

Daniel Figueiredo Alves da Silva
Selma Kazumi da Trindade Noguchi
Katia Simone Kietzer

[Organizadores]

ABORDAGEM MORFOFUNCIONAL DO SISTEMA NERVOSO



Daniel Figueiredo Alves da Silva
Selma Kazumi da Trindade Noguchi
Katia Simone Kietzer

[Organizadores]

ABORDAGEM MORFOFUNCIONAL DO SISTEMA NERVOSO



Daniel Figueiredo Alves da Silva
Selma Kazumi da Trindade Noguchi
Katia Simone Kietzer
[Organizadores]

ABORDAGEM MORFOFUNCIONAL DO SISTEMA NERVOSO
Atlas e roteiros



CORPO EDITORIAL

Editor-Chefe

Tassio Ricardo Martins da Costa

Enfermeiro, Mestrado em andamento, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Editor-chefe, Editora Neurus. Professor Universitário. Consultor em Desenvolvimento de Pesquisa em Ciências da Saúde. Belém, Pará, Brasil.

Editora-Executiva

Ana Caroline Guedes Souza Martins

Enfermeira. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA), Universidade do Estado do Pará (UEPA). Doutoranda, Programa de Doutorado Acadêmico Pesquisa Clínica em Doenças Infecciosas, Instituto Nacional de Infectologia da Fundação Oswaldo Cruz (INI-FIOCRUZ-RJ). Docente do Curso de Graduação em Enfermagem da UEPA. Belém, Pará, Brasil.

Editora-Técnica

Niceane dos Santos Figueiredo Teixeira

Enfermeira, Universidade da Amazônia (UNAMA). Mestranda no Programa de Pós-graduação em Criatividade e Inovação em Metodologias de Ensino Superior, Universidade Federal do Pará (UFPA). Especialização em Unidade de Terapia Intensiva adulto e em Estomaterapia, Faculdade Venda Nova do Imigrante (FAVENI). Belém, Pará, Brasil.

Conselho Editorial

Sting Ray Gouveia Moura

Fisioterapeuta. Mestre em Gestão de Empresas, Faculdade Pitágoras em Marabá. Doutor em Educação Física, Universidade Católica de Brasília (UCB), Marabá, Pará, Brasil.

Adriana Letícia dos Santos Gorayeb

Enfermeira. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Doutora em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Universidade do Estado do Pará (UEPA). Reitora do Centro Universitário da Amazônia (UniFAMAZ), Pará, Brasil.

Simone Aguiar da Silva Figueira

Enfermeira. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Doutoranda, Programa de Doutorado Profissional em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Docente na Universidade do Estado do Pará (UEPA), Campus Santarém, Pará, Brasil.

Selma Kazumi da Trindade Noguchi

Fisioterapeuta. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Doutora em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA), Universidade do Estado do Pará (UEPA). Belém, Pará, Brasil.

Sarah Lais Rocha

Enfermeira. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Doutoranda, Programa de Doutorado Profissional em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Docente na Universidade do Estado do Pará (UEPA), Campus Marabá. Coordenadora do curso de Enfermagem da Faculdade Carajás, Pará, Brasil.

Suanne Coelho Pinheiro Viana

Enfermeira. Mestre em Políticas de Saúde, Universidade Federal do Pará (UFPA). Responsável Técnica pelo curso de Enfermagem, Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC/PA), Belém, Pará, Brasil.

Anne Caroline Gonçalves Lima

Enfermeira. Mestre em Saúde Pública, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Especialista em Centro Cirúrgico, CME e RPA (CGESP). Especialista em Enfermagem Obstétrica. Belém, Pará, Brasil.

Isis Ataíde da Silva

Enfermeira. Mestre em Saúde da Amazônia. Universidade Federal do Pará (UFPA). Especialista em Oncologia na Modalidade Residência Uniprofissional em Saúde. Hospital Ophir Loyola/Universidade do Estado do Pará (UEPA). Belém, Pará, Brasil.

Daniel Figueiredo Alves da Silva

Fisioterapeuta. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Doutorando, Programa de Doutorado Profissional em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Docente no Centro Universitário Metropolitano da Amazônia (UniFAMAZ), Belém, Pará, Brasil.

Elcilane Gomes Silva

Médica, Doutora em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA), Universidade do Estado do Pará (UEPA). Belém, Pará, Brasil.

Alfredo Cardoso Costa

Biólogo, Doutor em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Docente na Universidade do Estado do Pará (UEPA). Belém, Pará, Brasil.

Renata Campos de Sousa Borges

Enfermeira. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Doutorando, Programa de Doutorado Profissional em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Docente na Universidade do Estado do Pará (UEPA). Tucuruí, Pará, Brasil.

Nathalie Porfirio Mendes

Enfermeira, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Mestre em Enfermagem, Universidade Federal do Pará (UFPA). Especialista em Saúde do Idoso, modalidade residência. Coordenadora de Centro Cirúrgico HPSM-MP, SESMA. Docente no Centro Universitário FIBRA. Belém, Pará, Brasil.

Leopoldo Silva de Moraes

Enfermeiro. Biólogo, Doutor, Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu*. Doutorado em Neurociências e Biologia Celular, Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém, Pará, Brasil.

David José Oliveira Tozetto

Médico intensivista. Doutor em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA), Universidade do Estado do Pará (UEPA). Coordenador Adjunto do curso de medicina, UEPA, Marabá, Pará, Brasil.

Elisângela Claudia de Medeiros Moreira

Psicóloga, Doutora em Doenças Tropicais, Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará, Brasil.

Benedito do Carmo Gomes Cantão

Bacharel em Direito pela Faculdade Gamaliel. Graduado em Enfermagem pela Universidade do Estado do Pará (UEPA). Mestre em Cirurgia e Pesquisa experimental pelo Programa de Mestrado Profissional em Cirurgia e Pesquisa Experimental (CI-PE) da UEPA. Especialista em Enfermagem Oncológica e Terapia Intensiva. Coordenador da Clínica Cirúrgica e Oncológica do Hospital Regional de Tucuruí. Professor auxiliar IV, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Tucuruí, Pará, Brasil.

Vanessa Costa Alves Galúcio

Biomédica, Universidade Federal do Pará (UFPA). Doutora e Mestre em Biotecnologia e Recursos Naturais, Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Especialista em Análises Clínicas e Microbiologia, em Gestão Ambiental e em Gestão da Segurança de Alimentos. Atualmente ministra aula na Faculdade Cosmopolita para os cursos de Fisioterapia, Enfermagem, Farmácia e Biomedicina. Belém, Pará, Brasil.

Ilza Fernanda Barboza Duarte Rodrigues

Doutorado em andamento pelo Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (RENORBIO). Pós-Graduação em Farmacologia e Farmácia Clínica com ênfase em Prescrição Farmacêutica/IBRAS. Professora voluntária do Instituto de Ciências Farmacêuticas (ICF) na Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre pelo Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Ciências Farmacêuticas/UFAL. Farmacêutica graduada pela Universidade Federal de Alagoas. Especialista em Terapia Floral de Bach. Técnica em Química Industrial formada pelo Instituto Federal de Alagoas.

FICHA CATALOGRÁFICA

A154

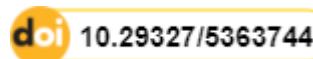
Abordagem morfofuncional do sistema nervoso: atlas e roteiros / Organização de Daniel Figueiredo Alves da Silva, Selma Kazumi da Trindade Noguchi, Katia Simone Kietzer. – Belém: Neurus, 2024.

Livro em PDF
102 p.

ISBN 978-65-5446-129-0

[10.29327/5363744](https://doi.org/10.29327/5363744)

<https://doi.org/10.29327/5363744>



1. Fisiologia. 2. Anatomia. 3. Sistema nervoso. I. Silva, Daniel Figueiredo Alves da (Organizador). II. Noguchi, Selma Kazumi da Trindade (Organizadora). III. Kietzer, Katia Simone (Organizadora). IV. Título.

CDD 612

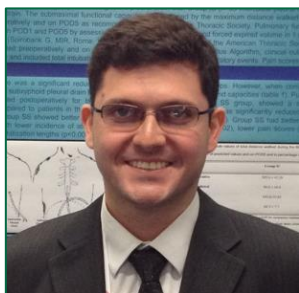
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) elaborada por Editora Neurus –
Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

O conteúdo, os dados, as correções e a confiabilidade são de inteira responsabilidade dos
autores

A *Editora Neurus* e os respectivos autores desta obra autorizam a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e de pesquisa, desde que citada a fonte. Os conteúdos publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista da *Editora Neurus*

Editora Neurus
Belém/PA
2024

INFORMAÇÕES SOBRE OS ORGANIZADORES



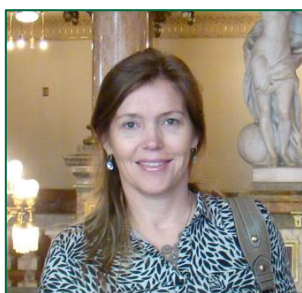
Daniel Figueiredo Alves da Silva

Fisioterapeuta, Centro Universitário do Estado do Pará. Especialista em Saúde do Adulto e Idoso com área de concentração em cardiologia pela Residência Multiprofissional da Universidade Federal de São Paulo. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino em Saúde na Amazônia (PPG-ESA/UEPA). Doutorando em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA/UEPA). Professor do curso de Medicina do Centro Universitário Metropolitano da Amazônia (UNIFAMAZ) e coordenador do serviço de fisioterapia da Maternidade Saúde da Criança. Belém, Pará, Brasil.



Selma Kazumi da Trindade Noguchi

Fisioterapeuta. Mestre em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA). Doutora em Ensino em Saúde na Amazônia (ESA), Universidade do Estado do Pará (UEPA). Professora - Departamento de Morfologia e Ciências Fisiológicas (DMCF) UEPA. Professora do curso de Medicina do Centro Universitário Metropolitano da Amazônia (UNIFAMAZ). Belém, Pará, Brasil.



Kátia Simone Kietzer Liberti

Fisioterapeuta, Universidade Regional de Blumenau (FURB). Doutora em Neurociências e Biologia Celular pela Universidade Federal do Pará. Pós doutora em Neurociências pela UFSC. Professora do Departamento de Morfologia e Ciências Fisiológicas (DMCF/UEPA). Docente do programa de Mestrado Profissional em Ensino na Saúde. Belém, Pará, Brasil.

APRESENTAÇÃO

Prezado leitor, esta obra faz parte de uma coletânea educacional direcionado ao estudo abrangente do morfofuncional, que busca oferecer uma visão aprofundada e integrada dos aspectos anatômicos e funcionais do corpo humano, essenciais para a formação acadêmica.

Complementando outros volumes que exploram temas relacionado a fisiologia, histologia, e anatomia específica de sistemas, proporcionando uma compreensão holística do morfofuncional, destacando suas interconexões e relevância para diversas áreas do conhecimento.

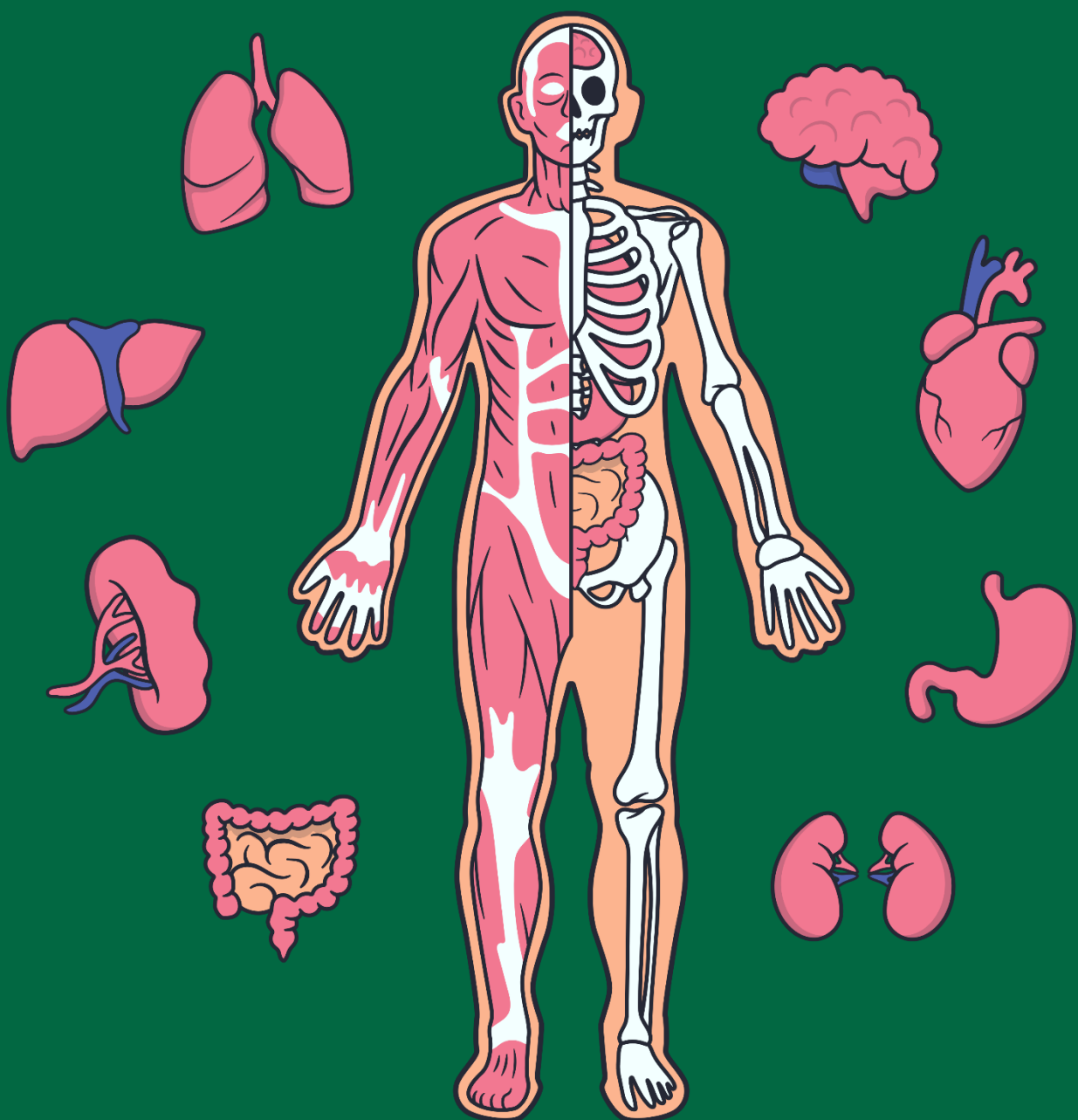
Reconhecemos a importância de apresentar informações complexas de maneira acessível que atenda a diferentes estilos de aprendizagem. Por se tratar de um material textual, compreendemos que é mais aplicável para os alunos com estilos visual e reflexivo, por isso o material contém ilustrações, diagramas e explicações, esta enciclopédia visa facilitar a compreensão dos conceitos morfofuncionais, promovendo uma aprendizagem envolvente e eficaz.

Cada obra desta coletânea contribui para o desenvolvimento holístico do conhecimento acadêmico, proporcionando uma base sólida para estudantes e profissionais das ciências da saúde e áreas correlatas. Explore conosco as complexidades fascinantes do morfofuncional e aprofunde-se em uma jornada educacional completa.

A coletânea está disponível pela Editora Neurus e no website *morfoflix.com*.

Boa leitura!

CAPÍTULO I	11
INTRODUÇÃO A FISILOGIA	
<i>Selma Kazumi da Trindade Noguchi; Daniel Figueiredo Alves da Silva; Stefanne de Cássia Pereira da Silva; Luan Daher Fernandes; Willian Hideo Miashiro Yamada; Adria Rayane Lima Cascaes; José Nazareno Cunha Negrão</i>	
10.29327/5363744.1-1	
 CAPÍTULO II	 45
NEUROFISIOLOGIA	
<i>Selma Kazumi da Trindade Noguchi; Daniel Figueiredo Alves da Silva; Fernando Tavares Brasil Teixeira; Luan Daher Fernandes; Willian Hideo Miashiro Yamada; Vanessa Novaes Barros; Nubia Caroline Costa de Almeida</i>	
10.29327/5363744.1-2	
 CAPÍTULO III	 71
ROTEIRO DE ESTUDO APLICADO	
<i>Selma Kazumi da Trindade Noguchi; Daniel Figueiredo Alves da Silva; Willian Hideo Miashiro Yamada; Luan Daher Fernandes; Carlos Eduardo Oliveira da Silva; Vanessa Novaes Barros; Stefanne de Cássia Pereira da Silva</i>	
10.29327/5363744.1-3	
 CAPÍTULO IV	 86
ATLAS DE NEUROANATOMIA	
<i>Selma Kazumi da Trindade Noguchi; Daniel Figueiredo Alves da Silva; Fernando Tavares Brasil Teixeira; Luan Daher Fernandes; Willian Hideo Miashiro Yamada; Silvana Hiroko Noguchi Gomes; Pablo Rodrigues Nunes de Souza</i>	
10.29327/5363744.1-4	
 REFERÊNCIAS	 102



INTRODUÇÃO A FISIOLOGIA

Selma Kazumi da Trindade Noguchi^I; Daniel Figueiredo Alves da Silva^{II}; Stefanne de Cássia Pereira da Silva^{III}; Luan Daher Fernandes^{IV}; Willian Hideo Miashiro Yamada^V; Adria Rayane Lima Cascaes^{VI}; José Nazareno Cunha Negrão^{VII}

^IDoutora em Ensino em saúde na Amazônia, Universidade do Estado do Pará, Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-6892-4718>

^{II}Doutorando em Ensino em saúde na Amazônia, Universidade do Estado do Pará, Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-9719-2085>

^{III}Acadêmica de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-9093-5330>

^{IV}Acadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-0369-3995>

^VAcadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0003-0232-5733>

^{VI}Acadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-5640-8468>

^{VII}Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-3377-6636>

ASPECTOS INICIAIS

A Fisiologia fundamenta-se na análise dos mecanismos operacionais dos órgãos e sistemas corpóreos, investigando as interações possíveis entre eles, assim como os métodos de controle e regulação do equilíbrio interno. Seu escopo engloba o estudo dos sistemas que coordenam os processos vitais, abrangendo desde a função celular até o funcionamento global do organismo. A abordagem envolve investigações tanto in vitro quanto in vivo, com o objetivo de elucidar os fatores físicos e químicos que desencadeiam, orientam e impulsionam a origem, desenvolvimento e progressão da vida.

O estudo da fisiologia é fundamental para os cursos ligados a área de saúde. Fornece aos alunos os fundamentos básicos para sua educação e futura prática profissional. Sem saber como o organismo funciona e reage em condições normais não permitirá que faça um juízo perfeito das doenças que acometem o indivíduo e nem como tratá-lo.

A fisiologia Humana está inserida em uma visão integrada e multidisciplinar juntamente com a anatomia e a histologia, as quais formam a base para compreensão do funcionamento orgânico. O estudioso Francois Magendie, (1783-1855), estabelece as bases experimentais para o estudo da moderna fisiologia e farmacologia. Nos ESTUDOS MAIS RELEVANTES destacam-se os inúmeros estudos do sistema nervoso (diferenciou o

motor do sensorial); a absorção de fármacos; o papel das veias e linfáticos na absorção e criação do conceito de local de ação.

No entanto, Claude Bernard, renomado fisiologista francês e uma das figuras mais proeminentes em sua área ao longo da história, é reconhecido como o "pai" da fisiologia experimental moderna. A ele atribui-se uma descoberta de impacto que revolucionou a compreensão dos princípios fundamentais da vida orgânica, persistindo como válido até os dias atuais. Essa inovação é representada pelo conceito de homeostase, ou seja, a manutenção controlada da estabilidade do ambiente interno composto por células e tecidos. Bernard postulou que a "constância do ambiente interno é a condição essencial para a existência livre da vida".

CONCEITO

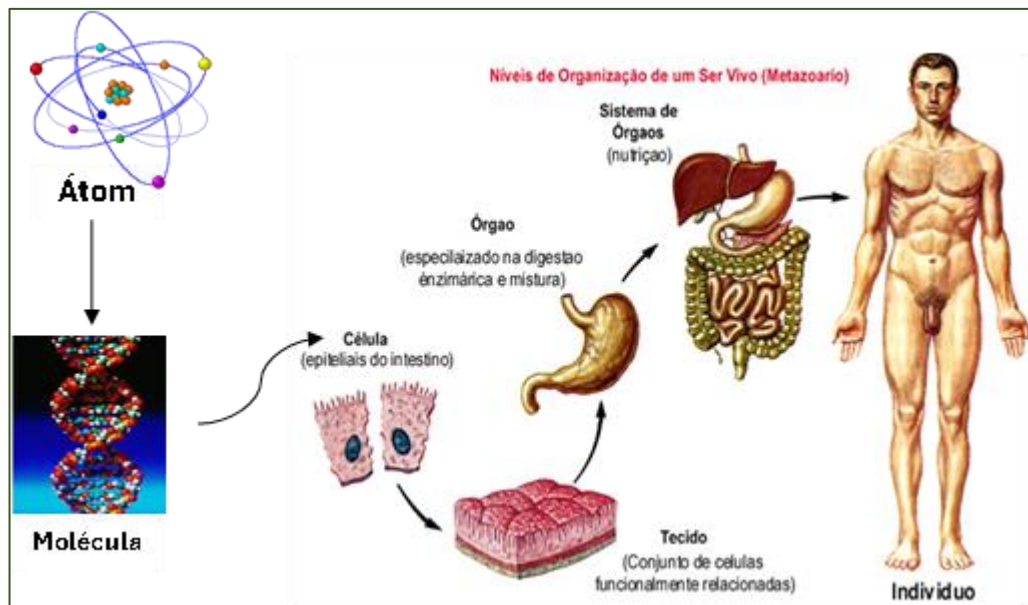
A Citologia, ramo da Biologia, dedica-se à investigação da célula em relação à sua estrutura e funcionamento. A célula, considerada a menor unidade estrutural fundamental dos seres vivos com capacidade de sobrevivência indefinida, na maioria das situações, pode reproduzir-se desde que os fluidos circundantes contenham os nutrientes apropriados. A sua descoberta remonta a 1667, atribuída ao inglês Robert Hooke, que observou uma célula de cortiça (tecido vegetal sem vida) através do microscópio. A compreensão dos processos vitais que ocorrem em todas as células proporciona uma base para uma melhor compreensão do funcionamento integral dos organismos.

Os primeiros organismos surgiram como células isoladas (unicelulares) com capacidade de alimentação, locomoção e reprodução. Estes, através do processo de evolução, deram origem aos seres Pluricelulares constituídos por células altamente especializadas.

A TEORIA CELULAR

Cada organismo vivo é composto por unidades elementares essenciais conhecidas como células, conforme formulado por Schleiden e Schwann em 1839. Essas células originam-se de outras preexistentes, e é nelas que ocorrem as reações metabólicas fundamentais do organismo.

Figura 1 – Níveis de organização tecidual no corpo humano



Fonte: Fisiologia Humana: das células aos sistemas: SHERWOOD 7ª ed.

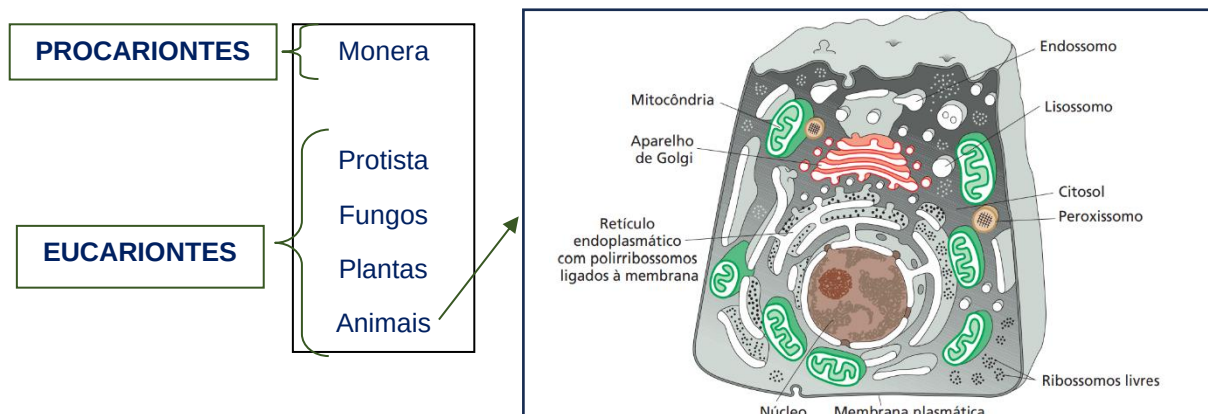
Teoria Celular

- Todo ser vivo é constituído por célula.
- Todas as atividades metabólicas se desenvolvem no âmbito celular.
- Todo ser vivo origina-se de células pré-existentes (biogênese).
- Toda célula possui material genético (DNA/RNA).

TIPOS DE CÉLULAS

- Procarionte (mais primitiva, encontrada nas bactérias e que não apresenta membrana nuclear, a carioteca);
- Eucarionte (mais complexa, que ocorre nos animais, vegetais, fungos e protozoários). Apesar de animais e vegetais terem célula eucarionte, existem algumas diferenças entre as células desses organismos.

Figura 2 – Célula eucarionte



Fonte: Adaptado de Alberts et al., 2017.

A CÉLULA E SEU FUNCIONAMENTO

Cada célula de um ser humano é dividida em núcleo e citoplasma. O núcleo é envolto pela membrana nuclear e enquanto citoplasma é separado dos líquidos circundantes pela membrana plasmática. O protoplasma, conjunto de substâncias que compõe a célula, é composto por cinco substâncias básicas: água, eletrólitos, proteínas, carboidratos e lipídios. Resumidamente, podemos dividir os componentes químicos da célula em:

INORGÂNICO

- A água constitui aproximadamente 70% do volume celular, desempenhando o papel de solvente e meio de transporte para substâncias dentro da célula.
- Sais minerais - São reguladores químicos.

ORGÂNICO

- **Carboidratos (Açúcares):** São as mais abundantes moléculas orgânicas na natureza e são primariamente moléculas que reservam energias na maioria dos organismos vivos. Desempenhando um papel crucial, a água também atua na provisão de energia por meio de processos de oxidação, além de participar em diversas estruturas celulares.
- **Lipídios:** São substâncias muito abundantes em animais e vegetais. Compreendem os óleos, as gorduras, as ceras, os lipídios compostos (fosfolipídios, por exemplo) e finalmente os esteróides, que, apesar de estruturalmente diferentes dos outros lipídios, ainda assim são considerados lipídios. Possuem função de reserva

energética, isolante térmico e hormonal. Têm participação na formação celular e fornecimento de energia através da oxidação.

- **Proteínas:** São macromoléculas resultantes da condensação de moléculas de aminoácidos, através da ligação peptídica. Juntamente com os glicídios e lipídios, as proteínas constituem a alimentação básica dos animais. Um dos seus papéis fundamentais está relacionado à construção da matéria viva, ou seja, função estrutural. Assim como, a reposição de material celular desgastado, o crescimento e a defesa do organismo. As proteínas desempenham múltiplas funções na célula, incluindo sua participação na estrutura celular, no sistema de defesa por meio de anticorpos, no transporte de íons e moléculas, e na catalisação de reações químicas.
- **Enzimas:** São proteínas especiais que facilitam a ocorrência das reações, fazendo com que elas se processem com maior facilidade. São chamadas, por isso, de catalisadores.
- **Ácidos nucleicos:** São moléculas orgânicas formadas por um conjunto de nucleotídeos. Cada nucleotídeo é formado pela união de um fosfato, um glicídeo (carboidrato) de cinco carbonos (pentose) e uma base nitrogenada. Os ácidos nucleicos são: DNA - ácido desoxirribonucleico e o RNA - ácido ribonucleico.
- **Vitaminas:** As vitaminas são nutrientes orgânicos essenciais nas várias reações do metabolismo, regulando-as. Em sua deficiência surgem as chamadas doenças da carência (avitaminose). Algumas vitaminas são hidrossolúveis (que se dissolvem em água), enquanto outras só se dissolvem em gorduras (lipossolúveis). Entre as lipossolúveis estão as vitaminas A, D, E e K. As hidrossolúveis são as vitaminas do Complexo B e C.

COMPONENTES FUNDAMENTAIS DA CÉLULA

A célula apresenta em seu interior estruturas físicas extremamente organizadas denominadas organelas citoplasmáticas. Estas possuem igual importância dos componentes químicos, pois desempenham funções vitais para o bom funcionamento celular.

- **Membrana Plasmática:** Formada de bicamada lipídica que delimita o espaço intercelular, permitindo trocas com o meio exterior. Possui proteínas integrais e transmembranas.
- **Citoplasma:** Região compreendida entre a membrana plasmática e a membrana nuclear. Solução coloidal formada principalmente por água e proteínas. Localizam-se as organelas citoplasmáticas.
- **Núcleo:** característico de células eucarióticas. Componentes formadores do núcleo: Envoltório nuclear com poros, Nucleoplasma, Nucléolo, Cromatina. FUNÇÃO: proteger o material genético.

- **Organelas e Funções:**

- a) **Mitocôndrias:** Responsáveis pela respiração celular e fornecimento de energia através da quebra da glicose.
- b) **Retículo Endoplasmático Rugoso (RER):** Participa principalmente da síntese de esteroides e outros lipídios destinados à exportação ou uso intracelular por outras organelas.
- c) **Retículo Endoplasmático Liso (REL):** Envolvido na síntese de proteínas, com funções específicas variando entre células. No fígado, realiza processos de conjugação, oxidação e metilação; na glândula suprarrenal, contribui para a produção de esteroides; nas células musculares esqueléticas, ativação do cálcio e contração muscular, além de sintetizar fosfolipídios para as membranas celulares.
- d) **Aparelho de Golgi:** Completar modificações pós-tradução, empacotar e endereçar moléculas sintetizadas pela célula, realizar hidrólise de lipídios, finalizar processos de glicosilação, fosforilação e sulfatação, além de separar proteínas.
- e) **Ribossomos:** Responsáveis pela síntese proteica.
- f) **Lisossomos:** Desempenham funções na digestão intracitoplasmática, renovação de organelas celulares e metabolização de diversas moléculas.
- g) **Peroxisossomos:** Oxidam substâncias orgânicas, produzem peróxido de hidrogênio, participam da β -oxidação, exportam acetil-CoA para o citossol, contribuem para a síntese de ácidos biliares e colesterol.
- h) **Microtúbulos:** Fornecem rigidez à forma celular, mantêm prolongamentos celulares, conferem simetria à célula, servem de suporte para locomoção celular e constituem a base morfológica para centríolos, cílios, flagelos e corpúsculos basais.

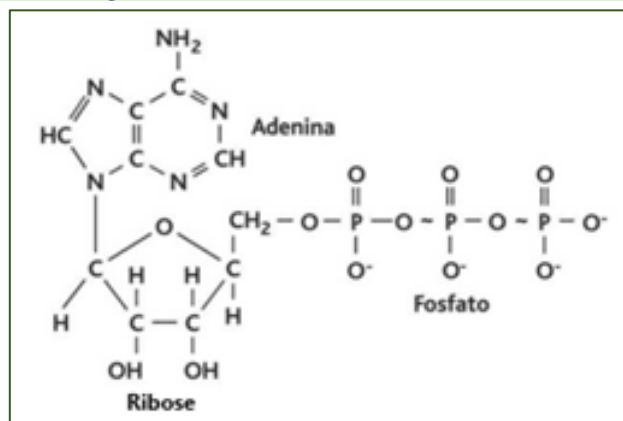
O bom funcionamento celular permite que a célula viva e cresça saudavelmente.

A Nutrição celular, assim como a excreção e produção de energia pela mesma evidencia a presença de sistemas funcionais nas células os quais podem ser exemplificados pelo processo de síntese e formação das estruturas celulares, pela endocitose, onde as principais formas são a pinocitose e a fagocitose, e pela formação de ATP. Resumidamente podemos conceituar os exemplos citados da seguinte forma:

- **Endocitose:** Processo pelo qual as células vivas ativamente absorvem material (moléculas, pedaços de detritos ou outras células) através da membrana celular. As formas principais de endocitose são:

- Fagocitose, que consiste na ingestão de partículas grandes ou células através de expansões citoplasmáticas chamadas pseudópodos;
- Pinocitose, que é o processo contínuo de ingestão de fluídos e moléculas por meio de pequenas vesículas;
- **Processo de formação de ATP:** executado principalmente pelas mitocôndrias. A adenosina trifosfato ou ATP é um nucleotídeo composto pela base nitrogenada ADENINA, o açúcar RIBOSE, e três radicais fosfatos como mostra a figura abaixo. O armazenamento de energia presente nas ligações entre os fosfatos ocorre principalmente nas moléculas de adenosina trifosfato (ATP). Essa, proveniente da respiração celular, não pode ser estocada, sendo de uso imediato e utilizada em diversos processos biológicos (transporte ativo, síntese e secreção de substâncias, locomoção e divisão celular etc.). A principal forma de produção do ATP no homem é a fosforilação oxidativa. Um radical fosfato inorgânico (Pi) é adicionado a uma molécula de ADP (adenosina difosfato), utilizando energia proveniente da decomposição da glicose na fosforilação oxidativa, processo que ocorre nas mitocôndrias.

Figura 4 – Trifosfato de Adenosina



Fonte: Tratado da Fisiologia - Guyton & Hall 12 º edição

MEMBRANA PLÁSMÁTICA – CONCEITOS, CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES

CONCEITO

É um envoltório celular, ou seja, são estruturas complexas, altamente viscosas, compostas de lipídeos, proteínas e carboidratos. Formada de bicamada lipídica que delimita o espaço intercelular, permitindo trocas com o meio exterior. Possuem proteínas integrais e transmembranas.

Obs.: O Citoplasma, também conhecido como Matriz Citoplasmática, é a região situada entre a membrana plasmática e a membrana nuclear em uma célula. Composta por uma

Solução coloidal formada principalmente por água e proteínas, onde se localizam as organelas citoplasmáticas.

FUNÇÕES

- Individualidade a cada célula.
- Contém e delimita o espaço da célula.
- A Permeabilidade Seletiva refere-se à capacidade da membrana celular de permitir a passagem seletiva de determinadas substâncias entre a célula e seu ambiente.
- Ação neuronal (propagação de impulso)
- Tradução de Sinais (sinalização celular)
- Processos Celulares: Transporte, Motilidade, Reconhecimento, Interação, Fusão

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURA

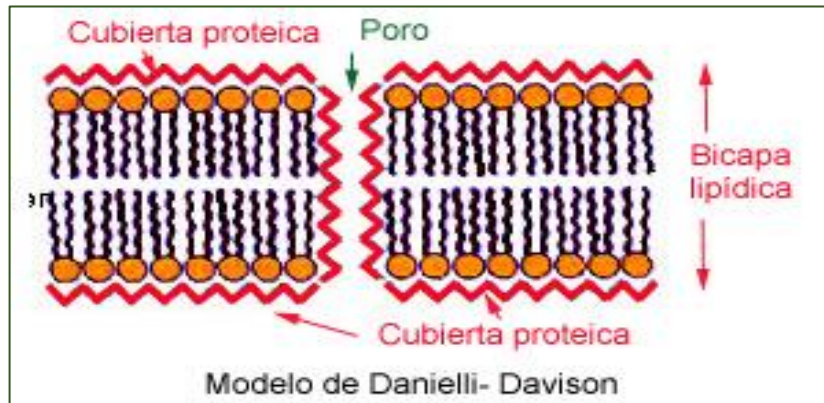
Todas as membranas biológicas apresentam uma composição predominante, sendo constituídas por uma dupla camada de lipídios (45%) e proteínas (55%). Possuem alta capacidade higroscópica, sendo seletivamente permeáveis para controlar a entrada e saída de substâncias. Apresentam poros e um sistema para o transporte ativo de íons. Além disso, contêm diversas enzimas incorporadas na dupla camada lipídica, desempenhando diversas funções.

Destaca-se que as membranas celulares consistem em uma dupla camada contínua de lipídios, interagindo com proteínas e carboidratos de naturezas diversas. Em células eucarióticas, essas membranas contêm uma quantidade significativa de colesterol, cujas moléculas contribuem para fortalecer as propriedades de barreira da bicamada lipídica. Os anéis planos e rígidos dos esteroides presentes no colesterol reduzem a mobilidade da bicamada lipídica, conferindo-lhe uma menor fluidez. A composição principal da membrana consiste em fosfolipídios, com destaque para fosfatidilcolina, esfingomielina, fosfatidilserina e fosfatidiletanolamina. Existem dois modelos estruturais propostos para a membrana plasmática, sendo o primeiro deles:

- a) **Modelo de Dawson e Danielli (1936):** Nesta proposta, Dawson e Danielli sugeriram um modelo molecular para a membrana plasmática, que seria composta por uma camada bimolecular de fosfolipídios. Os polos hidrofóbicos, que não possuem afinidade pela água, se confrontam, enquanto os polos hidrofílicos, com afinidade pela água, são recobertos por proteínas. Uma crítica a esse modelo reside na dificuldade de explicar a passagem de água e substâncias lipossolúveis pela

membrana. Para contornar essa limitação, é sugerida a existência de poros, embora estes não possam ser visualizados pela microscopia eletrônica.

Figura 5 – Modelo de Danielli-Davison de membrana plasmática



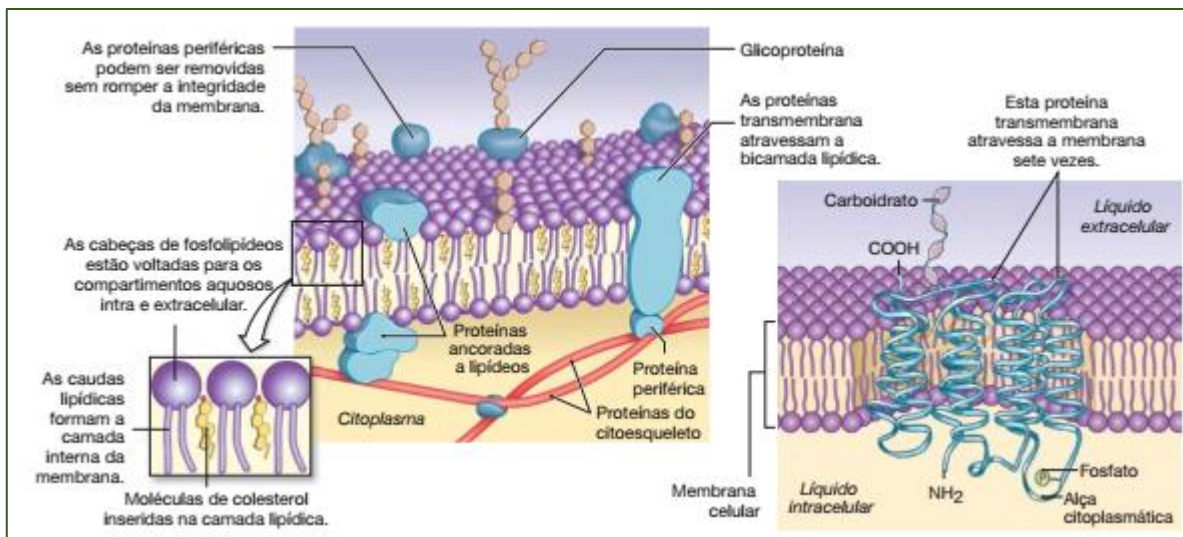
Fonte: Moreira, 2014.

