem a interação do SNC com o resto do organismo e o mundo exterior (GUYTON; HALL, 2017). Neste artigo, serão apresentadas separadamente as formas de organização anatômica e funcional do SNC e SNP para melhor compreensão do seu papel na interação dos organismos com o ambiente e no seu controle interno.

## CÉLULAS DO SISTEMA NERVOSO

Para compreendermos o sistema nervoso, é necessário o estudo do tecido nervoso. Microscopicamente, referimo-nos aos neurônios e às neuroglias ou células da glia.

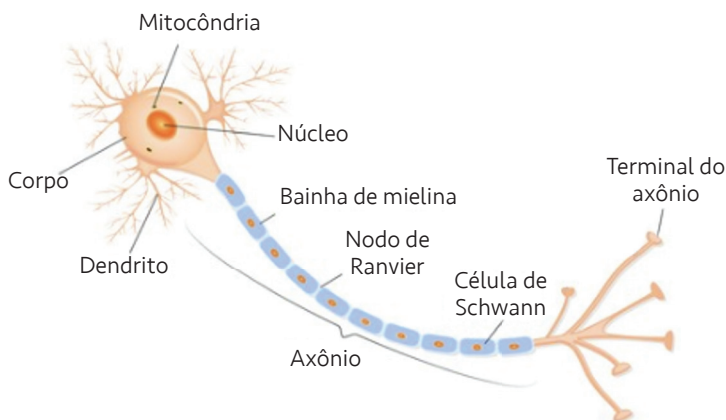
### Neurônio

Os neurônios, ou células nervosas, são especializados na condução e integração de impulsos nervosos, que são a base para a comunicação entre diferentes subsistemas do sistema nervoso, assim como para a comunicação do sistema nervoso com as demais regiões do organismo. Os neurônios podem

variar em tamanho e forma, mas suas principais regiões são quatro (NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH, c2022), como ilustrado na Figura 1:

- *Corpo celular*: onde se localizam o núcleo, o citoplasma e as demais organelas responsáveis pelo funcionamento celular. Geralmente, é aqui que os impulsos nervosos recebidos são integrados.
- *Dendritos*: são ramificações que se projetam do corpo celular para captar as informações provenientes de outros neurônios.
- *Axônio*: trata-se da ramificação mais prolongada no neurônio, cuja função é conduzir impulsos nervosos e comunicar-se com outros neurônios. Os axônios da maior parte dos neurônios são revestidos por uma camada lipídica chamada de bainha de mielina, que agiliza a propagação do impulso nervoso. As partes do axônio não cobertas pela bainha de mielina são chamadas de nodos de Ranvier.
- *Terminais axonais ou botões terminais*: garantem a propagação do impulso nervoso para o neurônio seguinte ou para um tecido por meio de diferentes mecanismos eletroquímicos.

**Figura 1** ■ Estrutura de um neurônio



Fonte: Oliveira (2023).

## **Impulso nervoso e comunicação neuronal**

A comunicação neuronal se dá por meio de processos eletroquímicos que envolvem a mudança do potencial elétrico da membrana celular. A membrana fosfolipídica possui muitos canais de cálcio voltagem-dependentes no terminal

pré-sináptico e muitas proteínas receptoras no neurônio pós-sináptico. A propagação de corrente elétrica pelo neurônio e a liberação de substâncias químicas interagem com receptores proteicos específicos. Tudo começa com um neurônio em estado de repouso. Nesse estado, há uma diferença no potencial elétrico entre os meios intra e extracelular, de modo que o interior do neurônio possui carga elétrica negativa em relação ao seu exterior, mantendo um potencial da membrana de aproximadamente -65 mV. Esse potencial negativo é mantido durante o repouso por conta da difusão preferencial de  $K^+$  pela membrana celular. Então, algum evento, como o estiramento da célula ou a mudança de voltagem entre os meios interno e externo, causa a abertura de canais iônicos na membrana. Uma vez abertos, esses canais permitem que íons (isto é, partículas eletricamente carregadas) entrem nos neurônios ou saiam deles, de acordo com os gradientes de concentração (fluxo da região de maior concentração para a de menor concentração) e de carga elétrica (cargas opostas se atraem) (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

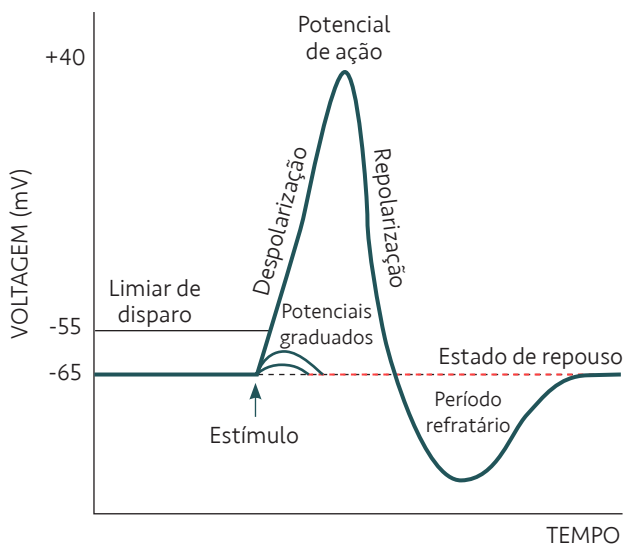
Uma consequência da abertura de canais iônicos é o influxo de sódio ( $Na^+$ ) no neurônio, já que esse elemento está mais concentrado no meio externo durante o estado de repouso. A entrada de  $Na^+$  torna o meio celular mais positivo – fenômeno chamado de despolarização. Se a despolarização for forte o suficiente para atingir o limiar de disparo, por volta de -55 mV, um potencial de ação será gerado. O potencial de ação é o fenômeno elétrico básico originado na mudança do potencial da membrana neuronal e que dá início à cadeia de eventos que compõem a comunicação entre neurônios. Potenciais de ação ocorrem sob uma lógica de “tudo ou nada”: a mudança no potencial da membrana atinge o ponto limiar e o disparo acontece ou fica abaixo, e formam-se apenas potenciais graduados, que não são fortes o suficiente para se propagar pelo neurônio (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

