

Neurociência e Aprendizagem

Lucas Gazarini

EaD
UFMS **DIGITAL**

AGEAD
Agência de Educação
Digital e a Distância



Neurociência e Aprendizagem

Lucas Gazarini

EaD
UFMS **DIGITAL**

AGEAD
Agência de Educação
Digital e a Distância





**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MATO GROSSO DO SUL**

Reitor

Marcelo Augusto Santos Turine

Vice-Reitora

Camila Celeste Brandão Ferreira Ítavo

Obra aprovada pelo Conselho Editorial da UFMS

RESOLUÇÃO nº 250-COED/AGECOM/UFMS, de 12 de setembro de 2024.

Conselho Editorial

Rose Mara Pinheiro - Presidente

Elizabete Aparecida Marques

Alessandra Regina Borgo

Maria Lígia Rodrigues Macedo

Andrés Batista Cheung

Adriane Angélica Farias Santos Lopes de Queiroz

Fabio Oliveira Roque

William Teixeira

Paulo Eduardo Teodoro

Ronaldo José Moraca

Delasnieve Miranda Daspert de Souza

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Diretoria de Bibliotecas – UFMS, Campo Grande, MS, Brasil)**

Gazarini, Lucas.

Neurociência e aprendizagem [recurso eletrônico]. / Lucas Gazarini. – Campo Grande, MS : Ed. UFMS, 2024.

89 p. : il. (algumas color.).

Dados de acesso: <https://repositorio.ufms.br>

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-7613-682-8

Produzido no âmbito do Programa UFMS Digital (Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Tutoria em Educação a Distância).

1. Aprendizagem. 2. Neurociência cognitiva. 3. Educação – Estudo e ensino.
4. Transtornos do neurodesenvolvimento. I. Título.

CDD (23) 373.27

Bibliotecário responsável: Tânia Regina de Brito – CRB1/ 2.395

Lucas Gazarini

Neurociência e Aprendizagem

Campo Grande - MS
2024



Sobre o E-book

Este e-book faz parte do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Tutoria em Educação a Distância do **Programa UFMS Digital**, coordenado pela Agência de Educação Digital e a Distância da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Coordenação Geral

Hercules da Costa Sandim

Coordenação Pedagógica

Daiani Damm Tonetto Riedner

Ana Carolina Pontes Costa

Ádamo Duarte de Oliveira

Desenho Instrucional

Pedro Salina Rodovalho

Projeto Gráfico e Diagramação

Maira Sônia Camacho

Revisão de Língua Portuguesa

Aline Cristina Maziero

Thyago José da Cruz



Com exceção das citações diretas e indiretas referenciadas de acordo com a ABNT NBR 10520 (2023) e ABNT NBR 6023 (2018) e dos elementos que porventura sejam licenciados de outro modo, este material está licenciado com uma [Licença Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Disciplina

Neurociência e Aprendizagem

Carga Horária

45 horas

Autoria

Lucas Gazarini
[Currículo Lattes](#)

Ementa

Fundamentos básicos da neurociência. O funcionamento do sistema nervoso. O cérebro e as funções cerebrais no processo de aprendizagem e na construção do conhecimento. Funções executivas superiores e a influência social, cultural e histórica do indivíduo na sua aprendizagem. A articulação entre educação, neurociência e aprendizagem.

Objetivo Geral

- Conhecer os fundamentos da neurociência e sua relação com a educação e os processos de ensinar e aprender.

Objetivos Específicos

- Conhecer e compreender os fundamentos básicos da neurociência.
- Analisar o funcionamento do sistema nervoso e as funções cerebrais no processo de aprendizagem e na construção do conhecimento.
- Debater a articulação entre educação, neurociência e aprendizagem.

SUMÁRIO

Módulo 1

8

Fundamentos da Neurociência

Unidade 1 - Neurônios e comunicação química

11

Unidade 2 - Redes neuronais, estruturas cerebrais e plasticidade

20

Módulo 2

34

As funções cerebrais no processo de aprendizagem

Unidade 1 - Formação e armazenamento das memórias

36

Unidade 2 - Modulação das memórias por aspectos cognitivos e emocionais

47

Módulo 3

59

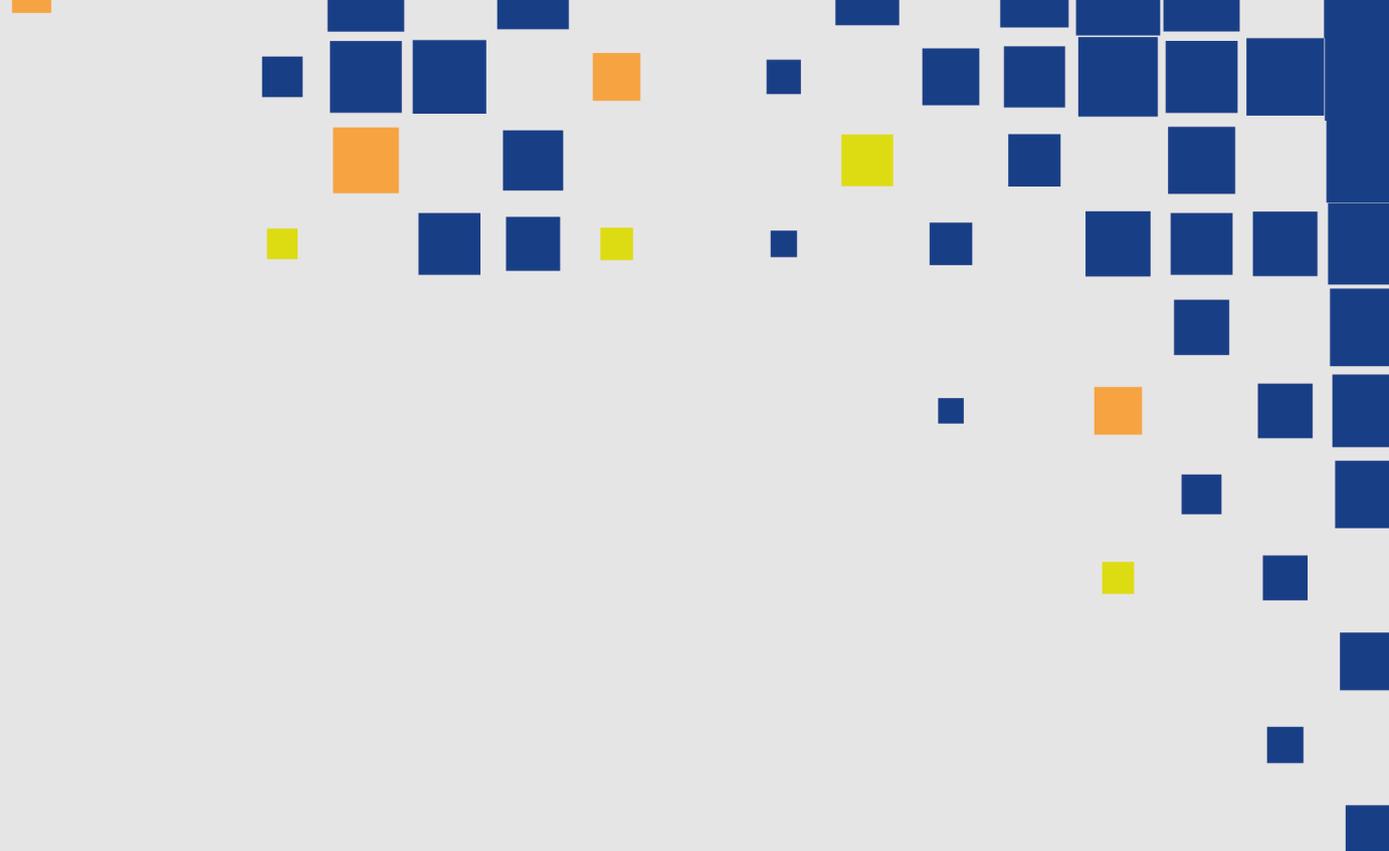
Educação, neurociência e aprendizagem

Unidade 1 - Aprendizado nos transtornos do neurodesenvolvimento

62

Unidade 2 - Estratégias de ensino baseadas em evidências atuais da neurociência

73



Módulo 1

Fundamentos da Neurociência



Apresentação

Olá, estudante.

Seja bem-vindo e bem-vinda ao primeiro módulo da disciplina **Neurociência e Aprendizagem!**

Neste módulo vamos abordar alguns aspectos básicos para a compreensão da neurociência. Neste momento, você pode estar pensando: *“Mas como isso se relaciona com o meu propósito neste curso?”*.

A neurociência envolve os estudos da organização e funções do tecido nervoso, incluindo o cérebro. Desde o início das pesquisas sobre o sistema nervoso, o cérebro sempre despertou muita curiosidade por ser (até hoje) fonte de muitos questionamentos:



Como aprendemos informações novas?



Existe um local específico onde as memórias são guardadas?



Existem formas de aprender melhor?

Essas perguntas já devem ter gerado um estalo na sua mente, apontando para uma direção relacionada ao seu objetivo pessoal neste curso.

Os estudos em neurociências avançaram muito nas últimas décadas, possibilitando uma maior compreensão sobre vários processos importantes para a formação das memórias e aprendizagem. Conhecer e se apropriar dessas descobertas é uma forma de manter as estratégias de ensino relevantes, mesmo em um cenário de mudanças constantes em formatos de aulas, que somam metodologias ativas, ferramentas tecnológicas e abordagens remotas, síncronas ou não. É claro que, antes de mergulhar nessas questões mais complexas, precisamos começar pelo básico, com os fundamentos da neurociência.

Neste primeiro módulo, o foco será entender a composição do sistema nervoso, quais são as unidades básicas de formação do cérebro, como elas se organizam, se comunicam entre si, transmitem informações e sofrem modificações frente às experiências que vivemos. Pode parecer um passo muito pequeno, talvez distante da sua área de formação inicial. Mas acredite em mim, essa compreensão é o pontapé inicial para um diálogo mais

amplo sobre como podemos ser melhores professores, tutores e, de forma geral, mediadores da aprendizagem.

Te convido a mergulhar nesta introdução à neurociência com um olhar crítico, prático e direcionado ao seu contexto de estudo e trabalho. Busque fazer inferências e relacionar o conteúdo deste material com aspectos mais complexos do processo de ensino e aprendizado com os quais talvez você já tenha se deparado no seu cotidiano.

Bons estudos!

Unidade 1

Neurônios e comunicação química

Para começar a falar de neurociências, temos que partir de uma visão microscópica. Os seres vivos, mesmo os mais simples, como bactérias e fungos, são constituídos por células. Elas são as unidades funcionais básicas de todo tipo de vida, com capacidade autônoma para produzir energia e várias substâncias importantes, como proteínas e hormônios. Vamos focar em humanos de agora em diante, para manter a relação com nosso objetivo maior da disciplina, o processo de ensino e aprendizagem.

Mesmo que existam seres constituídos por uma única célula, é comum que organismos mais complexos, como o ser humano, sejam organizados biologicamente por uma combinação de células com perfis heterogêneos (Kandel *et al.*, 2020).

Em animais complexos, células relativamente parecidas se agrupam de maneira organizada para formar tecidos biológicos. Esses tecidos, unidos, estabelecem órgãos, como o coração e o cérebro. Os órgãos desempenham funções específicas e interagem entre si, representando sistemas orgânicos. Um exemplo claro é o sistema cardiovascular, formado pelo coração e os vasos sanguíneos, que trabalham em conjunto para garantir o fluxo sanguíneo para todo o corpo, produzindo substâncias para regular o controle da pressão sanguínea etc.

Órgãos e sistemas orgânicos distintos são formados por células especializadas em algumas funções, garantindo o seu funcionamento adequado. O **sistema nervoso**, por exemplo, reúne **células especializadas na comunicação**, que orquestram funções biológicas no corpo todo. As células do sistema nervoso são responsáveis pela percepção de estímulos e conversão em sinais químicos e elétricos que viajam por todo o corpo humano. Essa comunicação nervosa é essencial para a vida, porque controla, mesmo que em níveis diferentes, a atividade de todos os órgãos do corpo humano (Purves *et al.*, 2017). Por isso, não é incomum que o sistema nervoso seja considerado o sistema de órgãos mais nobre nos animais superiores, já que toda a vida depende do seu funcionamento adequado.

A neurociência surgiu a partir de estudos que focaram na compreensão do sistema nervoso desde a sua organização microscópica até o seu funcionamento normal e as doenças relacionadas à perda das funções nervosas. Os primeiros estudos em neurociência moderna nos levam às pesquisas de **Santiago Ramón y Cajal**, um médico espanhol que viveu entre 1852 e 1934 e dedicou parte da sua vida à compressão do tecido nervoso.

Usando técnicas novas (em sua época), Ramón y Cajal descreveu a **morfologia de células de tecidos nervosos**, bem como a organização dessas células (Bear; Connors; Paradiso, 2017). Um prêmio Nobel em medicina e muitos anos se passaram desde então, mas as contribuições de Ramón y Cajal foram essenciais para novos estudos que aprofundaram o entendimento sobre a composição dos tecidos nervosos.



Todo nosso comportamento e conceitos como “mente” ou “consciência” passam diretamente pelas funções nervosas.

Você já parou pra pensar que o texto que você está lendo nesse momento chega até seus olhos e essa informação precisa ser transmitida para algum lugar para ser interpretada? Indo um pouco além, como essa informação pode causar algum tipo de modificação no seu cérebro, a ponto dele guardá-la como uma memória? Todas essas questões perpassam áreas de interesse e de estudo do sistema nervoso central.

Nosso primeiro desafio nesta unidade é justamente conhecer os diferentes tipos celulares presentes no sistema nervoso. Com base nas descobertas de Ramón y Cajal, somadas ao conhecimento acumulado ao longo dos anos, atualmente sabemos que as células que compõem o sistema nervoso são divididas em dois grupos principais, com funções distintas, mas complementares:

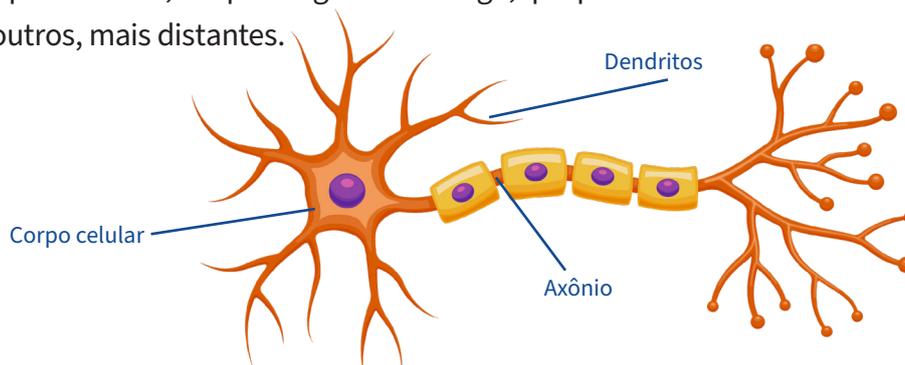
Talvez você já tenha ouvido falar dos **neurônios** (ou “células nervosas”), que são as células mais “famosas” do sistema nervoso. São elas as responsáveis pela percepção de estímulos sensoriais, a tradução destes em estímulos químicos, além da geração e condução de estímulos elétricos.