- b) **Modelo de Singer e Nicholson (Mosaico Fluido):** Este é o modelo mais aceito para a estrutura da membrana plasmática. Conhecido como "mosaico fluido", ele propõe que a membrana é composta por duas camadas de fosfolípídios, nas quais as proteínas estão dispersas. Nesse modelo, a membrana é dinâmica e flexível, permitindo movimento lateral dos componentes, o que contribui para a seletividade e permeabilidade da membrana. Essa visão fluida contrasta com o modelo anterior de Dawson e Danielli, oferecendo uma explicação mais coerente para a dinâmica e a funcionalidade da membrana plasmática.

"A membrana é formada por uma bicamada fosfolipídica fluida na qual as proteínas globulares são livres para se difundirem e estão embebidas ou imersas em diferentes graus" (Science, 1972).

O conceito de membrana como um "fluido mosaico" de fosfolípídios e proteínas foi proposto por Singer e Nicholson. Neste modelo, as proteínas da membrana estão integradas na camada lipídica, podendo estar localizadas no lado interno, no lado externo ou atravessar completamente a membrana. A fluidez da membrana é influenciada pelo tipo de ligações intermoleculares presentes. O termo "mosaico" refere-se à aparência da membrana quando observada por microscopia eletrônica. Esse modelo é aplicável ao movimento de substâncias hidro e lipossolúveis, abrangendo gases, sólidos e líquidos.

Figura 6 – Modelo mosaico fluido



Fonte: Fisiologia Humana: Uma abordagem integrada - Silverthorn 7ª edição

➤ Relevância Biomédica

A integridade das membranas garante os processos celulares normais. Alterações na estrutura das membranas afetam o Balanço Hidrolítico e Fluxo de íons. Alterações nos processos celulares que originam doenças.

Doenças relacionadas com defeitos em membranas:

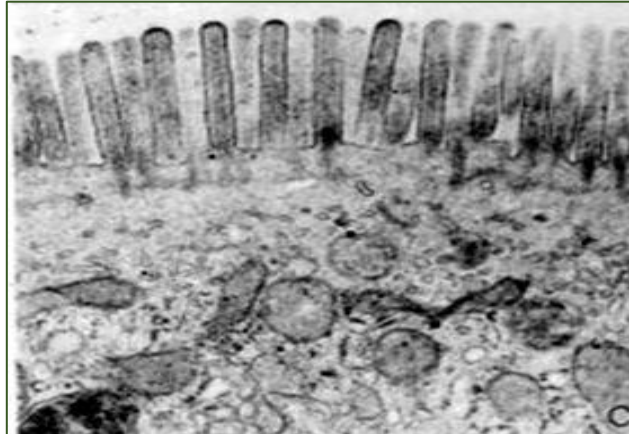
- Deficiências de α -glicosidade (lipossomas): Armazenamento incorreto de glicogênio tipo II;
- Deficiência do transportador de iodeto: Bócio congênito;
- Defeito na endocitose de lipoproteínas de baixa densidade (LDL): Hipercolesterolemia e doenças arteriais e coronárias.

ESPECIALIZAÇÕES DA MEMBRANA CELULAR

Bordos Livres

- **Microvilosidades:** São evaginações semelhantes a dedo de luva, localizadas nos bordos livres das células, que aumentam a superfície de absorção, tendo uma melhora na digestão e aproveitamento dos nutrientes. São dobras da membrana plasmática. Existente na mucosa intestinal e nos túbulos renais. Encontradas em células do epitélio intestinal. São projeções citoplasmáticas na superfície celular, envolta por membrana plasmática, também podem ser referidas como cílios ou flagelos, dependendo do tipo de estrutura e da função desempenhada. Os **Cílios** são estruturas semelhantes a pelos, mais curtas e numerosas, que se movem de forma coordenada para impulsionar a célula ou promover o movimento de substâncias ao redor da célula. Exemplos incluem os cílios das células respiratórias. Já os **Flagelos** são estruturas semelhantes a cílios, mas geralmente mais longas e em menor número. A principal função dos flagelos é permitir a locomoção de certas células, como os flagelos de espermatozoides.

Figura 7 – Microvilosidades

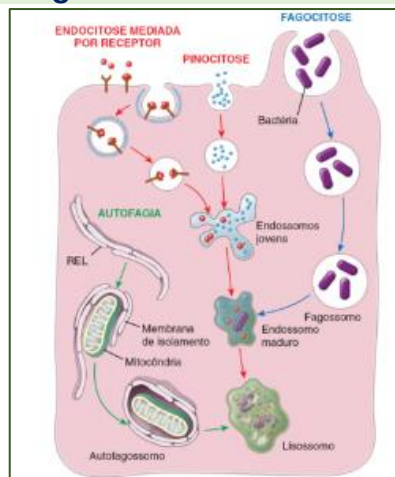


Fonte: Histologia: Texto e Atlas- Ross 7º edição.

Contato Entre as Células

- **Desmossomos:** Formam uma ponte entre duas células vizinhas, por onde se conectam os filamentos intermediários, formando uma estrutura de grande força tensora. São espécies de presilhas que aumentam a adesão entre uma célula e a outra. Sua finalidade é de sustentação e aumento de aderência entre as células.

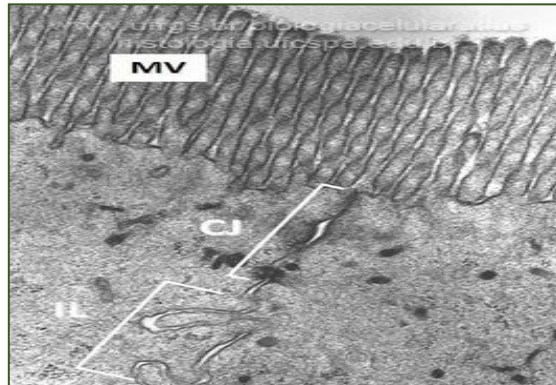
Figura 8 – Desmossomos



Fonte: Histologia: Texto e Atlas- Ross 7º edição.

- **Interdigitações:** é o conjunto de saliências e reentrâncias que se encaixam em estruturas complementares de células vizinhas. Sua função é a de aderir às células. São observadas em células epiteliais.

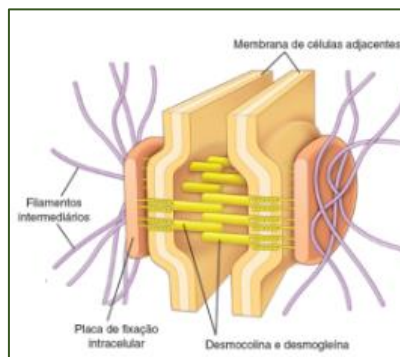
Figura 9 – Interdigitações



Fonte: Biologia Molecular da Célula- Alberts 4º edição.

- **Barras Terminais:** São fusões de membranas de células justapostas.

Figura 10 – Invaginações



Fonte: Histologia: Texto e Atlas- Ross 7º edição.

Base das Células

- **Invaginações:** São dobras da membrana celular para o interior da célula semelhantes às microvilosidades, que aumentam a área de absorção. São encontradas em células do tubo contornado distal do rim.

HOMEOSTASE

CONSIDERAÇÕES GERAIS

O corpo humano é constituído por vários sistemas/órgãos, os quais derivam de números variados de células. Estas células necessitam de um meio estável, visto que a sua atuação para a sobrevivência desse complexo organismo exige efetividade. Quando o trabalho entre células, tecidos e órgãos ocorre de forma adequada, tem-se a Homeostase, tópico muito discutido por fisiologistas.

Fatores únicos, como os líquidos que circulam entre as células intersticiais, tanto isoladas quanto associadas, assim como nos vasos, contribuem para a manutenção das condições necessárias à vida, o que tem ligação direta e indireta com as drásticas alterações fisiológicas no corpo humano, regulando-as e, assim, evitando o surgimento de doenças. O sangue, mesmo que esteja sendo regulado por outros órgãos, leva nutrientes de grande valia às células, impedindo uma grande variação dos fluídos externos a elas, assim como participa da atuação imunológica e do balanço de temperatura.

Nos seres vivos, detalhando ainda mais a homeostase, reconhece-se vários conceitos associados a este complexo processo. Nesse sentido, ela pode significar a manutenção da temperatura e pressão corporais devido à concentração adequada de substâncias químicas importantes para a sobrevivência, assim como o consumo de energia mínimo para que haja equilíbrio dinâmico. Entende-se, portanto, que embora possa haver grandes variações do meio no qual o organismo inserido, os mecanismos homeostáticos diminuem consideravelmente seus efeitos no funcionamento do sistema interno.

Conforma já fora dito, o sangue é intensamente regulado por outros órgãos, sobretudo quando se trata das substâncias que o compõem. A saber:

- O Sistema Nervoso e o Sistema Respiratório, sobretudo os pulmões, coordenam as concentrações de Dióxido de Carbono (CO₂);
- A utilização, produção e o armazenamento de glicose têm intenso controle do pâncreas e fígado;
- Outros íons, como Hidrogênio, potássio, fosfato e sódio são mantidos adequados pelos rins;
- Os hormônios, componentes essenciais do sangue, são nivelados pelas glândulas endócrinas;
- A chave para o balanço entre essas substâncias e sua relação com os órgãos que compõem o corpo humano está no hipotálamo. Essa estrutura do sistema neuroendócrino faz com que seja possível um adequado controle termorregulatório, assim como um equilibrado gasto/consumo energético, o que está intimamente associado com sua influência no comportamento inerente à vida, exteriorizando sensações, como a fome e saciedade.

SISTEMAS DE CONTROLE

O organismo apresenta diversos capazes de regular (a fim de manter a homeostasia) o meio interno, levando-o ao equilíbrio. Do nível celular ao sistêmico, cada organismo almeja manter o meio interno nos limites fisiológicos adequados.

Sistemas de Controle de Alça Aberta

Neste tipo de sistema a resposta ao 1º estímulo não influencia no mesmo, ou seja, o efeito causado por um estímulo não irá influenciar no mecanismo desencadeador.

Ex.: Ingestão de Líquidos e Aumento da Diurese / Ajustes posturais e Manutenção do equilíbrio.

Sistemas de Controle de Alça Fechada

Há controle da saída sobre a entrada, ou seja, o efeito causado por um estímulo influencia no mecanismo inicial. O processo de retroalimentação (Feedback) se faz importante para restabelecer o equilíbrio interno constantemente. A elevação ou a redução de uma função específica (pressão arterial, p. ex.) leva a uma mudança no organismo (física ou química), a qual desencadeia uma reação para que haja a correção funcional. A consequência desse mecanismo é o equilíbrio dinâmico e, assim, por intermédio dessas propriedades, o organismo se estabiliza, mesmo na presença de mudanças externas.

Há dois mecanismos universais utilizados pelos sistemas vivos para se realizar a regulação dos parâmetros biológicos:

I. Controle por retroalimentação negativa (*Feedback negativo*)

Quando há alguma alteração, esta é identificada pelos receptores sensoriais e, após isso, direcionada ao centro integrador. Ele, então, compara essa alteração com o ponto de ajuste mais ideal, criando respostas mais adequadas nos órgãos efetadores. Com isso, o efeito inicial (derivado do estímulo) tem uma oposição forte, podendo ser cancelado ou diminuído. Entende-se, com base nisso, que os mecanismos de retroalimentação negativa atuam contra mudanças, realizando os ajustes necessários e para que os intervalos permaneçam dentro da normalidade.

- **Regulação da temperatura corporal:** Quando realizamos uma atividade física no período do dia mais quente, há a produção de muito calor, de modo a aumentar a temperatura do meio interno. Tal aumento sinaliza os receptores térmicos e estes, então, informam o centro de comando, no Sistema Nervoso Central (SNC) sobre a questão térmica pontuada. Logo em seguida, tais comandos são direcionados às estruturas efetuatoras para que sejam contrabalanceados os efeitos da elevação de temperatura. A exemplo do que ocorre no dia a dia, normalmente, nos deitaríamos à sombra, ficaríamos ofegantes e suaríamos profusamente, levando à perda de calor. Esses processos regulatórios têm o objetivo de cessar/diminuir os efeitos do superaquecimento, quando estimulam os mecanismos que fazem o inverso: facilitar o fluxo de calor para o meio e, assim, restabelecer a homeostase.
- **Utilização da glicose:** Após as refeições, ocorre um aumento nos níveis de açúcar no sangue e, se não há necessidade de utilizá-la imediatamente, o excesso é retirado da circulação e é armazenado pelos músculos esqueléticos ou pelo fígado na forma de glicogênio, ou então, é convertida em gordura a principal forma de armazenamento de energia dos animais. Quando o suprimento de glicose está baixo como no jejum (ou outras situações de emergência que requer energia), o glicogênio é degradado e moléculas de glicose são disponibilizadas para pronto uso pelos tecidos. Se o jejum ou um exercício físico se prolongar, o tecido gorduroso será mobilizado para disponibilizar fontes alternativas de energia para as células (exceto para o tecido nervoso) e o fígado converterá os aminoácidos (elementos constituintes das proteínas) em glicose.

II. Controle por retroalimentação positiva (*Feedback* positivo)

O mecanismo de *feedback* positivo é menos comum nos sistemas biológicos, porque amplifica a resposta e poderá tornar a situação incontrolável. Estes geram ritmos (para hormônios endócrinos) ou deflagram eventos específicos (potências de ação, parto) por um período de tempo, ou seja, o estímulo inicial produz mais do mesmo estímulo (positivo), gerando ciclos viciosos que podem levar à morte. Entretanto, dependendo da situação, este tipo de processo também pode ser útil.

- **Perda de Sangue (danoso):** A quantidade de sangue restante no corpo de um indivíduo que perde subitamente muito sangue fica reduzida a nível tão baixo que é insuficiente para manter o bombeamento eficaz pelo coração. Como resultado, a pressão arterial cai e o fluxo de sangue para o músculo cardíaco pelos vasos coronários diminui. A consequência disto é um enfraquecimento cardíaco, bombeamento mais reduzido, redução adicional do fluxo sanguíneo coronário e maior enfraquecimento cardíaco.
- **Coagulação do Sangue (benéfica e/ou danosa):** Quando um vaso sanguíneo é rompido e começa a se formar um coágulo, diversas enzimas, chamadas de fatores de coagulação, são ativadas no interior do próprio coágulo. Algumas dessas enzimas atuam sobre outras, ainda não ativadas, encontradas no sangue imediatamente adjacente, ativando-as e produzindo o crescimento do coágulo. Esse processo continua até que a ruptura vascular fique ocluída, quando o sangramento é cessado.

Obs.: Algumas vezes esse mecanismo pode escapar de seus controles, e podem ocorrer ataques cardíacos agudos causados por coágulos que se formam em placas ateroscleróticas das artérias coronárias.

- **Trabalho de Parto (benéfico):** Quando as contrações uterinas se tornam suficientemente intensas para que a cabeça do feto comece a forçar sua passagem pela cérvix uterina, o estiramento dessa estrutura produz contrações mais potentes. Quando há tal estiramento no útero, ocorre o estímulo para a secreção da ocitocina, um hormônio hipotalâmico. Este hormônio é importante para estimular a contração através do aumento da pressão intra-uterina, levando a um ciclo vicioso até a expulsão do bebê. A expulsão do feto ocorre quando esse processo se torna suficientemente intenso. Quando essas contrações não são suficientemente fortes, elas cessam e, depois de alguns dias, reaparecem.
- **Geração de Sinais Neurais (benéfico):** Quando a membrana de fibra nervosa é estimulada, ocorre vazamento moderado de íons sódio, pelos canais de sódio, na membrana da fibra nervosa, para o interior dessa fibra. Os íons sódio, que entram na fibra, causam alteração do potencial de membrana, levando à abertura de mais canais de sódio e, conseqüentemente, maior alteração do potencial de membrana. Desse modo, a partir de um vazamento discreto de sódio, ocorre um vazamento explosivo do mesmo, e esse fator é o responsável pela geração do potencial de ação. Por sua vez, esse potencial de ação estimula a fibra nervosa à sua frente; o processo continua até que o sinal neural curse por toda a extensão da fibra nervosa.

Órgãos Efetadores e seus Controladores

Os sistemas nervoso e endócrino atuam de forma conjunta para que a homeostase seja mantida. Quando ocorre um estímulo, rapidamente o sistema nervoso é mobilizado, levando a uma ação rápida e localizada sobre o ponto em que houve o tal estímulo; o sistema endócrino, por sua vez, tem ação mais demorada, levando a efeitos importantes apenas a médio e longo prazo, porém com ação mais duradoura e amplamente distribuída no organismo. A integração entre estes sistemas, portanto, é imprescindível para que seja garantida a homeostase do organismo, garantindo uma boa resposta às mudanças do meio externo. As vias de retroalimentação anteriormente pontuadas são utilizadas por estes sistemas para que sua função seja efetivada.

Estes mecanismos de regulação exigem, pelo menos, três componentes:

- a) **Órgãos sensoriais:** São substancialmente sensíveis para a identificação de alterações específicas dos meios interno e/ou externo.
- b) **Órgãos associados ao processamento e integração:** São responsáveis pelo recebimento e manejo da informação; relacionados à análise e elaboração de comandos para efetuar uma ação.

- c) **Órgãos Efetadores:** São os sistemas de órgãos que realizam as tarefas importantes para que o controle seja recuperado.

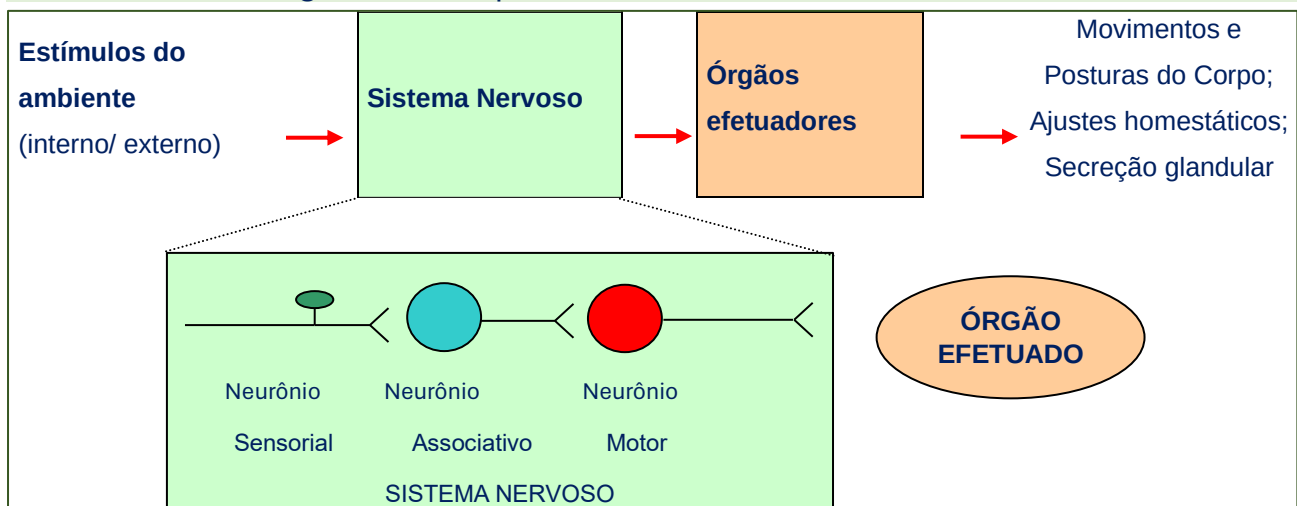
Pode-se inferir, então, que os órgãos efetadores orgânicos são estruturas que executam tarefas relacionadas a um comando superior. Acerca desses órgãos, podemos reconhecê-los com base em sistemas. A saber:

- 1) **Sistema músculo esquelético:** Tem a função de executar os movimentos e manter as posturas do corpo humano, assim como promover o relacionamento do organismo com o exterior.
- 2) **Sistema cardiocirculatório:** Este sistema ajusta as fases circulatórias desde o coração, como o bombeamento sanguíneo, a pressão exercida nos vasos e o fluxo nos tecidos.
- 3) **Sistema digestório:** Este, por sua vez, executa as etapas de digestão e absorção dos nutrientes alimentares.
- 4) **Sistema respiratório:** A captação de Oxigênio (O₂) e a eliminação de Gás carbônico (CO₂) são suas principais funções, importante para o funcionamento celular.
- 5) **Sistema renal:** Efetua diversas funções, mas a que se destaca é a regulação do equilíbrio hidroeletrolítico dos fluidos orgânicos.

Todos esses sistemas de órgãos efetadores estão sob o controle daqueles sistemas (Nervoso e Endócrino). Ao versarmos sobre estes sistemas, inicialmente acerca do sistema nervoso, tem-se que os elementos mais associados às suas funções são os neurônios, células muito especializadas. Elas podem ser classificadas funcionalmente como:

- **Neurônios sensoriais:** Associados ao monitoramento e detecção de variações ambientais (externas e internas).
- **Neurônios associativos:** Analisam as informações e executam comandos mais adequados
- **Neurônios motores:** Captam estes comandos adequados e os enviam para os órgãos relacionados à execução (órgãos efetores).

Figura 11 – Esquema de controle do sistema nervoso



Fonte: Adaptado de Bear, 2017 e Silverthorn, 2017.

Para que o meio interno seja corretamente equilibrado, deve-se ter uma comunicação constante entre as células que constituem o organismo. Tal comunicação exige, nesse sentido, “portas” para que saiam e entrem substâncias, íons e afins. As “portas” são, principalmente, proteínas que estão presentes nas membranas plasmáticas celulares.

TRANSPORTE ATRAVÉS DA MEMBRANA

CONCEITO

É a passagem de substâncias que entram e saem da célula através da membrana. Este processo pode acontecer por vários meios, que, basicamente, podemos dividir em 2 grupos: processos físicos e biológicos.

- **Processos Físicos:** Difusão e Osmose.
- **Processos Biológicos:** Transporte Ativo, Fagocitose e Pinocitose.

TIPOS DE TRANSPORTES

Passivo

É todo transporte que ocorre sem que haja gasto de energia pela célula.

➤ **Características:**

- Ocorre a favor do gradiente de concentração.
- Visa o equilíbrio osmótico
- Ocorre passivamente, ou seja, sem gasto de energia.

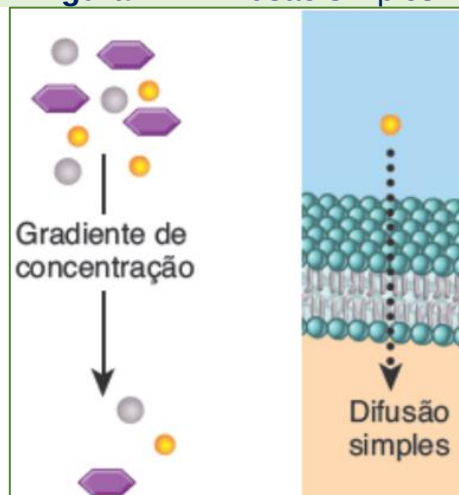
a) Difusão Simples: É o transporte de íons, moléculas e átomos de soluto e de solvente de um meio mais concentrado para o meio menos concentrado.

A difusão é o movimento, ao acaso, das moléculas de um líquido ou de um gás. Esse movimento tende a ser mais intenso a partir da região onde há maior concentração de moléculas, em direção aquela onde a concentração é menor. Isso ocorre até o momento em que as moléculas ficam espalhadas uniformemente, ou seja, com a mesma concentração em todos os pontos do espaço. A partir daí, a intensidade do fluxo de moléculas é a mesma em todas as direções.

Quando se analisa a célula, o fluxo de substâncias por difusão é extremamente importante, tanto devido à entrada quanto pela saída. Um dos principais exemplos é a concentração de oxigênio no interior das células, a qual é sempre inferior à do meio externo, pois este gás é continuamente utilizado no processo de respiração celular e outras etapas metabólicas. De forma semelhante, há a produção de gás carbônico por essas vias (respiração e/ou metabolismo), acumulando-o no interior da célula e, assim, adquirindo maior concentração em relação ao exterior. Torna-se simples concluir que, por difusão, o oxigênio está sempre indo do meio externo à célula para o interno, enquanto o gás carbônico faz o processo inverso.

Muitas outras substâncias, através da difusão, passam pela membrana plasmática para o interior da célula. De maneira geral, quanto maior a solubilidade em lipídios maior a velocidade de difusão das partículas através da membrana. Certas substâncias, como o oxigênio, gás carbônico e álcool, são tão solúveis em água como em lipídios. Assim, ao entrarem em contato com membrana, difundem-se pela matriz lipídica e penetram no interior da célula.

Figura 12 – Difusão simples.

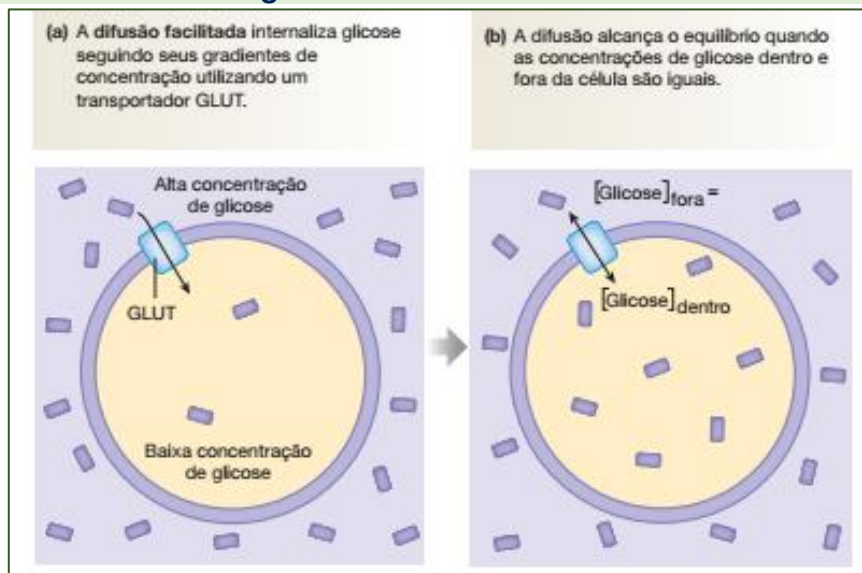


Fonte: Princípios de anatomia e fisiologia - Tortora & Derrickson, 2016.

b) Difusão facilitada: É um processo passivo de transporte através da membrana, de um meio mais concentrado para um meio menos concentrado, de moléculas como aminoácidos, vitaminas, nucleotídeos, íons e principalmente a glicose, que se unem às proteínas carreadoras e à proteínas canal formando um composto solúvel nos lipídios, difundindo-se através da membrana plasmática.

- A proteína carreadora, ou permease, funciona de modo semelhante a uma enzima, ligando-se à molécula de um lado da membrana e soltando-a do outro lado (ocorre com a glicose, aminoácidos, nucleotídeos etc.).
- A proteína canal, por sua vez, cria uma passagem semelhante a um portão, permitindo a entrada e saída de íons.

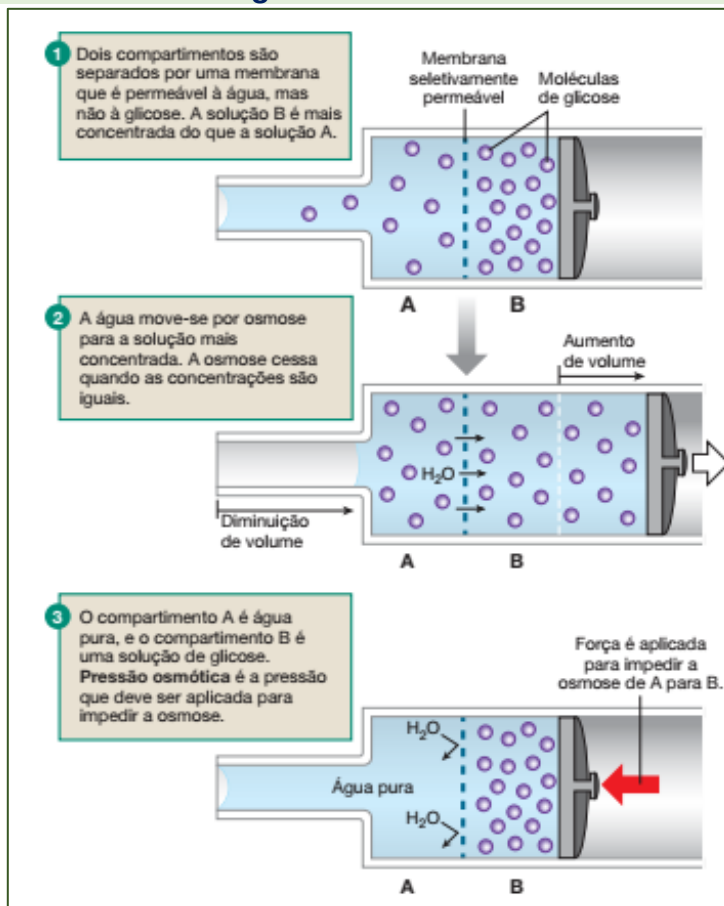
Figura 13 – Difusão facilitada



Fonte: Fisiologia Humana: Uma abordagem integrada- Silverthorn 7º edição

- c) **Osmose:** É a passagem de moléculas de solvente (água) através da membrana semipermeável, de um meio menos concentrado (hipotônico) para o meio mais concentrado (hipertônico).

Figura 14 – Osmose



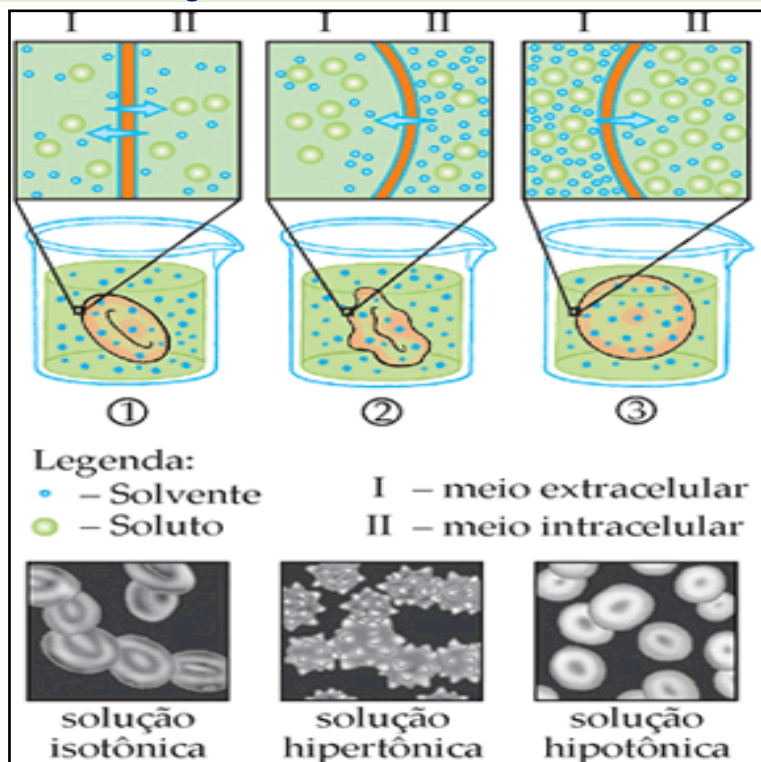
Fonte: Fisiologia Humana: Uma abordagem integrada- Silverthorn 7ª edição

- **Fenômenos Osmóticos:**

Células animais e vegetais apresentam comportamentos diferentes, quando colocadas em meios menos concentrados (hipotônico) e meios mais concentrados (hipertônico).

- a. **Meio hipotônico:** as células animais absorvem água e estouram no fenômeno chamado plasmoptise. Ao rompimento das hemácias (células sanguíneas) por excesso de água denominamos hemólise.
- b. **Meio hipertônico:** as células animais perdem água no fenômeno chamado de murchamento ou crenação.

Figura 15 – Processos osmóticos.



Fonte: Só biologia, 2018.

ATIVO

O transporte ativo é aquele em que há o gasto de energia, onde o movimento de substâncias ocorre contra um gradiente de concentração. É mediado por proteínas especiais que, com grande consumo de energia, combinam-se com a substância de um lado da membrana, soltando-a do outro lado. A proteína sofre uma mudança de forma, abrindo-se e deixando a substância entrar. Em seguida, a proteína se abre na face oposta e solta a substância do outro lado da membrana.

As células, no geral, possuem íons dissolvidos em solução, o que confere a elas cargas elétricas. Os principais grupos portadores de carga elétrica no ambiente celular são os íons Na^+ (sódio); K^+ (potássio); Cl^- (cloreto); e A^- (ânions orgânicos carregados, como as proteínas e os aminoácidos). A concentração desses íons muda quando se observa os ambientes intra e extracelulares. Nessa perspectiva, o interior da célula, inicialmente, possui concentração mais elevada de K^+ e A^- , o que atribui uma carga elétrica líquida resultante negativa. O exterior, por outro lado, tem concentração mais elevada de íons Na^+ e Cl^- , adquirindo uma carga elétrica resultante positiva.

Dada a diferença de concentração dos íons pontuados entre os meios intra e extracelular, surge a chamada “força motriz”, a qual faz com que esses íons atravessem a

membrana celular para equilibrar o gradiente de concentração. Entende-se que, para o potássio, o fluxo de íons deriva majoritariamente do interior para o exterior celular. Porém, à medida que esses íons deixam o interior da célula, a carga elétrica resultante torna-se progressivamente negativa. Portanto, os íons potássio tendem a ser carregados novamente para o interior da célula pelas outras forças de natureza elétrica (negativo – faz atração do positivo +). Esse fluxo de íons potássio permanece até o momento no qual as forças de natureza elétrica são devidamente balanceadas pela força gerada devido ao gradiente de concentração.

Quando se analisa o sódio, por sua vez, o fluxo de íons devido ao gradiente de concentração (potencial químico) segue do exterior para o interior celular. Além disso, com base na informação anteriormente pontuada, o meio interno da célula é tipicamente negativo, sendo responsável pela criação de uma força elétrica (potencial elétrico) capaz de carregar os íons sódio para o interior da célula. Assim, compreende-se que o trânsito de íons sódio para o interior da célula é controlado pelos potenciais químicos e elétricos e nenhum mecanismo passivo leva os íons para o meio exterior às células.

Para os ânions orgânicos, a transferência transmembrana é dificultada devido aos grandes tamanhos moleculares que estes apresentam. Os íons cloreto, caracteristicamente, contribuem com uma discreta difusão em relação aos outros grupos já mencionados.

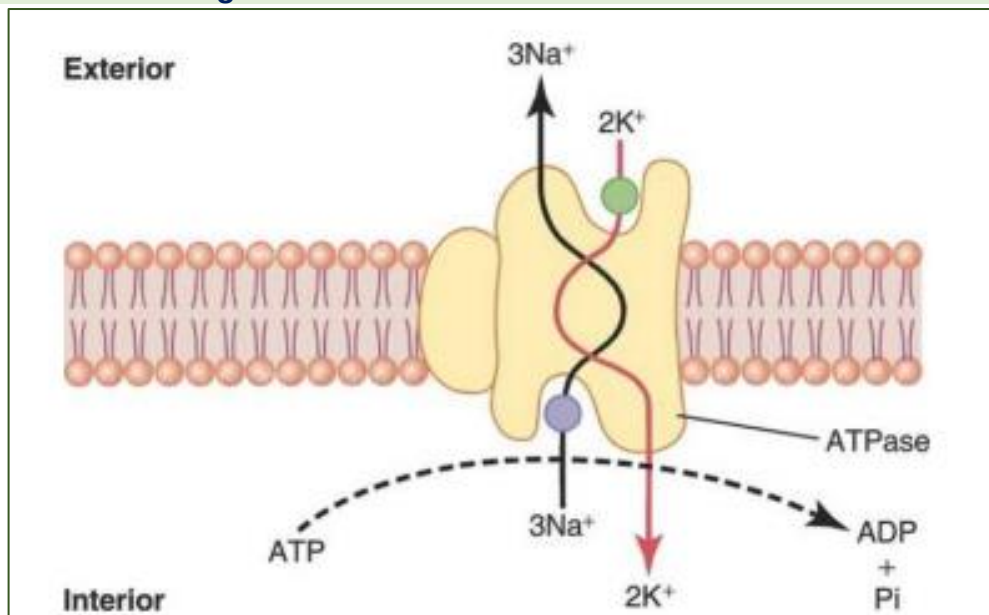
a) Transporte ativo Primário:

- **Bomba de Sódio e Potássio (Na^+ e K^+):** Este tipo de transporte dos íons potássio e sódio se faz contra os seus gradientes de concentração, de modo a levar a célula a manter sua polaridade e, conseqüentemente, potencial constante. Nas células nervosas durante a propagação dos impulsos nervosos, no meio extracelular existe uma grande concentração de íons sódio (Na^+), enquanto no meio intracelular, temos grande concentração de íons potássio (K^+). Assim, existe uma forte tendência de penetração de sódio na célula, e saída de potássio. Após a passagem dos impulsos nervosos, os íons sódio que penetraram na célula, são bombeados para fora onde se encontram em grande concentração e, os íons potássio que saíram da célula, são bombeados para o meio intracelular, onde se encontram em grande concentração. Quando o sódio é bombeado para fora, e o potássio para dentro da célula, ambos vão contra o gradiente de concentração, havendo consumo de energia.
- **Funções da Bomba:**
 1. Produzir uma diferença de cargas elétricas entre ambos os lados da membrana plasmática, que, então, torna-se positiva na parte externa e negativa na parte interna.