Potenciais de ação possuem o mesmo tamanho e a mesma duração. O que varia nesses sinais e possibilita que os neurônios codifiquem diferentes informações são sua frequência e seu padrão de disparo. Seu curso temporal também é uniforme. Eles partem de um potencial de membrana negativo, durante o repouso, cruzam o limiar de disparo e continuam o processo de despolarização, enquanto os canais de  $Na^+$  permanecerem abertos. Ao atingirem uma voltagem aproximada de +40 mV, esses canais se fecham, e canais de potássio ( $K^+$ ) se abrem. Ao contrário de  $Na^+$ , a concentração de  $K^+$  é maior no interior da célula. Isso acontece porque, no estado de repouso, bombas de

sódio e potássio trabalham para manter o potencial da membrana negativo (trazendo dois íons de  $K^+$  para dentro da célula para cada três íons de  $Na^+$  carregados para fora da célula). Por isso, a tendência natural é um efluxo de  $K^+$  para o meio externo quando seus canais se abrem (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

A saída de íons positivamente carregados torna o meio intracelular mais negativo, voltando em direção ao estado de repouso. Esse processo é chamado de repolarização. A repolarização torna a membrana ainda mais negativa do que estava durante o repouso, levando o potencial elétrico a menos de  $-65$  mV. Esse efeito é chamado de hiperpolarização e produz o chamado período refratário, no qual é mais difícil que o neurônio volte a disparar. O período refratário é importante para garantir que a corrente elétrica gerada pelo potencial de ação ative canais recém-ativados, o que faz com o que o sinal elétrico siga uma direção apenas (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021). A Figura 2 demonstra as fases do potencial de ação.

**Figura 2** ■ As fases do potencial de ação



Fonte: Elaborada pelos autores.

O potencial de ação e a mudança no potencial da membrana se iniciam em uma porção do neurônio, geralmente nos dendritos. Porém, eles provocam uma corrente elétrica que gera a abertura de canais iônicos próximos sensíveis

a mudanças de voltagem, propagando o impulso nervoso por todo o neurônio até os terminais axonais. A bainha de mielina permite a propagação ainda mais rápida do potencial de ação ao isolar porções do axônio e obrigar o impulso elétrico a saltar entre as regiões não isoladas, os nodos de Ranvier – movimento chamado de condução saltatória (KANDEL *et al.*, 2021).

Quando o potencial de ação alcança o final do neurônio, ele passa a informação para o neurônio seguinte por meio da *comunicação sináptica*. *Sinapse* é o nome da região entre dois neurônios que se comunicam, de modo que o neurônio que a antecede e que está transmitindo a informação é chamado de pré-sináptico e o que recebe a informação, localizado depois da sinapse, é chamado de pós-sináptico (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

Há dois tipos de sinapses: elétricas e químicas. Nas sinapses elétricas, neurônios pré e pós-sinápticos estão bem próximos, e a corrente elétrica simplesmente é transferida de um para outro por meio de junções comunicantes. Porém, a maioria das sinapses no SN é química (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

Nas sinapses químicas, geralmente o potencial de ação chega ao terminal axonal, causando a abertura de canais de cálcio ( $Ca^{2+}$ ). O influxo de  $Ca^{2+}$  faz com que vesículas sinápticas localizadas ali se fundam com a parede da membrana (por meio de um processo de exocitose) e liberem neurotransmissores na fenda sináptica. Neurotransmissores são substâncias químicas do grupo dos aminoácidos (por exemplo, ácido gama-aminobutírico (GABA), glutamato), das aminas (por exemplo, acetilcolina, dopamina, epinefrina/adrenalina, serotonina, norepinefrina/noradrenalina) ou dos peptídeos (por exemplo, colecistocinina) (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

Diferentes neurônios liberam diferentes neurotransmissores, variando de acordo com a rede funcional de que fazem parte. Neurônios que liberam serotonina atuam em funções como regulação do humor, comportamento emocional e sono. As catecolaminas (adrenalina, noradrenalina, dopamina) agem em funções relacionadas com movimento, humor, motivação, atenção e funções viscerais. A acetilcolina é mais associada com a contração muscular/ativação da junção neuromuscular. Endorfinas se unem a receptores opioides para diminuir/aliviar a dor e promover prazer. Já o GABA e o glutamato são neurotransmissores abundantes do SNC: o primeiro tem função inibitória, e o segundo, excitatória (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

Neurotransmissores são liberados pelo neurônio pré-sináptico e se unem a *receptores* proteicos localizados na membrana do neurônio pós-sináptico,



ativando-os. Trata-se de receptores específicos que são ativados por neurotransmissores específicos. De modo geral, eles podem ser classificados em receptores de canais iônicos, que se abrem e permitem o rápido movimento de íons entre os meios intra e extracelular, e receptores acoplados à proteína-G, que atuam por meio de um mecanismo mais elaborado e possuem efeito lento, porém mais duradouro (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

Se a ativação dos receptores pós-sinápticos despolarizar a membrana, mediada pelo influxo de Na, ela terá um efeito excitatório. Essa despolarização momentânea da membrana pós-sináptica é chamada de potencial excitatório pós-sináptico (Peps). Se os neurotransmissores, principalmente o GABA, gerarem hiperpolarização, o efeito será dito inibitório e chamado de potencial inibitório pós-sináptico (Pips). A integração sináptica, isto é, a soma final de todos os Peps e Pips, determinará se um novo potencial de ação será gerado (isto é, se a voltagem do neurônio atingir o limiar de disparo), se a informação continuará sendo propagada para outros neurônios e órgãos ou se a atividade será suprimida (BEAR; CONNORS; PARADISON, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