Um dos motivos para essa especialização neuronal na condução elétrica é a sua morfologia característica, com divisão em três porções principais, conforme Kandel *et al.* (2020):

O **corpo celular** é onde se localiza o núcleo do neurônio, seu material genético e toda a maquinaria metabólica necessária para a sua sobrevivência.

Do corpo celular surgem os **dendritos**, prolongamentos que se expandem como galhos, com a função de estabelecer contato com outros neurônios e receber estímulos.

Os estímulos recebidos pelos dendritos chegam até o corpo celular e são transmitidos adiante pelo **axônio**, um prolongamento longo, que permite a conexão desse neurônio com vários outros, mais distantes.



Toda informação que transita pelo sistema nervoso precisa ser convertida em estímulos elétricos, permitindo uma transmissão rápida e eficiente de informações. Os neurônios são as únicas células do sistema nervoso capazes de conduzir estímulos e, por isso, eles são considerados os componentes principais do sistema nervoso, que tem a comunicação como principal função (Purves *et al.*, 2017).

Perceba, portanto, que a informação recebida por um neurônio segue uma “rota estabelecida”, passando por dendritos, corpo celular e axônio, até atingir outro neurônio, e assim por diante. Em uma analogia, cada neurônio serviria como um pedaço de um fio elétrico que, quando unido a várias outras partes, forma uma “fiação elétrica”, que seria uma **rede neuronal**, como já observado por Ramón y Cajal há mais de um século.

Uma pergunta que pode ter passado pela sua cabeça é: “*mas como um neurônio gera potencial elétrico?*”.

O propósito dessa unidade não é entrar em detalhes moleculares, porque esse não é o foco de aprendizado. Mas de uma forma simplificada, os neurônios apresentam transportadores de **íons** em sua superfície, o que garante uma distribuição heterogênea de cargas elétricas entre o seu interior e o meio externo. Entre os íons mais importantes para o controle dessa diferença elétrica estão o sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e cloreto (Cl^-), além de vários outros. Muitos desses íons fazem parte da nossa dieta e fornecem o meio ideal para a geração de impulsos elétricos neuronais.

Quando um neurônio é ativado por algum estímulo específico - que pode ser luz, pressão, som ou outros, a depender da especialidade daquele neurônio - ocorre a abertura de transportadores iônicos na superfície celular, permitindo movimentos iônicos. Essa “dança das cadeiras” de íons faz com que íons mais presentes no exterior entrem no neurônio, enquanto os mais presentes no neurônio acabam saindo. Esse movimento de íons gera uma corrente elétrica que é transmitida ao longo do neurônio por uma reação em cadeia de ativação de transportadores iônicos (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

Fique atento(a) a este detalhe: o neurônio converte um estímulo de natureza variável em um potencial elétrico. Essa é a principal função neuronal: traduzir estímulos e transmitir informações, por meio da organização de neurônios em redes neurais. E mais importante: não é o estímulo original que determina a interpretação da informação, mas o caminho que essa informação faz até chegar em regiões específicas do cérebro. Mas antes de entender como essa comunicação neurônio-neurônio acontece, é importante conhecer o outro tipo celular dos tecidos nervosos.

As **células da glia** (ou neuróglias) são responsáveis por manter o funcionamento adequado do tecido nervoso, com funções de manutenção. A origem grega da palavra “glia”, que significa cola, já dá uma boa ideia da função de “manter o tecido nervoso unido”.

Existe a possibilidade de você nunca ter ouvido falar nesse tipo de célula, a não ser que sua formação básica seja relacionada a área de ciências biológicas. Por que a glia não é tão famosa quanto os neurônios?

Se você pensou que talvez elas estejam presentes em menor número no sistema nervoso, e por isso não se fala tanto sobre elas, essa informação pode te surpreender: a neuróglia é o tipo celular mais presente no sistema nervoso. Para cada neurônio, estima-se a presença de 10 a 50 células da glia (Lent, 2022).

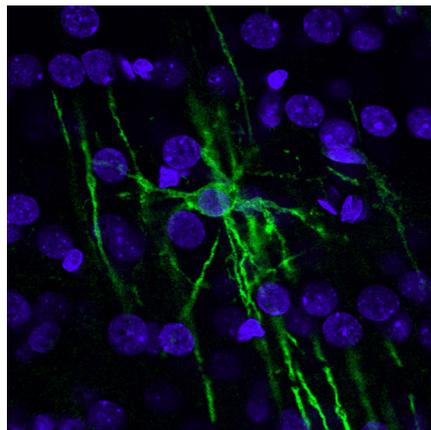
A neuróglia leva menos crédito do que deveria pelo simples fato de não representar as células responsáveis por conduzir informações. Por muito tempo, os neurônios foram o único tipo celular estudado à exaustão, com pouco destaque aos demais tipos celulares. Hoje em dia, especialmente sabendo da presença muito maior de células da glia no sistema nervoso, esse cenário tem mudado.

Para muito além de simplesmente “manter o tecido nervoso unido”, as funções da neuróglia variam de acordo com as especializações dos 3 tipos diferentes de células da glia (Kandel *et al.*, 2020). Vejamos, a seguir, os três tipos.

Tipos de células da glia

Oligodendrócitos

Na imagem microscópica abaixo, você pode observar, em verde, um oligodendrócito em tecido de cérebro de camundongo. As marcações azuis representam os núcleos de células, tanto do oligodendrócito quanto de outros tipos celulares em seu entorno.



Fonte: [Oleg Tsupykov](#)

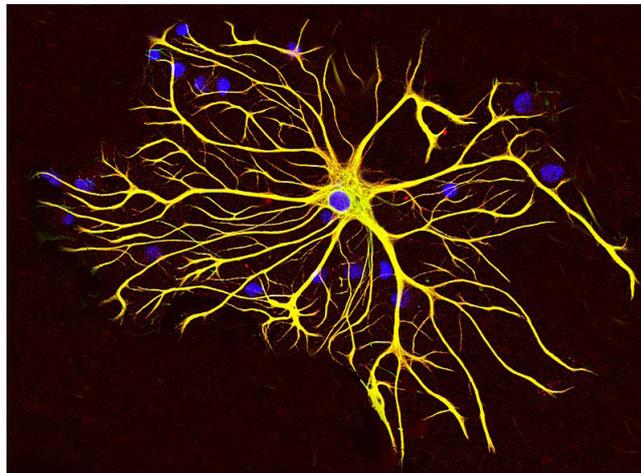
A origem etimológica antecipa várias características da célula: do grego, “*oligo*” = poucos, “*dendros*” = ramificações ou galhos, e “*kytos*” = célula. Como o nome sugere, são células com [poucos prolongamentos](#) que ancoram e envolvem outras células do sistema nervoso. As principais funções são a *sustentação* e *isolamento elétrico* para otimizar a transmissão de informações.

Em nervos periféricos, essas células contornam prolongamentos celulares várias vezes, formando a [bainha de mielina](#). Vários neurônios apresentam bainhas de mielina em seus [axônios](#), aumentando a velocidade de comunicação. Esse aumento na eficiência de transmissão é especialmente importante em nervos periféricos, já que informações precisam viajar longas distâncias muito rapidamente.

Em casos de prejuízo na formação da bainha de mielina ou destruição dessas estruturas, pode haver o comprometimento severo da capacidade de comunicação do sistema nervoso, impactando no controle muscular e funções vitais. Esse é o caso de algumas doenças neurológicas, como a esclerose múltipla (López-Muguruza; Matute, 2023).

Astrócitos

Na imagem microscópica abaixo, você pode observar, em amarelo, um astrócito em cultura celular de tecido nervoso. As marcações azuis representam os núcleos de células, tanto do astrócito quanto de outros tipos celulares em seu entorno.



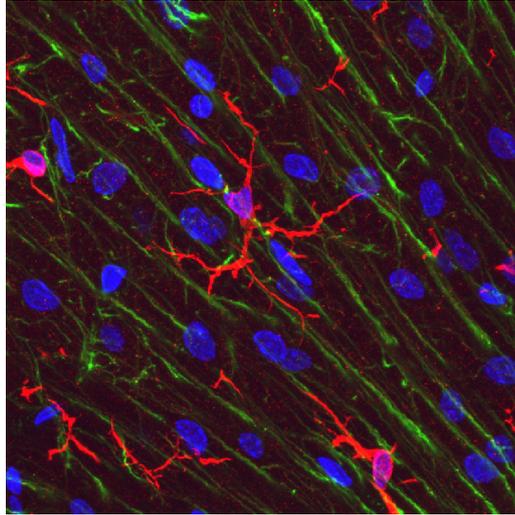
Fonte: [Gerry Shaw](#)

Novamente, a origem grega nos traz uma ideia geral: “*astron*” = estrela, e “*kytos*” = célula. Esse tipo de neuroglia tem forma de estrela, com [muitos prolongamentos](#) que interagem com vários componentes do sistema nervoso. Por isso, uma de suas funções é estrutural, ao sustentar outras células do tecido nervoso.

Além disso, prolongamentos astrocitários podem contornar vasos sanguíneos, formando a [barreira hematoencefálica](#), que controla o acesso de substâncias presentes no sangue ao tecido nervoso. Como o sistema nervoso é essencial para a sobrevivência, esse crivo é importante para impedir o acesso de substâncias tóxicas e agentes infecciosos. Por isso, outras funções importantes dos astrócitos são a *nutrição* e *proteção do tecido nervoso*.

Micróglia

Na imagem microscópica abaixo, você pode observar, em vermelho, uma micróglia em tecido cerebral de camundongo. As marcações azuis representam os núcleos de células.



Fonte: [Gerry Shaw](#)

Com origem grega, “*micros*” = pequeno, e “*glia*” = cola. São [células menores](#) e com formato variável. Quando inativadas, são arredondadas; uma vez ativas, prolongam-se, como tentáculos. A principal função da micróglia é a defesa, por isso são derivadas do sistema imune, com origem comum às células de defesa do sangue.

São responsáveis por mediar respostas imunes e inflamatórias a lesões, agentes estranhos ou substâncias nocivas. Como elas mantêm a capacidade de **fagocitose** (“englobamento” de partículas sólidas grandes, como bactérias e vírus), há grande eficiência na eliminação de microrganismos que podem invadir o sistema nervoso, como aqueles associados à meningite infecciosa.

Espero que tenha ficado claro para você que, mesmo sem função de comunicação elétrica como os neurônios, as células da glia exercem funções essenciais na manutenção do ambiente ideal para o sistema nervoso. Recentemente, fica cada vez mais clara a participação dessas células no funcionamento normal do tecido nervoso, além do envolvimento em doenças neurológicas (como o Alzheimer) e transtornos psiquiátricos (como a depressão) (Jeon; Kim, 2023).

Bem, nesse ponto você já conhece os principais tipos celulares do sistema nervoso, além das suas funções básicas. Para que um neurônio seja capaz de transmitir informações, é importante que ele as leve de um local para outro. Por isso, a interação entre neurônios é essencial.

Terminais axonais de um neurônio se relacionam intimamente com dendritos de outro neurônio e isso acontece várias vezes. Um mesmo neurônio pode interagir com centenas a milhares de outros neurônios, formando uma rede neuronal complexa. Mas se cada neurônio é uma célula separada, como a informação transmitida por um “salta” para o outro?

De fato, as interações neuronais ocorrem em um espaço. Esse local de interação é mantido firmemente próximo com o auxílio de células da glia, que “direcionam” os prolongamentos neuronais e facilitam seus encontros. Esse espaço de interação entre neurônios é chamado de **sinapse** (ou ainda, fenda ou botão sináptico).

Cada neurônio pode fazer várias sinapses com outros neurônios, aumentando as rotas de comunicação entre eles. Cada ponto de contato de um prolongamento neuronal com outro neurônio constitui uma sinapse. Esse pequeno espaço permite um contato mais próximo entre os neurônios, melhorando a eficácia de comunicação (Purves *et al.*, 2017). Existem ao menos duas formas distintas de comunicação sináptica. Veja a seguir cada uma delas.

Comunicação sináptica

Sinapse elétrica

Na sinapse elétrica, proteínas unem os prolongamentos neuronais, formando um “túnel” de continuidade entre as duas células. Nesse caso, mesmo compondo entidades celulares diferentes, existe uma comunicação direta entre elas. Um potencial elétrico gerado e propagado por um neurônio é automaticamente conduzido para o neurônio seguinte, sem interrupção. Esse tipo de interação permite a condução instantânea de corrente elétrica, sem qualquer obstáculo. Uma desvantagem é que essa transmissão acontece entre todas as células conectadas, sem restrição. Por isso, esse tipo de comunicação não é a mais frequente entre neurônios.

Sinapse química

A sinapse química é a forma mais usual de interação entre neurônios. Por essa via, o neurônio que traz a informação precisa produzir substâncias químicas que medeiam a comunicação. Essas substâncias recebem o nome de **neurotransmissores**, já que eles são instrumentos de transmissão de informações entre neurônios.

Uma vez que a corrente elétrica chega até o terminal neuronal, o transporte de íons resulta na liberação de neurotransmissores na fenda sináptica, por exocitose. Só então, essas substâncias interagem com a superfície do outro neurônio, que deve apresentar proteínas de reconhecimento para essa substância. Caso isso aconteça, a ativação dessas proteínas permite o fluxo de íons e gera uma nova corrente elétrica. Obviamente, esse processo é um pouco mais lento que nas sinapses elétricas, levando alguns milissegundos.