Essa diferença entre as cargas nas partes da membrana é importante para os fenômenos elétricos que ocorrem, sobretudo, em células nervosas e musculares;

2. Balancear um acúmulo de solutos no citoplasma celular, o que poderia levar a uma entrada drástica de água por osmose e, então, a uma ruptura da célula.
3. Auxiliar de forma indireta a entrada de glicose e outros, como aminoácidos, na célula: quando o sódio penetra por difusão através da membrana, ele arrasta essas moléculas consigo para o interior.

Figura 16 – Bomba de Sódio-Potássio.



Fonte: Tratado da Fisiologia - Guyton & Hall ,12º edição.

b) Transporte ativo do tipo Secundário:

- **Co-transporte:** a substância puxa outra enquanto é transportada. A proteína carreadora possui dois sítios de ligação. Ex: sódio – glicose
- **Contratransporte:** enquanto uma substância entra, outra sai utilizando-se da energia da primeira ou vice-versa. Ex: sódio – cálcio / sódio-hidrogênio.

ENDOCIToses

Passagem de substâncias grandes (com gasto de energia), que normalmente não seriam absorvidas pela membrana plasmática, através dos mecanismos já estudados. Temos a fagocitose e a pinocitose. Em alguns protozoários, a endocitose serve como mecanismo de captura de alimento. Nos vertebrados, o processo é utilizado por células de defesa e para destruição de células velhas do corpo.

a) Fagocitose:

Podemos descrever, como o englobamento de partículas sólidas pela célula. A célula emite prolongamentos citoplasmáticos, denominados de pseudópodes, que gradativamente englobam o material do meio externo. Assim, a partícula é envolvida, e passa para o meio intracelular, onde fica retida dentro de uma pequena vesícula denominada de fagossomo, que recebe enzimas digestivas liberadas pelos lisossomos passando a ser chamada de vacúolo digestivo, onde ocorre a digestão e a distribuição das substâncias úteis, em relação as inúteis que a partir do corpo residual, são lançadas (resíduos ou dejetos) para fora do citoplasma no processo denominado de clasmocitose ou clasmatose ou defecação celular.

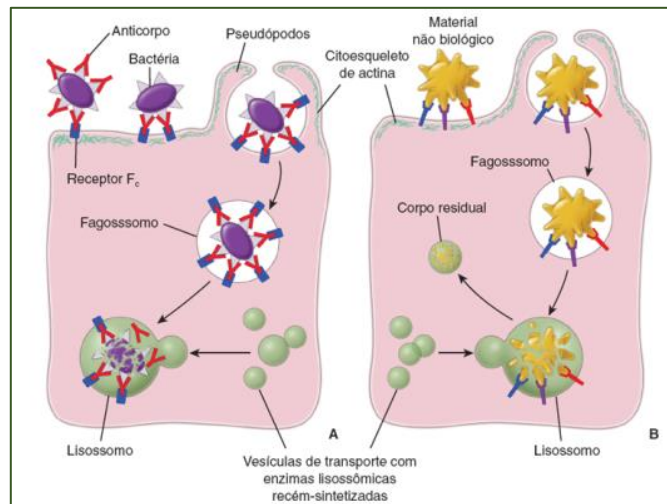
- **Funções da Fagocitose:**

A fagocitose nos protozoários tem a finalidade de alimentação e nos metazoários tem a finalidade de defesa, que é realizada pelos leucócitos. Quando o organismo é atacado por um agente estranho (bactérias, por exemplo), as células onde se inicia a lesão, liberam uma substância chamada histamina. Esta substância estimula a saída dos leucócitos dos vasos sanguíneos. A passagem dos leucócitos pela parede dos vasos é denominada diapedese. Os leucócitos que representam a primeira barreira de defesa do organismo são os neutrófilos. Neste caso, os neutrófilos realizam a diapedese, e através de movimentos ameboides migram em direção a partícula invasora realizando a fagocitose. A ingestão de bactérias e de suas toxinas acaba por matar os glóbulos brancos (piócitos), que se acumulam aos milhões no local, formando o pus dos ferimentos infeccionados. A resistência do agente invasor provoca a morte dessas células, e para compensar o organismo produz maior quantidade de leucócitos, o que caracteriza o processo da infecção que geralmente vem acompanhado com o aumento da temperatura corpórea (febre).

Obs.: Chamamos de bacteremia, quando bactérias patogênicas se reproduzem nos tecidos, e de septicemia quando se reproduzem na corrente sanguínea.

É também por meio da fagocitose que certos tipos de células, os macrófagos, realizam a limpeza do nosso corpo e reconhecem eventuais invasores. Os macrófagos circulam por todo o corpo, fagocitando restos de células mortas, partículas e materiais inúteis.

Figura 17 – Fagocitose.



Fonte: Histologia: Texto e Atlas- Ross 7º edição.

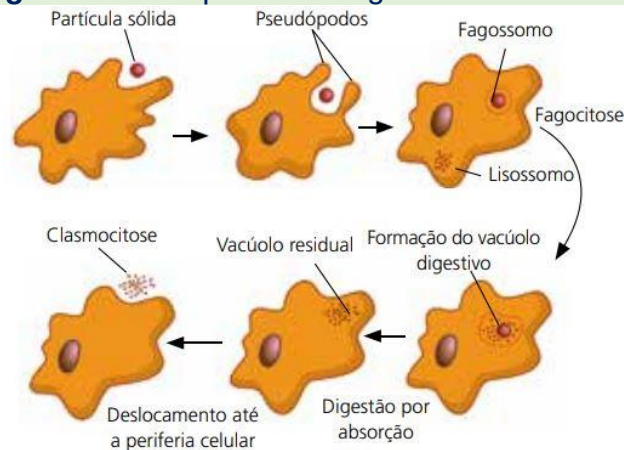
b) Pinocitose:

Trata-se do englobamento de materiais líquidos pela célula, que ocorre através de invaginações da membrana plasmática, formando um canal por onde a partícula líquida penetra. Em seguida, a partícula líquida envolvida destaca-se do canal, determinado a formação de uma pequena vesícula denominada pinossomo.

Tanto na fagocitose, quanto na pinocitose, as vesículas formadas (fagossomo e pinossomo) unem-se à pequenas bolsas citoplasmáticas portadoras de enzimas digestivas, denominadas de lisossomos. A partícula englobada é então digerida pela célula, com conseqüente aproveitamento das substâncias vitais.

Acompanhe o esquema abaixo:

Figura 18 – Esquema de digestão celular.



Fonte: Coladaweb, 2019.

POTENCIAL DE MEMBRANA

Basicamente, corresponde ao potencial eletronegativo criado no interior da célula devido à atuação da bomba de sódio e potássio. Tal potencial é causado por modificações nas concentrações de íons dos meios intra e extracelulares, assim como pela permeabilidade da membrana plasmática, que é diferente a depender do íon em questão. De notável importância, há o fato de que o líquido intracelular possui concentração substancialmente elevada de íons potássio (K^+), enquanto que, ao se analisar o extracelular, a concentração desse íon tende a ser muito menor; de modo contrário, o íon sódio (Na^+) tem grande concentração no meio extracelular e uma menor concentração no intracelular.

- **Como ocorre a diferença de concentração?**

O mecanismo operacional da bomba de sódio e potássio possibilita o estabelecimento do potencial de repouso. Seu funcionamento faz com que, para cada três íons sódio mobilizados para o exterior, dois íons potássio são transportados para o interior (três íons sódio saem, enquanto dois íons potássio entram). Isso estabelece uma diferença de potencial que é almejada pela membrana, sendo mais negativo na parte intracelular e mais positivo na extracelular. Como a saída de sódio não é seguida pela entrada de potássio em uma mesma proporção, estabelece-se uma diferença de cargas elétricas entre os dois meios: há uma falta de cargas positivas no interior da célula e as partes da membrana continuam carregadas eletricamente.

- **Criação do Potencial de Membrana**

Como pressupostos básicos para a compreensão do potencial de membrana, é importante que se compreenda que a membrana axonal em repouso é praticamente impermeável aos íons sódio, mas extremamente permeável aos íons potássio. Esse fato deriva dos canais de vazamento de sódio e potássio, os quais são encontrados em todas as células e funcionam mesmo na ausência de ATP, pois transportam os íons a favor do gradiente de concentração. Deve-se destacar, ainda, que este canal não se fecha, sendo, em média, 100x mais permeável ao íon potássio em relação ao sódio. Consequentemente,

o íon potássio (K⁺), mais concentrado na porção interior da membrana plasmática, tende a passar para fora do axônio do neurônio.

Como os íons potássio apresentam carga positiva, quando passam para o exterior, levam para este meio eletricidade do tipo positiva. Por outro lado, no meio interior, existem muitas moléculas de proteínas, que apresentam cargas tipicamente negativas e não saem da fibra. O interior da fibra neuronal, como consequência, apresentará carga negativa, devido à ausência de íons positivos e a grande quantidade de proteínas com cargas negativas. Estabelece-se que o potencial de membrana encontrado em uma fibra nervosa típica, de diâmetro grande, em repouso, é de aproximadamente -90 mV (milivolts), com seu interior negativo.

- **LEI DE NERST e GOLDMAN**

O potencial de equilíbrio é definido devido à igualdade de forças químicas e elétricas, o que traz à tona um equilíbrio dinâmico. Tal potencial é mensurado pela Equação de Nernst. Walther Nernst, um cientista de nacionalidade alemã, percorreu sobre esse fenômeno e idealizou que a membrana celular tende a apresentar permeabilidade a um tipo de íon.

- **Conceito** = A Equação de Nernst é utilizada para identificar a diferença de potencial elétrico que é necessária para que seja produzida uma força elétrica, que é igual em número, mas oposta à direção da força de concentração (potencial de equilíbrio de cada íon).

$$\text{FEM (milivolts - mV)} = \pm 61 \log \frac{\text{Concentração Interna}}{\text{Concentração Externa}}$$

O raciocínio da Lei proposta por Nernst seria que a constante passagem de íons de um lado para outro da membrana levaria a um equilíbrio dinâmico, onde teríamos as suas concentrações nos dois lados iguais, assim como seus potenciais, o que levaria à um equilíbrio eletroquímico. Todavia, como há a presença de mais de um íon e Nernst apenas trabalhava com um por vez, utilizou-se a equação de Goldman, a qual possibilita o cálculo do potencial de membrana no interior da mesma, quando se envolve dois íons de carga única - dois íons positivos (Na⁺, K⁺) e um de carga negativa (Cl⁻). A saber:

$$\text{FEM (milivolts - mV)} = - 61 \cdot \log. \frac{\text{CNa}_i \cdot \text{PNa} + \text{CK}_i \cdot \text{Pk} + \text{CCl}_o \cdot \text{PCI}}{\text{CNa}_o \cdot \text{PNa} + \text{CK}_o \cdot \text{Pk} + \text{CCl}_i \cdot \text{PCI}}$$

C_i: concentração interna do íon
C_o: concentração externa do íon
P: permeabilidade do íon
FEM: força eletromotriz

É importante ressaltar que, para o cálculo do potencial de repouso, levou-se em consideração os potenciais de difusão tanto do sódio quanto do potássio e da bomba de sódio e potássio, onde esquematicamente temos:

1. **Contribuição do Potencial de Difusão do Potássio** através da membrana neural (K⁺ apresenta mais permeabilidade = maior contribuição com o potencial de membrana)

Equação de Nernst = -94 mV.

2. **Contribuição da Difusão de Sódio** através da membrana neural (canais de vazamento íons Na⁺ e K⁺)

Equação de Nernst = +61 mV.

Equação de Goldman = potencial interno da membrana de -86 mV.

3. **Contribuição da Bomba de Na⁺ e K⁺**

- **Na⁺** = leva a uma perda constante de cargas positivas a partir do meio interno à membrana, criando um adicional de negatividade (aproximadamente de – 4 mV) neste meio.

Diante do exposto, resumidamente temos que:

- O potencial de membrana vem antes da excitação da célula nervosa e corresponde à base de todos os fenômenos da associados à bioeletricidade.
- O correto potencial de membrana, a partir do qual esses fatores atuam ao mesmo tempo, é aproximadamente – 90 mV.
- **Células Excitáveis:** Estas células são responsáveis pela produção de impulsos eletroquímicos em suas próprias membranas, como as musculares e nervosas.
- **Células Não excitáveis:** Estas, por sua vez, têm um potencial de membrana que não se altera, como as epiteliais e do tecido conjuntivo.

- Todas as células do organismo têm a capacidade de manter o potencial de membrana, mas a geração de potenciais de ação ocorre, apenas, em células musculares e nervosas.
- Quando há modificações temporárias na permeabilidade iônica, ocorrem variações do potencial de membrana. Porém, conforme informações anteriores, nas células excitáveis.

POTENCIAL DE AÇÃO

De forma sintetizada, este corresponde a uma abrupta variação no potencial de membrana, sendo seguida pelo retorno ao potencial de repouso dela.

- **CARACTERÍSTICAS:**

- i. É conduzido ao longo dos axônios de um neurônio para outro;
- ii. Depende das aberturas e fechamentos dos canais iônicos.
- iii. As proteínas dependentes de voltagem que compõem os canais são responsáveis pela produção do potencial de ação na membrana plasmática das células neuronais.
- iv. Nas células nervosas, os potenciais de ação duram cerca de 1 ms (milissegundo).
- v. Atuam de acordo com a lei “tudo-ou-nada”;

Em fibras nervosas, pode-se gerar potenciais de ação com fatores que aumentem rapidamente/significativamente a permeabilidade à membrana, especificamente aos íons sódio, visto que ela é praticamente impermeável a esse íon quando está em repouso. Esse processo de alteração da permeabilidade ao íon sódio e a sua entrada é denominado “despolarização”. Quando o potencial retorna ao seu valor tipicamente negativo, denominamos o processo como “repolarização”, que tem grande relação com o íon potássio.

O potencial de ação é uma alteração do potencial de repouso da membrana de células excitáveis, provocado por um estímulo eficaz que, numa primeira fase, abre de canais de sódio que permitem a entrada deste íon para o interior celular, ocorrendo a despolarização, e que, numa segunda fase, abre canais de potássio que permitem a saída de potássio para o exterior celular, ocorrendo a repolarização. Durante o processo, as concentrações de sódio e potássio são alteradas, provocando a ativação da bomba de

sódio-potássio que repõe as condições iônicas iniciais ao deixar o sódio em excesso sair da célula e o potássio entrar nesta.

Este processo ocorre segundo este padrão e é a base de todas as células (quer seja na fibra nervosa, na fibra muscular esquelética, na fibra contrátil, na fibra cardíaca ou na fibra muscular lisa), mas a relação que existe entre o número de canais de sódio, potássio e, em alguns casos, de cálcio faz com que o estímulo atinja valores mais ou menos elevados e que a membrana demore mais ou menos tempo a repolarizar em cada caso.

- **ETAPAS DO POTENCIAL DE AÇÃO**

- 1º. REPOUSO**

O repouso corresponde ao potencial antes que inicie o potencial de ação. Neste caso, a membrana se encontra polarizada.

Obs.: para que seja iniciado o potencial de ação é necessário que se atinja um potencial mínimo, chamado de potencial limiar, aonde a variação vai de 15 a 30 mV (aproximadamente -65mV).

- 2º. DESPOLARIZAÇÃO**

A despolarização é um processo que ocorre quando uma área central/importante da fibra nervosa se torna permeável ao sódio, ampliando-se para áreas adjacentes à medida que há despolarização de uma área. A causa dessa ampliação é o fluxo de corrente elétrica de uma área antes despolarizada para outras, e essa corrente, ainda não bem explicada cientificamente, faz com que essas regiões próximas também se tornem permeáveis ao sódio. Como resultado, estes íons começam, agora, a seguir para o meio interno da fibra, através de áreas da membrana, levando à despolarização das mesmas e o fluxo adicional de corrente ao longo de toda a fibra. Dessa forma, torna-se facilmente notável que há um grande aumento da permeabilidade aos íons sódio à medida que o íon penetra em ambas as direções, a partir do local de despolarização inicial, o que se repete inúmeras vezes. Este fenômeno é denominado como onda de despolarização ou impulso nervoso.

A partir dessa discussão, torna-se fácil identificar que, uma vez que tenha acontecido a despolarização de uma única parte de toda a extensão da fibra nervosa, um impulso nervoso é direcionado a ambas as direções a partir desse único ponto até o

encontro das extremidades dessa fibra, ou seja, a fibra conduz o impulso em direção ao corpo celular e ao terminal axônico.

3º. DESPOLARIZAÇÃO

Logo após a onda associada à despolarização ter percorrido a fibra nervosa, o seu interior fibra adquire carga positiva, visto que um número muito grande de íons sódio entrou por difusão para o seu interior. Essa positividade do meio interno impede a que o fluxo de sódio para este meio continue, freando-o, além de fazer com que a membrana adquira, novamente, impermeabilidade a esse íon. Entretanto, a membrana continua com elevada permeabilidade aos íons de potássio. Somado a isso, devido à elevada concentração deste íon no interior da fibra, seguindo o seu gradiente, o potássio passa a se difundir para o exterior da membrana, levando, também, outras cargas positivas. Esse processo, novamente, leva a uma eletronegatividade no interior e à positividade no exterior da fibra nervosa, processo este que se denomina repolarização, responsável pelo estabelecimento da polaridade normal de membrana.

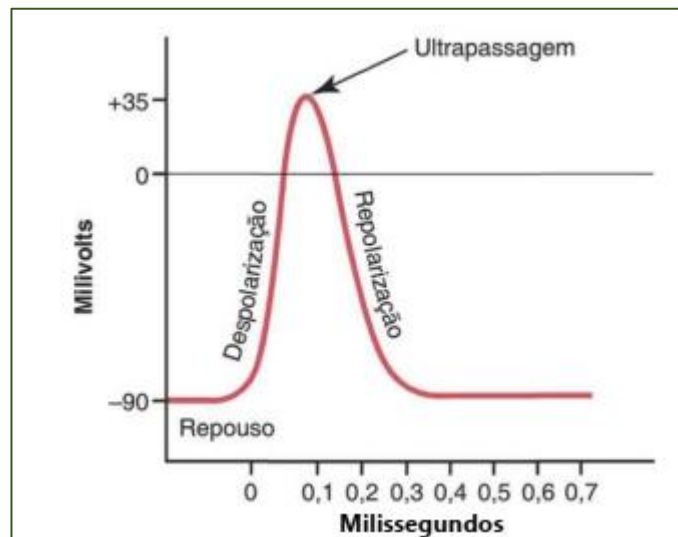
Basicamente, o local de início do processo de repolarização tende a ser o mesmo no qual se iniciou a despolarização, propagando-se de forma semelhante para ambas as direções da fibra. A repolarização, tende a ocorrer logo após alguns décimos-milionésimos de segundo do surgimento da despolarização. Compreende-se, então, que fica completa rapidamente, sobretudo em fibras de grande calibre, o que facilita uma nova despolarização posterior.

- **Período Refratário:** Corresponde ao momento no qual enquanto ocorre um impulso nervoso ao longo da fibra nervosa, esta fibra fica impossibilitada de conduzir um segundo impulso até a repolarização de sua membrana plasmática. Isso corresponde ao “estado refratário” de uma fibra nervosa; e o intervalo de tempo no qual ela permanece nessa configuração é denominado de período refratário. Estima-se que tal período dure cerca de 1/2.500 segundos para as fibras de grande calibre, assim como cerca de 1/250 segundos para as de menor calibre.
- **Restabelecimento das Diferenças das Concentrações Iônicas após a Condução de Impulsos Nervosos:** Após a repolarização, deve-se restabelecer os locais adequados dos dois íons mobilizados através da membrana plasmática: Sódio (Na⁺) e Potássio (K⁺). Nesse sentido, novamente, destaca-se a grande importância da bomba de sódio-potássio, principal responsável pelo transporte de Sódio (Na⁺) em excesso para o exterior e aumento da concentração, no interior, do íon Potássio (K⁺). Assim, a atuação dessa bomba restabelece as diferenças de concentração entre os íons, corrigindo as concentrações para seus valores iniciais.

- **LEI DO TUDO OU NADA**

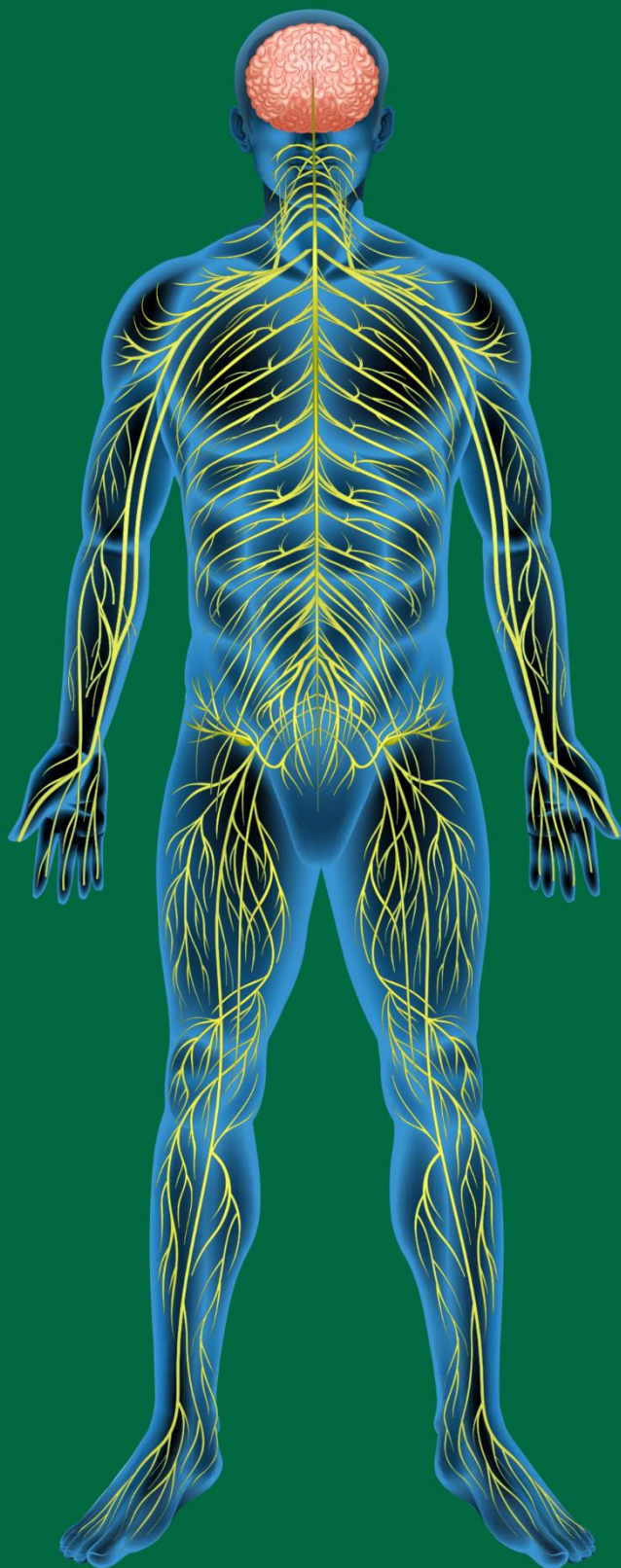
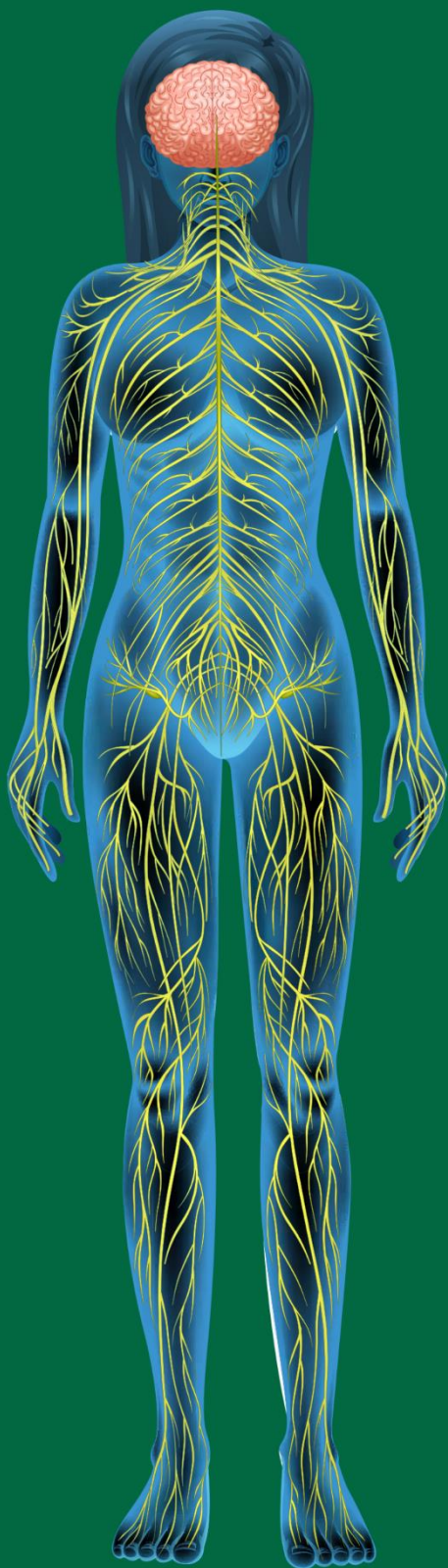
Um estímulo, a partir do momento em que alcança o limiar, em nada modifica o tamanho e a forma do potencial de ação, mesmo se esse estímulo for muito superior a esse limiar. Entende-se, portanto, que um estímulo pode atuar de 2 maneiras, apenas: 1-Deflagra o potencial de ação ao alcançar o limiar; 2-Não deflagra o potencial, visto que não alcançou o limiar. Esses dois fatores pontuados anteriormente denotam a característica “Tudo ou Nada” de um potencial de ação. Entretanto, quanto maior for o estímulo, maior será a frequência dos Potenciais de ação.

Figura 19 – Potencial de ação.



Fonte: Tratado da Fisiologia - Guyton & Hall 12 ° edição.

Obs.: Nunca deixe de consultar a literatura indicada pelo professor. Este é apenas um resumo dos pontos mais relevantes referente ao estudo da Fisiologia Celular.



CAPÍTULO II

NEUROFISIOLOGIA

PRINCÍPIOS DA NEUROFISIOLOGIA

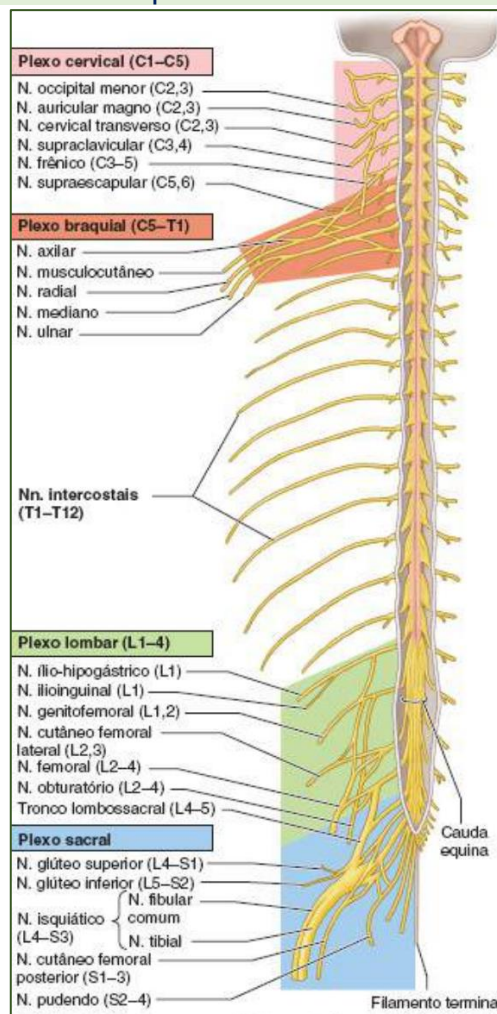
O sistema nervoso tem a grande função de realizar ajustes para que o organismo se adapte ao ambiente. Este sistema desempenha quando nota e identifica os fatores ambientais externos, assim como os predominantes no interior organismo, e produz respostas que levem à adaptação. É responsável por toda a nossa sensibilidade e motricidade. Sua formação está associada à presença de células nervosas que, de modo preciso, se interconectam, levando à formação de redes denominadas “circuitos neurais”. Por intermédio desses circuitos, nosso corpo, por exemplo, pode gerar respostas estereotipadas fixas e invariantes, como os reflexos, ou à geração de comportamentos que variam em diversos graus.

Com base nesse pressuposto, podemos afirmar que há a divisão funcional do sistema nervoso em 3 grandes eixos:

- **Função Sensorial:** recebe milhares de informações vindas de receptores espalhados por nosso corpo, dos mais variados tipos e adaptados a excitarem-se aos estímulos.
- **Função integrativa:** permite-nos processar as informações recebidas, armazená-las em bancos de memórias ou mesmo utilizá-las associando-as às novas sensações.
- **Função motora:** controla nosso corpo (as secreções, tônus vasomotor, o ritmo respiratório etc.), comanda as contrações dos músculos.

Quanto à organização, o Sistema Nervoso (SN) tem 2 grandes divisões: Sistema nervoso central (SNC) e Sistema nervoso periférico (SNP). Do ponto de vista funcional, por sua vez, pode ser fragmentado em Somático e Visceral, os quais têm estruturas do SNC e SNP como componentes fundamentais). A porção funcional somática tem como função a interação do organismo com o meio externo (cuida das atividades voluntárias), enquanto a visceral, o controle do meio interno (cuida das atividades involuntárias).

Figura 1 – Principais nervos do sistema nervoso.



Fonte: Moore, 2014

TECIDO NERVOSO

As células componentes do tecido nervoso são de dois tipos básicos: os neurônios e as células gliais (da glia ou gliócitos).

Neurônios

São células definidas como a “unidade básica” do sistema nervoso, extremamente estimuláveis e dotadas de capacidade para a percepção de variações mínimas que ocorrem próximas a elas. Suas respostas envolvem a modificação elétrica anteriormente discutida: impulsos nervosos.

A relação com outras células semelhantes é extrema, de modo a haver transmissão de diversos estímulos ambientais para neurônios próximos, gerando uma resposta que aumenta com o passar do tempo. Assim, depreende-se que o trabalho

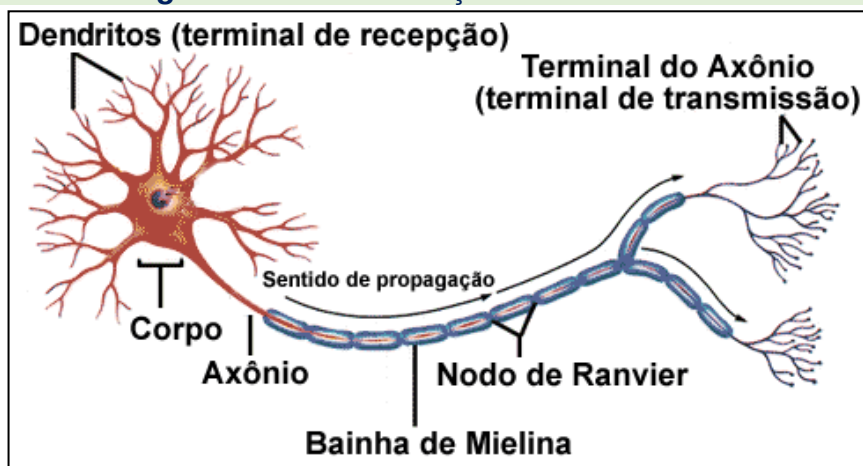
conjunto dessas células é fundamental para que a resposta seja bem efetuada ou os estímulos sejam bem percebidos.

Estas células nervosas se conectam tanto que um neurônio pode transmitir os estímulos do ambiente para outros, gerando uma reação dita como “em cadeia”.

Caracteristicamente, os neurônios possuem:

- **O corpo celular:** Corresponde à porção central metabólica neuronal, realizando a produção de todas as proteínas que constituem a célula. Há modificação entre as formas e tamanhos de corpos celulares entre neurônios, assim como no contato com os estímulos é o centro metabólico do neurônio, responsável pela síntese de todas as proteínas neuronais. A forma e o tamanho do corpo celular são extremamente variáveis, conforme o tipo de neurônio. No corpo celular, também há recepção de estímulos.
- **Dendritos:** Tendem a ser curtos e ramificam-se substancialmente em ângulos agudos, gerando dendritos de diâmetro mais reduzido, assim como estão para mais de mil unidades em cada neurônio, aproximadamente. Constituem as projeções que levam os impulsos para os corpos celulares de outros neurônios ou seus axônios. No geral, eles não têm mielina. Portanto, eles são especializados em receber estímulos.
- **Axônio:** É um prolongamento que termina em algumas ramificações, as quais têm dilatações mais distais. Em toda a sua extensão, o axônio é envolvido por uma bainha de mielina (capa lipídica isolante térmica e facilitadora da transmissão do impulso nervoso). Entre as células de Schwann, responsáveis pela produção dessa bainha de mielina no Sistema Nervoso Periférico, e outra há uma descontinuidade da bainha de mielina, formando o nódulo de Ranvier.

Figura 2 – Caracterização do neurônio



Fonte: Nutrição Anatomia, 2013.

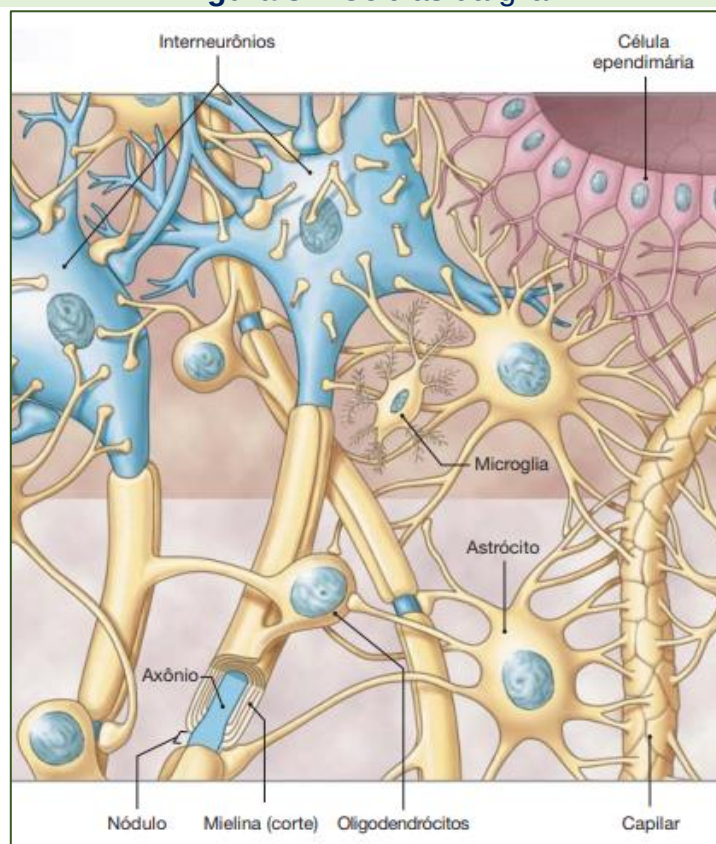
Neuróglia ou células da glia ou glias

Além dos neurônios, o sistema nervoso tem células da glia, ou células gliais, cuja função é sustentar e nutrir os neurônios, a depender do tipo, contribuindo com o seu

funcionamento adequado. Essas células são lábeis e não produzem potenciais de ação. São tipicamente menores que os neurônios e bem mais numerosas, constituindo aproximadamente metade do volume do encefálico. Algumas de suas funções são:

- Sustentação do tecido nervoso;
- Produção de mielina;
- Remoção de excretas;
- Fornecimento de substâncias nutritivas aos neurônios;
- Fagocitose de restos celulares; e
- Isolamento dos neurônios

Figura 3 – Células da glia.



Fonte: Silverthorn, 2017

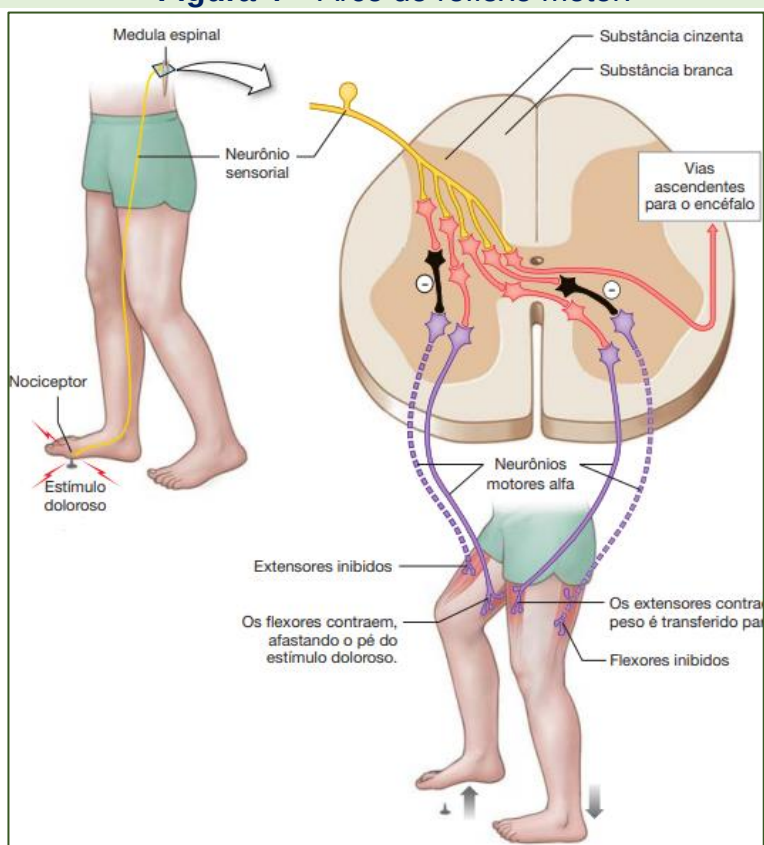
Impulso Nervoso e as Sinapses Nervosas

A repolarização e a despolarização de um neurônio são o resultado de variações na permeabilidade da membrana plasmática. A entrada inicial de Na^+ na célula possibilita a entrada de uma grande quantidade desses íons, que conduzem à despolarização da

membrana. Depois, ocorre a passagem de K^+ , que produz a saída de uma grande quantidade desses íons. Como resultado, a membrana interna experimenta uma repolarização, processo que culmina em um acúmulo de cargas negativas em seu interior.