Ao final da comunicação sináptica, os neurotransmissores restantes na fenda sináptica são recaptados pelo neurônio pré-sináptico, onde serão destruídos ou realocados para novas vesículas, ou podem ser destruídos na própria fenda sináptica com ajuda de enzimas específicas (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

## Neuroglias

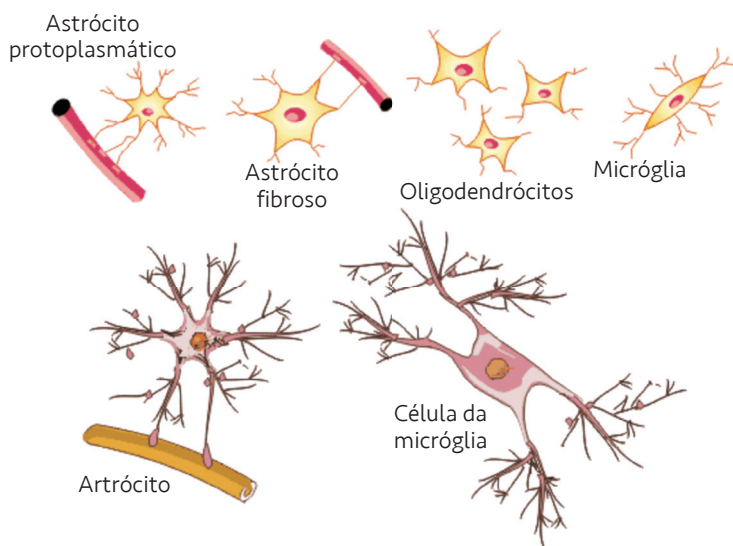
As células da glia têm diversas funções, e, entre elas, as principais são proteger, nutrir, sustentar e auxiliar na função dos neurônios. As principais células da glia são: os astrócitos, os oligodendrócitos, as micróglias, as células endimárias e as células de Schwann.

No SNC, as células que formarão a bainha de mielina do axônio são os oligodendrócitos. A bainha de mielina confere ao tecido uma coloração mais esbranquiçada, dando origem a uma substância branca onde se concentram mais axônios – a substância cinzenta, por sua vez, recebe esse nome por ter mais abundância de corpos de neurônios. No SNP, as células de Schwann realizam a mielinização dos nervos periféricos, além de terem papel na sua regeneração e manutenção. Diferentemente dos oligodendrócitos, as células de Schwann têm a capacidade de invadir o SNC para remielinizar axônios desmielinizados (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007).

Os astrócitos são mais abundantes no SNC. Seus terminais axonais circundam os capilares sanguíneos, e suas projeções seguem em direção aos neurônios, tendo papel importante nas interações entre os neurônios e o sistema sanguíneo, formando a barreira hematoencefálica, estrutura extremamente seletiva que impede a passagem de substâncias do sangue para o sistema nervoso e a passagem de substâncias neurotóxicas. São importantes também para a nutrição do neurônio, captando glicose e transformando em ácido láctico para ser usado como fonte de energia (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007).

As micróglias são responsáveis por fagocitar e remover os restos celulares provenientes da morte ou degeneração de neurônios e de células da glia. As células ependimárias revestem os ventrículos e o canal central da medula espinhal, auxiliando na movimentação do líquido cefalorraquidiano (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007). A Figura 3 apresenta os principais tipos de neuroglias.

**Figura 3** ■ Tipos de neuroglias



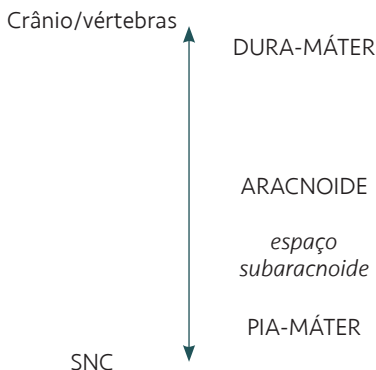
Fonte: Tecido nervoso, 2023.

## MENINGES

As meninges são membranas protetoras que envolvem o SNC, o encéfalo e a medula espinhal (Figura 4). A dura-máter é a mais espessa e externa, seguida pela aracnoide e, por fim, pela pia-máter, a mais fina e internamente localizada. Entre a aracnoide e a pia-máter, fica o espaço subaracnoide, repleto

de líquido cefalorraquidiano, que protege o SNC contra choques mecânicos, defende-o contra agentes infecciosos e auxilia na remoção de resíduos e circulação de nutrientes (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007).

**Figura 4** ■ Organização das meninges



Fonte: Elaborada pelos autores.

## SISTEMA NERVOSO CENTRAL

O SNC engloba as estruturas que se localizam internamente no crânio e na coluna vertebral. Ele é composto pelo encéfalo e pela medula espinhal (SILVERTHORN, 2017).

### Encéfalo

O encéfalo situa-se no interior do crânio, enquanto a medula espinhal localiza-se no interior da coluna vertebral. É a porção do SNC que recebe, processa e integra as informações sensoriais e responde aos estímulos externos ou internos com reações, impulsos, movimentos musculares, secreção de substâncias e elaboração de comportamentos. Ele também é o centro do intelecto, das emoções, da memória, da fala, da visão, da audição, da coordenação e dos movimentos do nosso corpo (SILVERTHORN, 2017). A seguir, destacamos algumas regiões específicas do encéfalo.

### Cérebro

O cérebro é formado pelo telencéfalo, ou córtex cerebral, onde se encontram áreas sensoriais, motoras e associativas, e pelo diencéfalo. Outra forma de dividir o cérebro é a partir de subsistemas funcionais, como o sistema

límbico. Além do córtex, o cérebro também inclui regiões subcorticais, como os núcleos da base. Por fim, destaca-se a presença de ventrículos, que são cavidades que conectam todo o SNC.