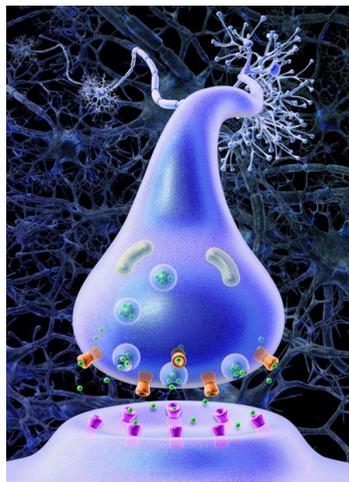
Você pode estar se perguntando: *A sinapse química não parece ser apenas uma forma de complicar um processo que deveria ser simples?*

Certamente, a sinapse química é uma maneira mais complexa de comunicação. Mas junto com essa complexidade, as sinapses químicas trazem várias vantagens. A principal delas é a possibilidade de transmitir informações seletivamente para alguns neurônios, e não para todos os que estão interconectados.

Vamos fazer um exercício mental: imagine que todos os neurônios do seu corpo estão conectados entre si por sinapses elétricas. Nesse caso, se qualquer um dos neurônios for estimulado, todos eles serão ativados ao mesmo tempo. Dessa forma, não seria possível discriminar sensações diferentes, interpretar textos diferentes de formas adequadas, etc.

Uma picada de agulha na mão teria a mesma consequência neuronal que um toque suave no pé, sem possibilidade de determinar o tipo ou local de estímulo. Pior ainda, a estimulação maciça do sistema nervoso poderia gerar crises epiléticas, que resultam de uma ativação descontrolada de neurônios.

Com sinapses químicas, um neurônio converte a informação elétrica em química, e só os neurônios que têm as proteínas necessárias para “decodificar” esse sinal químico são ativados. De forma simplificada, a transmissão química permite favorecer algumas redes neuronais em detrimento a outras, ativando-as de forma seletiva.



Fonte: [Wellcome Collection](#)

Outra vantagem da sinapse química é a possibilidade de aumentar a frequência de estimulação elétrica de acordo com a quantidade de neurotransmissores liberados. Um estímulo constante pode resultar numa maior liberação de transmissores que um estímulo muito curto. Essa é uma forma elegante de permitir que o nosso corpo interprete estímulos de intensidades diferentes.

Por fim, uma outra vantagem diz respeito aos neurotransmissores. Até hoje, já foram descritos vários neurotransmissores diferentes. Alguns são relativamente famosos, como a adrenalina, a dopamina e a serotonina. Outros, nem tanto, como os opioides, os endocannabinoides e a acetilcolina. A multiplicidade de neurotransmissores possibilita o refinamento adicional da comunicação sináptica: um mesmo neurotransmissor pode interagir com proteínas diferentes e gerar respostas diferentes.

Então, um mesmo neurotransmissor pode causar consequências diversas em redes neurais diferentes. Alguns neurotransmissores podem ter ação excitatória, aumentando a produção de corrente elétrica. Outros podem ter ação inibitória, impedindo que um sinal elétrico siga adiante. Isso significa que a comunicação neuronal não é um “tudo ou nada”, mas depende da soma de interações entre várias sinapses, por meio de neurotransmissores diferentes, que podem amplificar o estímulo ou atenuá-lo (Kandel *et al.*, 2020).

É importante ressaltar que algumas funções específicas do sistema nervoso podem ser “compartimentalizadas” por meio da comunicação química que utiliza, seletivamente, um único (ou um grupo pequeno de) neurotransmissor(es). Por isso é comum ouvir na mídia que “serotonina gera felicidade”, “dopamina causa prazer”, e assim por diante.

Essas afirmações não são completamente verdadeiras, porque elas são extremamente simplistas. Um neurotransmissor pode estar muito envolvido com alguma função, mas dificilmente é a única que desempenha. E seria muito simplório imaginar que uma única substância química é responsável por sensações tão complexas como a felicidade e o prazer. A vida certamente seria muito mais simples, se esse fosse o caso.

Com isso, chegamos ao final da Unidade 1. Até agora, você pôde ter uma ideia geral sobre os componentes do sistema nervoso e as formas de comunicação utilizadas em seu funcionamento. O que mais importa nesse momento é você ter ciência de que nosso sistema nervoso é muito mais complexo que um “amontado de fios”, mesmo que essa analogia tenha sido usada algumas vezes ao longo deste texto.

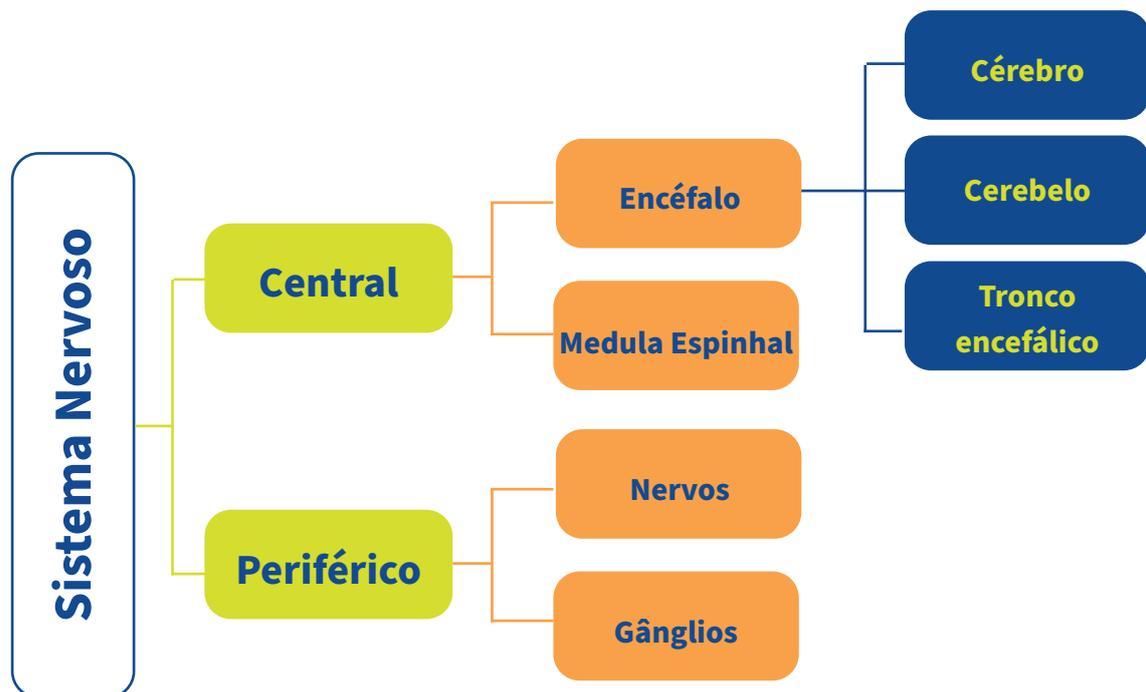
Pequenas diferenças quanto ao desenvolvimento de neurônios e células da glia, quanto à conectividade neuronal e quanto à produção de neurotransmissores podem justificar uma gama gigantesca de variações relacionadas à forma de pensar, de agir, de aprender e de se comunicar.

Unidade 2

Redes neuronais, estruturas cerebrais e plasticidade

Você conheceu a constituição básica do sistema nervoso, com suas células com funções distintas, que se juntam para cumprir o propósito de permitir a transmissão de informações. Essas células são organizadas de uma forma cuidadosa, garantindo o funcionamento adequado dos variados tipos de tecidos nervosos. As redes neuronais, formadas por diversos neurônios interligados, têm funções muito específicas, dependendo dos locais do corpo humano às quais elas se conectam.

Nesse contexto, a estruturação de tecidos nervosos distintos resulta na formação de estruturas heterogêneas quanto à função e morfologia. Esses “órgãos”, ou estruturas nervosas, são classificados em diversas divisões, como veremos a seguir.



De acordo com Silva (2021), todas essas divisões do sistema nervoso estão relacionadas, de uma forma direta ou não, com o processo de aprendizagem. Te convido a conhecer, na próxima página, cada uma dessas divisões, para que você possa entender melhor as suas funções e relações com a formação de memórias e do aprendizado. Vamos lá?!



O **Sistema Nervoso Central (SNC)** inclui a medula espinal e o encéfalo. Juntas, essas estruturas superiores são responsáveis pela execução e controle das funções mais complexas do organismo (Purves *et al.*, 2017). Por isso, são consideradas o “centro” nervoso do corpo humano, responsável pelas funções mais complexas.

A **medula espinal** fica envolvida pelas vértebras, ossos que protegem essa estrutura nervosa e formam a coluna vertebral.

Ela apresenta 4 porções, de acordo com a região por onde passa: cervical (ao longo do pescoço), torácica (ao longo do tórax, na região do peito), lombar (na região abdominal) e sacral (entre o quadril).

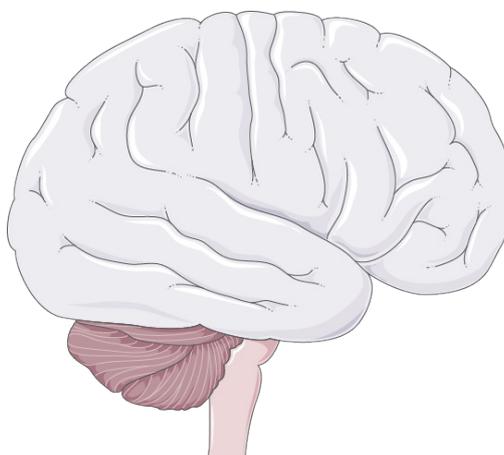
Da medula espinal partem e chegam diversos nervos, permitindo que ela integre e coordene a comunicação com órgãos e tecidos periféricos, já que recebe e envia informações de todo o corpo. Pessoas que sofrem lesões na medula espinal podem perder a comunicação do SNC com os órgãos periféricos. Por isso, pode haver comprometimento sensorial e motor nas regiões afetadas.

Quando a lesão medular acontece em regiões torácicas e lombares, a perda de comunicação acontece a partir do ponto da lesão, gerando **paraplegia**. Quando a lesão acontece na região cervical, o prejuízo na comunicação nervosa pode acometer todo o corpo, resultando em **tetraplegia** (Lent, 2022).

O **encéfalo** compreende todas as estruturas nervosas do SNC localizadas acima da medula espinal. Ele é dividido em 3 porções (Kandel *et al.*, 2020): tronco encefálico (rosa), cerebelo (roxo) e cérebro (branco).

Paraplegia é a perda dos movimentos voluntários dos membros inferiores, além do prejuízo no controle sensorial e involuntário em órgãos abaixo do local da lesão medular.

Tetraplegia é a perda dos movimentos voluntários dos 4 membros (inferiores e superiores), além do prejuízo no controle sensorial e involuntário em órgãos abaixo do pescoço.



Fonte: [Laboratoires Servier](#)

O **tronco encefálico** localiza-se na continuidade da medula espinal, recebendo diretamente as informações medulares.

Muitas vezes, o tronco encefálico é referido como “cérebro reptiliano”, por ser uma parte que surgiu mais antigamente na evolução do sistema nervoso. Por isso, ela é considerada uma estrutura “mais primitiva” do encéfalo, mantida em animais menos complexos, como peixes e répteis.

Mesmo assim, as funções desempenhadas pelo tronco são extremamente complexas. Enquanto a medula espinal integra o controle sensorial e motor do tronco, abdome e membros, o tronco encefálico cumpre esse mesmo papel, mas referente ao pescoço, cabeça e face. Por isso, o tronco é a porta de entrada de estímulos periféricos associados a alguns dos nossos sentidos, como a gustação, a audição e o equilíbrio.

Outra função importante do tronco encefálico é controlar diversas funções vegetativas, essenciais para a sobrevivência, como a frequência cardíaca e respiratória, a pressão sanguínea e o funcionamento gastrointestinal. A maioria das ações de controle involuntário partem do tronco encefálico, por isso lesões nessa região podem resultar em morte. Algumas respostas de defesa mais grosseiras e “pouco racionais”, como medo e reações de luta ou fuga, também são elaboradas, em partes, nesta região.

De maneira geral, fica bem evidente que o tronco encefálico concentra uma série de funções imprescindíveis para a vida e preservação individual. O tronco também concentra uma série de estruturas responsáveis pelo planejamento e execução de movimentos, intermediando informações motoras que chegam do córtex e são enviadas para a medula espinal, após modulação do cerebelo. A doença de Parkinson, uma **doença neurodegenerativa** que acomete a realização de movimentos, tem relação direta com o funcionamento inadequado dessa região encefálica (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

Uma **doença neurodegenerativa** é um tipo de doença neurológica que é associada à morte de neurônios e prejuízo em funções nervosas. Por exemplo, inclui a Doença de Parkinson, que acomete funções motoras, e a Doença de Alzheimer, que prejudica a memória e funções cognitivas.

Uma função do tronco é especialmente importante para o nosso objetivo nesta disciplina: a ativação regular de uma rede neuronal difusa pelo tronco garante a modulação de estados de alerta, de acordo com a chegada de informações sensoriais. Por isso, o tronco encefálico é visto como o centro de origem da consciência e atenção em formas mais rudimentares. A atenção, em especial, é uma função executiva imprescindível no processo de aprendizado, já que é capaz de direcionar o foco de interesse e favorecer a formação de memórias.

O **cerebelo** está posicionado na parte posterior do tronco encefálico. Em comparação às outras regiões encefálicas, o cerebelo tem um número reduzido de neurônios e diver-

tidade neuronal. Por isso, seu funcionamento é muito bem compreendido atualmente, até por ter sido uma das primeiras regiões encefálicas estudadas microscopicamente por Ramón y Cajal, mencionado na unidade anterior.

O cerebelo recebe informações motoras do córtex cerebral, mas também é alvo de estímulos sensoriais e motores provenientes da medula espinal, desempenhando funções essencialmente ligadas ao controle motor. A coordenação motora, especialmente aquela necessária para a realização de movimentos dinâmicos, é fruto do processamento cerebelar, porque essa estrutura recebe informações referentes ao equilíbrio, que são provenientes de regiões especializadas na orelha interna.

Talvez você esteja pensando em funções motoras mais “brutas”, como o movimento de membros. Mas o papel do cerebelo vai muito além, como o ajuste fino dos movimentos oculares e controle da posição da cabeça em uma situação de movimento. Por isso, lesões no cerebelo podem afetar diretamente o equilíbrio, a capacidade de andar de forma coordenada e de estimar distâncias, além de causar tremores involuntários, resultando em condições denominadas ataxias.

Até poucos anos atrás, o cerebelo era considerado uma área encefálica puramente motora. Hoje em dia, já sabemos que ele desempenha alguns aspectos cognitivos muito relacionados ao propósito desta disciplina. Veja a seguir.