Como resultado, o estímulo provoca uma onda de despolarizações e repolarizações que se propaga ao longo da membrana plasmática do neurônio. Estas ondas são características do impulso nervoso, que se propaga ao longo da fibra nervosa em um único sentido. Em comparação com o axônio, os dendritos sempre dirigem o impulso para o corpo celular.

Figura 4 – Arco do reflexo motor.



Fonte: Silverthorn, 2017.

As sinapses permitem a transferência de um impulso de uma célula para outra. A zona de contato extremamente próxima da extremidade do axônio de um neurônio e a superfície de outras células é conhecida como sinapse. Estas podem ser outras células associadas ao sistema nervoso, como células sensoriais, musculares ou glandulares. As terminações de um axônio podem criar diversas sinapses ao mesmo tempo. Na maioria das delas, as membranas das células que as formam estão muito próximas, mas não se tocam.

As membranas celulares compartilham um pequeno espaço, conhecido como espaço sináptico ou fenda sináptica.

A velocidade com que o impulso nervoso se propaga na membrana de um neurônio varia de 10 cm/s a 1 m/s. A bainha de mielina, que recobre as fibras nervosas, garante a propagação rápida dos impulsos nervosos. A bainha de mielina é composta por camadas concêntricas das membranas de células gliais, sobretudo células de Schwann. A membrana neuronal se expõe em pequenos espaços, conhecidos como nódulos de Ranvier, entre as células da glia que têm relação com axônio.

Nas fibras nervosas mielinizadas, o impulso nervoso não vai continuamente pela membrana neuronal, mas de forma “saltatória”, pulando de um nódulo de Ranvier a outro. Nesses neurônios com mielina, a velocidade do impulso pode atingir velocidades de cerca de 200m/s (720km/h).

No que se refere aos tipos de sinapses, estas podem ser:

- **SINAPSES ELÉTRICAS**

Neste tipo de sinapse, o potencial de ação se transfere diretamente do neurônio pré-sináptico para o neurônio pós-sináptico, sem a necessidade de neurotransmissores. O sistema nervoso central usa sinapses elétricas para sincronizar movimentos rápidos específicos.

Nesta, a transmissão do impulso elétrico é feita diretamente entre as células por meio das junções GAP (junção composta por proteínas de membrana que servem como canais de baixa resistência elétrica. Essa junção GAP possui uma estrutura hexagonal chamada conexon, que forma um canal que representa a via de fluxo de corrente elétrica entre as células).

Elas criam canais que possibilitam a entrada dos íons no citoplasma de uma célula para a outra, com isso, entende-se que o potencial de ação no neurônio pré-sináptico pode ser transmitido rapidamente para o neurônio pós-sináptico. No sistema nervoso central dos mamíferos, as sinapses elétricas são principalmente encontradas em locais específicos onde a atividade normal dos neurônios vizinhos deve ser extremamente sincronizada. As junções são comuns em uma ampla gama de células que não são do sistema nervoso, como células epiteliais, músculo liso cardíaco, algumas células glandulares e glia. Vários invertebrados também os têm.

- **SINAPSES QUÍMICAS**

Quando um neurônio libera um neurotransmissor na fenda sináptica neste tipo de sinapse, o sinal de entrada é transmitido. O segundo neurônio detecta isso ativando receptores localizados do lado oposto ao sítio de liberação. Tais neurônios produzem substâncias químicas caracteristicamente conhecidas como neurotransmissores para enviar sinais a outros neurônios ou para células não-neuronais (como células do miocárdio, glândula pineal e músculo esquelético) que realizam a inervam.

O segundo neurônio que fornece o sinal passa por várias alterações fisiológicas quando o neurotransmissor se liga quimicamente aos receptores. A liberação do primeiro neurônio (conhecido na fisiologia como o neurônio pré-sináptico) geralmente ocorre como resultado de uma vários eventos intracelulares gerados pela despolarização da membrana neuronal. Isso ocorre quase sempre quando é gerado um potencial de ação.

Figura 5 – Fenda sináptica

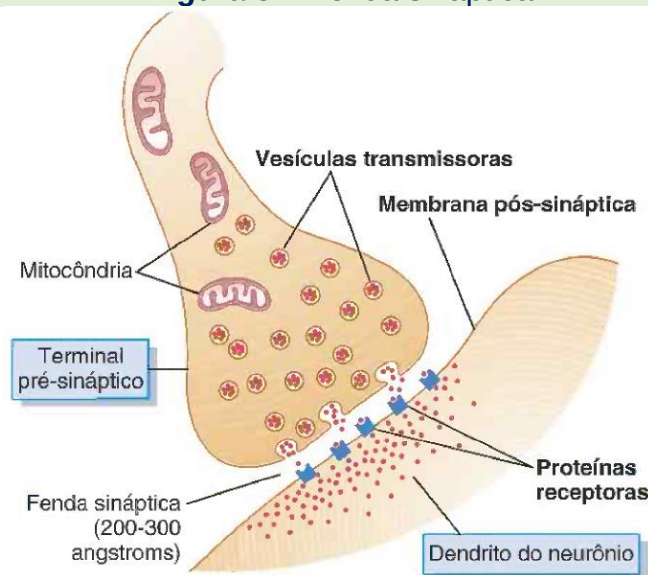


Figura 45-6 Anatomia fisiológica da sinapse.

Fonte: Fonte: Guyton, 2017.

Em resumo, um impulso elétrico dispara vesículas contendo um neurotransmissor quando chega ao seu término no axônio, a "cauda" da célula. As vesículas se fundem com a membrana terminal, permitindo, então, que seu conteúdo seja liberado. O neurotransmissor pode se conectar aos receptores, ou proteínas, na membrana de um neurônio vizinho quando está na fenda sináptica, ou espaço entre dois neurônios.

O transmissor armazenado nas vesículas sinápticas deve ser liberado para a fenda sináptica pelo potencial de ação. A entrada de Ca^{2+} é estimulada pelo potencial de

ação. Isso leva as vesículas sinápticas aos locais de liberação, se unirem à membrana plasmática e descartem seu suprimento de transmissor. O transmissor chega à célula alvo e se conecta à uma proteína receptora na superfície externa da membrana celular. A resposta é concluída quando o transmissor e o receptor se separam rapidamente. O transmissor pode ser destruído de forma catabólica devido à ação enzimática ou absorvido, geralmente na terminação pré-sináptica. Cada neurônio produz, apenas, um tipo de transmissor.

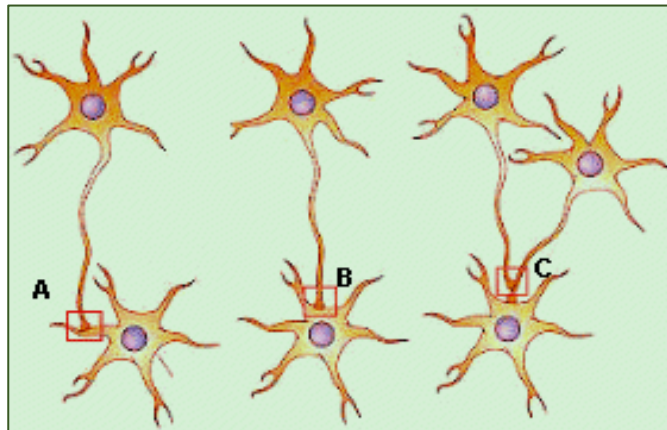
As sinapses químicas têm dois tipos, com base no efeito causado no neurônio/fator pós-sináptico:

Sinapses de caráter excitatório: Modificam o potencial pós-sináptico por meio de uma mudança elétrica excitatória. Isso ocorre quando a liberação do transmissor é utilizada para despolarizar a membrana, levando-a a um valor mais próximo do limiar elétrico para desencadear um potencial de ação. Os canais da membrana, que são como poros que atravessam as membranas celulares, para os íons cálcio e potássio, geralmente estão relacionados a esse efeito.

Sinapses de caráter inibitório: Geram um potencial pós-sináptico inibitório porque o efeito líquido da liberação do transmissor faz com que a membrana fique hiperpolarizada. Isso dificulta o alcance do potencial de limiar elétrico. Esse tipo de sinapse inibitória funciona porque vários canais de íons nas membranas são abertos. Os canais mais comuns, nesse sentido, são os de cloreto (Cl⁻) ou potássio (K⁺).

A distinção entre vários tipos de sinapses é baseada na parte do neurônio que é pós-sináptica, em relação ao axônio terminal. A sinapse é chamada de axo-dendrítica se a membrana pós-sináptica for de um dendrito, enquanto é chamada de axo-somática se tiver uma membrana pós-sináptica no corpo celular do neurônio. Em algumas ocasiões, a membrana pós-sináptica pode estar localizada em um outro axônio, recebendo o nome axo-axônicas. Em alguns neurônios especializados, os dendritos fazem sinapses entre si; isso recebendo a denominação de “sinapse dendo-dendrítica”.

Figura 7 – Arranjos sinápticos.



Fonte: Bear, 2017.

Neurotransmissores: As mensagens enviadas no cérebro

Os neurotransmissores são moléculas quimicamente muito pequenas e simples. Cada tipo de célula secreta um tipo diferente de neurotransmissores. Cada substância química funciona em locais muito distintos, mas extremamente específicos do cérebro e pode ter diferentes efeitos dependendo do local em que é ativada. Aproximadamente 60 neurotransmissores foram encontrados e podem ser categorizados em uma das quatro categorias abaixo descritas.

- a) **Colinas:** Acetilcolina é a mais importante delas;
- b) **Aminas biogênicas:** Destas se conhecem a serotonina, histamina, catecolaminas, dopamina e norepinefrina
- c) **Aminoácidos:** O ácido gama-aminobutírico (GABA), a glicina e a taurina são neurotransmissores inibidores, enquanto o glutamato e o aspartato são transmissores excitatórios.
- d) **Neuropeptídeos:** esses são feitos de cadeias longas de aminoácidos. Mais de cinquenta deles são conhecidos para ocorrer no cérebro, sendo associados à transmissão ou modulação das informações que ocorrem no sistema nervoso central.

➤ Neurotransmissores importantes e suas funções

- **Dopamina**

Ela realiza o controle motor e mantém os níveis de estimulação em várias partes do cérebro. Os pacientes com doença de Parkinson são incapazes de se mover

voluntariamente quando os níveis desse neurotransmissor são extremamente baixos. O LSD e outras drogas alucinógenas são associados a danos nas vias dopaminérgicas.

- **Serotonina**

Este neurotransmissor, que é aumentado nas vias de atuação de muitos antidepressivos, como o Prozac, e assim tornou-se conhecido como o "neurotransmissor do bem-estar". Ele afeta profundamente o humor, a ansiedade e a agressão dos indivíduos.

- **Acetilcolina (ACh)**

A acetilcolina regula as áreas do cérebro relacionadas à memória, aprendizagem e atenção. Fármacos que aumentam os níveis de ACh no córtex cerebral de pacientes com doença de Alzheimer podem melhorar a sua memória desses pacientes.

- **Noradrenalina**

É uma substância química que causa bom humor e excitação física e mental. Um dos muitos atores associados ao centro de "prazer" do cérebro é o locus coeruleus, onde ocorre a sua produção. A medicina demonstrou que a norepinefrina regula a pressão sanguínea, os batimentos cardíacos, a conversão de glicogênio para glicose, a fim de obter energia, e diversos outros fatores.

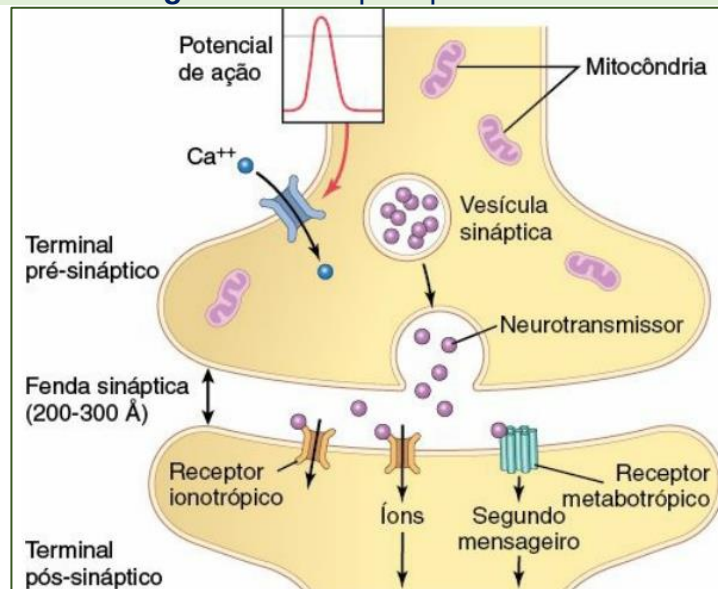
- **Glutamato**

É o principal neurotransmissor de caráter excitatório do cérebro, fundamental para conectar os neurônios, que são essenciais para a memória a longo prazo e a aprendizagem.

- **Encefalinas e Endorfinas**

São os opiáceos, como as drogas heroína e morfina, que afetam a dor e o estresse, entre outras coisas. Elas podem participar de mecanismos de dependência física.

Figura 8 – Sinapse química



Fonte: Guyton, 2017.

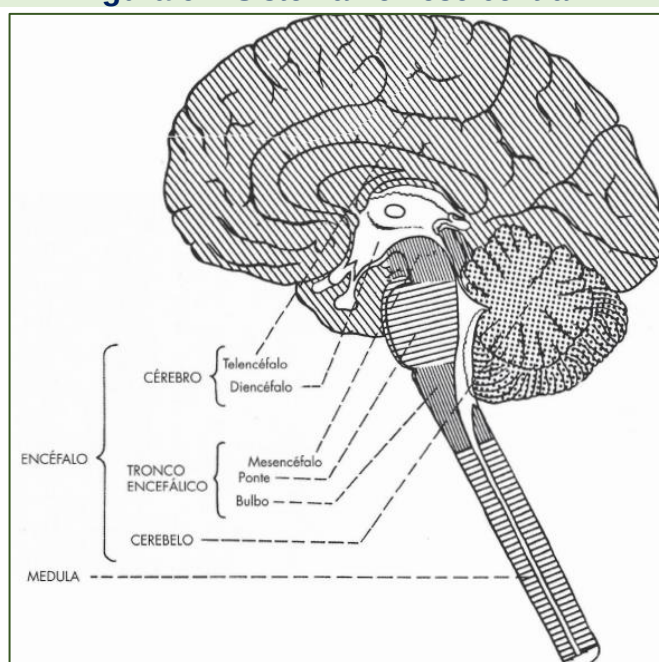
ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO (SN)

O SN é considerado funcionalmente composto por neurônios sensoriais, motores e de associação. O Sistema Nervoso Central (SNC) recebe informações dos receptores sensoriais e as integra (codifica, compara, armazena e decide) por neurônios de associação ou interneurônios. Em seguida, eles produzem uma resposta que impacta um órgão efector (músculo e glândula). Kandel afirma que o sistema motivacional, que conecta os sistemas sensorial e motor, controla o movimento voluntário por meio de um complexo circuito neural no cérebro. As respostas do sistema nervoso central (SNC) são mais complexas com os estímulos ambientais (aférentes).

Como resultado, é claro que o cérebro possui uma complexa rede de circuitos neurais que interliga suas principais áreas sensoriais e motoras, incluindo grandes concentrações de neurônios que são capazes de armazenar, interpretar e emitir respostas eficazes a qualquer estímulo ocorrido. Além disso, é capaz de alterar e rearranjar suas conexões sinápticas a qualquer momento, o que permite novas aprendizagens.

O Sistema Nervoso Central (SNC) e o Sistema Nervoso Periférico (SNP) são as duas partes conhecidas do SN. O SNC é formado por gânglios, terminações sensitivas e motoras, assim como nervos espinhais e cranianos, e fibras nervosas do SNP transmitem informações sensoriais para o SNC e depois para os órgãos efetadores.

Figura 9 – Sistema nervoso central



Fonte: Machado, 2014.

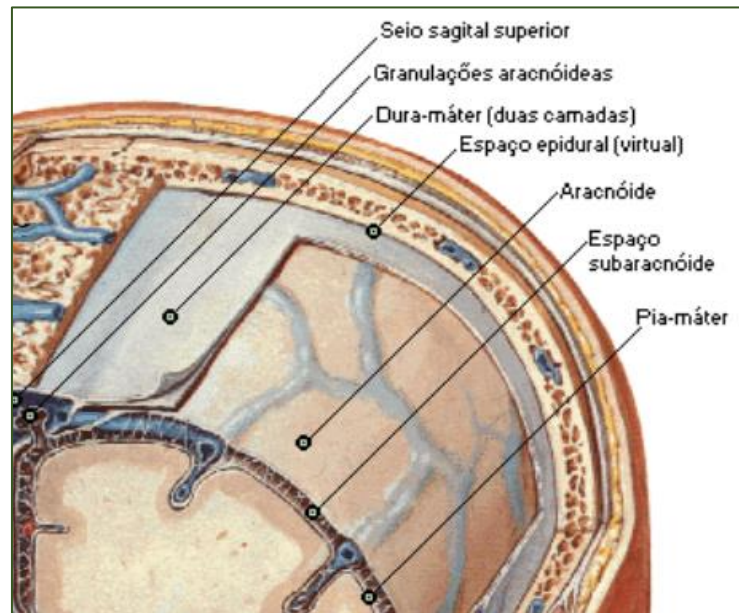
Sistema Nervoso Central

A interpretação e identificação de estímulos complexos é feita pelo Sistema Nervoso Central, enviando precisamente os sinais. Sede da inteligência, o lugar onde se formam as ideias, e parte as ordens para a execução dos movimentos, é o anteparo de chegada das impressões da visão, audição, olfação, paladar e tato.

As meninges, que são as lâminas de tecido conjuntivo de fora para dentro, dura-máter, aracnóide e pia-máter, fornecem proteção adicional ao sistema nervoso central (SNC).

A mais espessa delas é a dura-máter. O espaço extradural (também conhecido como epidural) está entre ela e a coluna vertebral no crânio. A pia-máter é a mais fina e está em contato íntimo com o cérebro e da medula espinhal, aderida a eles. A aracnóide está entre a dura e a pia-máter, e fibras muito delicadas partem dela para a pia-máter, formando uma rede semelhante a uma teia de aranha. A aracnóide é separa da dura-máter devido a um espaço virtual, denominado subdural, assim como se separa da pia-máter por um espaço real, o espaço subaracnoideo, no qual circula o líquido cérebro-espinhal ou líquor, que serve como absorvente de choques.

Figura 10 – Meninges



Fonte: Netter, 2018.

Os ventrículos encefálicos produzem regularmente o líquido cérebro-espinhal, também chamado de Líquido cefalorraquidiano, incolor, que entra no sistema venoso pelo espaço subaracnóideo. O sistema nervoso central recebe nutrição por esse líquido, assim como ele funciona como um amortecedor, protegendo o sistema nervoso central de movimentos súbitos.

O sistema nervoso central (SNC) é composto pela medula espinhal, um filamento nervoso que percorre o interior do canal raquiano da coluna vertebral, e pelo encéfalo, a massa nervosa que fica na caixa craniana, local de onde partem os nervos cranianos.

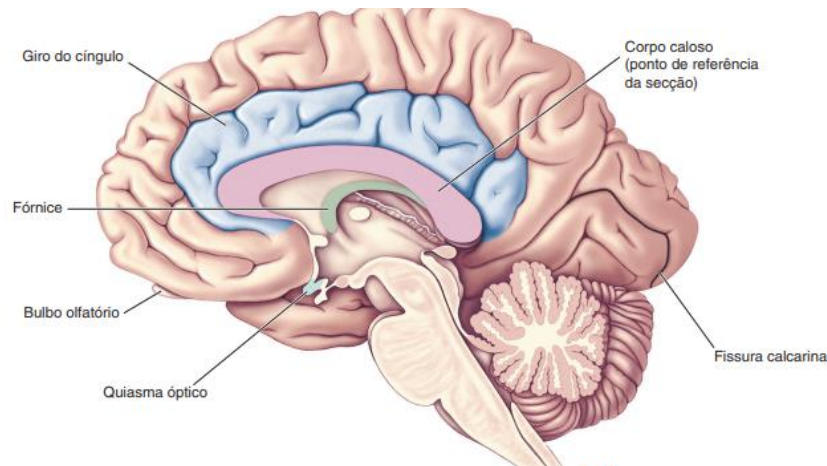
O líquido cérebro-espinhal, incolor, é constantemente produzido nos ventrículos do encéfalo e constantemente deixa o espaço subaracnóideo para entrar no sistema venoso. Atua na nutrição do SNC e como amortecedor, protegendo o SNC de movimentos súbitos.

O SNC é constituído pelo encéfalo - massa nervosa (de onde partem os nervos cranianos) situada na caixa craniana - e pela medula espinhal - filamento nervoso que percorre o interior do canal da coluna vertebral, sendo protegida por esta coluna.

A. ENCÉFALO: É constituído por três grandes e importantes estruturas: o cérebro (que contém o telencéfalo e seus hemisférios, assim como o diencefalo), cerebelo e o tronco encefálico (dividido, no sentido rostro-caudal, em mesencéfalo, ponte e bulbo raquidiano), que está entre o diencefalo e a medula espinhal. O tronco encefálico está situado entre a medula e o diencefalo e é subdividido, no sentido rostro-caudal, em mesencéfalo, ponte e bulbo. A estrutura óssea que protege o encéfalo é o crânio,

enquanto a coluna vertebral executa a proteção da medula espinal. Esses 2 componentes (encéfalo e medula) contém neurônios, fibras nervosas e células da glia.

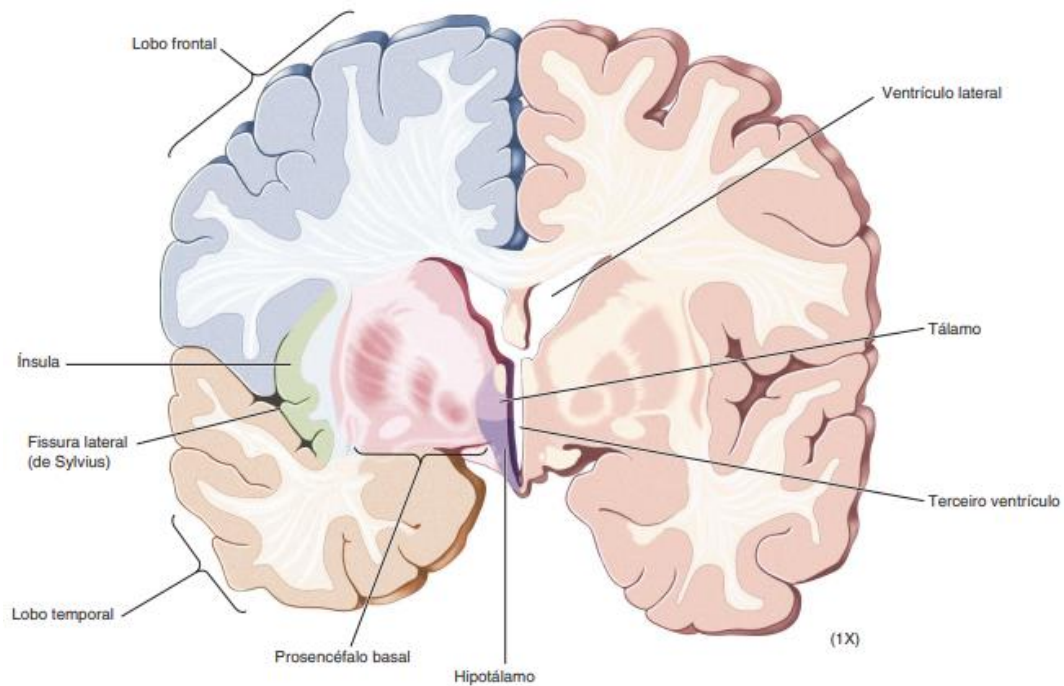
Figura 11 – Estruturas do encéfalo.



Fonte: Bear, 2017.

- **Funções:** Os centros nervosos recebem informações de várias partes do corpo e as integram em impulsos nervosos que são enviados através das fibras motoras dos nervos cranianos e espinhais. Os corpos celulares de neurônios compõem a camada mais externa do encéfalo, que é de aparência acinzentada. A região interna, por outro lado, é esbranquiçada e consiste principalmente em fibras nervosas, como dendritos e axônios. A bainha de mielina que cobre as fibras é a principal responsável por essa cor. A região superficial do cérebro é o seu córtex (substância cinzenta), possuindo, ainda, mais de quarenta áreas diferentes que executam funções específicas e distintas, enquanto a região interna é a substância branca.
 - a. **Cérebro:** Ocupa quase toda a caixa craniana. Particularmente nos primatas, o córtex cerebral apresenta uma série de circunvoluções, que aumentam consideravelmente a superfície do cérebro. Isso permite a instalação de maior número de neurônios, fato que contribui significativamente para a eficiência do cérebro na execução de suas diversas funções. As circunvoluções do córtex permitem, ainda, o ajustamento da massa nervosa a um volume relativamente pequeno como o da caixa craniana. Os animais dotados de córtex com inúmeras circunvoluções são chamados de diencefalos. O cérebro é dividido em dois hemisférios cerebrais que estão conectados entre si por um conjunto de fibras nervosas: o corpo caloso.

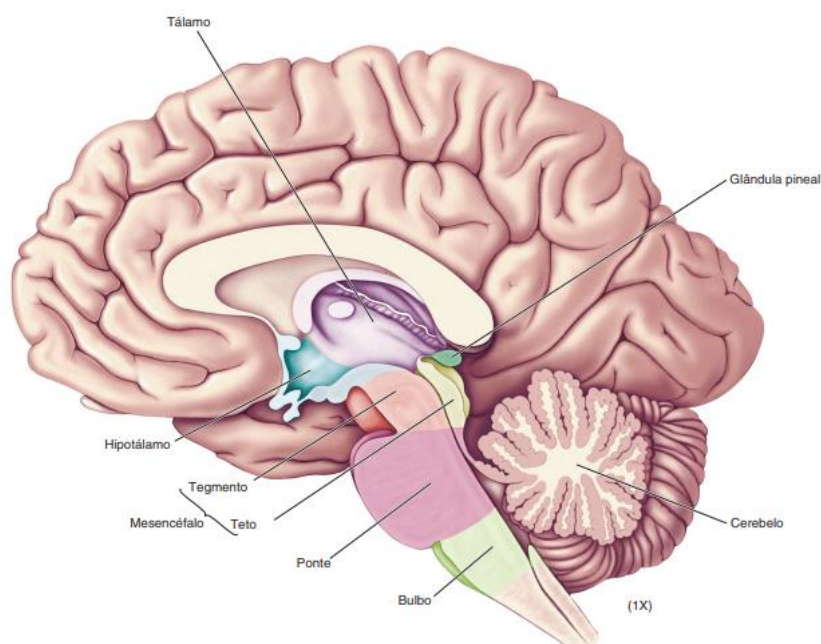
Figura 12 – Corte coronal do encéfalo



Fonte: Bear, 2017.

- **Tálamo e Hipotálamo:** À exceção dos receptores do olfato, todas as mensagens sensoriais passam pelo tálamo antes de chegar ao córtex cerebral. Ele, por sua vez, transporta esses impulsos nervosos para o córtex, fazendo com que essa estrutura seja conhecida como “estação retransmissora”. Também apresenta a grande responsabilidade de levar os impulsos aos locais do cérebro que devem ser processados. O hipotálamo é um dos principais centros responsáveis pela homeostase do corpo e é o principal centro integrador das atividades dos órgãos viscerais. É responsável pela ativação de várias glândulas endócrinas, conectando o sistema nervoso e o sistema endócrino, formando o sistema neuroendócrino. O hipotálamo é responsável pelo controle da temperatura corporal, do apetite, do balanço de água no corpo e tem grande influência no comportamento sexual.

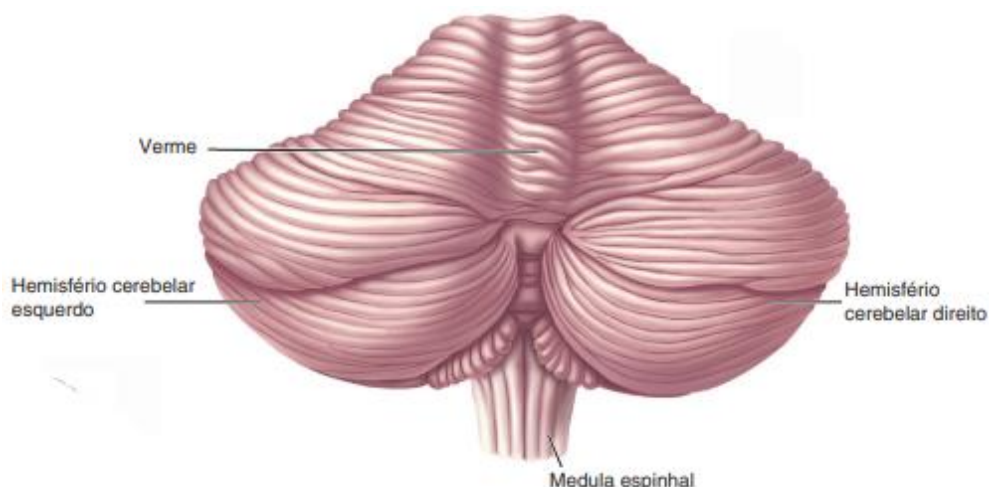
Figura 13 – Corte sagital do encéfalo



Fonte: Bear, 2017.

- b. Cerebelo:** Este órgão mantém, principalmente, o equilíbrio corporal, assim como grandes funções que exigem coordenação motora e ações complexas, como andar de bicicleta e tocar violão, assim como muitos outros exemplos. Com o auxílio cerebelar, o cérebro recebe as informações de diversas partes do encéfalo sobre a posição das articulações, assim como o nível de estiramento dos músculos e informações auditivas e visuais.

Figura 14 – Cerebelo



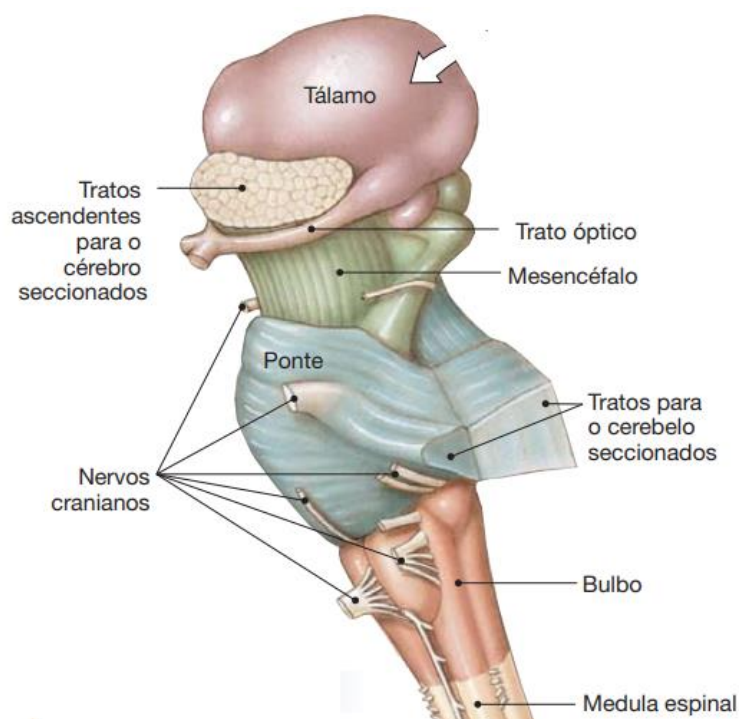
Fonte: Bear, 2017.

- c. Tronco Encefálico:** É dividido em ponte e bulbo (também conhecido como medula oblonga), conectando fisicamente e funcionalmente o cérebro à medula espinhal. Suas funções vão de integrar as informações que chegam ao encéfalo, assim como controlar as atividades executadas por diversas partes

do organismo. O mesencéfalo tem associação com os reflexos visuais e auditivos (função esta executada pelos colículos superior e inferior); seus núcleos e os pedúnculos cerebrais atuam diretamente no controle postural e movimentos.

- **PONTE:** É formada por muitas fibras nervosas em várias direções, mantendo íntima conexão com o cerebelo. Caracteristicamente, ela é reconhecida como o centro de retransmissão de impulsos, assim como contém núcleos de nervos cranianos (III ao VII pares) e controla a respiração de forma satisfatória.
- **BULBO RAQUIDIANO:** Tem grande papel na manutenção dos movimentos corporais, sendo constituído por muitos centros nervosos. Também tem função de retransmissão de impulsos e contém núcleos de nervos cranianos, especificamente do VIII ao XII pares. Ele é, ainda, reconhecidamente o centro autônomo das vísceras (respiração e atividade cardiocirculatória); contém núcleos de vários nervos cranianos (VIII-XII).

Figura 15 – Tronco encefálico

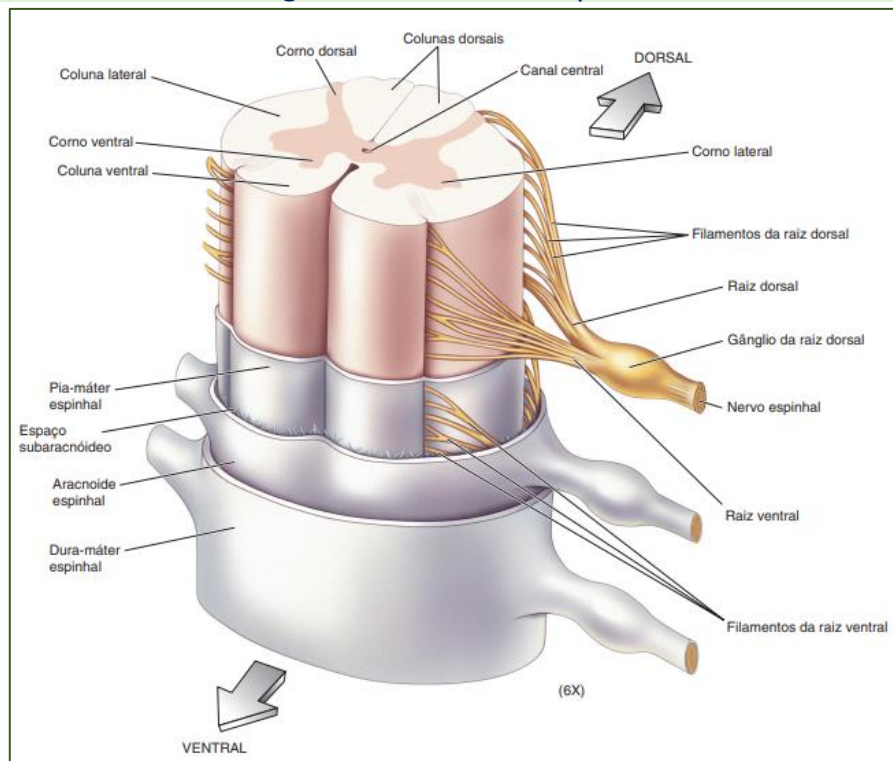


Fonte: Silverthorn, 2017.

- d. **Medula espinal:** Ela conduz os impulsos do sistema nervoso periférico ao central, assim como o contrário, além de executar o arco-reflexo, representado na figura 4 deste capítulo. Está situada no interior das vértebras, longitudinalmente, e se comunica diretamente com o bulbo ao nível do forame magno do crânio, logo, se localiza no esqueleto axial. Pescoço, tronco, membros e afins enviam sinais à medula, a qual elabora respostas rápidas e simplificadas a fim de reagir adequadamente a situações de emergência, o que constitui o ato reflexo. Sua função de retransmissão ao encéfalo é fundamental, assim como o inverso, o que observamos em ações de planejamento motor, o

que denota uma intrincada e imprescindível interação. Entende-se, portanto, que grande parte das informações elaboradas no encéfalo chegam à medula antes dos locais para os quais se destinam. O seu exterior é de cor branco, sendo composto por fibras nervosas mielinizadas associadas aos impulsos nervosos, enquanto o seu interior tem os corpos neuronais, o inverso da organização cerebral das substâncias branca e cinzenta.

Figura 16 – Medula espinhal

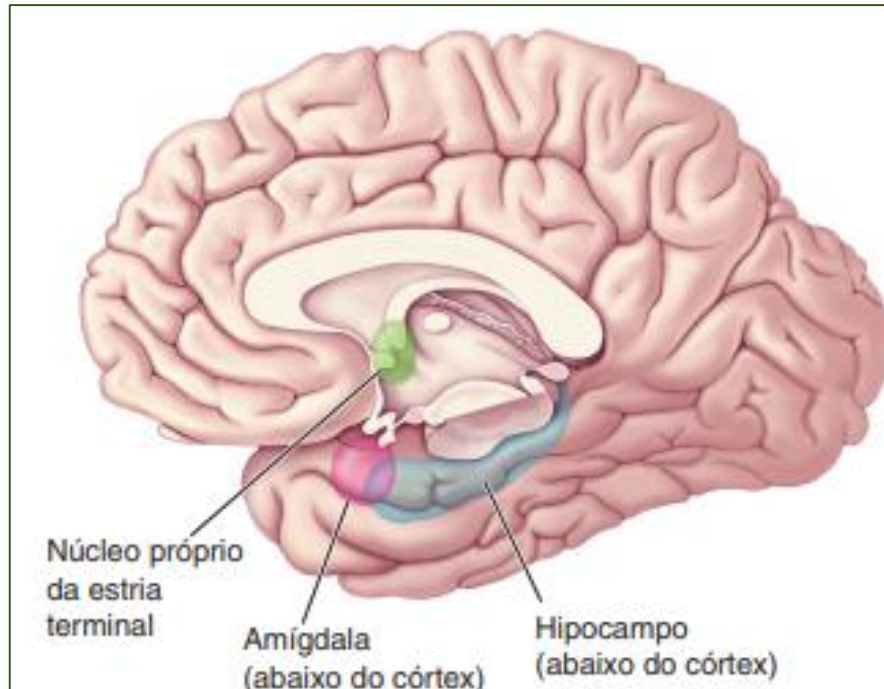


Fonte: Bear, 2017.