O telencéfalo é subdividido em cinco lobos. Os lobos e suas principais regiões são apresentados a seguir:

1) *Frontal*: envolvido principalmente no planejamento e na emissão de movimentos voluntários, na regulação de emoções e na produção da linguagem. Ele se subdivide nas seguintes regiões (SCIENCEDIRECT, c2022a, c2022d):

- *Córtex motor primário* (CPM): envolvido na direção, no alcance e na velocidade de movimentos motores. A face, o tronco e os membros superiores e inferiores estão representados no CMP como um mapa, conhecido por homúnculo cerebral.
- *Córtex pré-motor ou área de associação motora*: área associativa que tem alta conectividade com outras estruturas do SNC e é responsável pelo planejamento e pela orientação espacial do movimento.
- *Córtex pré-frontal* (CPF): diretamente relacionado com habilidades complexas de alta ordem, como as funções executivas que englobam tomada de decisão, atenção, planejamento, inibição de impulsos, organização da memória de trabalho e flexibilidade cognitiva. Por isso, é uma das regiões mais investigadas em transtornos que apresentam disfunções executivas, como o transtorno de déficit de atenção/hiperatividade (TDAH).
- *Área de Broca*: sua principal função é a produção da linguagem, envolvendo a repetição da linguagem, produção de gestos e fluidez das frases. Lesões que atingem essa região causam afasia de expressão, que consiste na dificuldade de produzir falas e formar frases com sentido (STINNETT; REDDY; ZABEL, 2022).
- *Temporal*: tem importante papel na percepção auditiva, na compreensão da linguagem ou da palavra falada (área de Wernicke), no comportamento afetivo e sexual, na personalidade, na memória de longo prazo e na percepção visual. Lesões na área de Wernicke causam afasia de compreensão, e outras alterações envolvidas são convulsões, comprometimento da memória e de esquema corporal, mudanças de comportamento automático, alterações nas funções

executivas e dificuldade no raciocínio e navegação espacial (PATEL; BISO; FOWLER; c2022).

- *Parietal*: sua principal função consiste em integrar informações sensoriais relacionadas ao tato, à propriocepção, à temperatura, à dor, à pressão e à percepção da orientação visuoespacial. Ele também está envolvido em funções relacionadas à memória e atenção, por causa de sua conexão com regiões temporais, como o hipocampo (SCIENCEDIRECT, c2022c).
- *Occipital*: dedicado principalmente ao processamento visual, incluindo percepção de distância e profundidade, determinação de cores, formas e formação de memória visual da atenção, manutenção do foco visual e concentração dos olhos no alvo (STEIN, 2014).
- *Ínsula*: lobo cerebral profundamente situado na fissura silviana, que é recoberta pelos opérculos frontal, parietal e temporal, e possui limite com o sulco circular da ínsula. Essa estrutura tem uma ampla rede de fibras aferentes e eferentes que estabelece conexão com regiões corticais e subcorticais. Entre suas múltiplas funções, destacam-se as seguintes: recebimento de informações sensoriais das viscerais do corpo, regulação autonômica, processamento primário do paladar e processamento temporal auditivo e de experiências emocionais principalmente relacionadas às sensações corporais (UDDIN *et al.*, 2017).

2) *Diencefalo*: localizado acima do tronco encefálico, a linha mediana entre os hemisférios cerebrais, o diencefalo é composto de estruturas que apresentam uma rica rede de conexões com o sistema límbico, os núcleos da base e as áreas sensitivas primárias visual e auditiva. O diencefalo é constituído pelo epitálamo, tálamo, subtálamo e hipotálamo (SCIENCEDIRECT, c2022b):

- *Epitálamo*: é um segmento localizado na parte posterior do diencefalo que conecta o sistema límbico a outras áreas do cérebro. É composto pela habênula, comissura da habênula, estria medular e glândula pineal, que processa as informações provenientes do núcleo supraquiasmático e atua como um relógio para o cérebro relacionado ao dia (luz) ou à noite (escuridão) (ARENDDT; AULINAS, 2019). É durante a noite que ocorre a maior produção e secreção de melatonina pela glândula pineal. A melatonina é uma substância derivada da serotonina e possui várias funções; entre elas, destacam-se

a regulação do ritmo circadiano, a termorregulação corpórea e a ação antioxidante, além de agir sobre o sistema imunológico, ajudar na liberação dos hormônios das glândulas reprodutoras de ambos os sexos e atuar no ciclo menstrual (SILVERTHORN, 2017).

- *Tálamo*: é a estação retransmissora de informações sensoriais no cérebro. Todas as vias sensoriais, exceto a via olfativa, terminam em núcleos específicos do tálamo, e cada núcleo sensorial se projeta para uma área específica do córtex cerebral para que ocorra uma interpretação mais apurada das sensações que experimentamos (SILVERTHORN, 2017).
- *Subtálamo*: localiza-se abaixo do tálamo e sua principal estrutura é o núcleo subtalâmico relacionado às funções motoras (SILVERTHORN, 2017).
- *Hipotálamo*: regula as funções viscerais e a manutenção da homeostase do corpo, bem como a regulação dos processos endócrinos, comportamentais e autonômicos no nosso organismo, como frequência cardíaca, apetite, saciedade, temperatura corporal e pressão arterial; também está envolvido com o ciclo do sono-vigília, o comportamento sexual, a reprodução e a manifestação das emoções. Além das funções já mencionadas, o hipotálamo secreta neuro-hormônios que inibem ou estimulam a hipófise ou glândula pituitária (BIRAN *et al.*, 2015).

3) *Sistema límbico*: o sistema límbico é uma delimitação funcional que agrega estruturas localizadas abaixo dos lobos temporais e cuja principal função relaciona-se com o processamento das emoções e da memória (SILVERTHORN, 2017). Além do hipotálamo, supracitado, o sistema límbico engloba:

- *Hipocampo*: envolvido na consolidação e evocação de memórias, também exerce função no aprendizado, nas emoções e na localização espacial (SILVERTHORN, 2017).
- *Amígdala*: estrutura que está associada ao processamento emocional de medo, prazer e agressividade. Na formação da memória, ela contribui para associar memória com emoções. As situações que causam medo ou ameaças são memorizadas com o objetivo de serem evitadas (SILVERTHORN, 2017). Considerando sua função na regulação emocional, muitos estudos focam a amígdala como principal estrutura prejudicada no transtorno do espectro autista

(DONOVAN; BASSON, 2017). Sintomas do transtorno, como dificuldades na interação social, antecipação de recompensas, memória emocional e reconhecimento facial e de emoções, já foram todos associados a um mau funcionamento amigdalár.