Armazenamento de memórias



Aprendizados que requerem habilidades motoras - como andar de bicicleta, dirigir automóveis, tocar instrumentos musicais e realizar movimentos coordenados necessários para alguma modalidade esportiva - parecem ser muito dependentes do funcionamento cerebelar. Lesões no cerebelo podem inviabilizar o aprendizado dessas habilidades, ou mesmo prejudicar a realização daquelas que foram previamente aprendidas. Então não é errado pensar no cerebelo como uma região onde são armazenadas memórias de habilidades motoras, ou de procedimentos (Purves *et al.*, 2017).

Desenvolvimento da fala



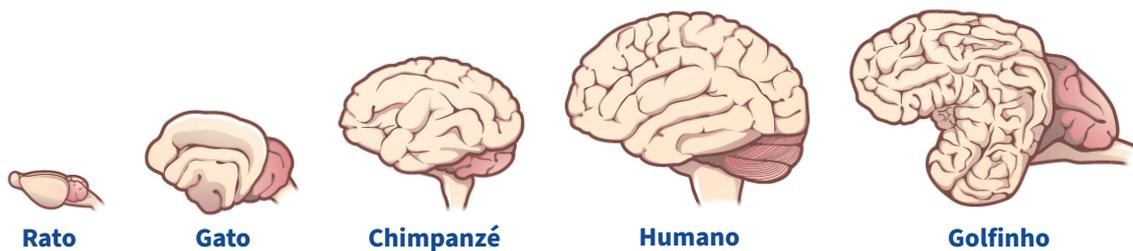
Outra função cognitiva do cerebelo é relacionada à linguagem: o papel cerebelar de coordenação parece impactar diretamente na emissão da linguagem, especialmente falada. Outros aspectos linguísticos - mesmo aqueles voltados à interpretação da linguagem - também requerem processamento cerebelar. Estudos mais recentes apontam alterações nessa estrutura em pessoas com dislexia, afetando habilidades básicas de leitura e processamento da linguagem. Lesões cerebelares também

podem afetar a fala, talvez por reduzir a integração de funções linguísticas com a habilidade de coordenação de músculos importantes para a articulação da fala.

O **cérebro** corresponde ao maior volume e concentra o maior número de neurônios no encéfalo. Quase todo o tecido nervoso que é visível no encéfalo, externamente, corresponde ao cérebro.

O cérebro, em especial suas regiões mais superficiais - ou corticais - que apresentam dobras e curvas, é uma estrutura encefálica mais moderna, especializada e desenvolvida ao longo da evolução, mais recentemente. O volume do cérebro e a quantidade de dobras corticais se relacionam diretamente com a complexidade das funções nervosas desempenhadas pelos animais.

Animais menos complexos, como roedores, tendem a apresentar o cérebro menos volumoso e mais “liso”, ao contrário de animais mais complexos, como primatas - incluindo os chimpanzés e humanos - e golfinhos. Isso não quer dizer que cérebros maiores estão presentes em animais “melhores”, ou “mais evoluídos”, mas simplesmente indica que esses organismos requerem um funcionamento cerebral mais complexo. Veja o comparativo.



Fonte: [CNX OpenStax](#)

As funções mais superiores ou “nobres” do SNC dependem do cérebro, incluindo o pensamento abstrato, racionalidade, inteligência, controle de comportamentos e respostas emocionais mais refinadas (Kandel *et al.*, 2020). Algumas funções mencionadas anteriormente, como linguagem e memórias, também são extremamente dependentes do cérebro. Você não leu errado: embora o cerebelo tenha sido mencionado anteriormente como região importante para a linguagem e memória, o cérebro também é (e talvez seja ainda mais importante, na verdade).

Pode parecer um pouco “errado” que várias regiões do sistema nervoso se envolvam com funções parecidas, mas isso é mais vantajoso do que você pode imaginar. Quase nenhuma função nervosa complexa depende exclusivamente de uma região ou estrutura do sistema nervoso, como estratégia para refinar o seu desempenho e evitar prejuízos funcionais. O desempenho de funções complexas é otimizado ao exigir a participação de várias porções do sistema nervoso, já que permite a modulação dessas informações em múltiplas instâncias, ou níveis.

Um movimento muscular, por exemplo, pode ser feito de forma muito mais refinada e controlada quando ele é elaborado ao longo de vários circuitos neuronais, passando pela modulação de vários neurotransmissores. Outra importância dessa sobreposição de funções é reduzir os riscos de perder habilidades importantes frente ao funcionamento inadequado de alguma região muito específica do sistema nervoso (Lent, 2022).

Imagine se todas as memórias fossem armazenadas em um único local do encéfalo. Se essa região sofresse uma lesão, todas as memórias seriam perdidas, assim como a possibilidade de criar novas memórias. Isso seria biologicamente desvantajoso e, por isso, manter a coordenação de funções complexas em regiões múltiplas é uma estratégia para impedir o seu mau funcionamento absoluto, como um mecanismo de reserva. Por esse motivo, mesmo pessoas que sofrem lesões encefálicas extensas podem manter grande parte das funções complexas ainda em funcionamento (mesmo que com algum prejuízo de execução).

Ainda no exemplo da memória, danos em regiões muito específicas do encéfalo podem levar à incapacidade de formar novas memórias, mas ainda manter memórias antigas. Ou ao prejuízo na capacidade de se lembrar das pessoas, mas manter habilidades motoras aprendidas anteriormente. Voltando à estrutura cerebral e suas funções, regiões mais internas do cérebro - abaixo das dobras corticais - são essenciais para o direcionamento adequado das informações sensoriais provenientes do tronco encefálico e medula espinhal ao córtex (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

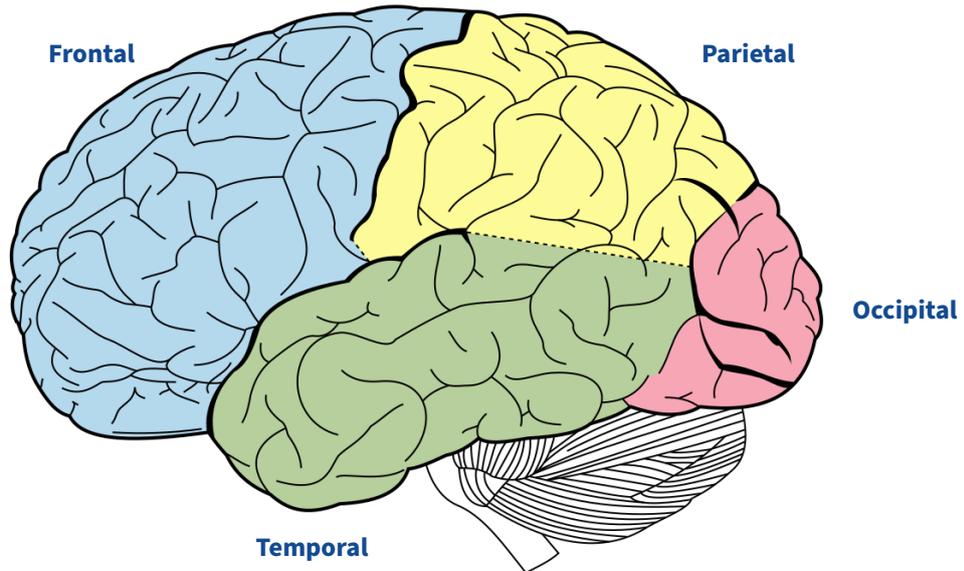
Algumas regiões subcorticais, como o **tálamo**, que fica localizado logo acima do tronco encefálico, determinam a chegada de mensagens sensoriais ao córtex cerebral, garantindo que elas sejam interpretadas e se tornem conscientes. O **hipotálamo**, que fica posicionado pouco abaixo do tálamo, tem funções importantes no controle hormonal, regulação do ciclo de sono e despertar, alimentação e reprodução. A manutenção da constância no funcionamento do corpo é mediada por essa região. A liberação de hormônios garante a motivação necessária para a realização de uma série de ações necessárias à vida, bem como à sensação de prazer e saciedade, que são imprescindíveis para manter esses comportamentos. Por isso, comer quando se tem fome e beber quando se tem sede são ações que geram muito prazer, como forma de garantir que a gente jamais se esqueça delas.

A motivação regulada pelo hipotálamo e o controle de estímulos mediado pelo tálamo são essenciais para o aprendizado eficiente, já que direcionam o foco atencional para o que deve ser aprendido. Essa é uma das chaves do aprendizado relevante.

As regiões mais externas do cérebro, compostas pelas dobras do tecido nervoso, são chamadas de córtex cerebral. O córtex desempenha as funções mais complexas do cérebro,

integrando informações sensoriais e motoras e elaborando estratégias comportamentais adequadas. Informações sensoriais periféricas se tornam conscientes e localizadas no corpo após o processamento cortical. Isso é garantido por uma especialização do córtex em processar informações de forma “compartimentalizada”.

O córtex cerebral é dividido em regiões - chamadas de **lobos** - de acordo com as funções desempenhadas. Descubra cada uma delas a seguir.



Fonte: [Imagem adaptada de Henry Vandyke Carter](#)

■ Lobo frontal

O lobo frontal se relaciona diretamente ao controle motor e planejamento comportamental, com avaliação de risco, tomada de decisões e construção da personalidade.

■ Lobo parietal

O lobo parietal é especializado em modalidades sensoriais como o tato e a localização espacial.

■ Lobo occipital

O lobo occipital tem foco de atuação no processamento visual.

■ Lobo temporal

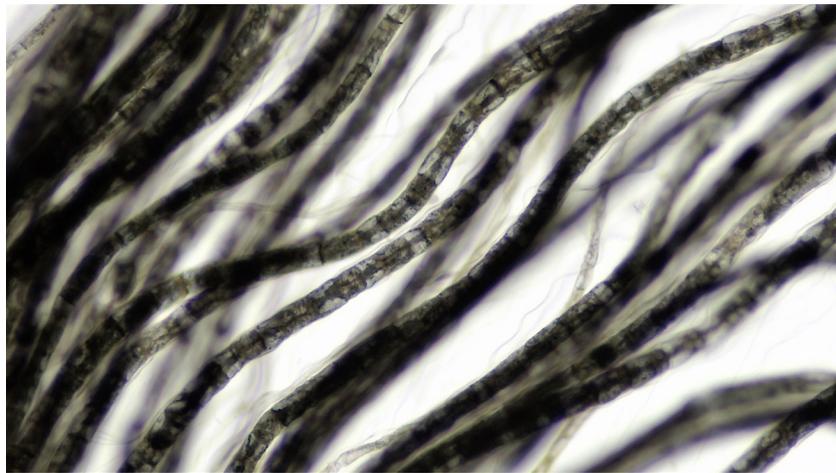
O lobo temporal, além de se relacionar à interpretação auditiva, desempenha funções essenciais para o controle emocional e de memória, alojando algumas estruturas cerebrais essenciais para esses processos.

Como o próximo módulo tem o foco restrito às memórias e emoções, essas estruturas serão apresentadas e detalhadas futuramente. O que precisa ficar claro para você sobre o cérebro neste momento é que ele é o centro de regulação das funções hierarquicamente mais complexas, principalmente as emocionais e cognitivas.

O **Sistema Nervoso Periférico** (SNP) é composto por nervos e gânglios. O SNP funciona como uma ponte de comunicação entre tecidos e órgãos periféricos e o SNC, permitindo a chegada de todo tipo de informação sobre o que acontece nos diversos sistemas biológicos, para que seja possível o controle orquestrado e ajuste nos seus funcionamentos (Purves *et al.*, 2017).

Todas as projeções nervosas que partem do SNC (ou seja, encéfalo e medula espinal) compõem o SNP, que inerva todos os tecidos do corpo humano.

Os **nervos** são formados pelo grupo de prolongamentos de neurônios, como “fios de condução”. Veja a imagem.



Fonte: [Berkshire Community College](#)

Vários prolongamentos neuronais se organizam de forma paralela, emaranhando-se entre si como os fios que compõem uma corda. Os nervos se projetam de uma região à outra, unindo regiões periféricas do corpo, como a pele e órgãos, até o SNC, o que garante o controle amplo do corpo humano. O transporte de informações pelos nervos pode ser bidirecional: eles podem levar informações periféricas ao SNC, mas também receber comandos que podem alterar o comportamento frente a algum estímulo específico.

Nervos sensoriais

Nervos que levam informações até o SNC são classificados como **sensoriais**, porque envolvem a percepção de diversos estímulos diferentes, como temperatura, dor, luz, tato, sons etc. Essas informações chegam ao SNC e são interpretadas, a fim de gerar respostas específicas.

Nervos motores

Nervos que levam informações do SNC para os órgãos periféricos são classificados como **motores**. Os neurônios que compõem esses nervos motores se originam no SNC, que envia informações a órgãos periféricos, e envolvem a contração de diversos órgãos, como os músculos do braço, da perna, ou até mesmo o batimento do coração.

Nesse ponto, é importante você perceber que não temos controle absoluto sobre todas as funções do nosso corpo. O sistema nervoso exerce controle voluntário - ou seja, que depende da nossa vontade - especialmente sobre a musculatura de membros inferiores e superiores. Por isso, você consegue movimentar seus braços para a direção desejada, voluntariamente.

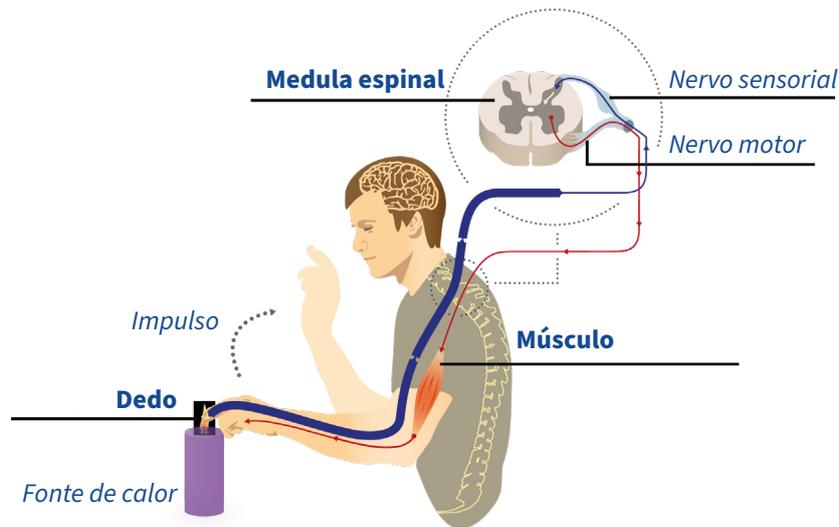
O controle involuntário - ou seja, não precisam da nossa intervenção consciente para acontecerem - acontece principalmente em órgãos cujos funcionamentos são essenciais à vida. O batimento cardíaco, o funcionamento intestinal e a respiração são exemplos de funções autônomas.