- **Hipocampo:** Esta estrutura complexa está diretamente relacionada com a formação de memória de longa duração, possibilitando a análise imediata com base em condições experimentadas anteriormente. Isso é importante por permitir a escolha, por parte dos indivíduos, da melhor opção a ser tomada a fim de lhe favorecer em um contexto mais específico. Se houver danos significativos nos hipocampus de ambos os hemisférios cerebrais, a memória é prejudicada, sendo o esquecimento a manifestação mais comum.
- **Amígdala:** São 2 estruturas minúsculas com forma de amêndoa em cada hemisfério cerebral. Elas estão localizadas na região anteroinferior do lobo temporal e estão conectados ao hipocampo, os núcleos septais, a área pré-frontal e o núcleo dorso-medial do tálamo, tendo grande importância para garantir o desempenho na mediação e controle de atividades emocionais de ordem maior, como amizade, amor e afeição, assim como nas exteriorizações do humor e, principalmente, estados de medo, raiva e agressividade, características emocionais muito estudadas atualmente. É essencial para a autopreservação dos indivíduos, pois se associa com o perigo, levando a medo e ansiedade, assim como a ações de evasão e luta. A destruição experimental

das amígdalas torna o animal dócil, sexualmente indiscriminado, sem características afetivas consistentes (o que, em humanos, faz com que não haja a sensação emocional consistente em relação a outro indivíduo) e sem perceber os riscos que possam estar presentes. Quando, por outro lado, ocorre um estímulo elétrico, pode haver grandes crises de agressividade.

Figura 17 – Amígdala e hipocampo



Fonte: Bear, 2017.

Sistema Nervoso Periférico (SNP)

É formado pelas estruturas restantes do sistema nervoso: nervos (feixes de axônios em ambos os sentidos de transmissão de impulsos e envoltos por tecido conjuntivo, com vasos sanguíneos), gânglios nervosos (corpos celulares em grandes quantidades fora do sistema nervoso central) e terminações, que vêm ao final dos nervos.

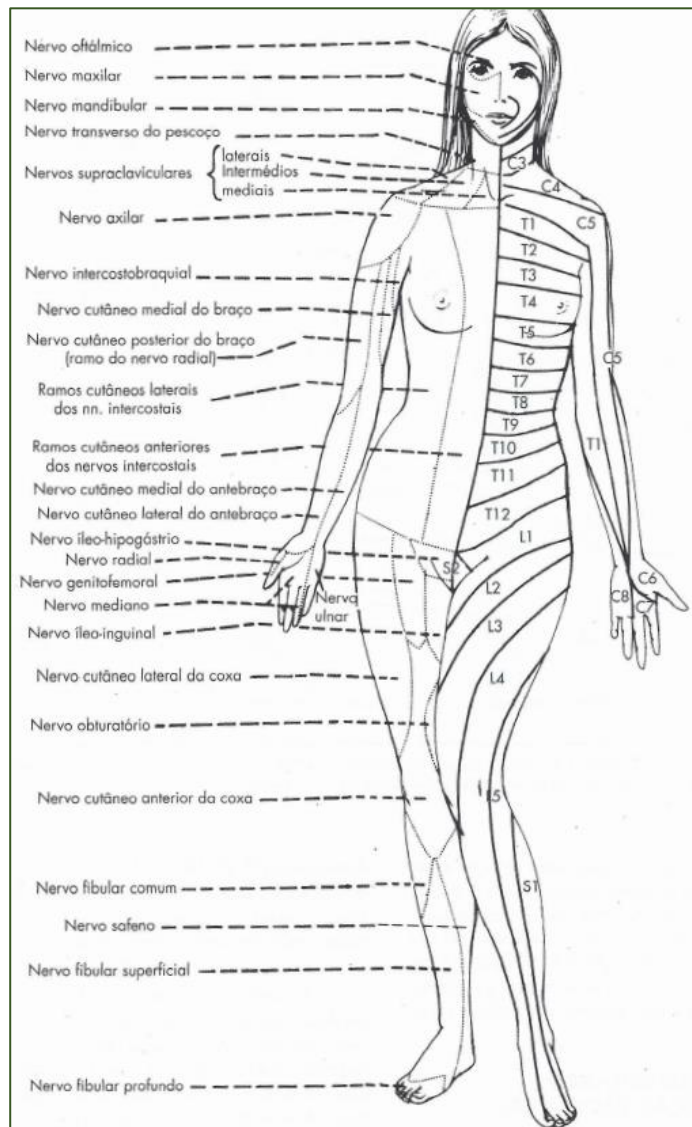
Os nervos podem ser de 2 tipos: cranianos, quando se originam do encéfalo, com 12 pares presentes; e raquidianos, quando se originam da medula espinal. Estes últimos estão presentes em 31 pares, de acordo com a extensão medular.

Os alvos dos nervos emitidos pelo Sistema Nervoso Central são estruturas sensoriais (receptores) e os órgãos efetores/executores (músculos ou glândulas), que realizam uma ação específica. Os nervos podem ser classificados, de acordo com o sentido de transmissão do impulso, em:

- Sensitivos, também conhecidos como aferentes - e transmitem os impulsos nervosos dos órgãos receptores ao sistema nervoso central.

- Motores, também conhecidos como eferentes – estes levam os impulsos nervosos do SNC aos órgãos efetores.
- Mistos – estes têm os dois tipos de fibras acima.

Figura 18 – Sistema nervoso periférico e dermatômos



Fonte: Machado, 2014.

Os raquidianos, tipicamente, são mistos, visto que as raízes nervosas anterior (originada do corno anterior e motora) e posterior (chega ao corno posterior medular e é sensitiva) se unem, formando os nervos. Há 31 pares de nervos raquidianos distribuídos como cervicais (8 pares), torácicos (12 pares), lombares (5 pares) e sacrais (6 pares, contando com o coccígeo).

Os nervos cranianos, por sua vez, são representados em 12 pares. Eles podem ser sensitivos, mistos ou motores. A seguir, apresento-lhes a relação entre os 12 pares e suas respectivas funções:

- **Olfativo ou Olfatório (I par):** Leva os estímulos do olfato para áreas específicas no cérebro, sendo sensitivo.
- **Óptico (II par):** Conduz estímulos luminosos do olho ao cérebro, sendo sensitivo.
- **Motor ocular comum ou óculo-motor (III par):** Leva à contração dos músculos que movimento os olhos para baixo e para cima, assim como para o sentido medial, sendo motor.
- **Patético ou Troclear (IV par):** Estimula músculos oculares, como o oblíquo superior dos olhos, movimentando-os para os lados e para baixo, sendo motor.
- **Trigêmeo (V par):** Responsável pela sensibilidade da parte superior da face e dos dentes, possuindo ramos específicos para isso. Além disso, estimula a região maxilar inferior. É, portanto, misto.
- **Motor ocular externo ou Abducente (VI par):** Estimula os músculos retos laterais extrínsecos dos olhos, movimentando-os lateralmente. É um nervo motor.
- **Facial (VII par):** Estimula os músculos da face, sobretudo os associados à mímica facial. Tem, também, função gustatória e de estímulo às glândulas salivares e as lacrimais. É, portanto, misto.
- **Auditivo ou Vestibulococlear (VIII par):** Leva ao cérebro estímulos sonoros e os impulsos associados ao equilíbrio.
- **Glosssofaríngeo (IX par):** Leva os estímulos do paladar ao cérebro, assim como movimenta os músculos da faringe, sendo misto.
- **Pneumogástrico ou Vago (X par):** Estimula vários órgãos, como o coração, pulmões, estômago e intestinos, levando o movimento e sensibilidade às vísceras. É um nervo misto.
- **Espinhal ou Acessório (XI par):** Estimula os músculos cervicais, como o trapézio e esternocleidomastoídeos e outros faríngeos, permitindo a geração de palavras, por exemplo, e os movimentos da cabeça e faringe. É motor.
- **Hipoglosso (XII par):** Estimula a movimentação dos músculos da língua, sendo motor.

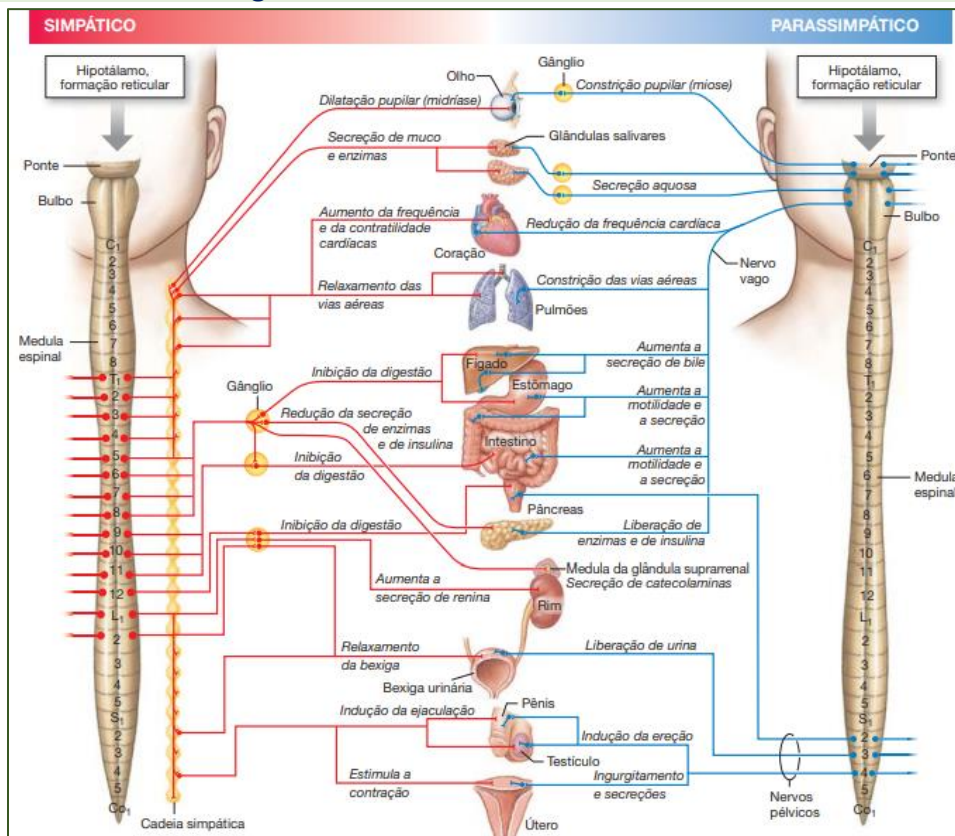
O SNP Voluntário (SNPV) reage aos estímulos advindos do ambiente externo, ele tem fibras motoras que inervam os músculos esqueléticos e deriva do sistema nervoso central.

O SNP Autônomo (SNPA) regula o a homeostase corporal ao regular a atividade dos sistemas cardiocirculatório, excretor e endócrino, assim como do sistema digestivo. Ele tem fibras nervosas que levam impulsos do SNC aos músculos lisos viscerais e ao miocárdio. Classicamente, é dividido em 2 subsistemas, o simpático e o parassimpático, diferentes estrutura e funcionalmente. Os gânglios do SNPA simpático estão ao lado da medula espinal, distantes do órgão inervado, enquanto os do SNPA parassimpático estão distantes do sistema nervoso central e próximos às vísceras inervadas. As fibras de ambos os sistemas atuam, em sua maioria, nos mesmos órgãos, mas com ações opostas: Enquanto o simpático estimula, o outro inibe e, assim, estabelece o equilíbrio.

O SNPA simpático, geralmente, estimula ações que utilizam energia, possibilitando uma rápida e efetiva resposta ao estresse, como ao elevar a frequência cardíaca, a pressão arterial e a mobilização de glicose para o sangue, induzindo o metabolismo corporal. É formado por dois cordões nervosos com diversos engrossamentos, que são os gânglios centrais ou simpáticos. Desses gânglios partem diversos nervos, os nervos simpáticos, que estabelecem ligação com os órgãos relacionados com a função de nutrição. Já o SNPA parassimpático faz o oposto, principalmente atividades vegetativas, sem as típicas respostas de fuga ou luta do SNPA simpático, levando à redução do ritmo cardíaco e a pressão sanguínea, assim como outras funções.

Estes não se comunicam com os gânglios centrais do sistema simpático nem com os nervos raquidianos. Desse modo, eles não possuem ramos comunicantes. Os centros nervosos do sistema parassimpático situam-se no encéfalo e na porção inferior da medula. Diretamente desses centros partem os nervos que se dirigem a diversos órgãos de nutrição. Tem basicamente função antagônica ao sistema simpático.

Figura 19 – Sistema nervoso autônomo



Fonte: Silverthorn, 2017.

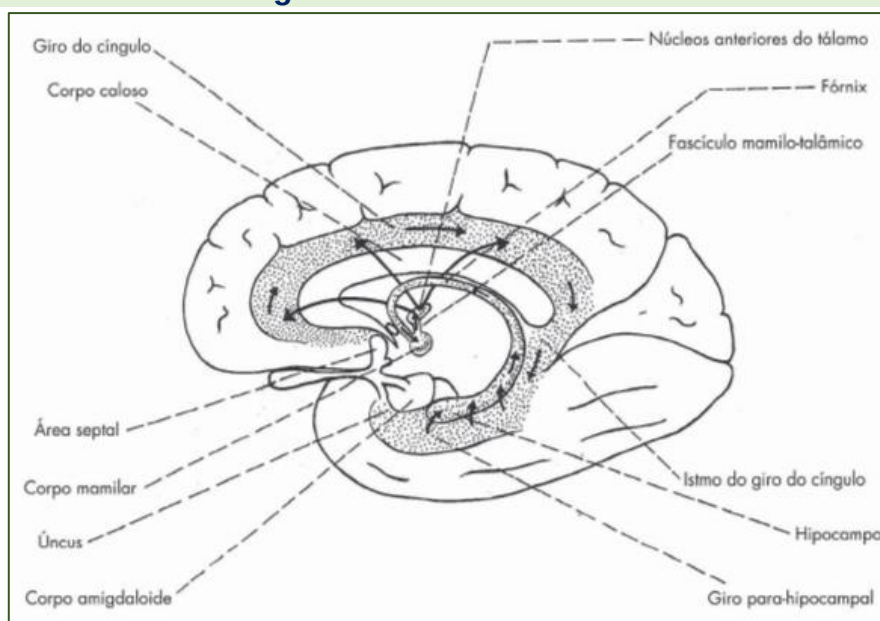
- **ATO REFLEXO:** São atos tipicamente controlados pela substância cinzenta do sistema nervoso central, especificamente medula ou bulbo. Naturalmente, agem antes da chegada dos impulsos ao cérebro. Um dos principais exemplos é o reflexo patelar, no qual um toque no tendão patelar faz com que a perna se levante involuntariamente. O trajeto é seguido da seguinte forma: fibras sensitivas transmitem o sinal até a substância cinzenta medular e, nela, o estímulo retorna na forma motora (lembre-se das divisões entre os cornos anteriores e posteriores medulares) em direção aos músculos pelo mesmo nervo (misto). Como o movimento forma um arco, entende-se como sendo arco-reflexo.

Sistema Límbico

O sistema límbico é uma cadeia de estruturas localizado abaixo do córtex cerebral. Este sistema é importante porque controla alguns comportamentos essenciais para a vida e realizar a integração dos sistemas nervoso, endócrino e imunológico e organizar uma reação adequada. A conduta é uma função executada por praticamente todo o sistema nervoso. Os tipos especiais de conduta associados às emoções, aos impulsos subconscientes motores e sensitivos e às sensações intrínsecas de dor e prazer são funções realizadas principalmente pelas regiões basais do encéfalo e regiões mais antigas

do córtex cerebral localizadas nas regiões medial e ventral dos hemisférios. A este conjunto de estruturas denominamos sistema límbico.

Figura 20 – Sistema Límbico



Fonte: Machado, 2014.

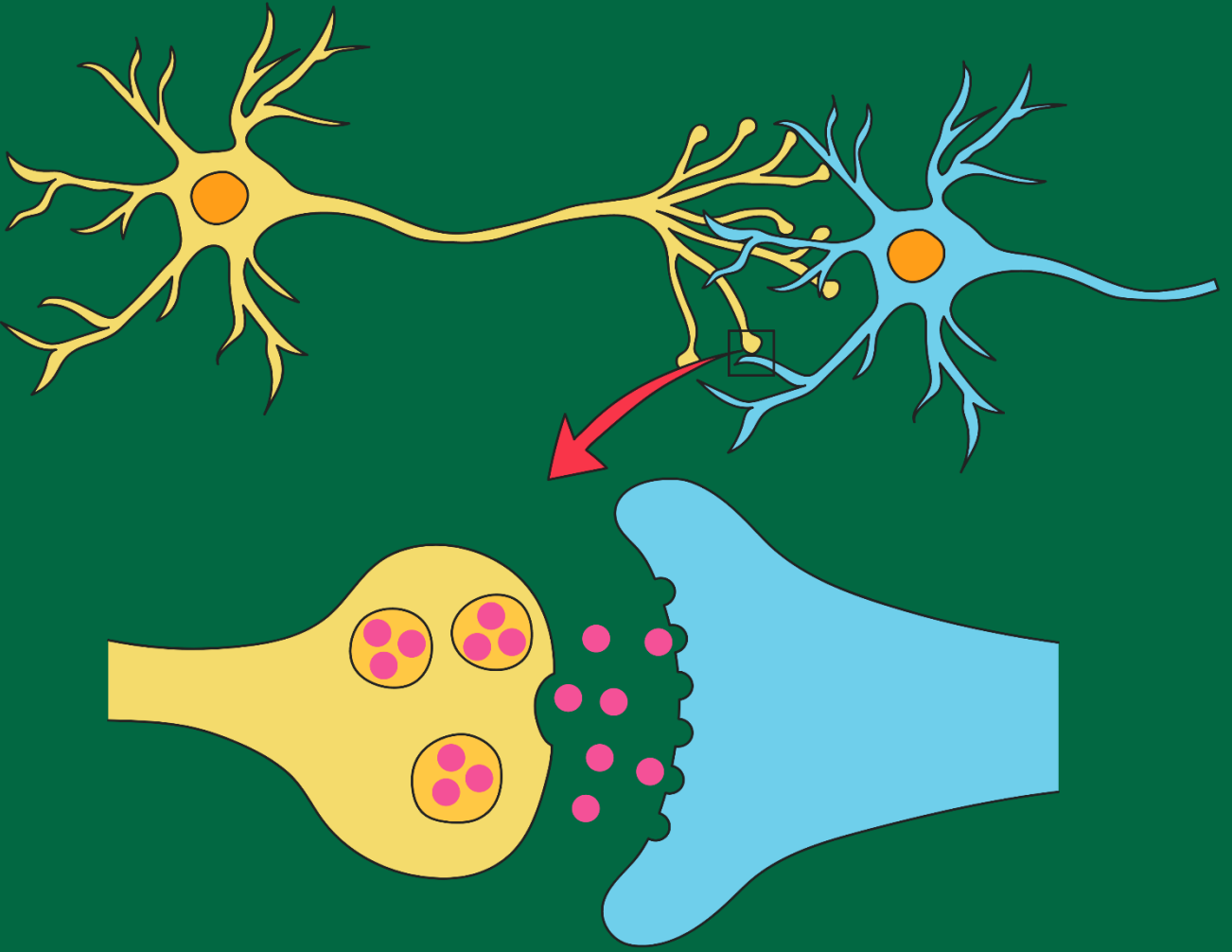
O sistema límbico tem como componentes estruturas associadas ao controle relativo das emoções. As principais são:

- **Hipotálamo:** É menor que uma ervilha, representando um pouco menos que 1% do tamanho cerebral. Ele tem grande responsabilidade por funções regulatórias/homeostáticas, como sono, libido, apetite/saciedade e temperatura corporal. Além disso, sua íntima relação com a hipófise denota a grande atuação endócrina.
- **Corpos mamilares:** Intimamente associados com o hipotálamo. Porém, estes se responsabilizam pela manutenção de reflexos alimentares adequados, como a deglutição e sensações passadas ao fazer-se a observação de um alimento, como o ato de lamber os lábios.
- **Tálamo:** Tipicamente semelhante a duas massas ovais, está presente em 2 no cérebro, em cada um dos hemisférios. Ele também tem grande importância, sobretudo nos sentidos clássicos e sua transmissão: Tato, visão, paladar e audição, assim como temperatura, dor/nocicepção e pressão ambiental. Deve-se ressaltar que o sentido do olfato principal segue diretamente para o córtex cerebral e não passa pelo tálamo.
- **Giro cingulado:** Está na região mediana do cérebro. Seu estímulo está presente em muitas condições patológicas, como a esquizofrenia, visto que, em excesso, tal estimulação pode gerar alucinações, alterações na emoção e diversos outros.

Fisiologicamente, descreve-se que tem relação com os odores e visão. responsável pelos odores e a visão.

➤ **Amígdala e Hipocampo (estruturas discutidas anteriormente).**

A principal função fica por conta da regulação dos processos emocionais, sendo que, intimamente relacionado com estas funções temos a regulação do SNA e a regulação dos processos motivacionais essenciais à sobrevivência da espécie e do indivíduo como a fome, sede, sexo. Como função secundária, alguns componentes desse sistema se relacionam ao mecanismo da memória e aprendizagem e participam da regulação do sistema endócrino.



ROTEIRO DE ESTUDO APLICADO

Selma Kazumi da Trindade Noguchi^I; Daniel Figueiredo Alves da Silva^{II}; Willian Hideo Miashiro Yamada^{III}; Luan Daher Fernandes^{IV}; Carlos Eduardo Oliveira da Silva^V; Vanessa Novaes Barros^{VI}; Stefanne de Cássia Pereira da Silva^{VII}

^IDoutora em Ensino em saúde na Amazônia, Universidade do Estado do Pará, Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-6892-4718>

^{II}Doutorando em Ensino em saúde na Amazônia, Universidade do Estado do Pará, Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-9719-2085>

^{III}Acadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0003-0232-5733>

^{IV}Acadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-0369-3995>

^VAcadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0009-0004-4783-2733>

^{VI}Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-7460-8279>

^{VII}Acadêmica de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-9093-5330>

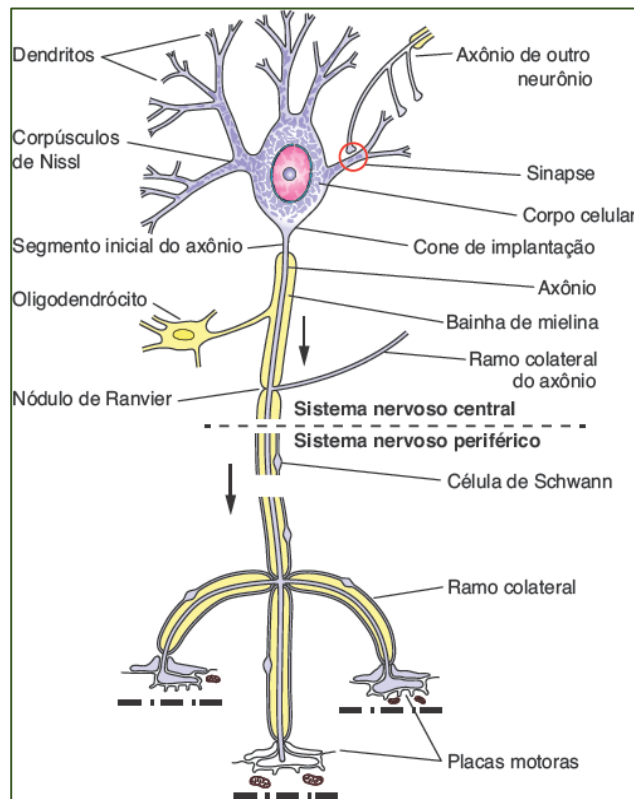
ROTEIRO DE ESTUDO APLICADO

Objetivo 1 – Identifique a estrutura de uma sinapse e seu funcionamento, identificando a relação das células gliais com o processo de transmissão sináptica.

Objetivo 1.1 – Identifique os componentes estruturais de uma sinapse e como cada um participa do processo de transmissão sináptica.

Objetivo 1.2 – Diferencie a transmissão sináptica química da elétrica.

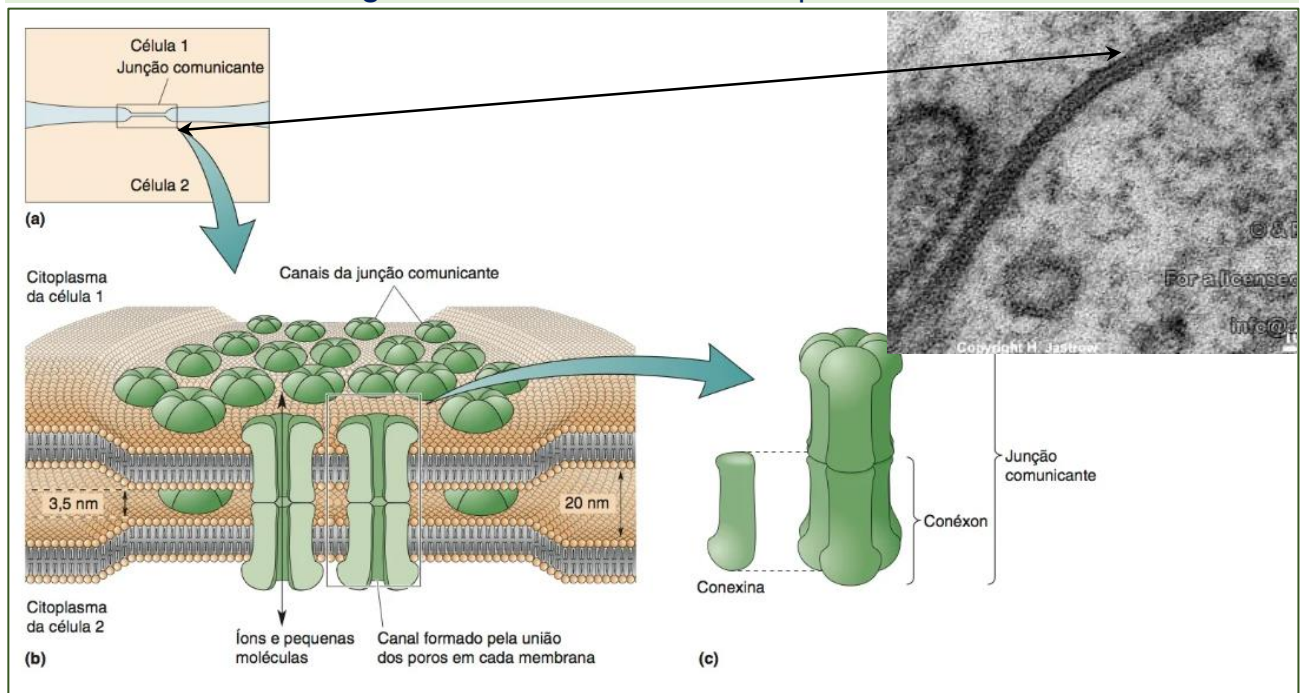
Figura 1 – Estrutura de um neurônio



Fonte: Junqueira; Carneiro, 2023.

Sinapse elétrica

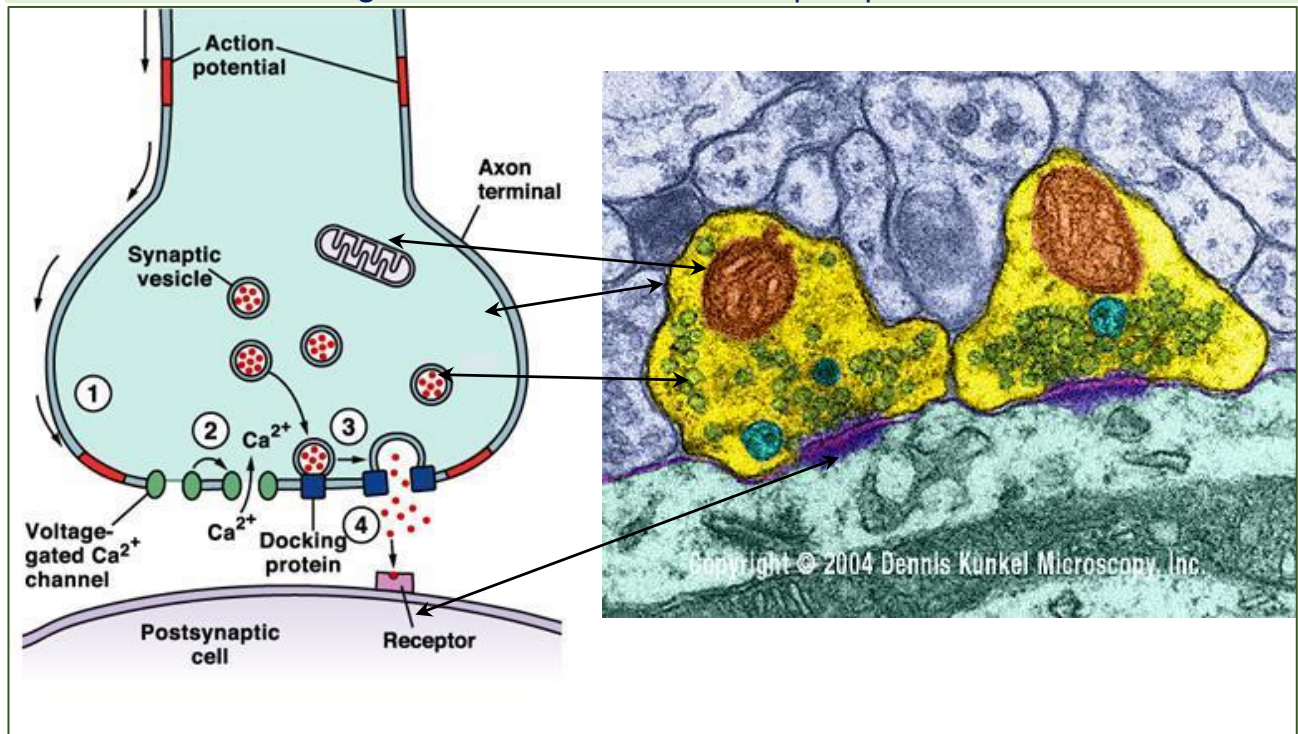
Figura 2 – Ultraestrutura da sinapse elétrica.



Fonte: Bear, 2023.

Sinapse química

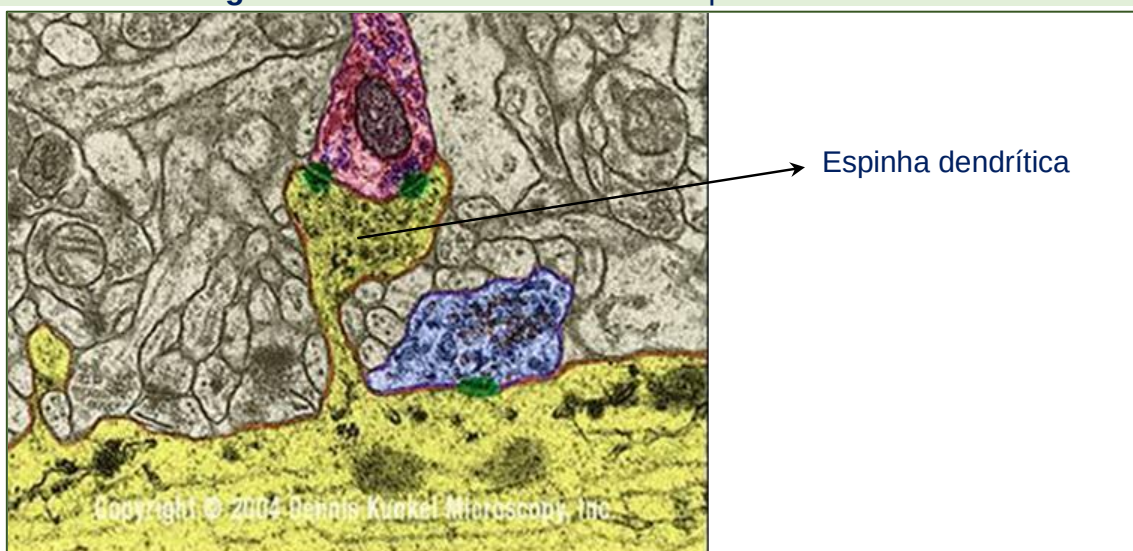
Figura 3 – Ultraestrutura da sinapse química.



Fonte: Domínio público, 2024.

O que são as zonas ativas das sinapses? Qual o papel do potencial de ação na transmissão sináptica? O que são potenciais pós-sinápticos? Esses potenciais podem ser inibitórios e excitatórios? Se sim qual a diferença?

Figura 4 – Ultraestrutura de uma espinha dendrítica.



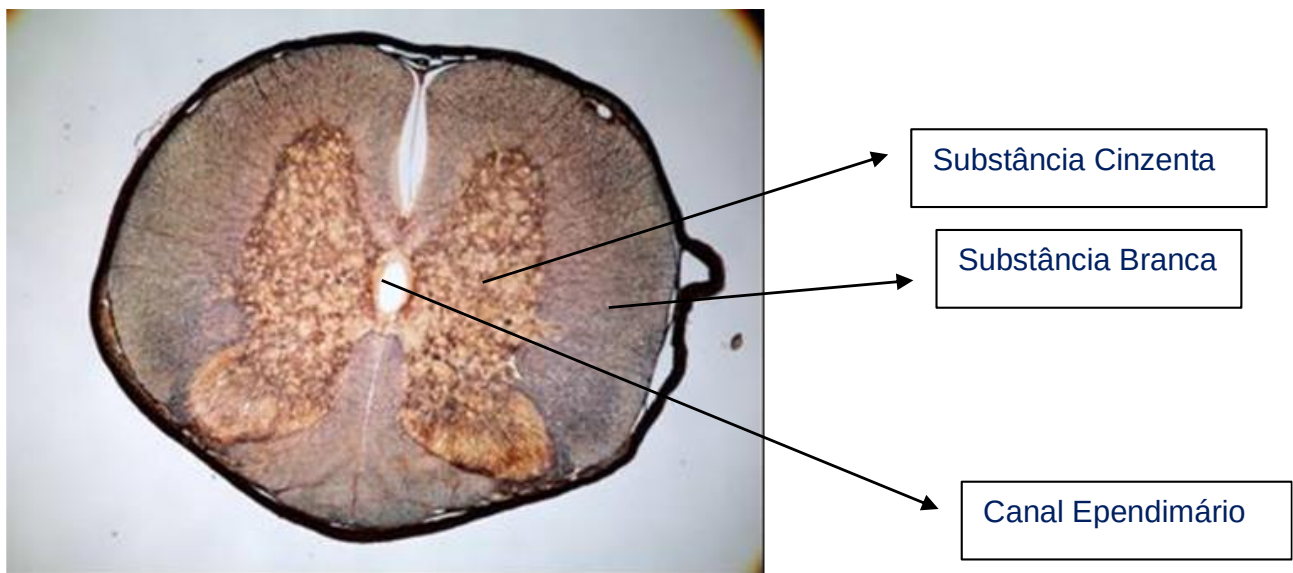
Fonte: Domínio público, 2024.

Na fotomicrografia acima aparece duas sinapses identificadas por dois terminais axônios, um roxo (em uma espinha dendrítica) e um azul (na haste dendrítica). Qual o significado funcional disso? O que é uma espinha dendrítica?

Objetivo 2 – Identifique a estrutura histológica da medula espinhal

- a) Substância cinzenta central (a) corno dorsal; (b) corno ventral. O que significa substância cinzenta?
- b) Substância branca periférica. O que significa substância branca.
- c) Canal do epêndima (remanescente da luz do tubo neural). O que tem dentro do canal endimário?

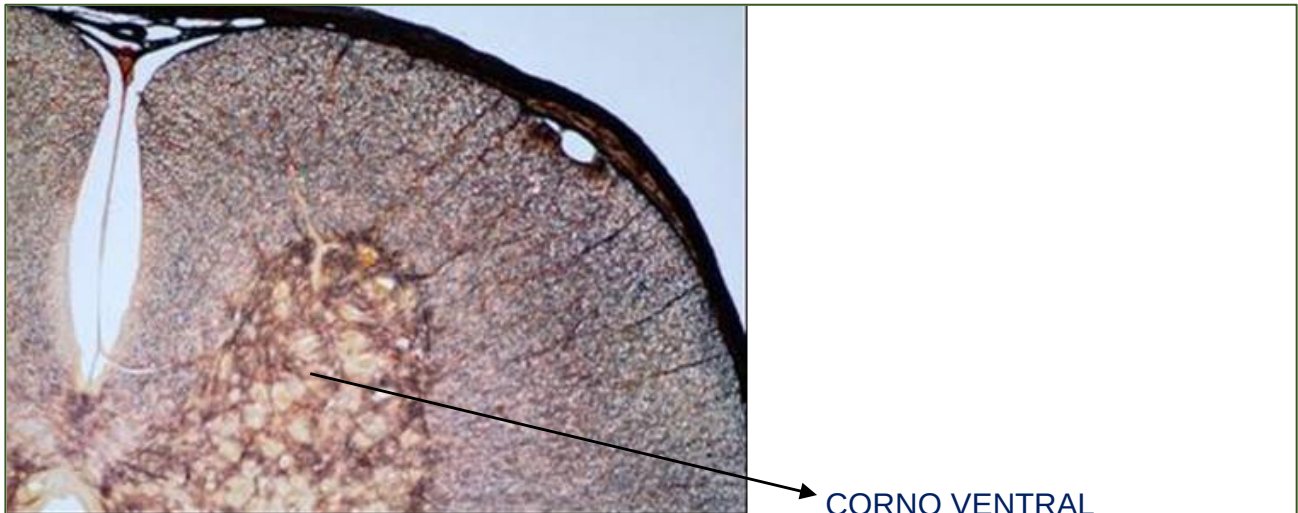
Figura 5 – Corte transversal da medula espinhal



Fonte: Autores, 2024.