- *Giro do cíngulo*: estrutura que faz parte do córtex cerebral e do sistema límbico, desempenha papel no controle motor autônomo e na regulação das emoções, do comportamento, além de processar informações que causam dor, desconforto e medo. Assim, ele contribui para que situações ligadas a essas emoções sejam prontamente reconhecidas e evitadas (SILVERTHORN, 2017).

4) *Núcleos da base*: coleção de corpos celulares localizados profundamente na substância branca. Composto pelo caudado, putâmen, globo pálido, núcleo *accumbens* e *claustrum*. Eles modulam a atividade motora voluntária e fina com o tálamo, que recebe a informação do córtex cerebral, processa a informação e retransmite o impulso refinado ao córtex para que o movimento seja realizado. Os núcleos da base também exercem papel no processamento da memória, nos movimentos oculares, na tomada de decisão e no mecanismo de recompensa. Comprometimentos dessa estrutura resultam em déficit significativo na cognição e na percepção (MA, 1997).

5) *Ventrículos cerebrais*: compostos por dois ventrículos laterais, pelo terceiro ventrículo, pelo aqueduto cerebral e pelo quarto ventrículo, são cavidades interconectadas do SNC localizadas entre o diencéfalo e o tronco cerebral, preenchidas pelo líquido cefalorraquidiano, que tem por função proteger o SNC e dar fluibilidade ao cérebro, de modo a diminuir a pressão sobre sua base, e estabilidade química, para garantir as funções do SNC (SILVERTHORN, 2017).

## **Tronco encefálico**

O tronco encefálico se localiza abaixo do diencéfalo e anteriormente ao cerebelo, e se divide em mesencéfalo (relacionado com o tônus muscular, o controle postural, a integração sensorial e a coordenação de reflexos visuais), ponte (está relacionada às funções cerebelares de equilíbrio) e bulbo (responsável pelo controle respiratório e dos batimentos cardíacos). Seus componentes são os núcleos (corpos de neurônios); as vias ascendentes e descendentes; a formação reticular, que é responsável pelo controle da consciência e

sono-vigília e o circuito cerebelar. No tronco encefálico, também se origina a maioria dos nervos cranianos (SOBOTTA, 2000):

- *Mesencéfalo*: onde se originam os pares de nervos cranianos III e IV.
- *Ponte*: onde se originam os pares de nervos cranianos V, VI, VII e VIII.
- *Bulbo*: onde se originam os pares de nervos cranianos IX, X, XI XII.

## Cerebelo






O cerebelo é composto pelo córtex cerebelar e pelos núcleos profundos. Suas funções mais estudadas são as motoras, incluindo equilíbrio, coordenação, modulação de tônus, postura e aprendizagem motora, mas ele também possui funções não motoras, como regulação de emoções, na atenção e no controle das emoções e de atos impulsivos (SILVERTHORN, 2017).

## Medula espinhal

A medula espinhal se localiza no interior da coluna vertebral e dá origem às inervações que constituirão o SNP. A medula tem uma forma bem delimitada, cilíndrica, em seu centro e localiza-se em um canal estreito e cheio de líquido. Ela conecta o cérebro a todo o nosso organismo, transmitindo os sinais nervosos por vias nervosas aferentes e eferentes (SILVERTHORN, 2017).

A medula espinhal é segmentada em 31 segmentos, ou seja, 31 pares de nervos (LENT, 2010). Os nervos medulares estão divididos da forma apresentada no Quadro 1.

### Quadro 1 ■ Nervos medulares

	Cervical (8 pares de nervos):	Pescoço e membros superiores
	Torácico (12 pares de nervos):	Órgãos torácicos e peito
	Lombar (5 pares de nervos):	Região abdominal e parte dos membros inferiores
	Sacrais (5 pares de nervos):	Órgãos pélvicos e membros inferiores
	Coccígeos (1 par de nervos):	Região do cóccix

Fonte: Elaborado pelos autores.

A medula, cranialmente, limita-se no bulbo, e caudalmente forma-se o cone medular (L1-L2), onde começa a cauda equina. Até o quarto mês de desenvolvimento, a medula e a coluna torácica evoluem no mesmo ritmo. A partir daí, passam a crescer em ritmos diferenciados (LENT, 2010).

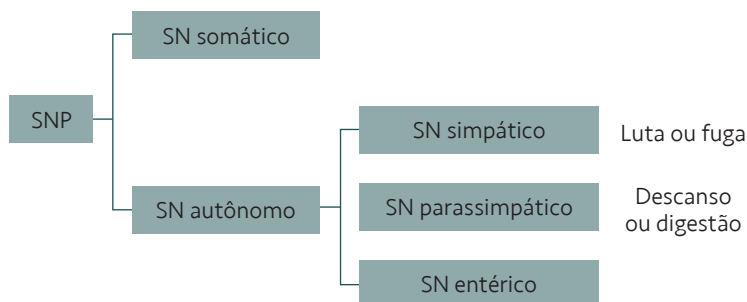


## SISTEMA NERVOSO PERIFÉRICO

Como ilustrado na Figura 5, o SNP é dividido em (LENT, 2010; KANDEL *et al.*, 2021):