Talvez mencionar “respiração” possa ter te confundido um pouco, porque nós conseguimos controlar, até certo ponto, a frequência respiratória. De fato, podemos “respirar fundo” e reduzir o número de inspirações, ou até mesmo “ficar sem respirar por um tempo”. Mas você pode até tentar, mas nunca vai conseguir “parar de respirar” indefinidamente, por vontade própria, justamente porque a respiração é controlada de forma autônoma. Esse exemplo também deixa explícito que algumas funções biológicas podem ter controle misto, parte voluntário e parte autônomo.

Vamos pensar em outro exemplo prático sobre as funções sensoriais e motoras dos nervos, o caso do **arco-reflexo** (Kandel *et al.*, 2020). Trata-se de uma forma rápida de comunicação neuronal que gera respostas quase instantâneas, porque só envolve os nervos e a medula espinal, sem necessidade de um processamento amplo pelo encéfalo.

Imagine que você, sem perceber, colocou o dedo em uma panela muito quente (uma fonte de calor). Muitas vezes, um movimento rápido para retirar o dedo é realizado antes mesmo de você “perceber” a queimadura. Apesar de o músculo do braço ser de controle voluntário, esse tipo de resposta é involuntária, porque é importante para garantir que você não sofra uma queimadura grave.

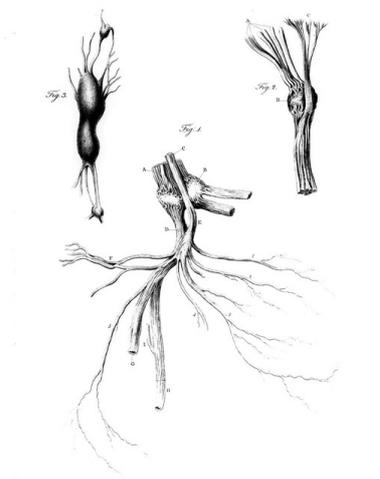
O mecanismo de arco-reflexo acontece como ilustrado a seguir:



Fonte: [Marta Aguayo](#)

O estímulo térmico é recebido por terminais nervosos da pele do dedo, gerando uma corrente elétrica neuronal. O nervo sensorial é estimulado, levando a informação térmica até a medula espinal (trajeto em azul). Na medula espinal, a informação sensorial ativa neurônios motores, que exercem controle sobre a musculatura do membro superior. Essa informação viaja até os músculos do braço e da mão (trajeto em vermelho), que são os órgãos efetores responsáveis por afastar o dedo do perigo. A sensação de “calor” só é “percebida” - ou seja, interpretada - quando a informação sensorial chega ao encéfalo, alguns milissegundos depois do mecanismo arco-reflexo já ter retirado a sua mão da região quente.

Os **gânglios nervosos** são regiões onde os corpos de neurônios de nervos se localizam, periféricamente, como centrais de integração de estímulos. Veja a imagem.



Fonte: [Wellcome Collection](#)

Com a maior concentração de corpos neuronais nessas regiões, é comum que os gânglios pareçam “entroncamentos” em regiões específicas do nervo, como uma área dilatada. Vários neurônios que compõem nervos podem ter seus corpos celulares no SNC, dispensando a necessidade de gânglios.

A maioria dos nervos sensoriais, no entanto, mantém essa organização ganglionar. Por isso, a perda de gânglios, por lesões, pode acarretar prejuízos sensoriais relacionados à região inervada pelos prolongamentos de neurônios que se localizavam ali.

Deve estar claro para você, nesse momento, que embora seja comum pensarmos quase exclusivamente em sistema nervoso central - na verdade, no cérebro - como “responsável” pelo aprendizado, uma informação só é aprendida se conseguir chegar lá por intermédio do sistema nervoso periférico.

Neste momento, enquanto você lê esse texto, estímulos visuais são captados pelos seus olhos, que levam informações até regiões do cérebro relacionadas à visão, permitindo que você enxergue “letras”, ainda sem qualquer sentido. Essa informação visual é retransmitida a áreas cerebrais relacionadas à linguagem. Como o texto está escrito em uma língua que você conhece - ou seja, que você aprendeu previamente - há a “interpretação” da linguagem utilizada. Se a informação interpretada for considerada relevante por você, ela será transmitida para outras regiões do cérebro, permitindo que ela seja armazenada, como uma memória.

Muitas funções desempenhadas pelo sistema nervoso exigem adaptação a um ambiente que passa por mudanças constantes. Por isso, embora a organização nervosa seja extremamente complexa, como você pôde perceber, ela jamais poderia ser fixa e imutável. Algumas experiências que vivenciamos ao longo da vida podem modificar a forma como os tecidos nervosos se conectam e comunicam informações (Nunes; Costa; Souza, 2021).

Esse processo de adaptação nervosa recebe o nome de plasticidade. A palavra “plástico” remete à capacidade de ser moldado, modelado. E é exatamente sobre isso que se trata a plasticidade nervosa: a capacidade de se modificar frente às experiências que vivemos, regulando as atividades nervosas às demandas do cotidiano. Uma rede neuronal pode ser reforçada pela criação de novas sinapses e aumento na liberação de neurotransmissores, melhorando sua capacidade de comunicação. Outras redes podem ser “enfraquecidas”, pela redução na interação com outros neurônios.

O aprendizado é uma das formas mais claras de adaptação ao ambiente que nos cerca. Por isso, a formação de memórias é um exemplo de processo nervoso que depende muito da **plasticidade nervosa**, garantindo o armazenamento de informações aprendidas. Esse será o tema central do próximo módulo.

Considerações finais

Neste módulo, demos um mergulho inicial em conceitos básicos de neurociências. Saúdo você, estudante, após nossa jornada pelas complexidades do tecido nervoso e pela intrincada organização do sistema nervoso. Em meio aos neurônios e suas “danças elétricas”, imagino que um universo de possibilidades - e dúvidas - tenham surgido sobre a integração desses conceitos com as forças que impulsionam a aprendizagem e a memória.

À medida que exploramos os diferentes tipos celulares do tecido nervoso, desde as células da glia, que sustentam e nutrem, até os neurônios, que transmitem impulsos de maneira ágil e eficiente, uma compreensão mais profunda do microcosmo neural emerge:

Estes não são apenas componentes biológicos, são os arquitetos da nossa cognição.

O tecido nervoso, com sua diversidade celular, reflete uma sinfonia biológica. Cada célula tem seu papel singular, mas é na interação harmônica que emerge a complexidade que chamamos de mente. O cérebro é uma orquestra de células, cada uma tocando sua parte para criar a melodia do pensamento. A compreensão básica da composição nervosa pode parecer muito distante da realidade num contexto de mediação de aprendizado, mas ela alicerça implicações que discutiremos nos próximos módulos.

Ao adentrarmos a rede complexa do sistema nervoso, pudemos vislumbrar a beleza da conectividade neural. As sinapses, como pontes entre neurônios, são os pontos onde a aprendizagem floresce. Compreender a plasticidade sináptica é crucial para entender como podemos absorver e reter informações. E claro, isso é relevante para mim, para mediar o seu aprendizado. E é importante para você, estudante, como mediador de aprendizado de outras pessoas.

Percebeu como isso serve como uma analogia às redes neurais? Cada educador atua como um neurônio, mediando sinapses - o aprendizado - com outros neurônios, permitindo que a informação siga adiante.

Como exercício mental antes de iniciar o próximo módulo, te convido a pensar nas seguintes questões:

- *Se o aprendizado é mediado por processos de plasticidade neural, por que aprendemos algumas coisas e outras não?*
- *Por que lembramos de algumas coisas por muito tempo - às vezes uma vida toda - e esquecemos de outras tão rapidamente?*
- *Existem formas de fazer com que um aprendizado seja relevante a ponto de durar mais tempo?*

Refleta, nesse momento, sobre como esta jornada pode transformar suas abordagens pedagógicas futuramente. A neurociência não apenas amplia nossos horizontes acadêmicos, mas também inspira uma abordagem mais holística e personalizada para a educação. Cada aluno é único, assim como cada configuração neural. Não existe uma forma única de aprender, uma receita certa. Mas existem múltiplas formas de melhorar estratégias de aprendizado, e você deu o seu primeiro passo nessa jornada ao concluir este módulo!

Até breve!

Referências

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências**: desvendando o sistema nervoso. 4 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017.

JEON, S. W.; KIM, Y. Neuron-Microglia Crosstalk in Neuropsychiatric Disorders. In: **Advances in Experimental Medicine and Biology**. Singapura: Springer Nature Singapore, 2023, p. 3-15. Disponível em: <https://link.ufms.br/Qlqdb> Acesso em: 11 jan. 2024.

KANDEL, E. R.; *et al.* **Princípios de neurociências**. 6 ed. Porto Alegre: AMGH, 2020.

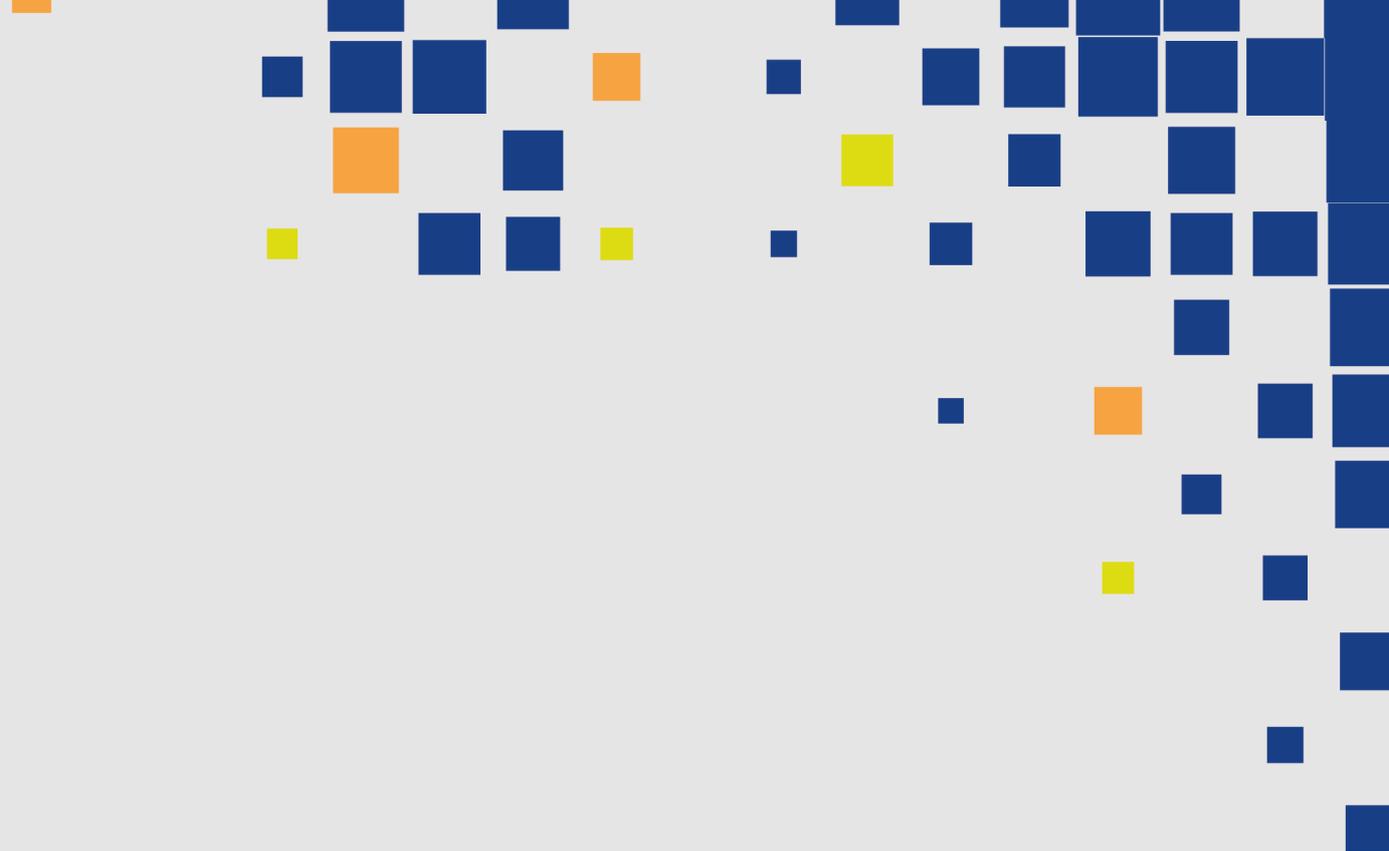
LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais de neurociência. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2022.

LÓPEZ-MUGURUZA, E.; MATUTE, C. Alterations of oligodendrocyte and myelin energy metabolism in multiple sclerosis. **International journal of molecular sciences**, v. 24, n. 16, 2023, p. 1-18 Disponível em: <https://link.ufms.br/JxZM9> Acesso em: 11 jan. 2024.

NUNES, M. L.; COSTA, J. C.; SOUZA, D. G. **Entendendo o funcionamento do cérebro ao longo da vida**. Editora EdPUC-RS, 2021. Disponível na [Biblioteca Digital da UFMS](#). Acesso em: 13 nov. 2023.

PURVES, D.; *et al.* Neuroscience. 6 ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017.

SILVA, F. E. **Neurociência e aprendizagem**: Uma aventura por trilhas da neuroeducação. Editora Intersaberes, 2021. Disponível na [Biblioteca Digital da UFMS](#). Acesso em: 13 nov. 2023.



Módulo 2

As funções cerebrais no processo de aprendizagem



Apresentação

Olá, estudante.

Seja bem-vindo e bem-vinda ao segundo módulo da disciplina **Neurociência e Aprendizagem**! Neste módulo, vamos direcionar esforços para entender como são formadas as memórias, como elas são representadas ou “armazenadas” no cérebro, seus diferentes tipos e, mais importante, quais fatores podem moldar o armazenamento dessas informações.

Antes de se aprofundar, pense comigo:

Você se recorda de absolutamente tudo que aconteceu na sua vida, até hoje? Sobre a sua memória de épocas escolares: você consegue se lembrar de todos os conteúdos aprendidos em todas as disciplinas básicas, da mesma maneira?