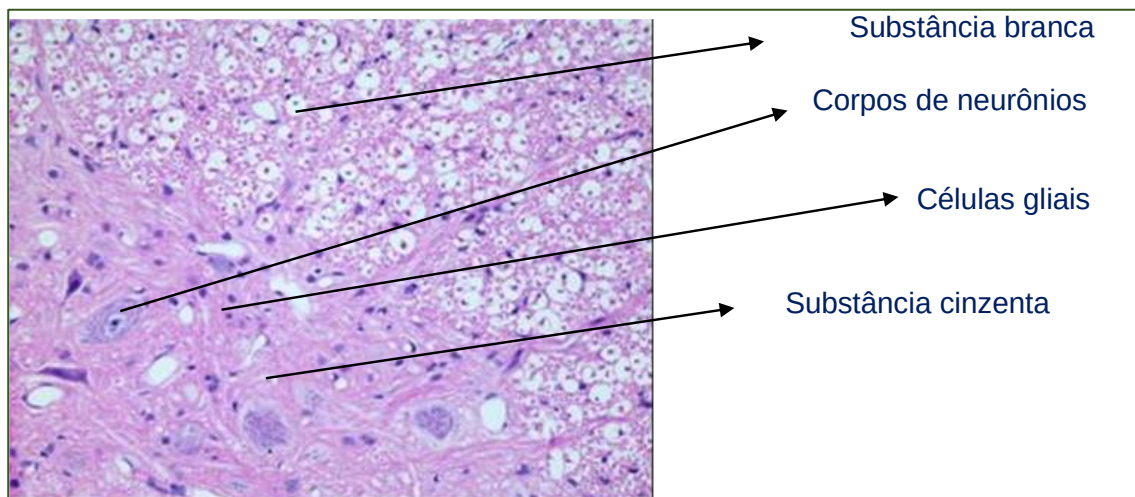
d) Identifique a região anterior e posterior da medula espinhal

Figura 6 – Corte transversal da medula espinhal.



Fonte: Autores, 2024.

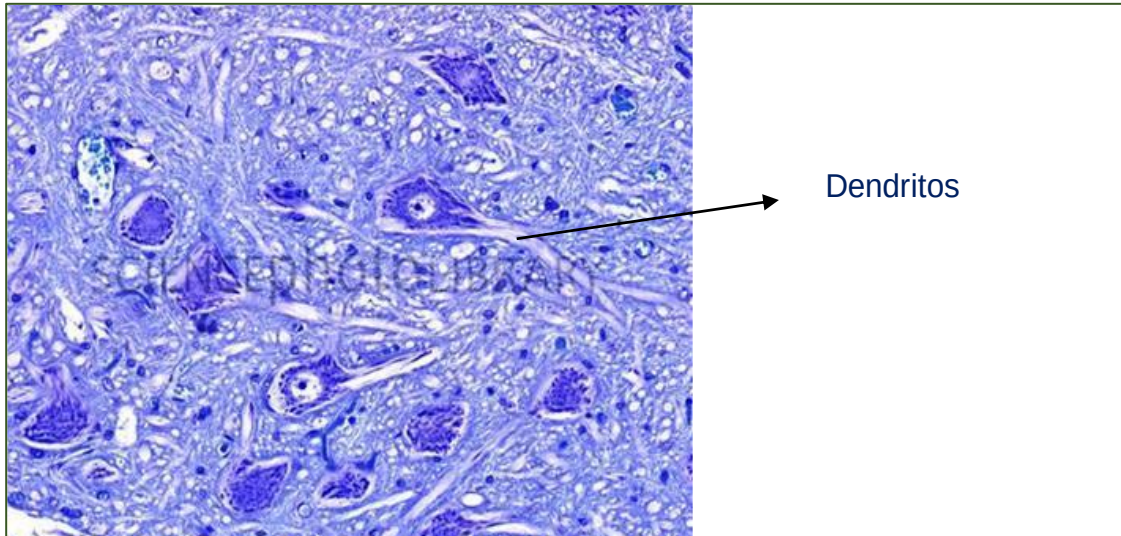
Figura 7 – Corno ventral da medula espinhal.



Fonte: Autores, 2024.

Corno ventral

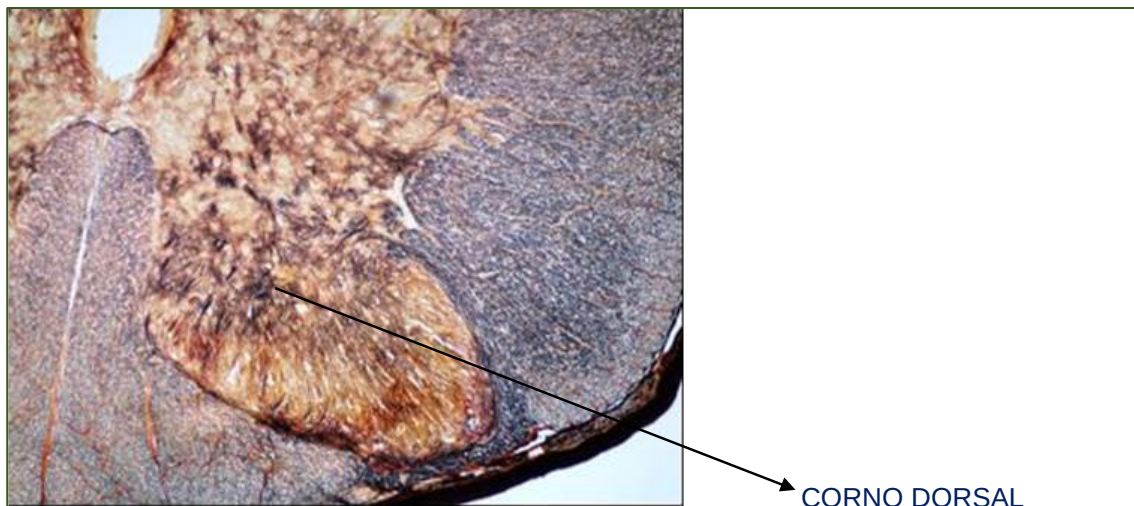
Figura 8 – Corno ventral da medula espinhal.



Fonte: Domínio público, 2024.

- e) Observe os neurônios do corno ventral e do corno dorsal. Identifique se há diferenças entre esses neurônios quanto ao tamanho e a forma. Que tipos de neurônios quanto a funcionalidade temos nessas duas regiões? Sensitivos, motores e interneurônios?
- f) Onde os neurônios do corno ventral fazem sinapse?

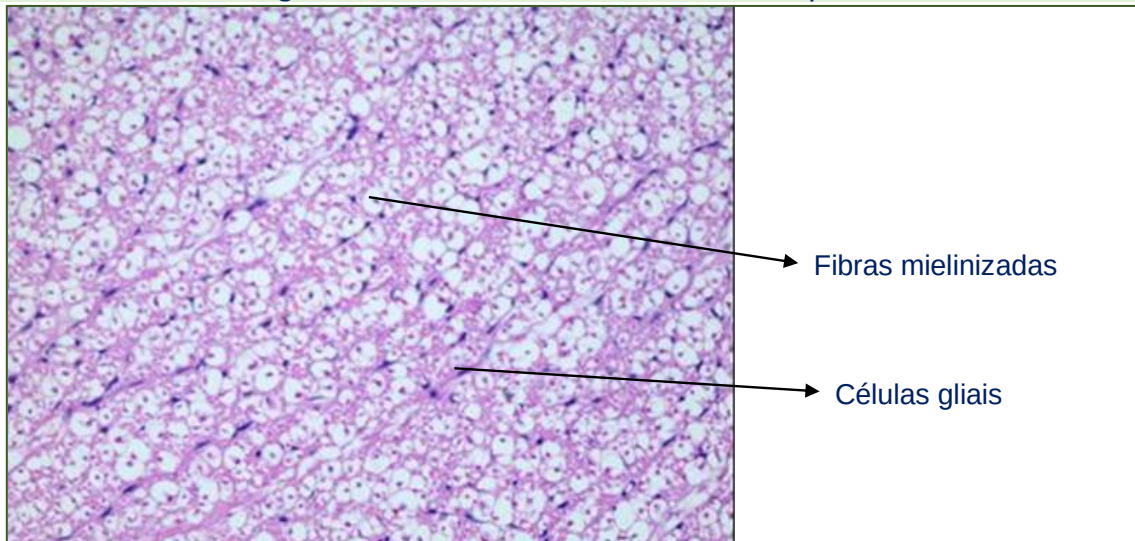
Figura 9 – Corno dorsal da medula espinhal



Fonte: Autores, 2024.

- g) Qual a constituição histológica da substância branca da medula espinhal? Que tipos de células gliais encontramos nessa região?

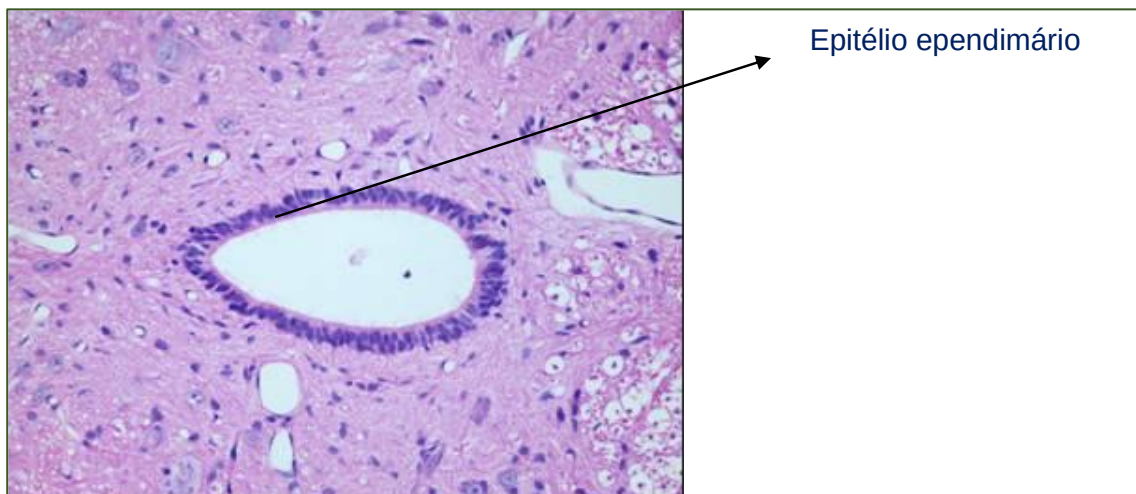
Figura 10 – Corno dorsal da medula espinhal



Fonte: Autores, 2024.

O canal ependimário é revestido por epitélio simples cúbico a colunar.

Figura 11 – Canal ependimário da medula espinhal.



Fonte: Autores, 2024.

Objetivo 3 – Identificar as estruturas histológicas que compõe o gânglio sensitivo

Figura 12 – Gânglio sensitivo



Fonte: Autores, 2024.

Gânglio da raiz dorsal

Com aumento pequeno, localize nas proximidades da medula um gânglio da raiz dorsal. É constituído pelo conjunto dos Pericários dos neurônios pseudounipolares e fibras nervosas dessas células. Os pericários distribuem-se preferencialmente na periferia do gânglio. Cada corpo celular é envolto por uma camada de células cúbicas, denominadas Células Satélites. A porção central é ocupada, principalmente por fibras nervosas mielínicas seccionadas longitudinalmente. Identifique as células que fazem a bainha de mielina.

Objetivo 4 – Identificar na lâmina de feixe vâsculo nervoso a organização histológica dos nervos

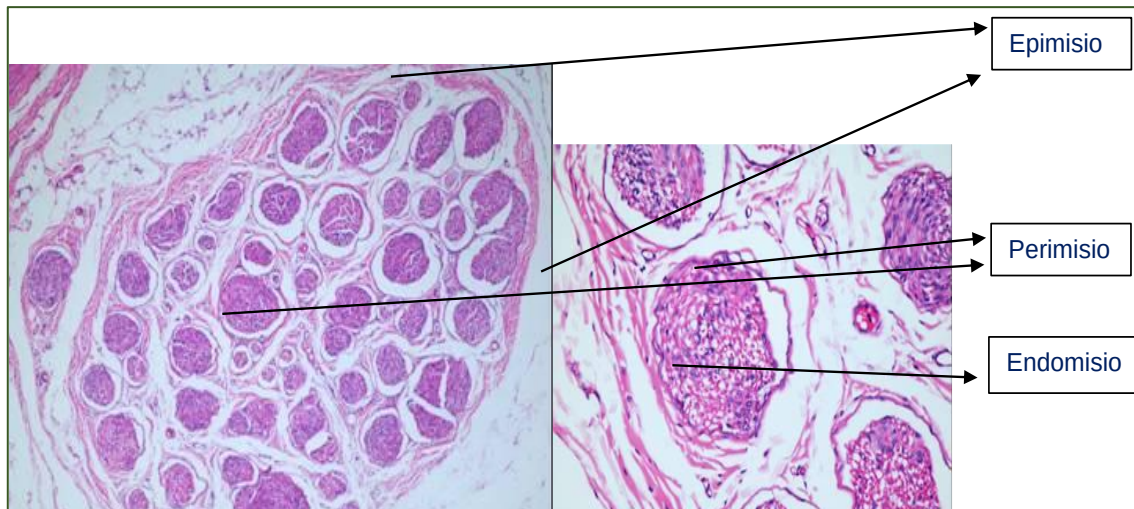
Figura 13 – Nervo



Fonte: Autores, 2024.

- a) Observe que o corte contém dois vasos de médio calibre (artérias e veias) e vários nervos, unidos por tecido conjuntivo. De que tecidos são feitas essas membranas e qual sua função? O Perineuro se destaca muito bem. O epineuro envolve o conjunto dos feixes de fibras nervosas. O limite entre epineuro e tecido conjuntivo adjacente não é nítido.
- b) Observe as fibras nervosas, elas foram cortadas transversalmente, obliquamente ou longitudinalmente? Qual o conceito de fibra nervosa? Identifique que essas fibras possuem diferentes diâmetros e quantidades de mielina. Do que é constituída a mielina? Identifique na lâmina axônios, bainha de mielina (imagem negativa), neurilema (citoplasma das células de Schwann), e endoneuro. Esses dois últimos são facilmente confundidos, pois os núcleos próximos às fibras podem ser de fibroblastos ou de células de schwann. Identifique os axônios e seus envoltórios de mielina na lâmina.

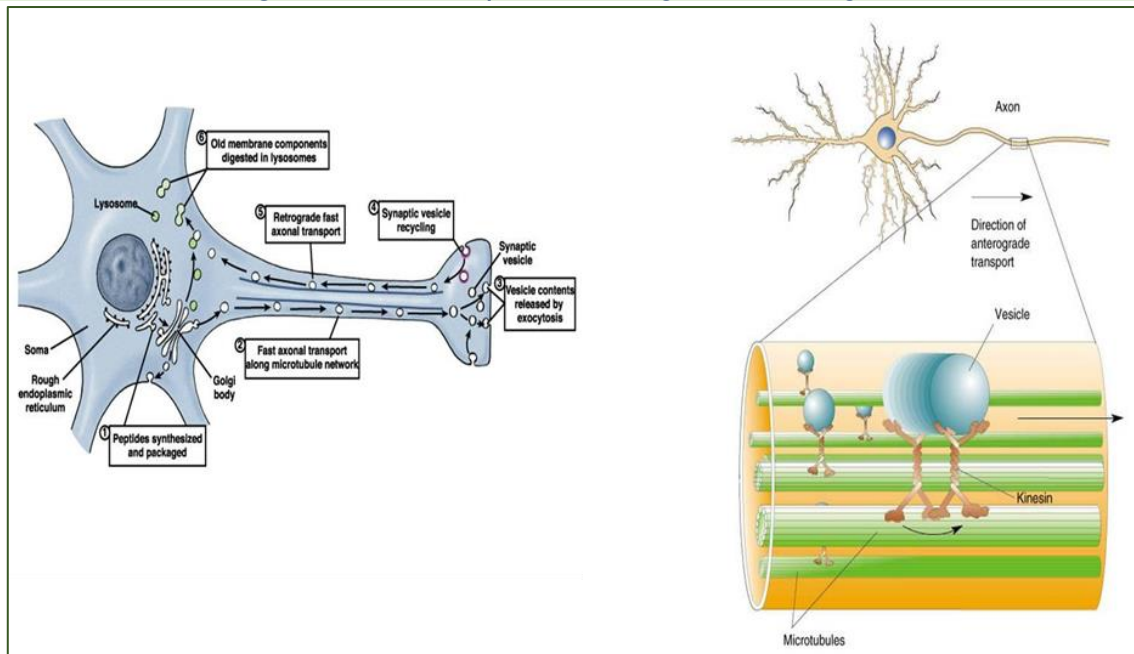
Figura 14 – Revestimentos do nervo



Fonte: Autores, 2024.

- c) Qual a função principal de uma fibra nervosa? Ao longo do axônio ocorrem os processos de transporte anterógrado e retrógrado. Como funcionam esses transportes? Qual a função desse transporte?

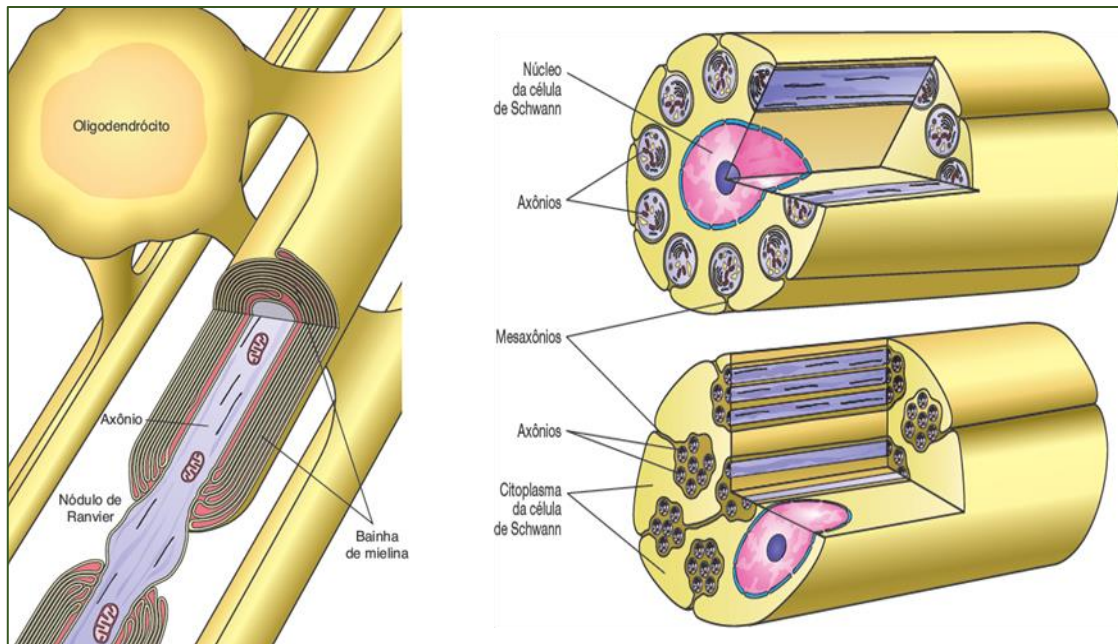
Figura 15 – Transporte anterógrado e retrógrado



Fonte: Autores, 2024.

- d) As fibras nervosas podem ser mielinizadas ou amielínicas. Quais células estão envolvidas no processo de mielinização no sistema nervoso central e no sistema nervoso periférico? No que é diferente essa mielinização do ponto de vista funcional e estrutural?

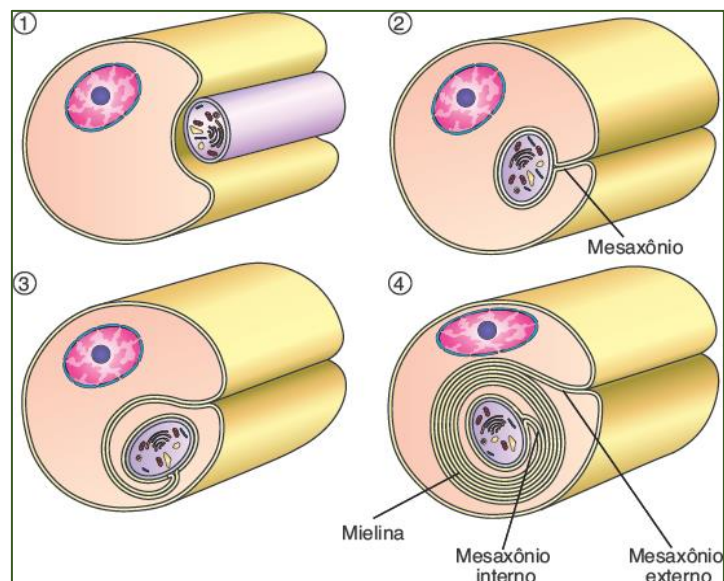
Figura 16 – Oligodendrócito e célula de Schwann



Fonte: Junqueira; Carneiro, 2024.

- e) A bainha de mielina exerce um importante papel no processo de condução elétrica. Observe a organização ultra-estrutural da mielina, identifique como se dá o processo de mielinização, a constituição bioquímica dessa estrutura, assim como o mecanismo através do qual essa estrutura facilita a condução elétrica.

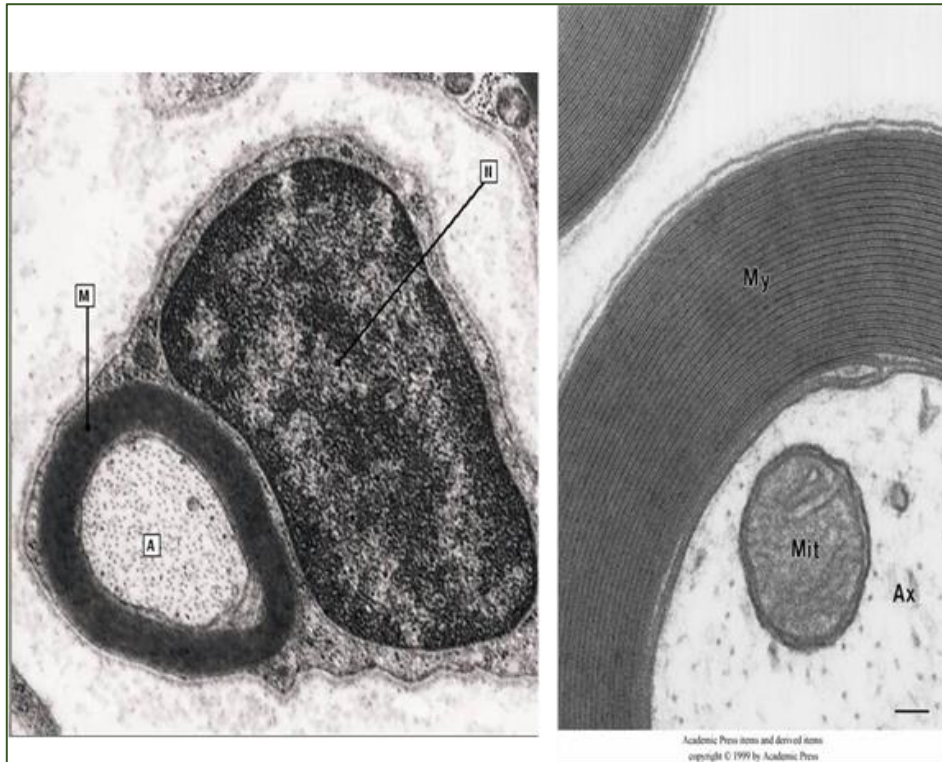
Figura 17 – Bainha de mielina formada



Fonte: JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2024.

Interprete as fotomicrografias abaixo:

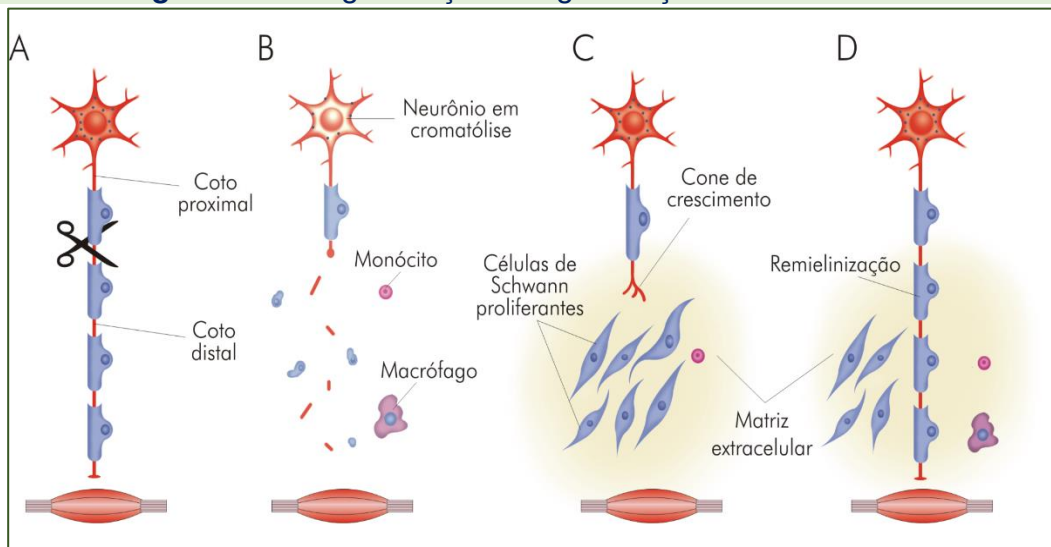
Figura 18 – Eletromicrografia da bainha de mielina



Fonte: Domínio público, 2024.

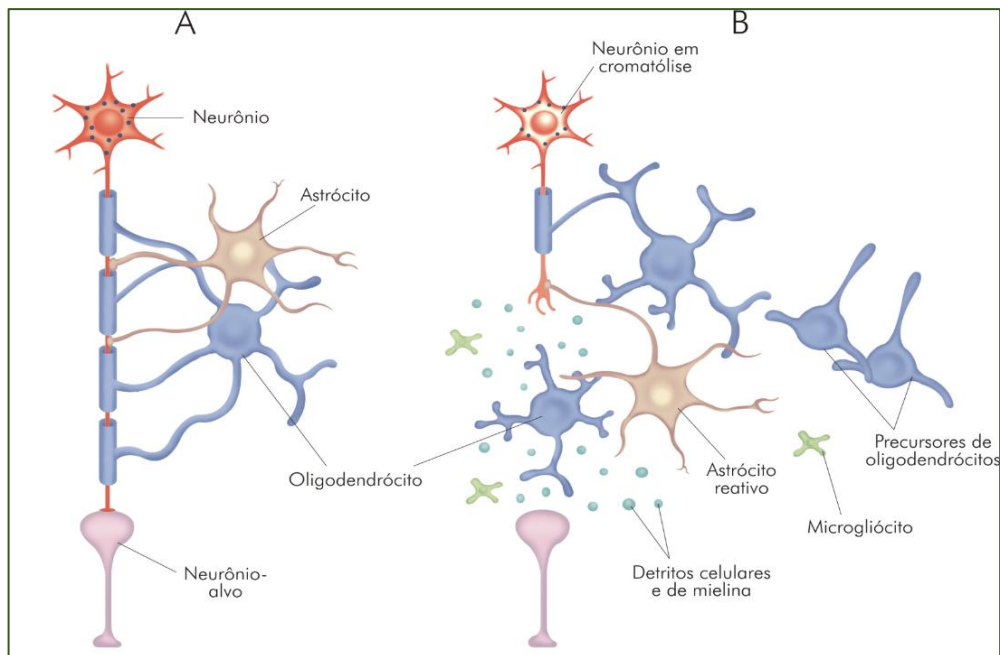
- f) Observe as figuras abaixo que tratam de processos de degeneração e regeneração em fibra nervosa. Esse processo ocorre da mesma forma no sistema nervoso central e no sistema nervoso periférico?

Figura 19 – Degeneração e regeneração da fibra nervosa



Fonte: Domínio público, 2024.

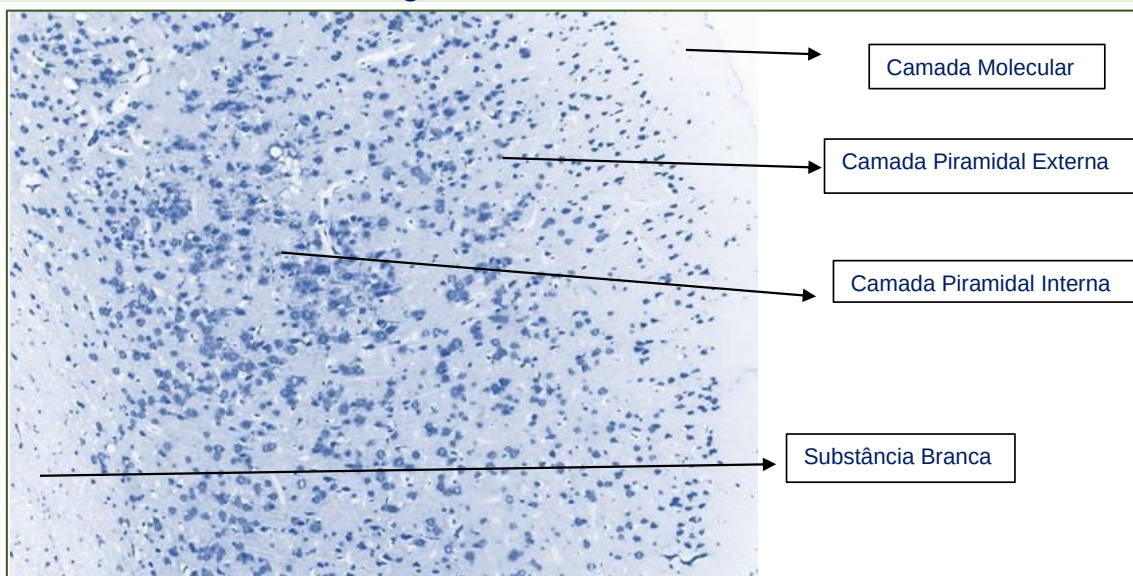
Figura 20 – Degeneração e regeneração da fibra nervosa



Fonte: Domínio público, 2024.

Objetivo 5 – O córtex cerebral forma a substância cinzenta, e é formado por várias camadas de células, sendo a mais superficial a camada molecular, e as mais destacáveis, as camadas de células piramidais.

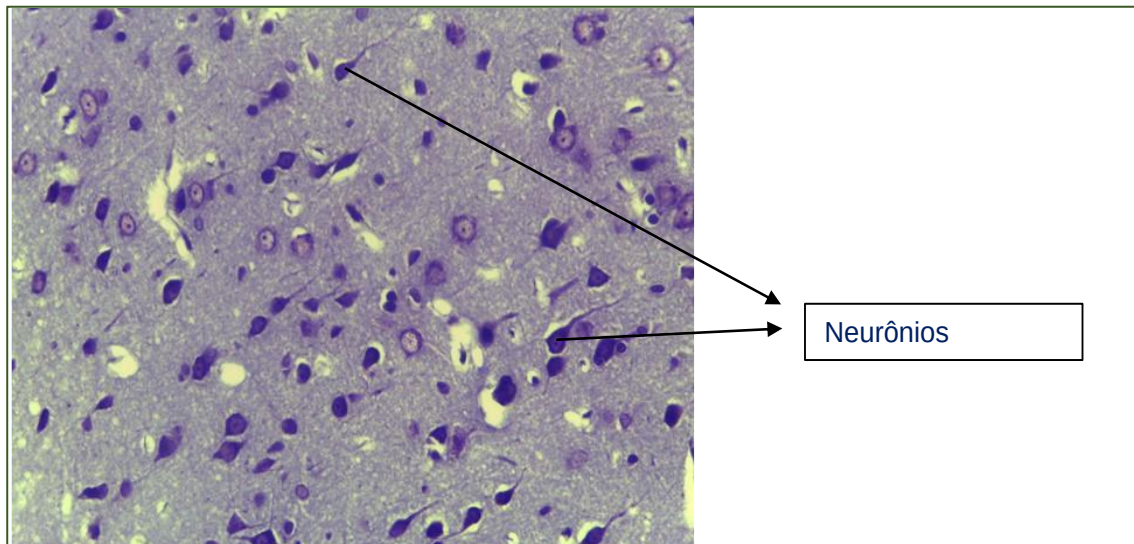
Figura 21 – Córtex cerebral



Fonte: Autores, 2024.

Qual trajeto o neurônio piramidal percorre no trato cortico espinhal lateral?

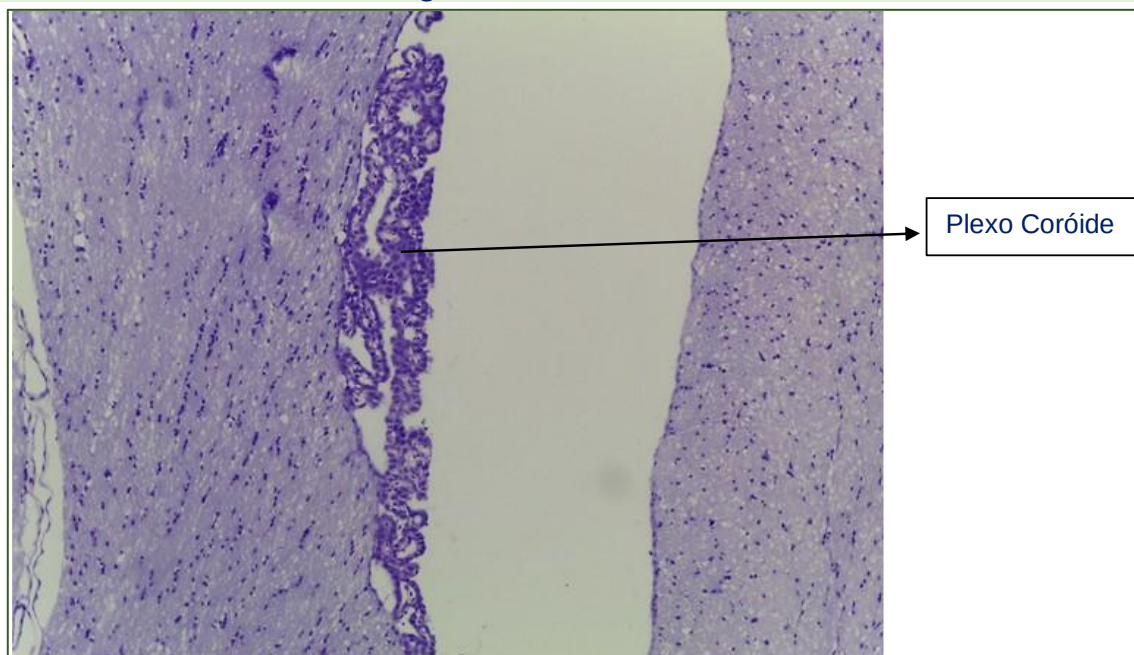
Figura 22 – Neurônios piramidais



Fonte: Autores, 2024.

A figura abaixo mostra plexos coróides dentro dos ventrículos. No interior dos ventrículos encontramos líquido céfalo-raquidiano, qual a composição desse líquido e função? Qual a estrutura histológica dos plexos coróides e sua função.

Figura 23 – Plexo coróide



Fonte: Autores, 2024.



ATLAS DE NEUROANATOMIA

Selma Kazumi da Trindade Noguchi^I; Daniel Figueiredo Alves da Silva^{II}; Willian Hideo Miashiro Yamada^{III}; Luan Daher Fernandes^{IV}; Carlos Eduardo Oliveira da Silva^V; Vanessa Novaes Barros^{VI}; Stefanne de Cássia Pereira da Silva^{VII}

^IDoutora em Ensino em saúde na Amazônia, Universidade do Estado do Pará, Brasil.

Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-6892-4718>

^{II}Doutorando em Ensino em saúde na Amazônia, Universidade do Estado do Pará, Brasil.

Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-9719-2085>

^{III}Acadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.

Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0003-0232-5733>

^{IV}Acadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.

Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-0369-3995>

^VAcadêmico de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.

Orcid iD: <https://orcid.org/0009-0004-4783-2733>

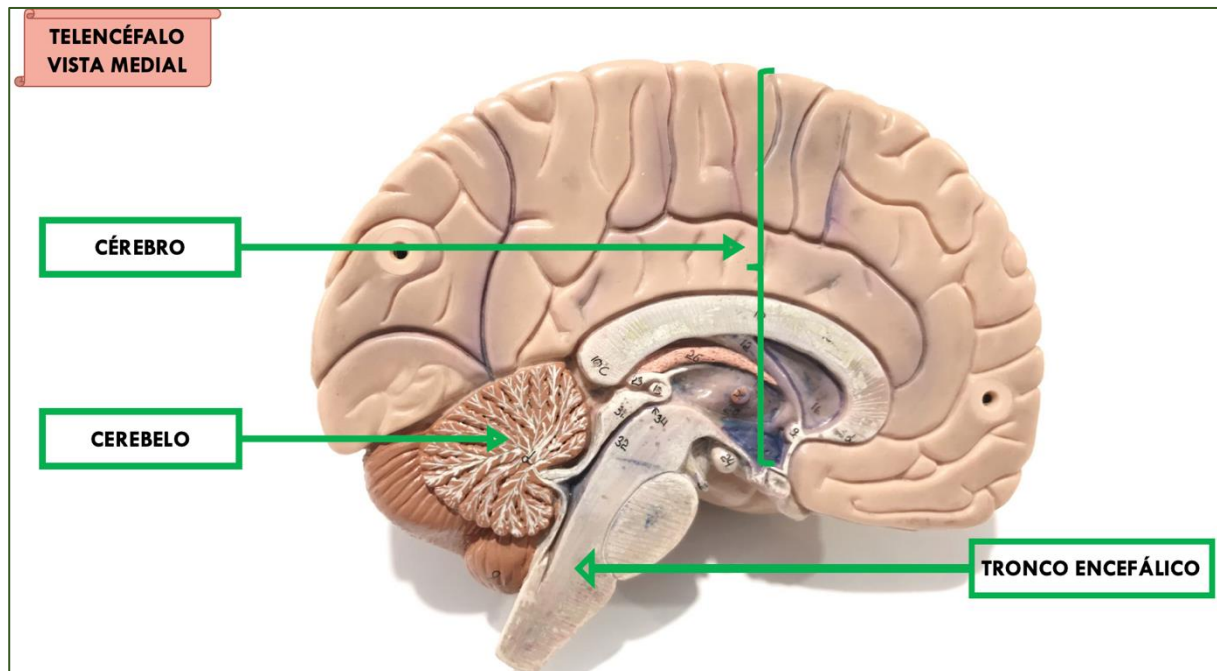
^{VI}Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.

Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-7460-8279>

^{VII}Acadêmica de Medicina, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Brasil.