- a) *Sistema nervoso somático*: composto por neurônios motores e sensoriais que transmitem informações entre o SNC e a pele, os músculos e as juntas, permitindo o controle voluntário de ações e a sensação de estímulos somatossensoriais, como dor, temperatura e toque.
- b) *Sistema nervoso autônomo*: atuando sob influência de centros de alta ordem, como o hipotálamo e o sistema límbico, está envolvido nas sensações e no controle motor das vísceras, do sistema vascular e das glândulas exócrinas. Responsável por funções involuntárias e vegetativas, como respiração, funções cardiovasculares, digestivas e endócrinas. O sistema autônomo é ainda subdividido em:
  - b.1) *Sistema nervoso simpático*: age em resposta ao estresse, resultando em dilatação das pupilas, piloereção, sudorese, constrição de vasos sanguíneos, broncodilatação, aumento da contratilidade do coração, liberação de adrenalina e redução da digestão, estabelecendo um estado de “luta ou fuga”.
  - b.2) *Sistema nervoso parassimpático*: conserva recursos corporais e mantém a homeostase em um estado de “descanso ou digestão”; alguns exemplos são broncoconstrição, miose, redução da frequência cardíaca, salivação, estimulação da peristalse e secreção de glândulas intrínsecas.
  - b.3) *Sistema nervoso entérico*: possui inervações intrínsecas ao trato digestivo que controlam músculos lisos e secreções estomacais.

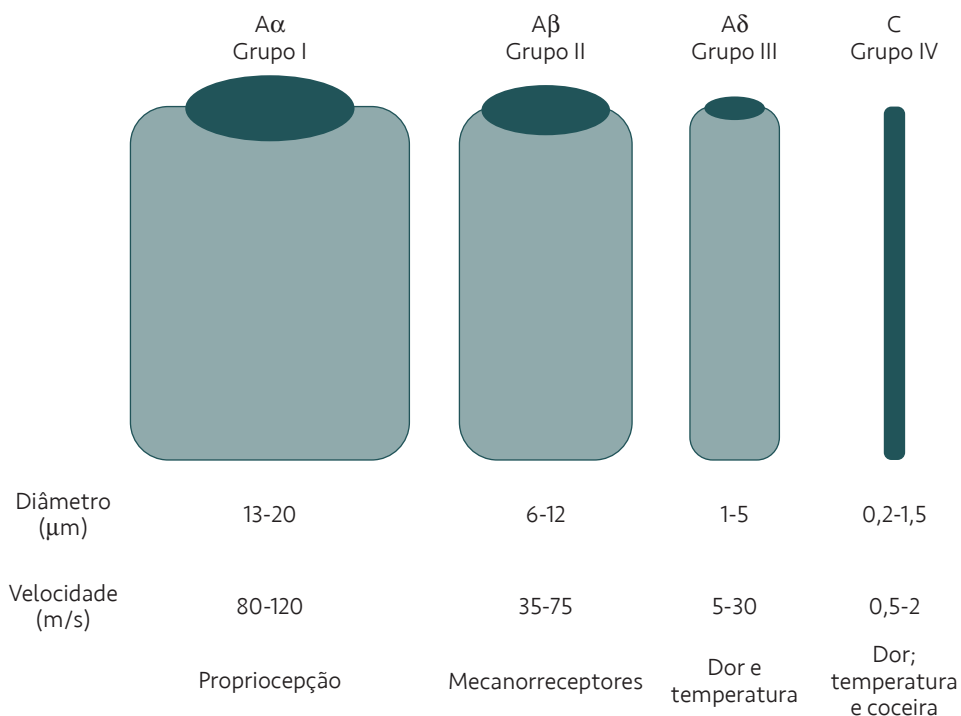
**Figura 5** ■ Divisões do sistema nervoso periférico



Fonte: Elaborada pelos autores.

Nervos sensoriais que levam informações do SNP para o SNC são chamados de aferentes e entram na medula pela região dorsal. Já nervos motores são eferentes e saem ventralmente da medula (LENT, 2010). A Figura 6 apresenta os principais tipos de neurônios, segundo seu diâmetro e velocidade de transmissão de impulso elétrico.

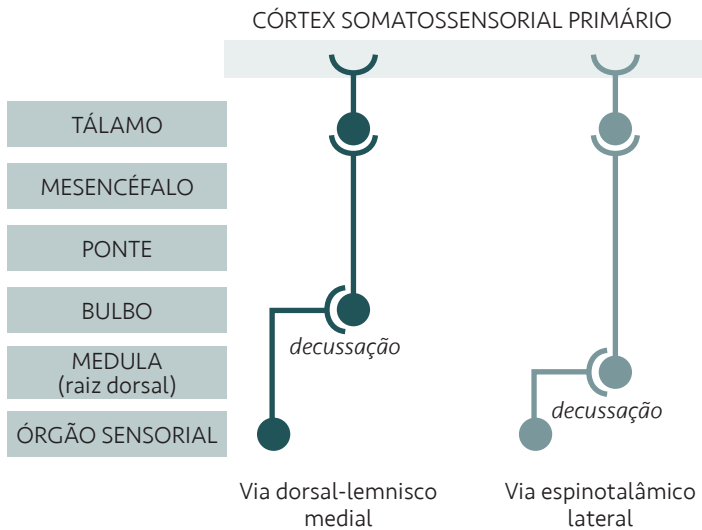
**Figura 6** ■ Tamanhos de axônios aferentes primários



Fonte: Elaborada pelos autores.

As principais vias sensoriais ascendentes são a via dorsal-lemnisco medial, que transmite informações sobre toque, vibração e propriocepção, e a via espinotalâmica lateral, que transmite principalmente informações relacionadas à dor e à temperatura (Figura 7). Ambas são marcadas por duas sinapses e decussação de vias (isto é, cruzamento entre os lados esquerdo e direito do corpo), apesar de estas acontecerem em pontos diferentes do trajeto (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007).