Certamente você se lembrará melhor de conteúdos relacionados à sua área de graduação, mas não aos temas menos abordados depois da escola. Por que, então, nós esquecemos todo o resto que foi aprendido? Será que esse conteúdo foi, realmente, aprendido? Ou alguma coisa aconteceu para determinar a duração dessa memória?

Na **Unidade 1**, você terá uma visão panorâmica dos tipos de memória, de acordo com seus conteúdos, durações e regiões encefálicas recrutadas em seu processamento. É crucial reconhecer que as memórias não são monolíticas. Elas se dividem em categorias, cada uma desempenhando um papel exclusivo no espetáculo da cognição.

Desde as memórias de curto prazo, que piscam e apagam como luzes de natal, até as memórias de longo prazo, que constroem a narrativa de nossas vidas, cada tipo é uma peça essencial do quebra-cabeça em torno do aprendizado. Ao entender as nuances entre essas formas, você terá algumas ferramentas valiosas para criar experiências de aprendizado mais eficazes.

Na **Unidade 2**, você vai conhecer um pouco mais sobre aspectos superiores da mente humana que podem modificar como aprendemos novas informações. Você vai entender como o emocional e as memórias estão intrinsecamente entrelaçados: as *emoções* não apenas “dão cor” às nossas memórias, mas também servem como catalisadores poderosos para a formação de memórias duradouras.

Saber lidar com emoções no contexto de ensino e aprendizado pode ser a chave para garantir a formação de memórias significativas. A *atenção*, como um feixe de luz concentrado, direciona a formação das memórias e os pontos de interesse no ambiente que nos cerca. Desenvolver a capacidade de foco não apenas aprimora a retenção, mas também serve como um filtro sábio, selecionando o que merece um lugar no santuário da memória. Me acompanhe nesse módulo, e bons estudos!

Unidade 1

Formação e armazenamento das memórias

Uma parcela significativa do que entendemos como identidade individual é construída com base no que vivemos e aprendemos ao longo do tempo. Nossa personalidade e caráter são moldados com as experiências de vida. As memórias de eventos passados permitem a criação e retenção de representações internas que vivemos naquele exato momento. O filósofo italiano **Norberto Bobbio** costumava dizer que “*nós somos aquilo que lembramos*”. E isso não é exagero.

Norberto Bobbio (1909 – 2004) foi um filósofo e político italiano, que chegou a receber o título de senador vitalício da Itália. Estudou Direito e Filosofia na Universidade de Turim e foi professor de Filosofia do Direito por boa parte de sua carreira. Saiba mais em <https://link.ufms.br/xo1K5>

A **memória** se refere à capacidade biológica de adquirir, armazenar e resgatar informações. Embora as memórias fiquem armazenadas no sistema nervoso, elas não deixam uma marca evidente, uma “cicatriz” (Izquierdo, 2018). Como dissemos no módulo anterior, as memórias são sustentadas por alterações plásticas em redes neuronais, que são mudanças estruturais mais sutis e microscópicas.

Uma memória é “representada no cérebro” pela ativação de uma rede neuronal específica. Quando recebemos uma nova informação, ela percorre um caminho neuronal para alcançar várias regiões distintas do sistema nervoso e permitir a sua interpretação (Kandel *et al.*, 2020).

Essa informação pode nunca ser guardada, por diversos motivos, como irrelevância, falta de atenção, entre outros. Nesse caso, essa informação vai ser pouco capaz de alterar vias neuronais, sem grandes modificações biológicas e retorno ao funcionamento usual.

No entanto, quando somos confrontados com informações importantes, essa mesma circuitaria neuronal pode ser ativada de uma forma mais intensa.

Uma comunicação neuronal mais forte, seja por maior frequência ou duração de ativação, pode ocasionar mudanças na eficiência de transmissão sináptica, principalmente pelo surgimento de novas sinapses, aumento em seu tamanho e na quantidade de neurotransmissores produzidos e liberados em sinapses químicas.

Outra forma de plasticidade menos discutida nas escolas: até hoje, ainda aprendemos que os neurônios não se dividem e não aumentam de número após o nascimento. Isso era uma verdade, até descobrirem, há algumas décadas, o processo de **neurogênese**.

Nós mantemos algumas células imaturas no cérebro, que podem se diferenciar em novos neurônios ao longo da nossa vida, mesmo depois de adultos. Estudos mais novos sugerem que o desenvolvimento de novos neurônios pode ser importante para o estabeleci-

mento de novos circuitos neuronais, conforme somos expostos a situações que exijam aprendizado (Purves *et al.*, 2017).

Alguns transtornos psiquiátricos que resultam na redução da neurogênese podem prejudicar a formação das memórias, como é o caso da depressão. Por isso, não é à toa que pessoas deprimidas se queixam frequentemente de lapsos de memória (Wu; Zhang, 2023).

Uma vez que modificações sinápticas acontecem, aquela rede neuronal - que foi recrutada durante o recebimento de uma informação específica - é reforçada e se torna mais facilmente ativada. Essa facilitação de comunicação permite que toda a informação seja recordada mesmo quando você se confronta, novamente, com apenas parte dessa informação.

Vamos para um exemplo prático?

Escute essa melodia



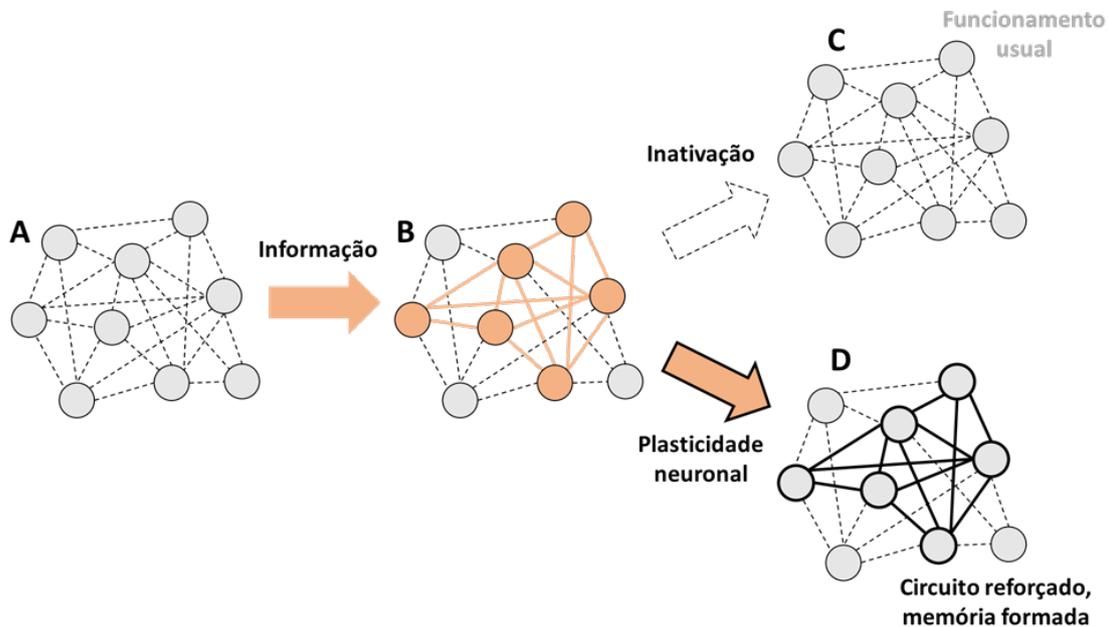
(Performance de Thiago Maia Frade)

Refleta! Talvez agora você esteja com a sensação de ter “uma música na cabeça”, sem conseguir se lembrar da letra. Você tenta se lembrar, faz muito esforço, e não consegue, mas você sabe cantarolar com o ritmo.

Mas se alguém começa a recitar a letra da música (“É pau, é pedra, é...”), automaticamente você se lembra dela inteira. Isso mesmo! É a música *Águas de Março*, muito conhecida pela interpretação de Elis Regina e Tom Jobim.

Percebeu o que aconteceu? Você recebeu um fragmento da informação - um trecho da música - mas conseguiu recordar da canção inteira, porque ela estava armazenada como uma memória. O reforço de interações neuronais, por meio de processos de plasticidade, favorece o resgate de informações passadas (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

O esquema a seguir, conforme Kandel *et al.* (2020), ilustra esses processos de plasticidade, para facilitar o entendimento.



A - Neurônios interligados estabelecem uma **rede neuronal complexa**.

B - Frente a uma nova informação, alguns neurônios dessa rede são **ativados** em um padrão específico.

C - Se essa informação não for convertida em uma memória, os neurônios são **inativados** após a sua apresentação e retornam ao funcionamento usual.

D - Se a informação for armazenada como uma memória, as conexões entre neurônios recrutados por ela serão **reforçadas** por processos de **plasticidade sináptica**, reforçando a eficiência dessa rede neuronal específica em eventos biológicos que sustentam a representação dessa memória no cérebro.

Agora que você já sabe como a memória é biologicamente representada no sistema nervoso, vamos dar um passo adiante. Cada uma dessas etapas, desde a apresentação da informação que leva ao aprendizado até a recordação desse conteúdo, recebem **nomes** específicos (Izquierdo, 2018).



■ Aquisição

A apresentação de uma informação relevante representa a aquisição da memória. Nesse momento, a memória é **frágil**, porque a informação apresentada simplesmente ativou a rede neuronal que a representará.

■ Consolidação

Essa memória precisa passar pelo processo de consolidação (do latim “*consolidare*”, tornar sólido). É durante essa etapa que acontecem as modificações sinápticas e processos de plasticidade que levarão ao **fortalecimento** da comunicação neuronal. Todo esse processo leva horas até acontecer, e só então a memória torna-se estável, passível de ser mantida ao longo do tempo.

Se o processo de consolidação é interrompido, a memória pode ser perdida para sempre. Isso pode acontecer quando uma pessoa bate a cabeça em um acidente e “perde memórias” de eventos que aconteceram perto do momento do trauma. Como essas memórias ainda estavam em processo de consolidação, a lesão encefálica pode interromper a plasticidade neuronal e causar amnésia, a perda da memória. Já as memórias antigas, que já estavam consolidadas, não serão impactadas da mesma forma.

Várias substâncias também podem prejudicar as memórias, como o etanol (ou álcool) presente em bebidas alcoólicas. No sistema nervoso, o álcool tem ação inibitória, reduzindo a ativação de neurônios. Se uma quantidade suficiente de bebidas alcoólicas for ingerida durante a formação de uma memória, ela pode não ser consolidada por inibição dos processos de plasticidade. Por isso, é comum pessoas que se alcoolizam relatarem lapsos de memória, que são chamados de amnésia alcoólica (Lent, 2022).

■ Evocação

Por fim, uma memória consolidada e armazenada pode ser **acessada, lembrada** ou **re-cordada** no processo de evocação (do latim “*evocare*”, chamar ou trazer à tona). Uma memória que não foi consolidada não estará armazenada da forma adequada no encéfalo e, por isso, não poderá ser evocada.

Muitas vezes, mesmo uma memória armazenada não é evocada da forma adequada, por interferentes externos. Quem nunca teve um “branco” em uma prova? Você estudou, sabe que guardou aquela informação, mas não consegue se lembrar por nervosismo.

Curioso, não? Vamos retomar esse ponto futuramente.

Nesse momento, deve estar claro pra você que nem toda memória é igual. Você sabe muito bem disso, senão você não esqueceria tão facilmente onde deixou as chaves de casa, enquanto se lembra tão bem do dia da sua formatura ou casamento. Existem vários **tipos diferentes de memórias**, de acordo com suas características e áreas do sistema nervoso necessárias para seu armazenamento.

Quanto à duração, as memórias são classificadas como (Purves *et al.*, 2017):

■ Memória de trabalho

A memória de trabalho, ou **ultra-curta**, é aquela que ocupa a nossa mente por alguns segundos, no máximo poucos minutos, somente o tempo suficiente para realizar uma ação. O exemplo mais simples é quando você consulta um número de telefone para ligar: você olha o número e o mantém na mente o tempo necessário para completar a ligação. Alguns segundos depois, você nem deve mais se lembrar do número. Esse tipo de memória é transitória, sem armazenamento, e é mantida pela atividade elétrica transitória de regiões corticais, principalmente do lobo frontal;

■ Memória de curto prazo

A memória de curto prazo pode **durar mais** que a memória de trabalho, normalmente de alguns minutos a algumas horas. Em geral, a memória de curto prazo garante o acesso de informações aprendidas mesmo durante o período de consolidação, quando as alterações neuronais ainda estão acontecendo para sustentar memórias mais estáveis. Se a memória de curta duração não existisse, nós só poderíamos nos lembrar de informações horas após elas serem adquiridas, uma vez terminando a consolidação. Por isso, a memória de curto prazo é vista como um “estepe”, enquanto a memória mais duradoura é formada;

■ Memória de longo prazo

A memória de longo prazo pode durar dias, meses, anos e até uma **vida toda**. A sua formação exige adaptações neuronais e processos plásticos, que levam horas para acontecer. A etapa de consolidação representa o momento de estabelecimento das memórias de longa duração.

Tanto as memórias de curto e longo prazo podem recrutar estruturas encefálicas distintas, de acordo com o seu “tema”. Quanto ao conteúdo e formas de acesso, as memórias são classificadas como (Purves *et al.*, 2017):



■ Memória explícita

A memória explícita (ou declarativa) é aquela cujo acesso é voluntário e o conteúdo pode ser declarado explicitamente. Geralmente, armazena informações sobre fatos, eventos e significados e requerem aprendizado de forma consciente, exigindo percepções sensoriais, dedução e elaboração de conceitos. Essas memórias são classificadas como episódicas ou semânticas.

■ Episódicas

As memórias são classificadas como episódicas quando referentes a eventos que aconteceram em datas específicas e vivências prévias, como a lembrança de um primeiro amor, de uma festa de aniversário, etc.

■ Semânticas

As memórias são classificadas como semânticas quando relacionadas ao conceito de coisas (significado de palavras, definições de termos) e representação de fatos (como saber a capital de determinado país ou eventos históricos).

Muitas áreas corticais são recrutadas para o estabelecimento de memórias declarativas, principalmente aquelas localizadas no lobo temporal. O **hipocampo** é a estrutura temporal mais estudada na formação desse tipo de memória. Ele recebe esse nome porque sua estrutura lembra o formato de um **cavalo marinho**.

Lesões hipocampais podem fazer com que uma pessoa seja incapaz de formar novas memórias declarativas, sem impactar no armazenamento de memórias mais antigas. Atualmente, sabemos que memórias declarativas mais remotas passam a ser representadas por neurônios difusos pelo córtex associativo difuso, justificando a resistência de memórias mais velhas a danos hipocampais.