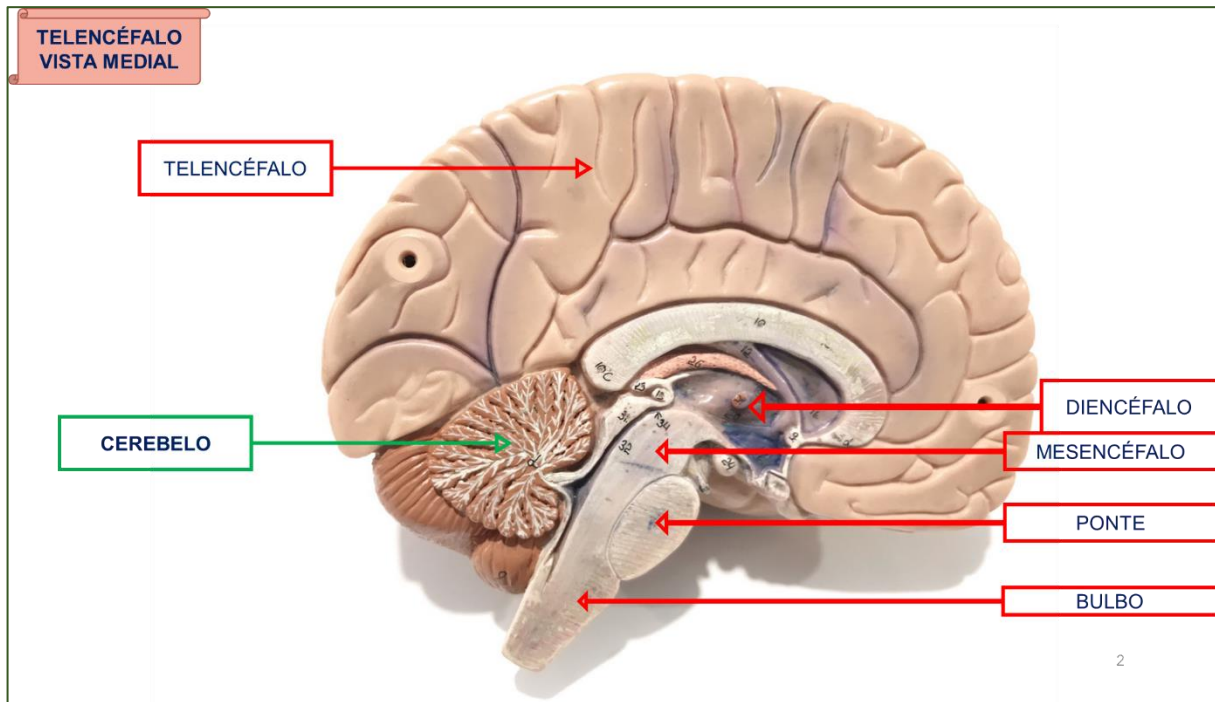
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-9093-5330>

Figura 1 – Telencéfalo vista medial



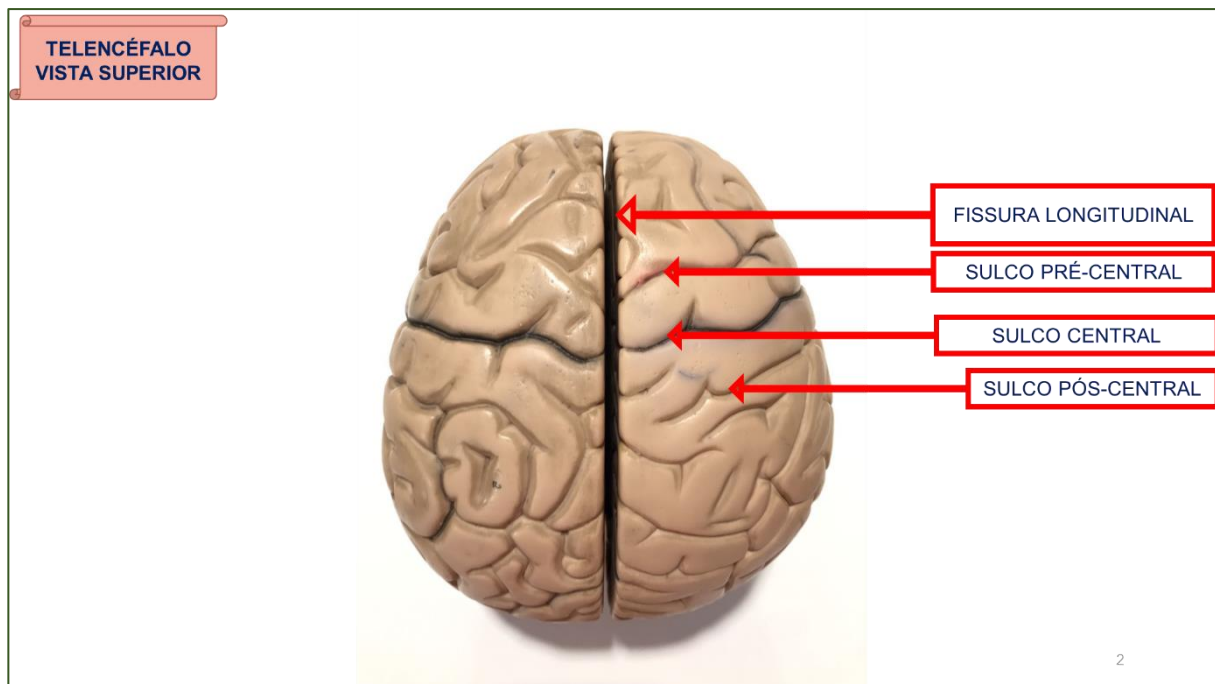
Fonte: Autores, 2024.

Figura 2 – Telencéfalo vista medial



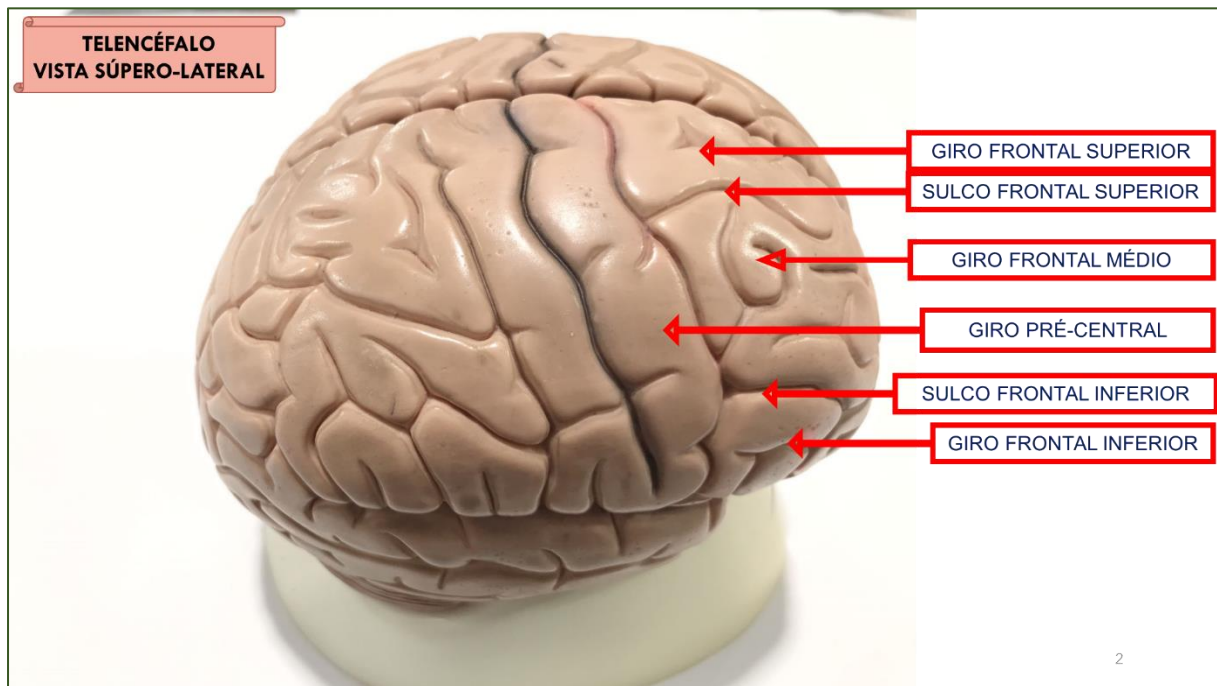
Fonte: Autores, 2024.

Figura 3 – Telencéfalo vista superior



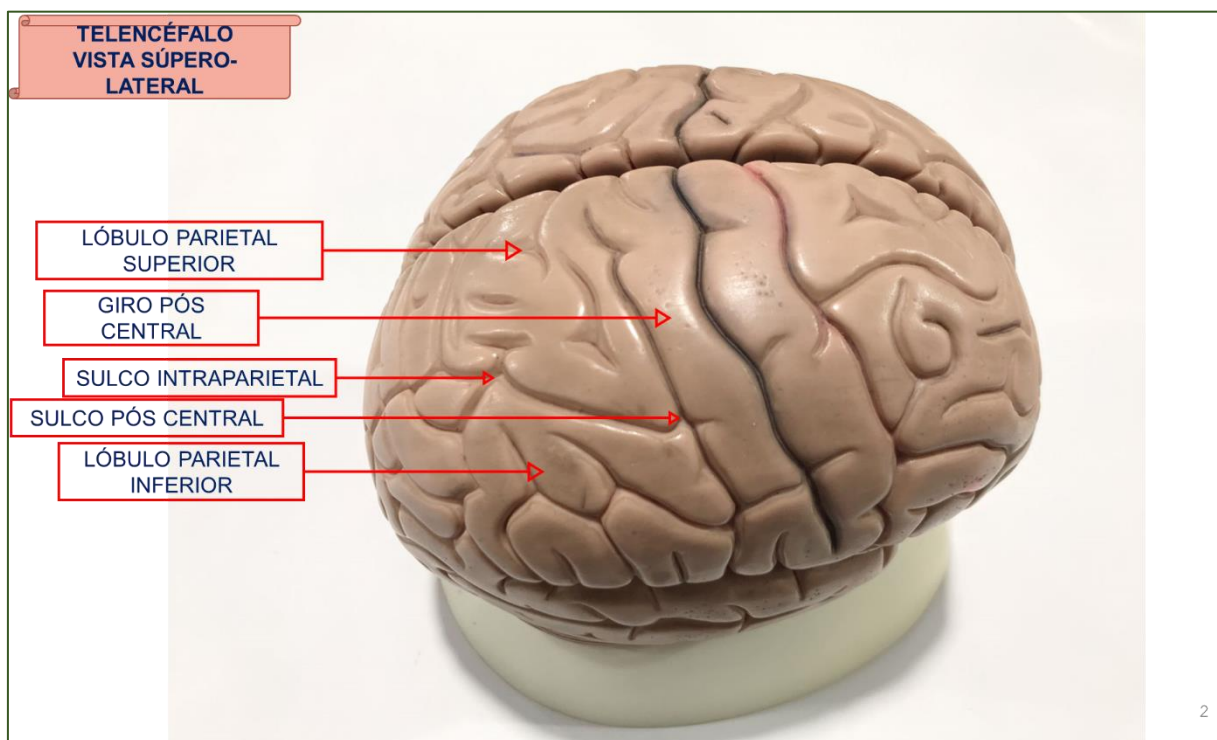
Fonte: Autores, 2024.

Figura 4 – Telencéfalo vista súpero-lateral



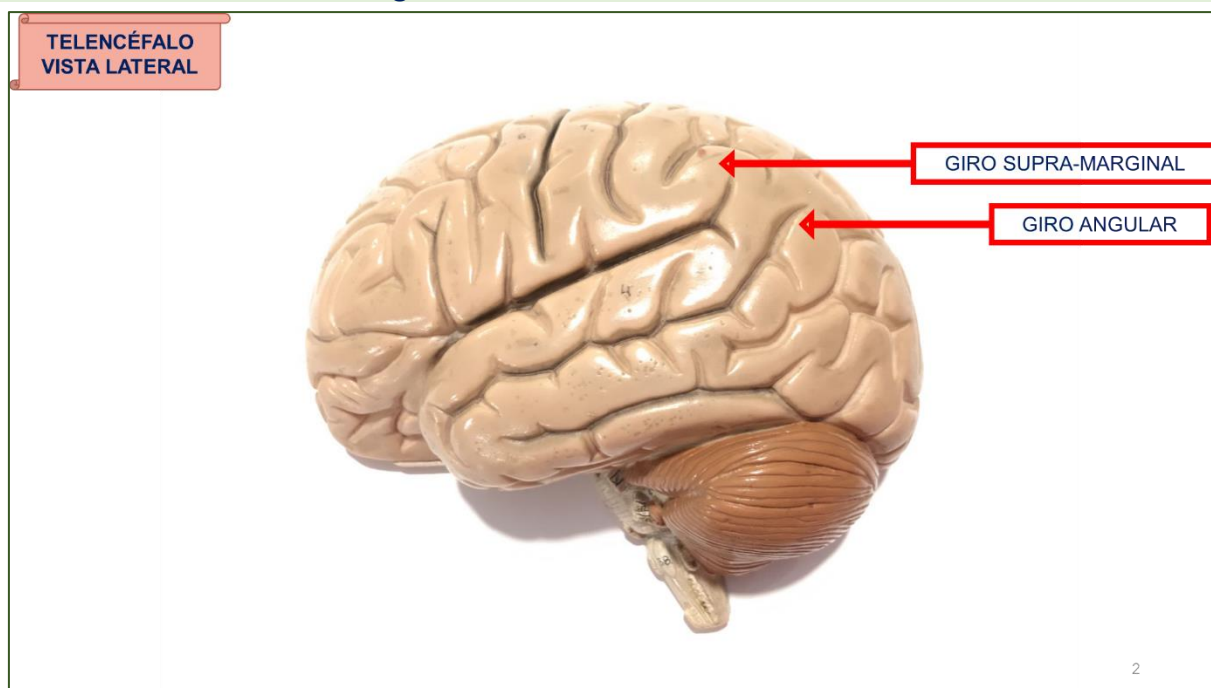
Fonte: Autores, 2024.

Figura 5 – Telencéfalo vista súpero-lateral



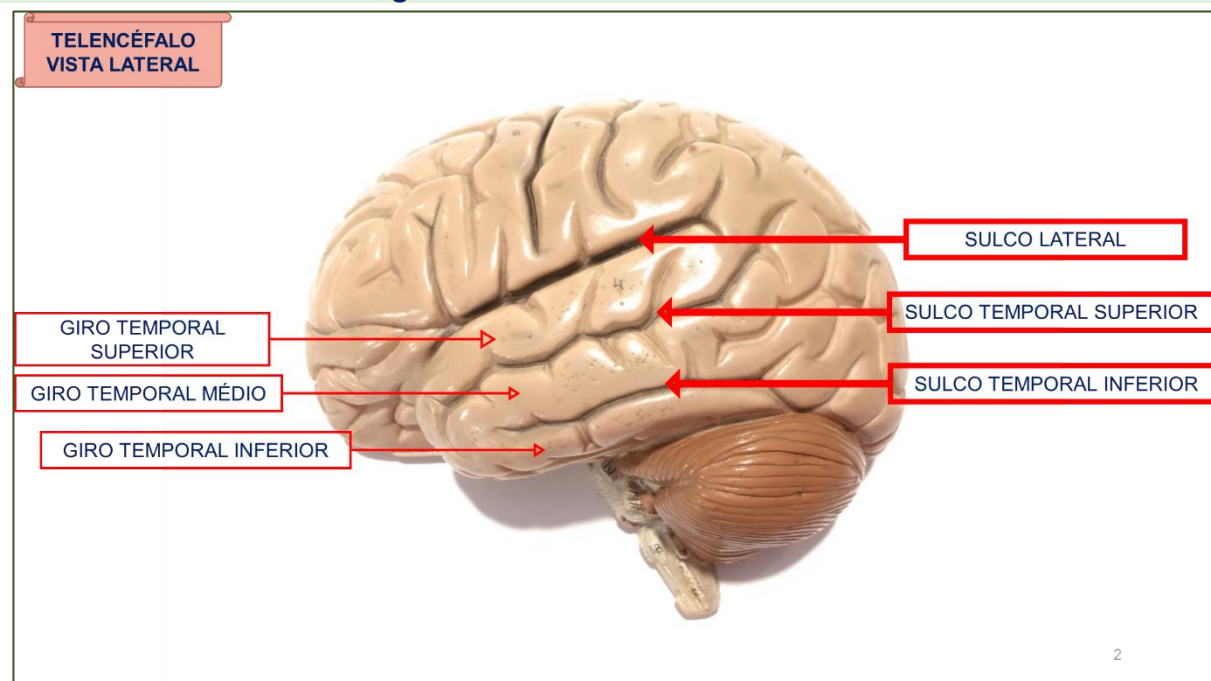
Fonte: Autores, 2024.

Figura 6 – Telencéfalo vista lateral



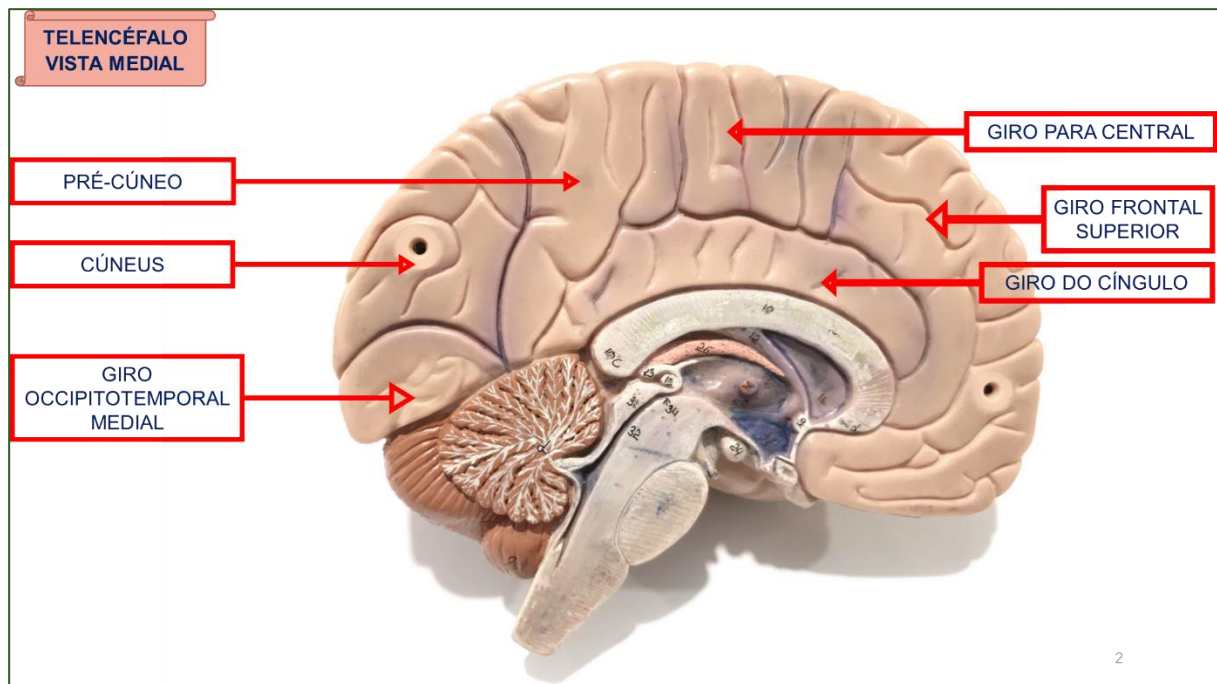
Fonte: Autores, 2024.

Figura 7 – Telencéfalo vista lateral



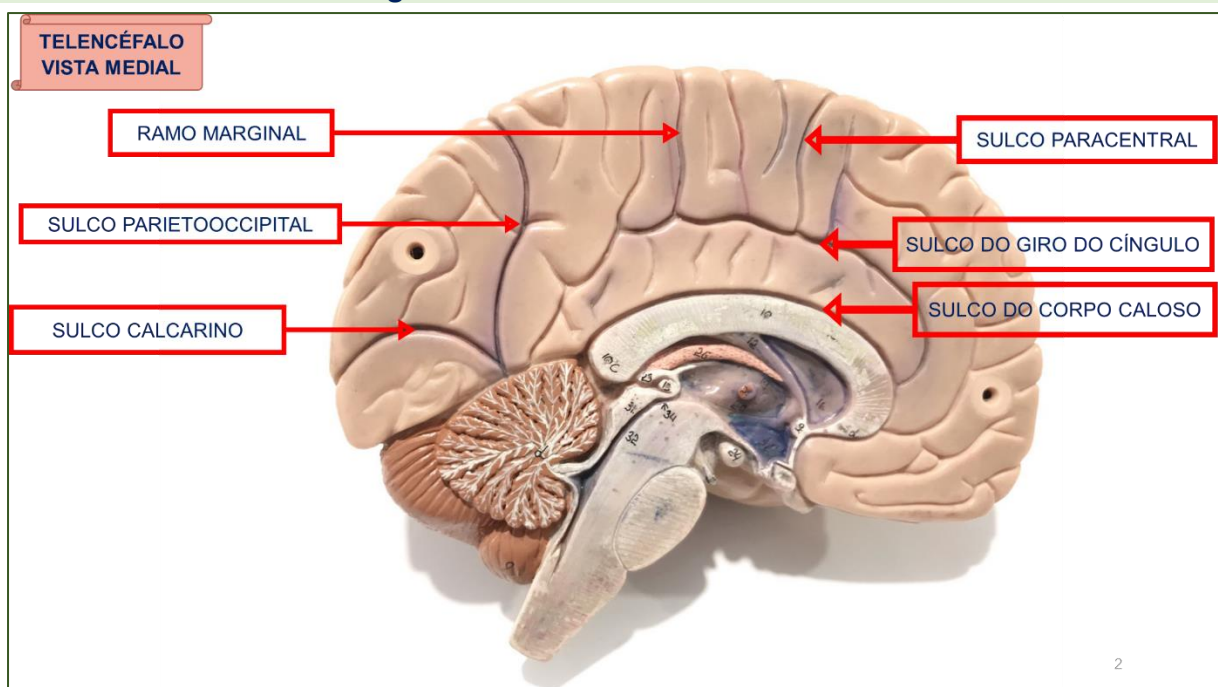
Fonte: Autores, 2024.

Figura 8 – Telencéfalo vista medial



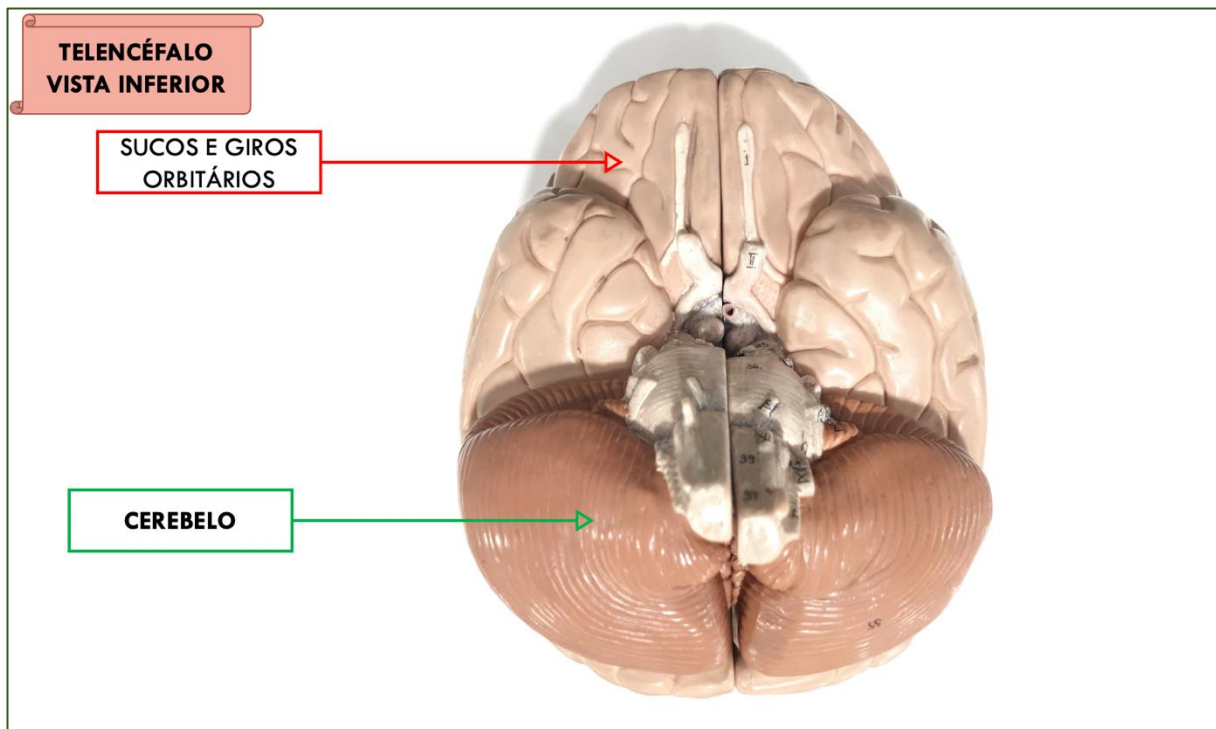
Fonte: Autores, 2024.

Figura 9 – Telencéfalo vista medial



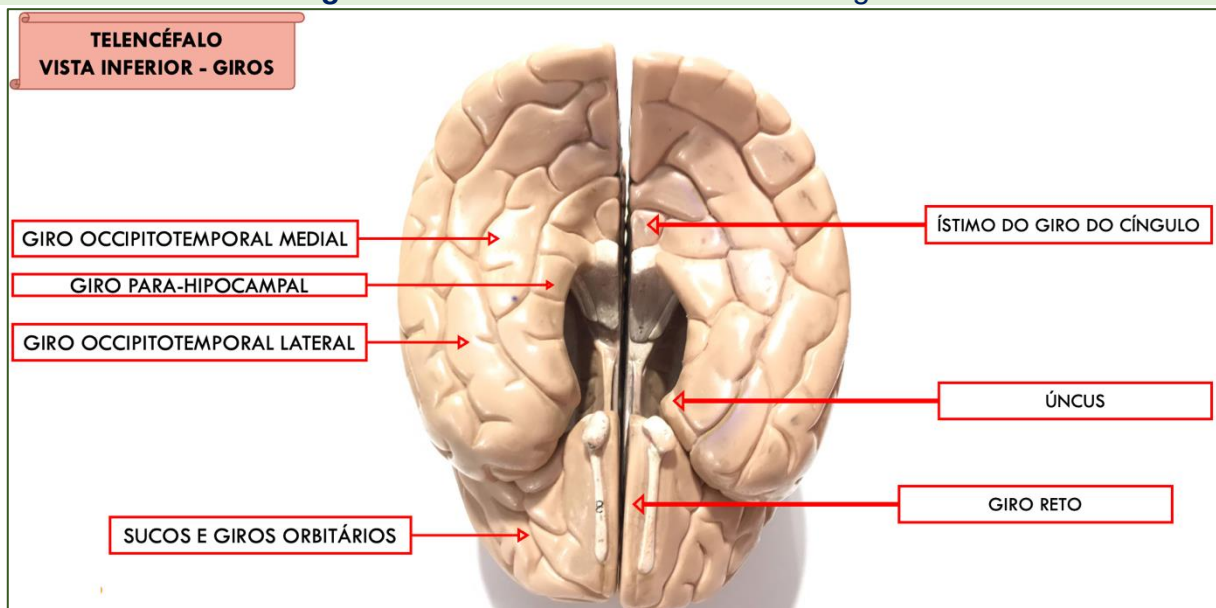
Fonte: Autores, 2024.

Figura 10 – Telencéfalo vista inferior



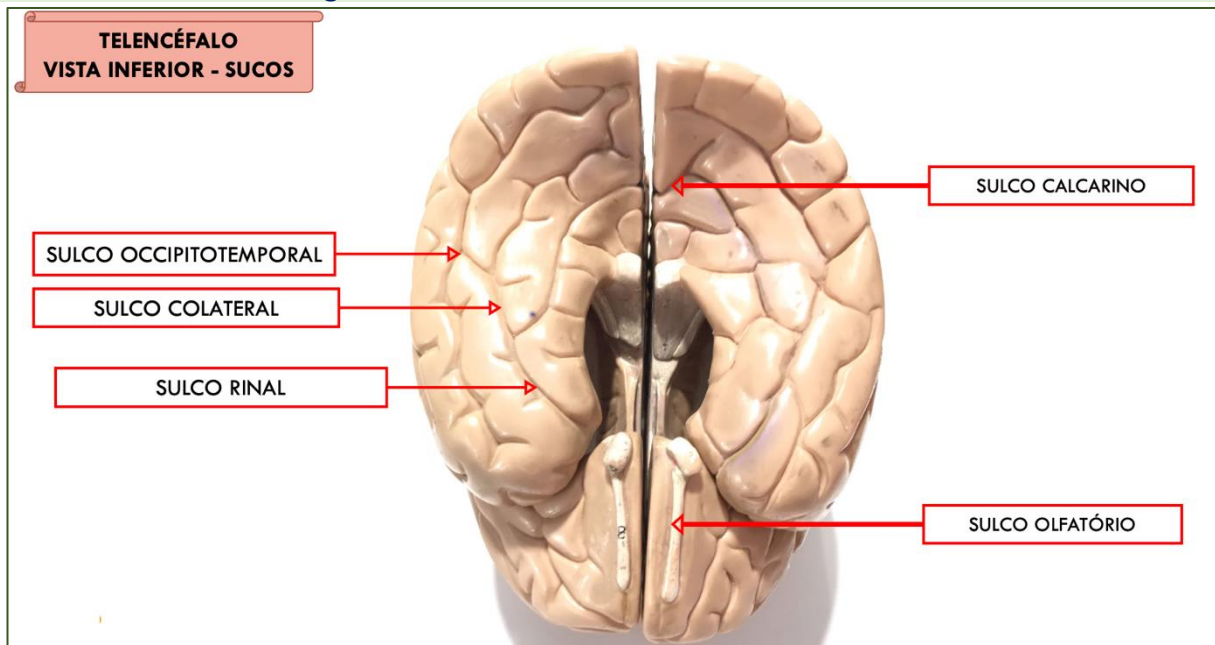
Fonte: Autores, 2024.

Figura 11 – Telencéfalo vista inferior – giros



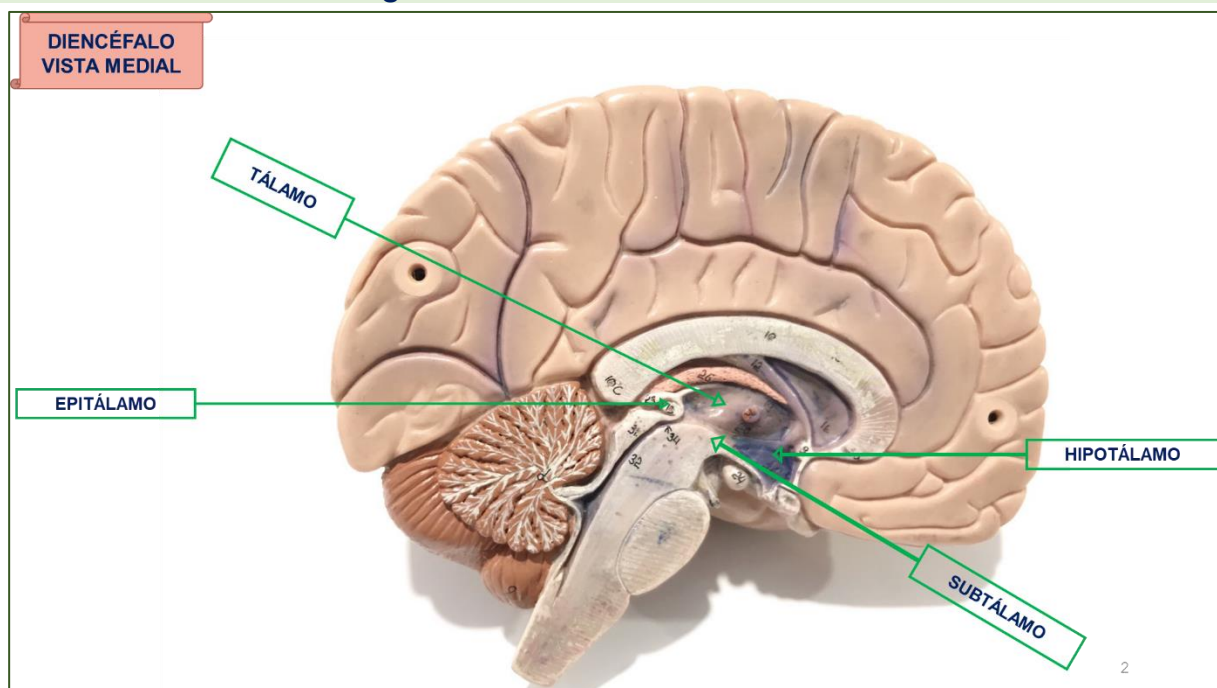
Fonte: Autores, 2024.

Figura 12 – Telencéfalo vista inferior – sucos



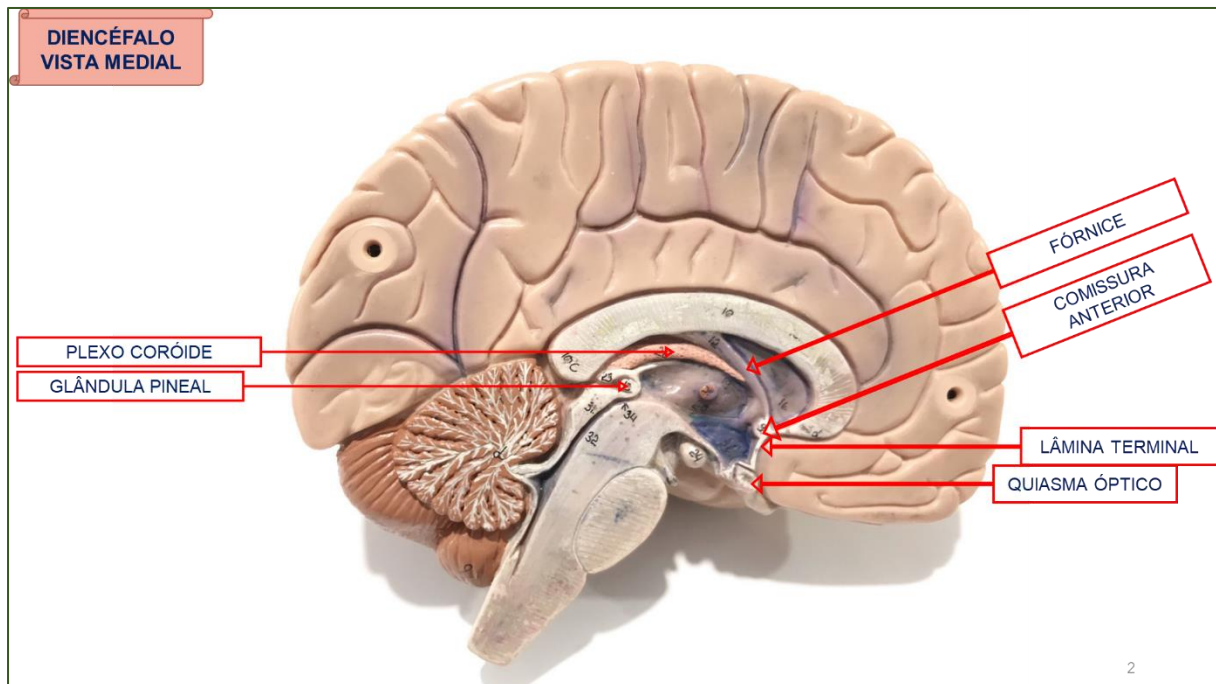
Fonte: Autores, 2024.

Figura 13 – Diencefalo vista medial



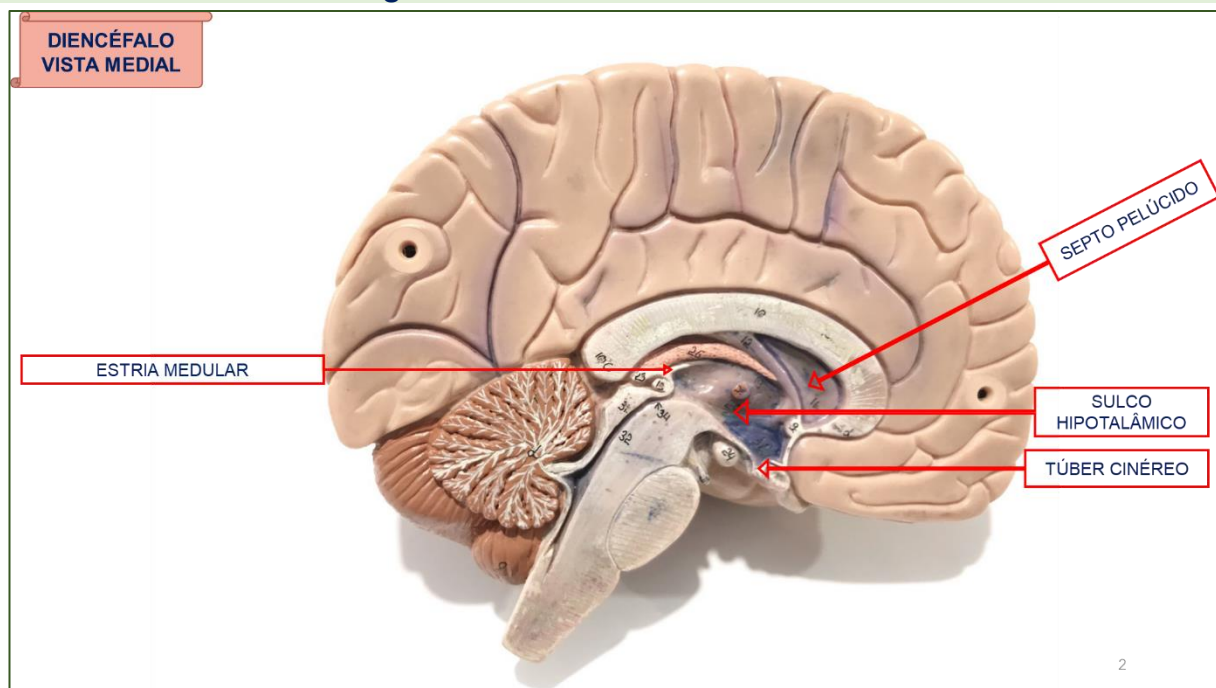
Fonte: Autores, 2024.