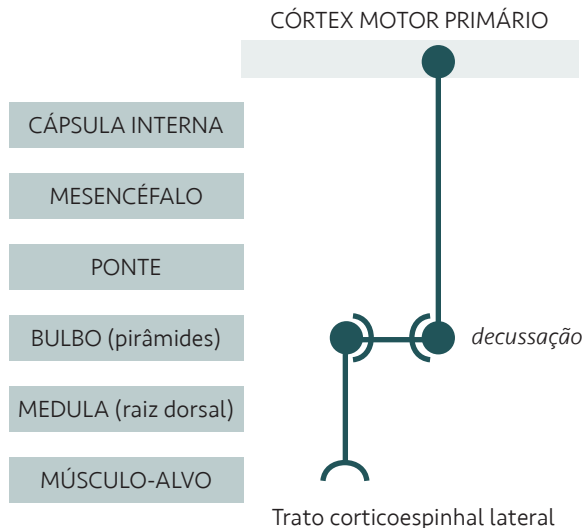
**Figura 7** Principais vias sensoriais ascendentes



Fonte: Elaborada pelos autores.

Já a principal via motora é a corticoespinhal lateral (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007) (Figura 8).

**Figura 8** Principal via motora descendente



Fonte: Elaborada pelos autores.

O Quadro 2 apresenta os 12 pares de nervos cranianos e suas principais funções (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2007; KANDEL *et al.*, 2021).

**Quadro 2** ■ Os 12 pares de nervos cranianos e suas principais funções

	<b>Nervo craniano</b>	<b>Somático motor</b>	<b>Sensorial</b>	<b>Visceral motor</b>	<b>Visceral sensorial</b>
I.	Olfatório*	-	Olfato	-	-
II.	Óptico*	-	Visão	-	-
III.	Oculomotor	Olhos e pálpebras	-	Tamanho da pupila	-
IV.	Troclear	Olhos	-	-	-
V.	Trigêmeo	Mastigação	Rosto	-	-
VI.	Abducente	Olhos	-	-	-
VII.	Facial	Expressão facial	Parte anterior da língua	-	-
VIII.	Vestibulococlear	-	Audição e equilíbrio	-	-
IX.	Glossofaríngeo	Garganta	Parte posterior da língua	Glândula salivar	Pressão sanguínea na aorta
X.	Vago	Garganta	-	Coração, pulmões e órgãos abdominais	Dor visceral
XI.	Acessório	Garganta e pescoço	-	-	-
XII.	Hipoglosso	Língua	-	-	-

\* Parte do sistema nervoso central.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Quadro 3 exemplifica as funções antagônicas dos sistemas simpático e parassimpático, divisões do sistema nervoso autônomo (KANDEL *et al.*, 2021).

### Quadro 3 Exemplos dos efeitos simpáticos (luta ou fuga) e parassimpáticos (descanso ou digestão)

	Simpático	Parassimpático
Pupila	Dilata	Contraí <sup>1</sup>
Glândulas salivares e lacrimais	Inibe	Estimula <sup>2,3</sup>
Frequência cardíaca	Aumenta	Diminui <sup>4</sup>
Vias respiratórias	Relaxa	Contraí <sup>4</sup>
Trato digestivo	Inibe	Estimula <sup>4</sup>
Vasos sanguíneos	Contraí	Dilata
Adrenal	Estimula	Inibe
Bexiga	Relaxa	Contraí
Órgãos sexuais	Estimula orgasmo	Estimula excitação

Legenda: <sup>1</sup>Nervo oculomotor; <sup>2</sup> nervo facial; <sup>3</sup> nervo glossofaríngeo; <sup>4</sup> nervo vago.

Fonte: Elaborado pelos autores.

## NEUROPLASTICIDADE

Por fim, uma característica essencial do sistema nervoso é a sua capacidade de se moldar diante de novas experiências. Esse fenômeno, denominado neuroplasticidade (em razão da habilidade do plástico, como material, de se moldar em diferentes formas), é o que permite um aprendizado mais flexível e o desenvolvimento de habilidades complexas (KANDEL *et al.*, 2021). A neuroplasticidade age em diferentes níveis fisiológicos (por exemplo, celular, morfológico, de estrutura e funcional) e atinge seu auge na infância e adolescência, durante o desenvolvimento do sistema nervoso. Janelas temporais específicas, chamadas de períodos críticos, aumentam a susceptibilidade do indivíduo em aprender uma nova habilidade ou desenvolver certa função perceptiva ou cognitiva (WEYANDT *et al.*, 2020). Contudo, uma interferência em períodos críticos pode atrapalhar a trajetória de desenvolvimento e ser um risco para a evolução de uma série de transtornos do neurodesenvolvimento, incluindo transtorno do espectro autista, TDAH, deficiência intelectual e transtornos motores (SHAW *et al.*, 2007; ÜNAL *et al.*, 2009; DONOVAN; BASSON, 2017; HE *et al.*, 2018; SMITH *et al.*, 2018; MEHTA *et al.*, 2019; SCHAFFLER; MIDDLETON; ABDUS-SABOOR, 2019; IRIE *et al.*, 2021; PICCARDI *et al.*, 2021; YU; WANG, 2021).

## CONCLUSÃO

Neste artigo, apresentaram-se os principais conceitos relacionados às áreas de neuroanatomia e neurofisiologia, desde a definição das unidades básicas do sistema nervoso até funções de sistemas mais complexos, como os sistemas nervosos autônomo e somático. Com isso, espera-se que o leitor tenha tido a possibilidade de ter um primeiro contato com o tema, que merece um estudo mais aprofundado. Obter conhecimento sobre a estrutura e o funcionamento do sistema nervoso é essencial para incorporar uma visão biológica sobre o comportamento humano funcional e disfuncional, o que é importante para o desenvolvimento de diversas áreas, principalmente de educação e saúde.