■ Memória implícita

Memórias implícitas são aquelas cuja formação e acesso podem acontecer de formas menos conscientes, quase mecânicas, por estratégias associativas ou motoras. Em geral, o conteúdo dessas memórias não pode ser expresso facilmente em palavras, por isso elas também são conhecidas como *memórias não-declarativas*. Elas podem ser classificadas em vários tipos, como: procedurais, associativas e não-associativas.

■ Procedurais

As memórias são classificadas como *procedurais* (de procedimento, de habilidades ou hábitos) quando relacionadas ao aprendizado de situações que envolvem ações motoras, como dirigir um automóvel, uma bicicleta, ou tocar piano.

A prática continuada leva ao aprendizado motor, mesmo que não tenhamos a consciência exata de qual a sequência exata de contração muscular necessária para realizar qualquer uma dessas ações. Sua manutenção requer estruturas envolvidas com o controle motor, incluindo algumas áreas cerebrais (como o estriado), do tronco encefálico, do cerebelo e mesmo da medula espinal.

■ Associativas

As memórias são classificadas como *associativas* quando são geradas após a associação frequente de estímulos e criam um comportamento. Quando uma criança coloca o dedo na tomada e leva um choque elétrico, ela aprende - na prática e da pior forma possível - que esse comportamento é perigoso. Nesse caso, a associação do dedo na tomada com o desconforto do choque elétrico cria um comportamento: evitar repetir essa ação. É uma questão de causa e efeito.

Quando memórias associativas apresentam um componente emocional, como o estresse e dor causados pelo choque no dedo, são recrutadas estruturas encefálicas envolvidas

com as emoções, como a **amígdala**. Esse pequeno núcleo é o grande responsável por associar sentidos com respostas emocionais, com função essencial na interpretação de emoções mais refinadas. Quando memórias associativas levam à realização de movimentos e funcionamento de órgãos, áreas motoras, como o cerebelo, também são necessárias para o aprendizado.

■ Não-associativas (habituação)

Memórias não-associativas geralmente se relacionam ao ajuste de respostas frente a estímulos específicos. Quando um estímulo é irrelevante, sua apresentação repetida leva à habituação, com menor capacidade de percepção. Costuma-se dizer que houve dessensibilização sensorial àquele estímulo.

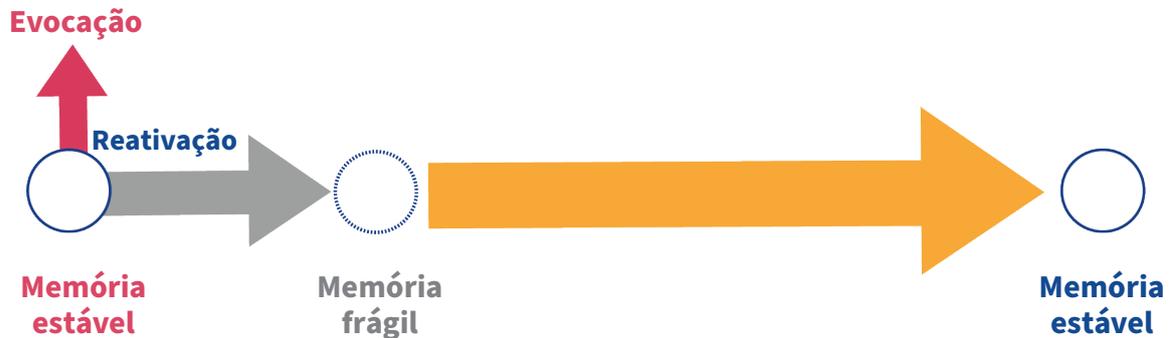
O melhor exemplo disso é o barulho constante de uma obra na casa dos vizinhos: o som da britadeira pode ser tão constante a ponto de você inconscientemente “parar de percebê-lo” com a mesma intensidade. Esse tipo de memória envolve vias reflexas (“automáticas”), com pouco processamento consciente.

Independentemente do tipo de memória, é importante termos em mente que uma vez formada, uma informação armazenada não é imutável. Em “*A persistência da memória*”, uma das obras célebres de Salvador Dalí (1931), vemos vários relógios “derretidos” e que tomam a forma do ambiente onde estão. Assim são as memórias: elas não são fixas, tatuadas no cérebro a ferro e fogo.

Com o tempo e experiências que acumulamos, as memórias podem se moldar e adquirir novos tons e interpretações. Elas não são um retrato fiel de um acontecimento, porque podem sofrer várias distorções desde a sua formação até o armazenamento ao longo do tempo (Izquierdo, 2010).

No começo deste século, experimentos estabeleceram que memórias evocadas podem ser modificadas. Quando uma memória já armazenada é acessada, o circuito neural que a representa é reativado, tornando essa memória frágil novamente. Mais uma vez, uma nova rodada de eventos biológicos de plasticidade neuronal são necessários para que essa memória volte a ser armazenada de forma estável.

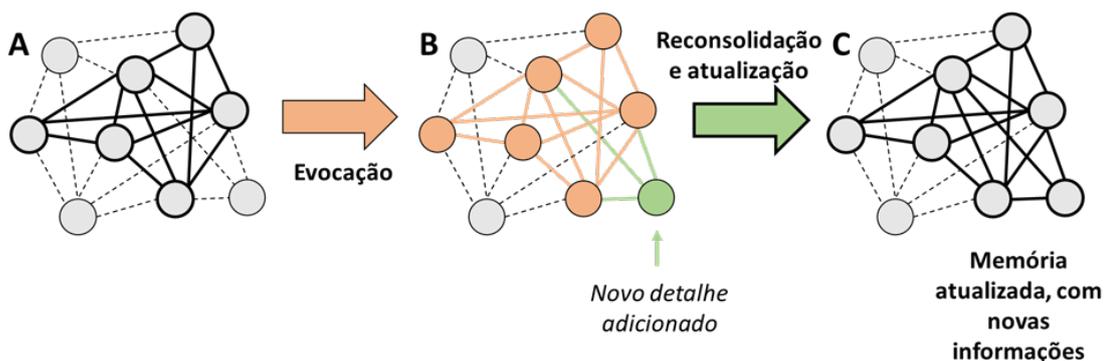
Como esse processo tem algumas semelhanças com a consolidação da memória original, ele foi batizado de **reconsolidação**, como um reprocessamento (Izquierdo, 2018).



Pode parecer pouco eficiente que uma memória precise de novos processos plásticos a cada acesso, mas essa estratégia proporciona algumas vantagens: durante a reconsolidação, uma memória formada anteriormente pode ter a sua relevância alterada. Uma memória acessada frequentemente é interpretada como “relevante”, e tende a ser reconsolidada de forma mais intensa, garantindo a sua manutenção por mais tempo.

Durante a reconsolidação, a memória pode ser **atualizada**, com a inclusão de novos detalhes e contextos. A atualização da memória é uma estratégia para “categorizar” informações, “agrupando” aquelas que podem ter semelhanças e permitindo um aprendizado gradual e constante (Izquierdo, 2018).

Veja no esquema a seguir as etapas da atualização de memórias.



A - Memórias consolidadas são representadas por circuitos neuronais **reforçados**, que passaram por alterações plásticas.

B - O acesso a essas memórias, por evocação, leva à ativação da rede neural, que precisa passar pela etapa de reconsolidação para que **novas alterações plásticas** voltem a reforçar esse circuito a manter seu armazenamento. Se novas informações são apresentadas e se relacionam com a memória evocada, neurônios que as representam podem ser ativados concomitantemente.

C - A atualização da memória pode fazer com que os neurônios que representam essa informação adicional passem a compor a rede neural que representa a memória original. Em resumo, a atualização não diz respeito apenas ao conteúdo da memória, que é modificado, mas também à sua representação no sistema nervoso.

O princípio da reconsolidação de memórias foi utilizado neste material didático: embora você tenha sido apresentado(a) a vários conceitos de neurociência no módulo anterior, informações adicionais sobre esses mesmos temas vêm sendo apresentados no módulo atual.

A memória anteriormente formada sobre “neurônios” passa por atualizações conforme novos detalhes são apresentados, como processos adicionais - *como a memória é codificada nos neurônios? Como acontecem modificações plásticas em vias neurais?* - e contextualização da relevância dessas informações para os processos de aprendizagem.

Sem perceber, você vem sendo uma prova empírica da atualização das memórias, ao longo de toda a sua vida.

Mesmo aquelas memórias de longa duração podem não resistir para sempre. O **esquecimento** é um processo passivo de perda das memórias, em geral quando a informação armazenada não é mais relevante, ou não é acessada com frequência. Também existem situações de esquecimento associado a doenças, como no caso do Alzheimer, em que a amnésia é resultado de uma morte maciça de neurônios que representam memórias armazenadas.

Não confunda esquecimento com a ausência de aprendizado: na maioria das situações cotidianas nas quais percebemos ter “esquecido” de alguma coisa, talvez nunca tenhamos sequer armazenado essas memórias, provavelmente num contexto de estresse e sobrecarga de atividades (Izquierdo, 2010). Sabe do que estou falando? “Onde coloquei a chave? Onde estacionei o carro?”. Talvez você não lembre dessas informações porque nem mesmo guardou uma memória associada, já que fez essas ações de forma automática e sem atenção suficiente.

O esquecimento real, por sua vez, tem função de remover da mente aquelas informações que perderam relevância, já que a capacidade de processamento do sistema nervoso não é infinita. Um adulto que não tem profissão relacionada à área de exatas pode facilmente esquecer como fazer contas matemáticas manualmente, por usar calculadoras com frequência. Você provavelmente não se lembra mais do número de telefone dos seus amigos, porque seu celular armazena essas informações por você, com um único toque na tela. Por isso, o esquecimento é um aspecto importante da memória, especialmente para dar espaço a memórias mais relevantes.

Mas agora trago um último exemplo, que serve como uma provocação: provavelmente você não se lembra mais do conteúdo que você simplesmente “decorou” para fazer uma prova, sem se dar conta da importância daquele tema, ao contrário de um assunto que você conseguia aplicar na sua realidade ou entender um sentido prático. Isso exemplifica algumas armadilhas que podemos armar pra nós mesmos - e para os nossos alunos - em um contexto de ensino (Izquierdo, 2010).

Alguns pontos podem ter ficado nebulosos para você: *como o sistema nervoso “decide” o que é relevante ou não? Por que uma memória que foi armazenada pode não ser evocada por “nervosismo”? Por que algumas memórias podem ser esquecidas com o tempo, enquanto outras permanecem muito intensas, por uma vida toda?* Acredite em mim, esses aspectos foram tocados muito superficialmente de propósito. Fique com esses questionamentos na cabeça, porque eles serão alvos da próxima unidade.

Unidade 2

Modulação das memórias por aspectos cognitivos e emocionais

Nesta unidade, vou te guiar através do contexto emocional que não apenas define nossa existência, mas também forma a base fundamental dos processos de aprendizado. As emoções são mais do que simples reações químicas; são orquestradoras de nossa experiência humana. Desde a alegria que nos eleva às alturas até a tristeza que nos conecta à nossa humanidade, as emoções são a tapeçaria que dá cor e significado à nossa vivência.

No cenário da neurociência, descobrimos que as emoções não apenas sustentam a vida, mas também desempenham um papel vital no processo de aprendizado, influenciando a formação e a persistência de memórias.

Na unidade anterior, mencionei ideias de Norberto Bobbio, que dizia que “nós somos aquilo que lembramos”. **Ivan Izquierdo**, um argentino naturalizado brasileiro que dedicou sua vida ao estudo das memórias, levava essa citação para um outro patamar.

Eu costumo acrescentar “e também somos o que decidimos esquecer”. De acordo com nossos hábitos e personalidade, podemos escolher não esquecer as ofensas e as agressões jamais, e nesse caso estaremos propensos à amargura, à paranoia ou ao ressentimento. Podemos escolher esquecer por completo, ou reprimi-las até que desapareçam do nosso acervo de memórias importantes, e nesse caso ficaremos muitas vezes indefesos perante a sua reiteração. Podemos também, entretanto, escolher reprimi-las ou extingui-las até que passem a ficar fora do acervo das memórias de uso diário e facilmente acessíveis, mas à nossa disposição caso se tornem necessárias; por exemplo, quando for oportuno esquivar-nos ou defender-nos de novas ofensas ou agressões. (Izquierdo, 2004, p. 1)

A “escolha” do que esquecer, contudo, nem sempre é consciente e voluntária (Izquierdo, 2010). A memória, desde a sua formação até sua evocação ao longo do tempo, é sujeita aos efeitos das emoções. Você já se deu conta de que memórias associadas a situações emocionais costumam ser mais ricas em detalhes e até acessadas mais facilmente?

Eventos importantes na vida de uma pessoa - como o dia do casamento, um primeiro beijo, uma viagem desejada, a formatura de um filho - sempre serão lembrados mais eficientemente do que memórias sem carga emocional, como a lista de compras para o mercado, o local onde você deixou as chaves de casa ou onde estacionou o carro.

As **emoções** são estados psicológicos e fisiológicos elaborados pelo sistema nervoso em resposta a estímulos internos ou externos (Bear; Connors; Paradiso, 2017). Essas respostas emocionais, na maioria das vezes, ficam essencialmente no campo subjetivo, modulando o nível de alerta e adaptando comportamentos às demandas momentâneas.

Algumas emoções, contudo, podem ter impacto mais físico no nosso organismo, gerando respostas hormonais e movimentos reflexos.

Imagine que você, ao chegar em casa depois de um dia de trabalho, **se depara com...**



...uma cobra na cozinha! Todos os humanos e outros primatas têm medo **inato** a cobras, embora esse medo possa ultrapassar níveis “esperados”, em casos de fobias. Mesmo que isso nunca tenha acontecido na sua vida, você conseguiria descrever quais seriam suas possíveis reações.

Quando digo de um “**medo inato**”, entendo que “inato” se refere a algo inerente, que acompanha um ser desde seu nascimento. Em neurociência comportamental, comportamentos inatos são aqueles que se apresentam naturalmente a uma espécie, sem requerer aprendizado prévio.

Na esfera subjetiva, a sensação de medo, a apreensão por um possível ataque, a avaliação rápida do contexto na busca por rotas de fuga ou instrumentos para se defender.