Figura 14 – Diencefalo vista medial



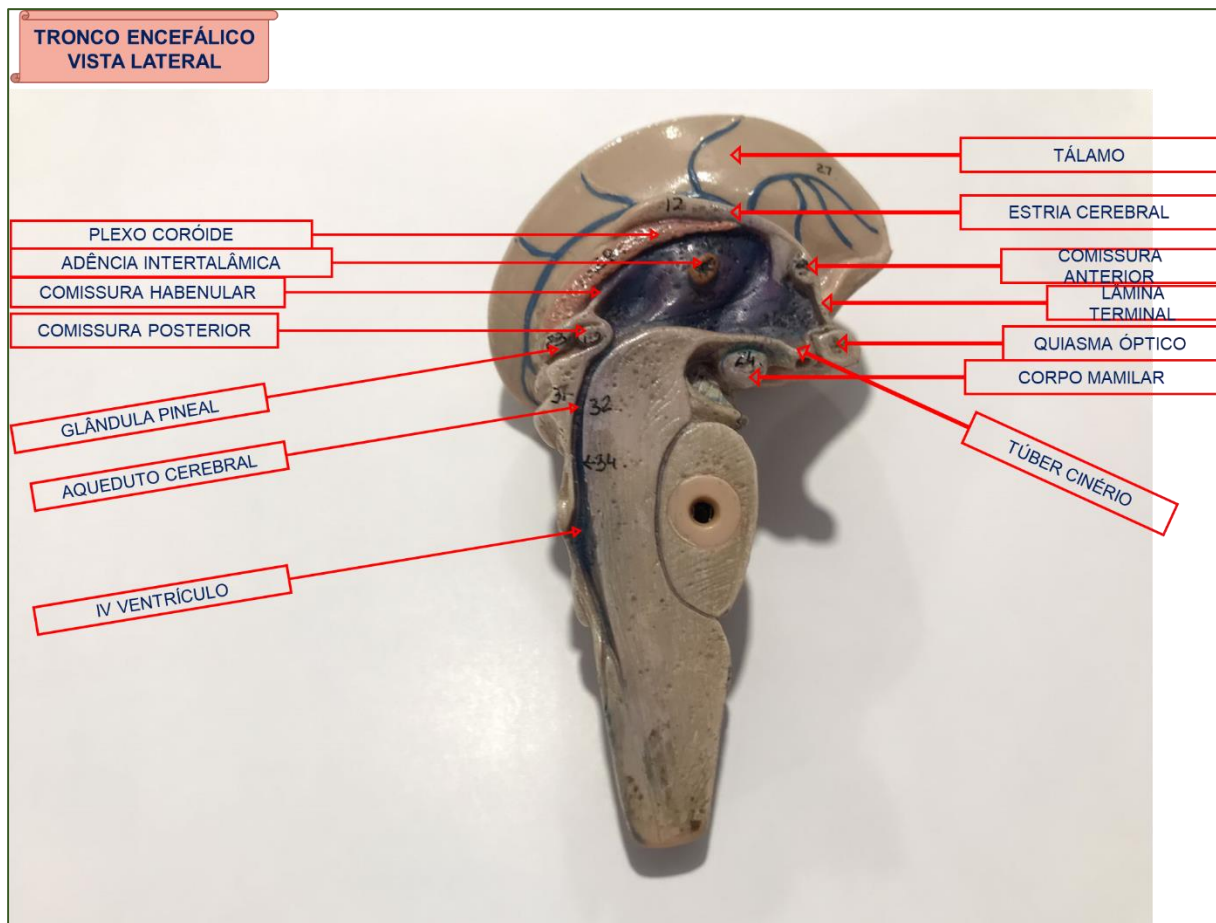
Fonte: Autores, 2024.

Figura 15 – Diencefalo vista medial



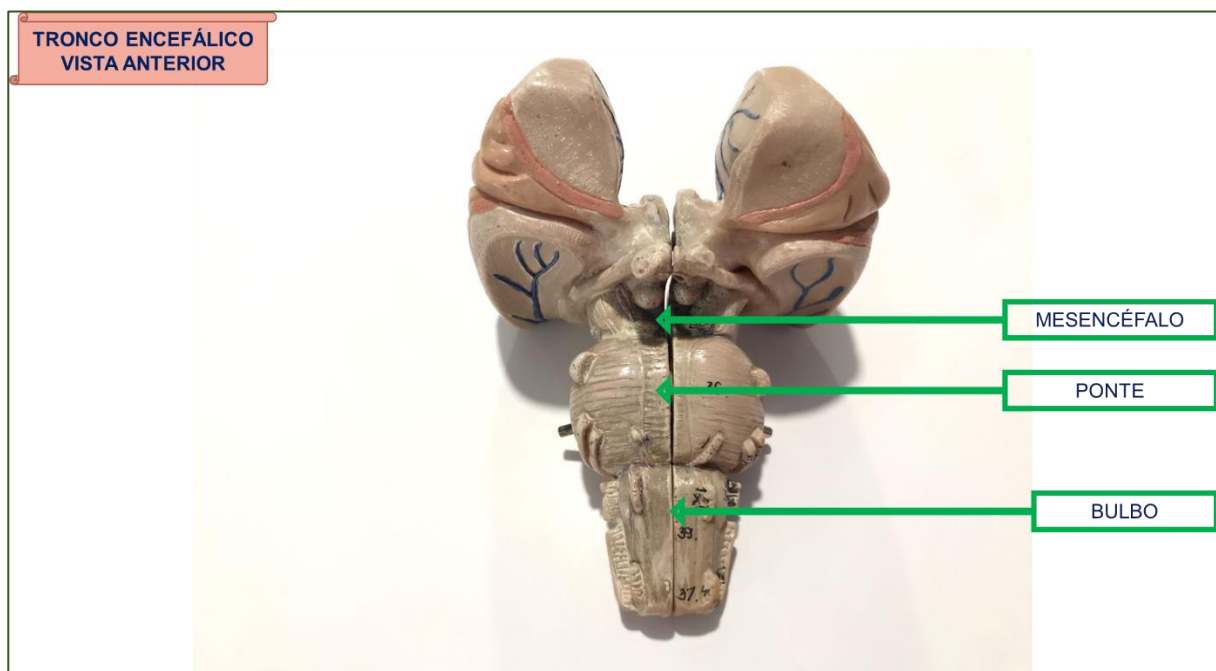
Fonte: Autores, 2024.

Figura 16 – Tronco encefálico vista lateral



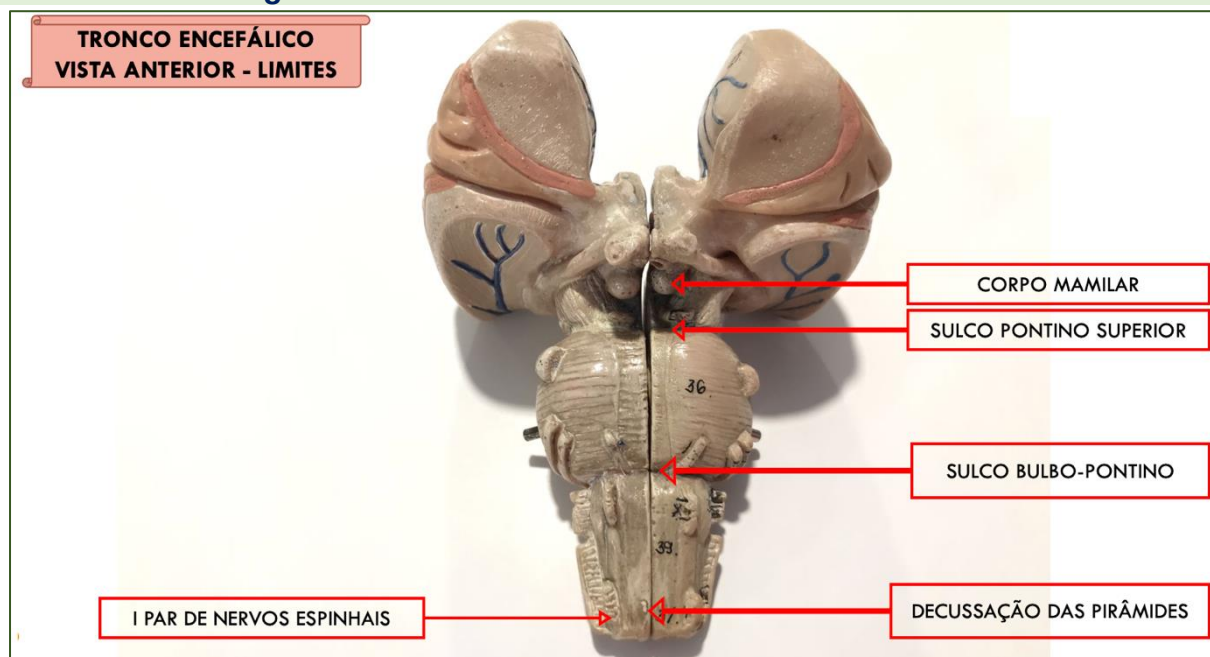
Fonte: Autores, 2024.

Figura 17 – Tronco encefálico vista anterior



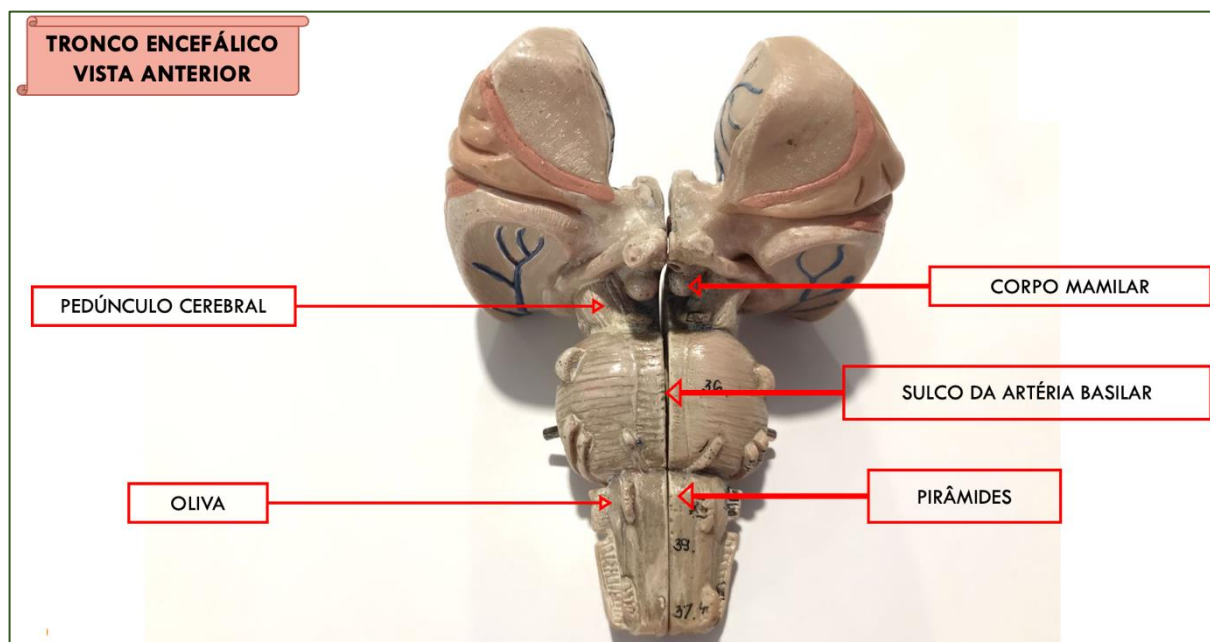
Fonte: Autores, 2024.

Figura 18 – Tronco encefálico vista anterior – limites



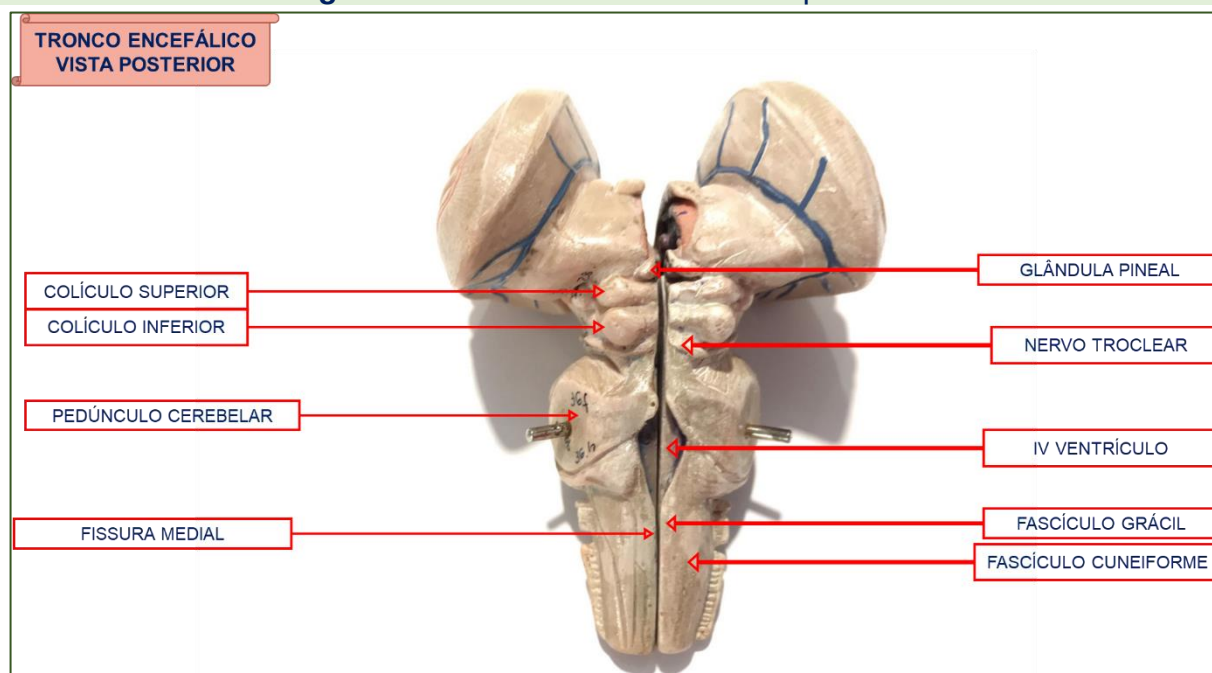
Fonte: Autores, 2024.

Figura 19 – Tronco encefálico vista anterior



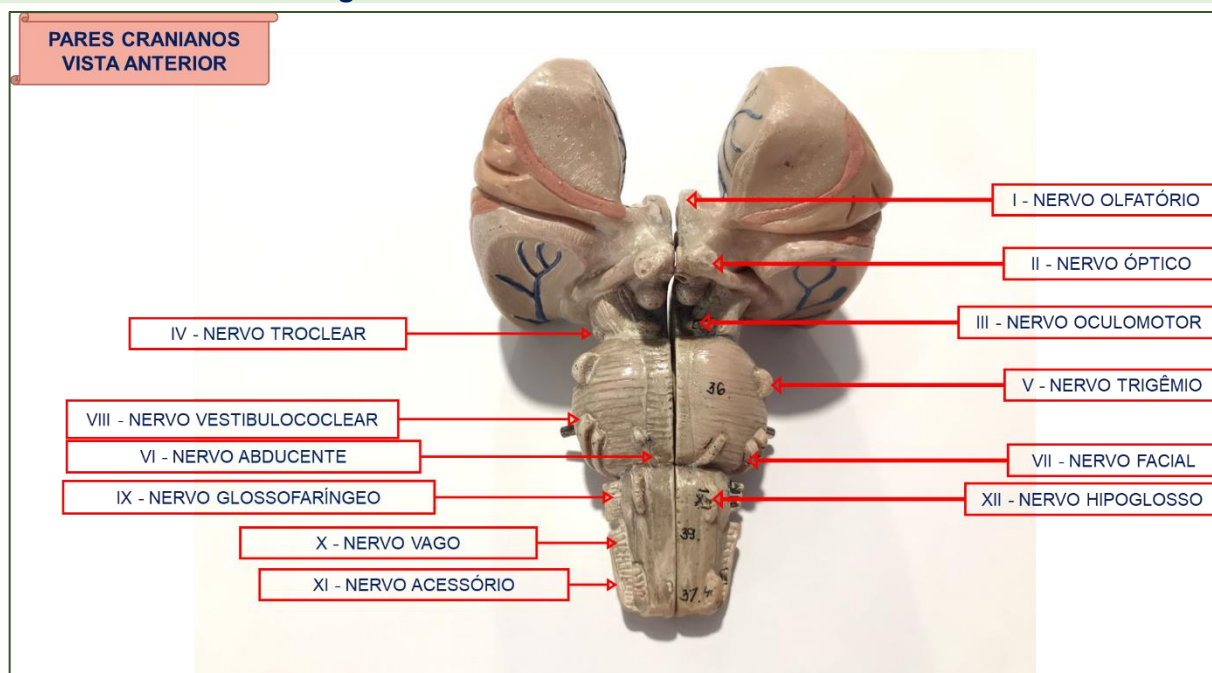
Fonte: Autores, 2024.

Figura 20 – Tronco encefálico vista posterior



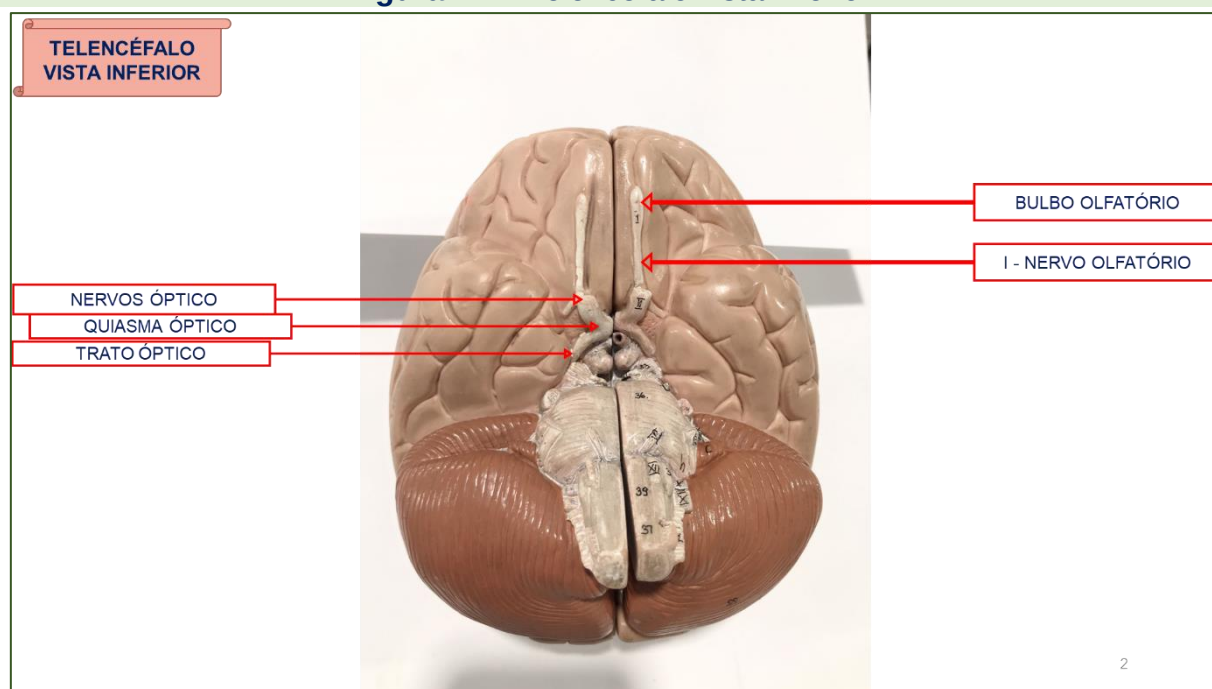
Fonte: Autores, 2024.

Figura 21 – Pares cranianos vista anterior



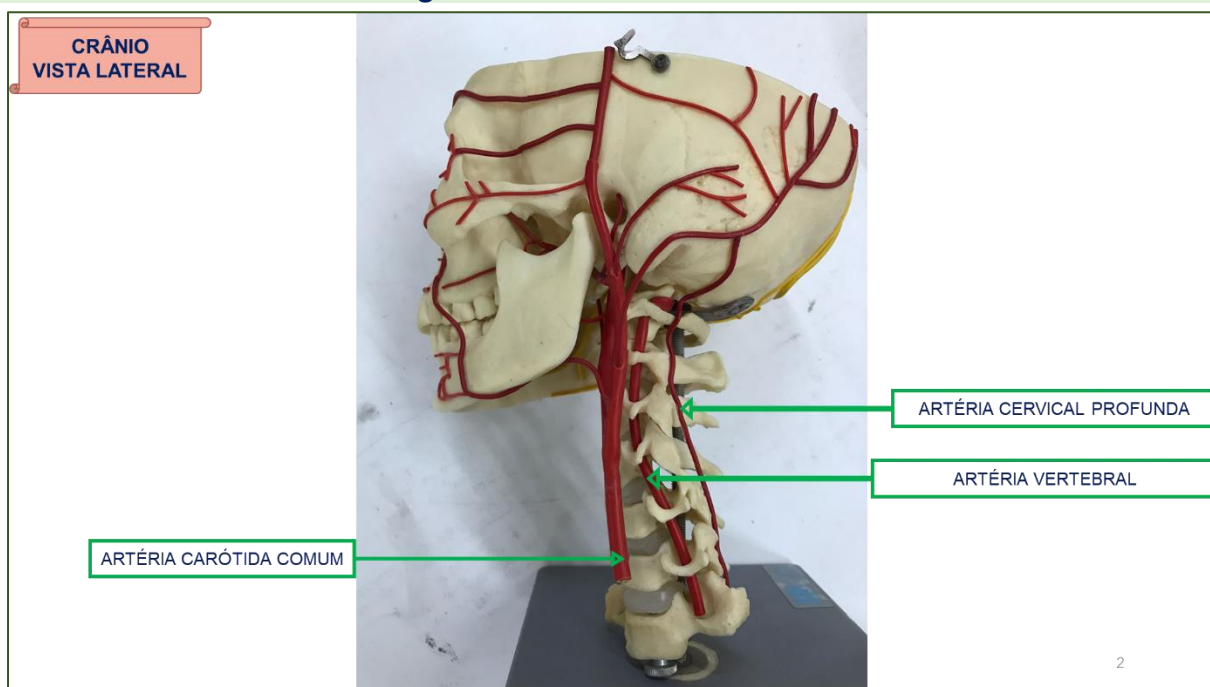
Fonte: Autores, 2024.

Figura 22 – Telencéfalo vista inferior



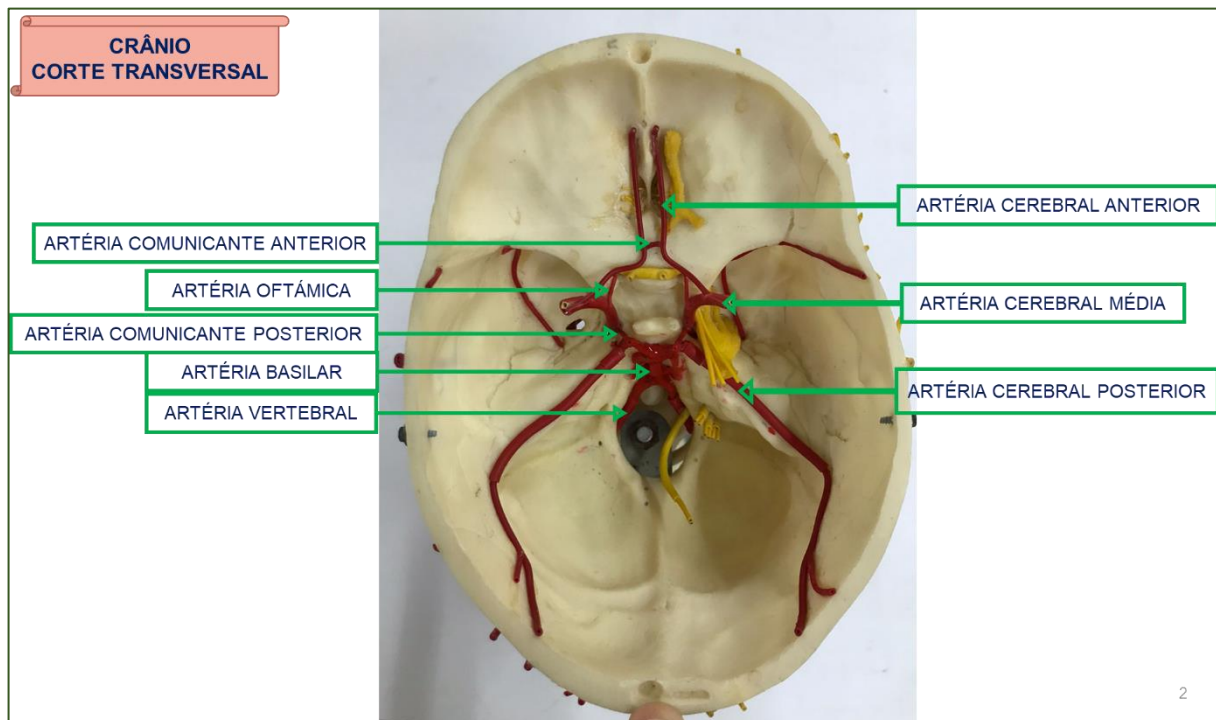
Fonte: Autores, 2024.

Figura 23 – Crânio vista lateral



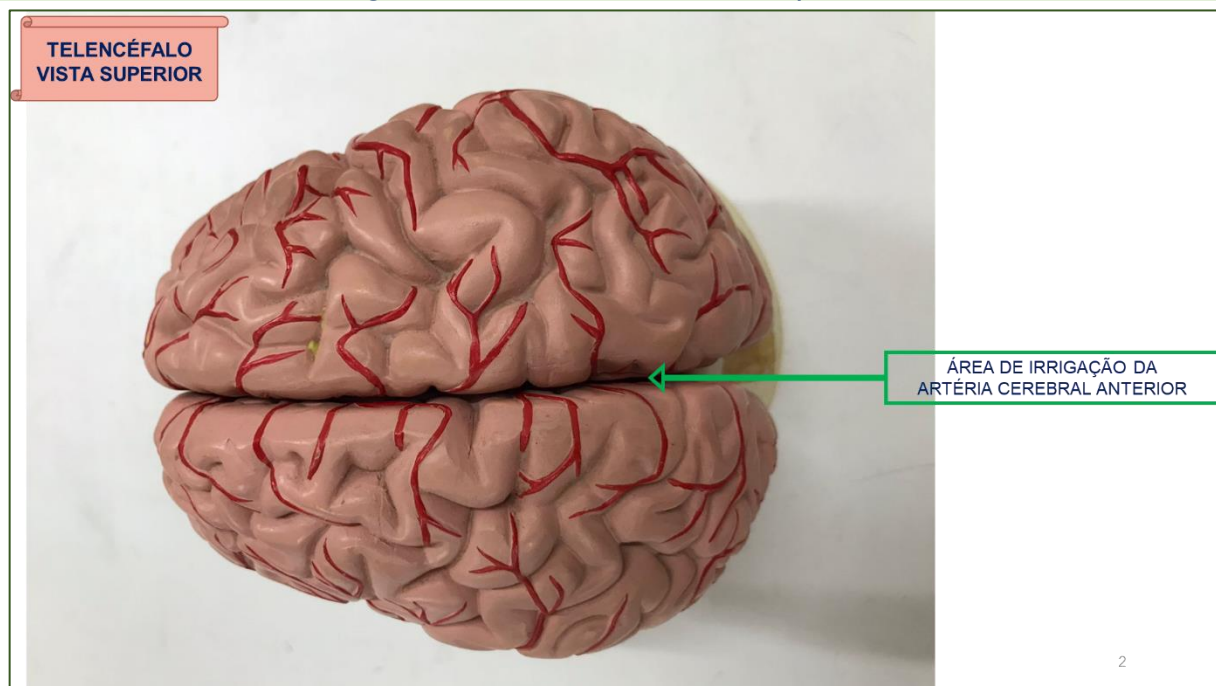
Fonte: Autores, 2024.

Figura 24 – Crânio corte transversal



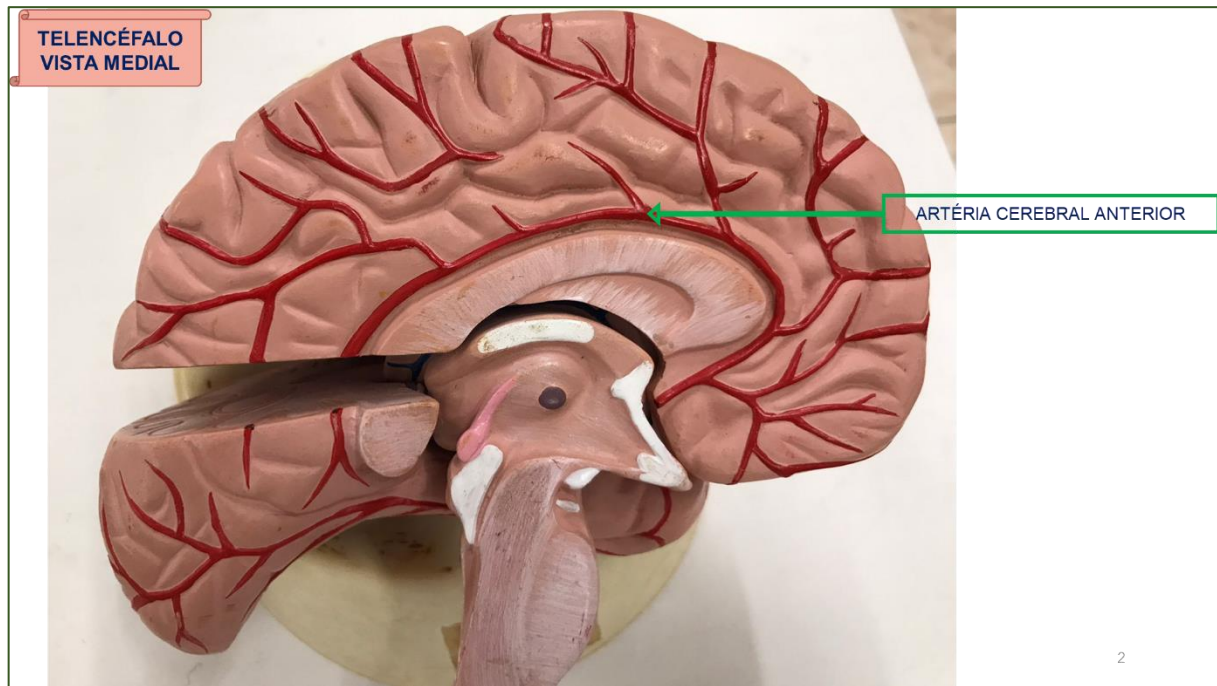
Fonte: Autores, 2024.

Figura 25 – Telencéfalo vista superior



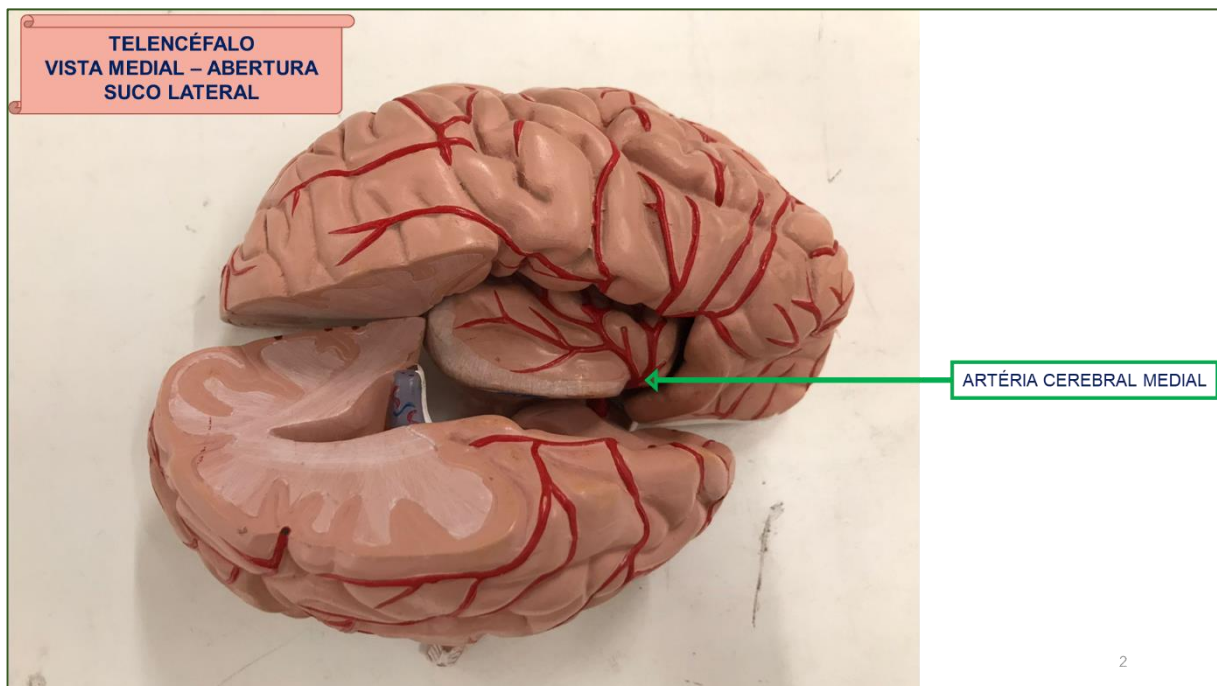
Fonte: Autores, 2024.

Figura 26 – Telencéfalo vista medial



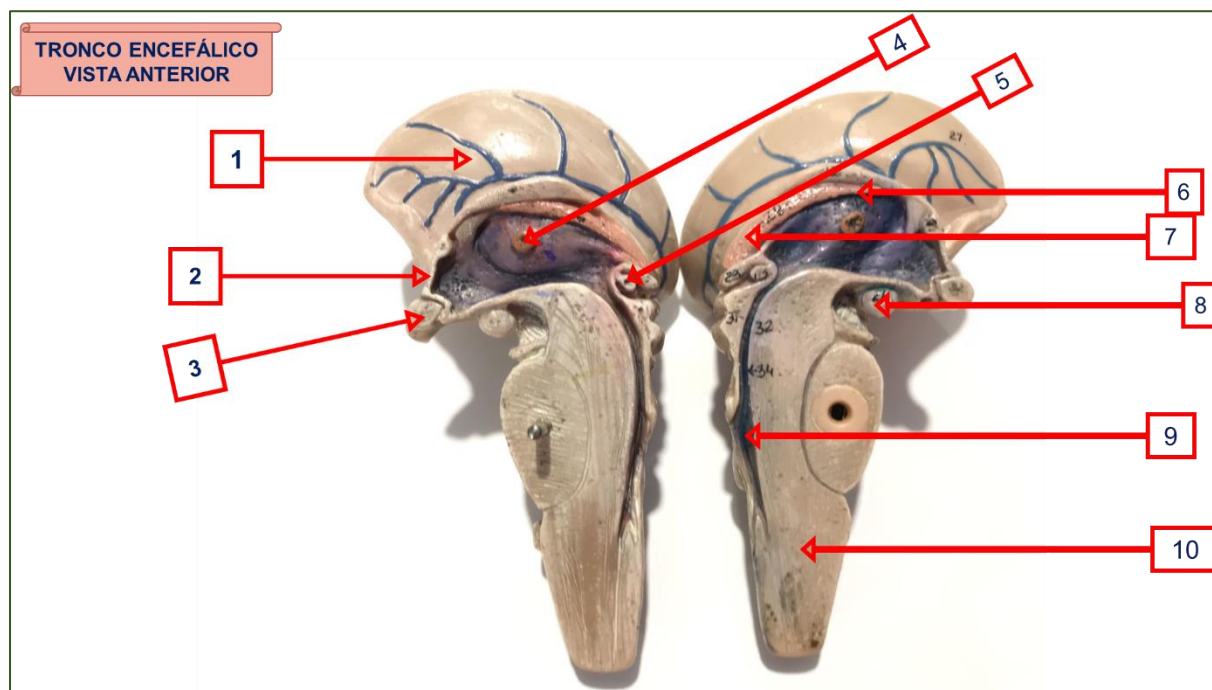
Fonte: Autores, 2024.

Figura 27 – Telencéfalo vista medial – abertura suco lateral



Fonte: Autores, 2024.

Figura 28 – Tronco encefálico vista anterior



Fonte: Autores, 2024.



REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B. et al. **Biologia molecular da célula**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- BEAR, M.F. **Neurociências**. 4ª ed. Porto Alegre: Grupo A, 2017.
- BERNE, R. M., LEVY, M. N., KOEPPEN, B. M. & STANTON, B. A. (2004). **Fisiologia** (*), 5ª ed., Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, RJ. ISBN-10:8535213678.
- BERNE, R. M., LEVY, M. N., KOEPPEN, B. M. & STANTON, B. A. (2004). **Fisiologia** (*), 5ª ed., Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, RJ. ISBN-10:8535213678.
- GUYTON, Arthur C. & HALL, John E. **Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças**, 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- GUYTON, Arthur C. & HALL, John E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 9ª Edição. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan. 2003.
- GUYTON, Arthur C. & HALL, John E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 12ª Edição. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan. 2017.
- JUNQUEIRA, L.C.U.; CANEIRO, J. **Histologia Básica: Texto e Atlas**. 14ª ed. São Paulo: Grupo GEN; 2023.
- LENT, Robert. **Cem bilhões de Neurônios? Conceitos Fundamentais da Neurociência**. 2ª Edição. São Paulo. Editora Atheneu, 2010.
- MACHADO, A; HAERTEL, L. M. **Neuroanatomia funcional**. Atheneu, 2013.
- MOREIRA, C., *Membrana celular*, **Revista Ciência Elem.**, v.2, n.2, pg.035, 2014.
- NETTER, F. H. (Ed.). **Netter. Atlas de Anatomía Humana. Abordaje Por Sistemas**. Elsevier Health Sciences, 2023.
- ROSS, M, H.; PAWLINA, W.; BARNASH, A. **Atlas de histologia descritiva**. 7ª ed. Artmed Editora, 2016.
- SHERWOOD. L., **Fisiologia Humana: das células aos sistemas**. 7ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- SILVERTHORN. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada**. 2ª ed. Rio de janeiro: Guanabara Koogan, 2005.
- SILVERTHORN. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada**. 7ª ed. Rio de janeiro: Guanabara Koogan, 2017.
- TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo Humano-: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. Artmed Editora, 2016.