## REFERÊNCIAS

- ARENDETT, J.; AULINAS, A. Physiology of the pineal gland and melatonin. In: FEINGOLD, K. R. *et al.* *Endotext*. Massachusetts: MDText.com, 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK550972/>. Acesso em: 24 out. 2022.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. *Neuroscience: exploring the brain*. 3. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- BIRAN, J. *et al.* Role of developmental factors in hypothalamic function. *Frontiers in Neuroanatomy*, v. 9, n. 47, p. 1-11, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnana.2015.00047>. Acesso em: 24 out. 2022.
- DONOVAN, A. P. A.; BASSON, M. A. The neuroanatomy of autism: a developmental perspective. *Journal of Anatomy*, v. 230, n. 1, p. 4-15, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/joa.12542>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- EUNICE KENNEDY SHIVER NATIONAL INSTITUTE OF CHILD HEALTH AND HUMAN DEVELOPMENT. What are the parts of the nervous system? c2018. Disponível em: <https://www.nichd.nih.gov/health/topics/neuro/conditioninfo/parts>. Acesso em: 16 jun. 2022.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- HE, J. L. *et al.* Interhemispheric cortical inhibition is reduced in young adults with developmental coordination disorder. *Frontiers in Neurology*, v. 9, n. 179, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00179>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- IRIE, K. *et al.* Neural basis and motor imagery intervention methodology based on neuroimaging studies in children with developmental coordination disorders: a review. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 15, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.620599>. Acesso em: 30 jan. 2023.

KANDEL, E. R. *et al.* *Principles of neural science*. 6. ed. New York: McGraw Hill, Medical, 2021. Disponível em: <https://neurology.mhmedical.com/book.aspx?bookID=3024#254327318>. Acesso em: 15 jun. 2022.

LENT, R. *Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

MA, T. P. The Basal Ganglia. In: HAINES, D. E. *Fundamental of Neuroscience*. New York: Churchill Livingstone, 1997. p. 363-378.

MEHTA, T. R. *et al.* Neurobiology of ADHD: a review. *Current Developmental Disorders Reports*, v. 6, p. 235-240, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40474-019-00182-w>. Acesso em: 30 jan. 2023.

NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH. Brain basics: know your brain. c2022. Disponível em: <https://www.ninds.nih.gov/health-information/patient-caregiver-education/brain-basics-know-your-brain>. Acesso em: 17 jun. 2022.

OLIVEIRA, M. Neurônios. *Infoescola*. Histologia, sistema nervoso. Disponível em: <https://www.infoescola.com/sistema-nervoso/neuronios/>. Acesso em: 1º fev. 2023.

PATEL, A.; BISO, G. M. N.; FOWLER, J. B. Neuroanatomy, temporal lobe. In: StatPearls. Flórida: StatPearls, c2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519512/>. Acesso em: 26 jun. 2022.

PICCARDI, E. S. *et al.* Behavioural and neural markers of tactile sensory processing in infants at elevated likelihood of autism spectrum disorder and/or attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, v. 13, n. 1, p. 1-18, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s11689-020-09334-1>. Acesso em: 30 jan. 2023.

SCHAFFLER, M. D.; MIDDLETON, L. J.; ABDUS-SABOOR, I. Mechanisms of tactile sensory phenotypes in autism: current understanding and future directions for research. *Current Psychiatry Reports*, v. 21, p. 133-143, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007%2Fs11920-019-1122-0>. Acesso em: 30 jan. 2023.

SCIENCEDIRECT. Prefrontal cortex. 5. ed. c2022a. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/prefrontal-cortex>. Acesso em: 16 jun. 2022.

SCIENCEDIRECT. Diencephalon. c2022b. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/diencephalon>. Acesso em: 16 jun. 2022.

SCIENCEDIRECT. Parietal lobe. c2022c. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/parietal-lobe>. Acesso em: 17 fev. 2022.

SCIENCEDIRECT. Primary motor cortex. c2022d. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/primary-motor-cortex>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SHAW, P. *et al.* Attention-deficit/hyperactivity disorder is characterized by a delay in cortical maturation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, n. 49, p. 19649-19654, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0707741104>. Acesso em: 30 jan. 2023.

SILVERTHORN, D. U. *Fisiologia humana: abordagem integrada*. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. Revisão Maria Flávia Marques Ribeiro, Maurício da Silva Krause, Paulo Cavalheiro Schenkel.

SMITH, M. R. *et al.* Loss-of-function of neuroplasticity-related genes confers risk for human neurodevelopmental disorders. *Pacific Symposium on Biocomputing*, v. 23, p. 68-79, 2018.

SOBOTTA, J. *Atlas de anatomia humana*. 22. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2000. 1 v.

STEIN, J. Dyslexia: the role of vision and visual attention. *Current Developmental Disorders Reports*, v. 1, p. 267-280, 2014. DOI 10.1007/s40474-014-0030-6

STINNETT, T. J.; REDDY, V.; ZABEL, M. K. Neuroanatomy, Broca Area. In: StatPearls. Flórida: StatPearls, 2022. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526096/>. Acesso em: 15 jun. 2022.

TECIDO NERVOSO. EducaBras. Disponível em: [https://www.educabras.com/ensino\\_medio/materia/biologia/anatomia\\_e\\_fisiologia\\_2/aulas/tecido\\_nervoso](https://www.educabras.com/ensino_medio/materia/biologia/anatomia_e_fisiologia_2/aulas/tecido_nervoso). Acesso em: 1º fev. 2023.

UDDIN, L. Q. *et al.* Structure and function of the human insula. *Journal of Clinical Neurophysiology*, v. 34, n. 4, p. 300-306, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1097%2FWNP0000000000000377>. Acesso em: 30 jan. 2023.

ÜNAL, O. *et al.* EEG and MRI findings and their relation with intellectual disability in pervasive developmental disorders. *World Journal of Pediatrics*, v. 5, n. 3, p. 196-200, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007%2Fs12519-009-0037-y>. Acesso em: 30 jan. 2023.

WEYANDT, L. L. *et al.* Neuroplasticity in children and adolescents in response to treatment intervention: a systematic review of the literature. *Clinical & Translational Neuroscience*, v. 4, n. 2, p. 1-21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2514183X20974231>. Acesso em: 30 jan. 2023.

YU, L.; WANG, S. Aberrant auditory system and its developmental implications for autism. *Science China*, v. 64, n. 6, p. 861-878, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11427-020-1863-6.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2023.