Fisiologicamente, o suor frio, a paralisia muscular no momento de surpresa, a taquicardia, a dilatação das pupilas. O medo talvez seja a emoção mais evidente nessa situação, guiando uma série de comportamentos e ajustes fisiológicos necessários para a adaptação da conduta àquela situação específica (Kandel *et al.*, 2020).

As emoções podem ter **caráter** - ou valência - negativo ou positivo. Elas desempenham funções muito claras, e até intuitivas, em relação ao nosso comportamento.

Emoções negativas

O medo, por exemplo, garante a **autopreservação** frente a situações de perigo. Mais que isso, as emoções negativas ainda reduzem as chances de exposições futuras ao risco, além de criar um repertório comportamental que pode direcionar ações eficientes se a mesma situação de perigo acontecer futuramente.

Retomando o exemplo da cobra: é provável que no dia seguinte à visita inesperada em sua cozinha, você tenha certa cautela ao entrar novamente neste cômodo, mesmo sabendo que a cobra já foi retirada no dia anterior. Essa ansiedade é uma forma de preparo prévio para um risco possível. Se a cobra ainda estivesse ali, você já saberia uma possível rota de fuga ao lembrar do dia anterior.

Por esse motivo as emoções conseguem modificar a intensidade das memórias tão facilmente, já que essas memórias podem garantir as chances de sobrevivência e garantir a adaptação individual em um contexto de mudança.

Emoções negativas muito intensas, contudo, podem gerar memórias que se tornam patológicas e desvantajosas, como os traumas. Esse tipo de memória é tão intensa a ponto de limitar comportamentos e interação social, trazendo prejuízos individuais (Izquierdo, 2018).

Emoções positivas

Ao sentir contentamento, gratidão e satisfação em uma situação, formamos memórias positivas que aumentam as chances de buscarmos **repetir** as mesmas ações que nos levaram àqueles sentimentos bons.

A excitação experimentada após a montanha-russa pode ser interpretada de forma positiva por algumas pessoas, gerando um desejo de repetir a experiência. A satisfação ao se alimentar garante que uma refeição não seja esquecida e que saibamos onde “procurar comida”. O contentamento em passar tempo de qualidade com uma pessoa querida reforça vínculos e apego.

Embora vários desses exemplos possam melhorar as chances de sobrevivência ou aumentar a qualidade de vida, emoções positivas também podem gerar memórias problemáticas. O abuso de drogas costuma ter o risco de dependência associado à sua capacidade de gerar prazer: quanto mais prazeroso o efeito da droga, maior tende a ser a chance de dependência.

Isso tem relação direta com a memória: a sensação de prazer gerada é associada ao uso de uma droga, criando uma memória que aumenta os riscos do uso repetido da substância em busca de emoções positivas. Essa lógica funciona para grande parte das dependências - ou “vícios”, um termo menos usado atualmente pelo teor pejorativo - que geram comportamentos abusivos, incluindo também compulsões associadas às apostas (jogo patológico), sexo e comportamento alimentar (Purves *et al.*, 2017).

A modulação emocional da memória é garantida pela facilitação de mecanismos de plasticidade sináptica essenciais para a consolidação.

Ao experimentar emoções, sofremos a influência de vários neurotransmissores e hormônios que resultam em modificações fisiológicas. Várias dessas substâncias também têm efeitos diretos em neurônios, aumentando a eficiência de processos de crescimento sináptico, ramificação neuronal e estabelecimento de conexões que garantem o reforço de circuitos neurais recrutados para representar as informações daquela experiência emocional (Izquierdo, 2018).

A **adrenalina**, que é responsável por aumentar a frequência cardíaca em momentos de emoção, também favorece a formação de memórias, aumentando a eficiência do armazenamento das informações associadas à emoção experimentada. O **cortisol**, um hor-

mônio liberado em situações de estresse, causa modificações metabólicas necessárias para respostas de defesa, como uma luta ou fuga, mas também otimiza a consolidação de memórias relacionadas a esse evento.

É como se o nosso corpo tentasse aumentar sua eficiência, ao utilizar as mesmas substâncias produzidas por respostas emocionais na modulação de memórias que são geradas durante esses eventos.

A adrenalina e o cortisol são exemplos de **hormônios**, substâncias químicas com função de comunicação liberadas no sangue. Hormônios podem ser produzidos por vários órgãos do corpo. No caso dos exemplos mencionados, a produção acontece na glândula suprarrenal (ou adrenal), que fica localizada acima dos rins (Kandel *et al.*, 2020).

O sistema nervoso também apresenta uma série de estruturas envolvidas no controle hormonal e na modulação emocional (Packard; Gadberrry; Goodman, 2021):

■ Hipotálamo

O hipotálamo, por exemplo, coordena respostas de defesa e a ativação da glândula suprarrenal, garantindo a liberação de adrenalina e cortisol no sangue. É responsável por respostas mais imediatas.

■ Amígdala

A amígdala é uma estrutura cerebral que representa um ponto de interface entre partes mais primitivas e modernas do sistema nervoso central. Ao receber informações sensoriais - como o estímulo visual da cobra no chão da cozinha - a amígdala organiza respostas comportamentais adequadas: o impulso de gritar ou correr é visceral, explosivo, controlado por regiões mais primitivas como o hipotálamo e o tronco encefálico. Por processamento na amígdala, a estratégia comportamental pode mudar para uma avaliação mais racional na busca por rotas de fuga e armas para defesa.

Não à toa, a amígdala é vista como uma central de ajuste de comportamentos emocionais, “pesando” o valor que deve ser atribuído às experiências vividas. Lesões na amígdala resultam em perda do medo a vários estímulos, além de prejuízos claros na formação de memórias emocionais.

■ Córtex pré-frontal

O córtex pré-frontal é outra região que permite o ajuste ainda mais refinado das emoções e sentimentos mais complexos. Neurônios presentes nessa região participam de estratégias de tomada de decisão, impulsividade e emocionalidade social. A regulação emo-

cional mais complexa depende dessa área: ao ver a cobra, funcionamentos diferentes do córtex pré-frontal podem ser decisivos para fazer uma pessoa adotar a estratégia de fugir, enquanto outra pode manter uma postura de defesa ativa, de enfrentamento ao risco.

Lesões nessa região do cérebro resultam em uma perda de “amarras sociais”, levando à realização de ações e condutas consideradas “inadequadas”, como andar nu e fazer sexo em público, ofender outras pessoas gratuitamente e perder controle sobre a impulsividade. Esse foi o caso emblemático de Phineas Gage, um paciente estudado após um acidente severo que levou à perda quase completa do córtex pré-frontal.

É claro que esses são apenas alguns exemplos de estruturas e você deve ter percebido, neste ponto da disciplina, que funções complexas do sistema nervoso geralmente são controladas em vários níveis e por múltiplas regiões nervosas.

Ao conjunto de estruturas encefálicas associadas ao controle emocional é dado o nome de **sistema límbico** (Lent, 2022). Às vezes referido como o “cérebro emocional”, ele inclui estruturas encefálicas que atuam diretamente na regulação das emoções: além do hipotálamo, amígdala e córtex pré-frontal, já mencionados, somam-se o hipocampo, o tálamo e outras regiões corticais, como o córtex cingulado. Algumas dessas áreas cerebrais também têm funções claras na formação de memórias, como vimos na unidade anterior. Essa “sobreposição” de funções emocionais e cognitivas facilita a modulação emocional das memórias.

As emoções podem ser mobilizadas **a favor** da formação e do resgate de memórias. Emoções muito intensas, no entanto, podem gerar o efeito **contrário**. Veja a seguir.



A FAVOR

Estruturas nervosas ativadas em situações emocionais podem se conectar diretamente àquelas necessárias para a formação de memórias, modulando processos de plasticidade neuronal por meio da liberação de **neurotransmissores** como a noradrenalina, dopamina e serotonina.

Memórias formadas sob a influência de múltiplos neurotransmissores tendem a ser armazenadas de forma mais intensa, e com menor perspectiva de esquecimento (Izquierdo, 2010). É como se o cérebro já colocasse uma etiqueta de “IMPORTANTE” em uma memória associada a contextos emocionais. A influência emocional também “dá cor” às memórias, formando-as com riqueza de detalhes incomum às memórias neutras.

Tente lembrar de detalhes pequenos de eventos importantes para a sua vida e talvez você se surpreenda com lembranças de cheiros, roupas usadas etc. Outro exercício mental para testar essa riqueza de detalhes inclui perguntas como: “Onde você estava quando soube do atentado de 11 de setembro?” e “O que você estava fazendo quando Ayrton Senna morreu?”. Para quem vivenciou esses acontecimentos, não é difícil se lembrar do momento, com vários detalhes até pouco importantes, que normalmente seriam esquecidos.



CONTRA

Mas nem tudo são rosas. Emoções muito intensas podem prejudicar o acesso a memórias formadas anteriormente.

Imagine-se em uma situação de risco de vida e responda: *faz sentido você se lembrar da fórmula de Bháskara nesse momento? Ou das regras de acentuação da língua portuguesa?* Certamente não. Em momentos de emoção, toda a atividade mental é direcionada à situação específica que a gerou. Por isso, quando somos expostos a situações muito estressantes, podemos ter lapsos de memória, um “branco”. Mesmo que a informação esteja armazenada na nossa mente, o acesso é dificultado pelo calor do momento.

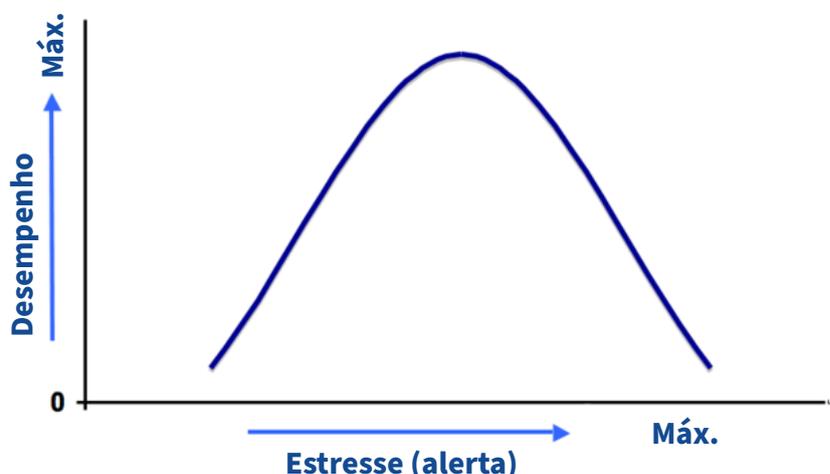
O excesso de estresse também prejudica a formação de memórias que não sejam relacionadas à situação estressante propriamente dita. Por esse motivo, o ensino baseado em punições não é adequado, já que o contexto de medo prejudica o aprendizado. E mesmo que esse aprendizado aconteça, ele seria associado a emoções negativas, aumentando as chances de menor interesse sobre o tema ou sobre o contexto de aprendizado como um todo (Sousa; Salgado, 2015).

Outro desdobramento importante é que pessoas que sofrem com *transtornos depressivos e de ansiedade* podem ter desafios adicionais em situações de aprendizado e avaliação, justamente por lidarem com as emoções de uma forma mais complexa.

Como consequência, a influência emocional sobre a memória e processos cognitivos não é linear, mas depende da **intensidade**, conforme o gráfico a seguir.

Isso é bem claro no caso do estresse, que melhora o desempenho cognitivo até certo ponto, mas tem efeitos negativos em níveis elevados. É um dilema: contextos de ensino que gerem insegurança e estresse tendem a reduzir o desempenho de aprendizado dos alunos, mas se o ambiente for monótono e cansativo, a aprendizagem também será dificultada.

O aprendizado é otimizado em um balanço ideal de estímulos, com componentes que gerem interesse e engajamento dos alunos, mas não a ponto de exigir demais e gerar pressões sociais, competitivas e de desempenho. Mediar o aprendizado exige um “equilíbrio mental”, no final das contas (Fonseca, 2016).



A lei de Yerkes-Dodson propõe uma relação em U invertido entre o desempenho cognitivo e o nível de estresse, ou alerta. Situações de apatia ou desinteresse acompanham baixos desempenhos. Contextos de estresse e nervosismo extremos levam à sobrecarga de informações e os famosos “brancos”. Em níveis controlados, o estresse pode melhorar a atenção e o planejamento, facilitando o aprendizado e o acesso de informações.

Além da memória, outras funções cognitivas podem ser impactadas pelas emoções. Essas funções cognitivas podem, colateralmente, influenciar na qualidade das memórias formadas. A **atenção** talvez seja o principal exemplo.

A atenção é uma função executiva que permite o controle de pensamentos e ações ao direcionar a atividade mental para alguns estímulos específicos (Paraná, 2020). Os processos atencionais permitem a identificação, seleção e priorização de estímulos e informações. Como um holofote que aponta o foco de interesse em uma peça teatral, a atenção sinaliza estímulos relevantes, otimizando a atividade cognitiva em meio a vários estímulos.

Algumas informações e estímulos são naturalmente “salientes”, pois destoam dos demais estímulos apresentados, seja por diferença em aspectos visuais, entonação de voz, estilo de escrita etc. Nesses casos, não é difícil direcionar a atenção. Mas com estímulos menos salientes, o esforço atencional precisa ser aumentado para garantir a absorção das informações adequadas e, conseqüentemente, o aprendizado eficiente. Por isso, detalhes que passam despercebidos pelo foco atencional tendem a se perder mais facilmente (lembre-se do exemplo: “onde eu deixei as chaves de casa?”).

A atividade atencional e a de alerta são influenciadas por grupos de neurônios do tronco encefálico que compõem o **sistema reticular ascendente**. A ativação síncrona desses neurônios resulta na liberação de vários neurotransmissores distintos em todo o cérebro, sinalizando estados de alerta e atenção voltados a alguns estímulos apresentados. Essa modulação química melhora a função de filtro sensorial talâmica, priorizando a chegada de estímulos considerados relevantes, ou salientes, até regiões encefálicas superiores de processamento, como o córtex e o sistema límbico (Kandel *et al.*, 2020).

Os mesmos circuitos neuronais do sistema reticular ascendente também se relacionam com a manutenção de estados de consciência e ciclos de sono (Nogaro; Ecco; Nogaro, 2018). É natural, por exemplo, que tenhamos menor foco atencional quando o sono é maior. O cortisol, hormônio do estresse mencionado anteriormente, é liberado em maior quantidade assim que despertamos, aumentando o nível de alerta e preparando o nosso corpo para um novo dia ativo. Por isso, o aprendizado tende a ser otimizado durante o dia, que é geralmente o período ativo dos humanos (Sousa; Salgado, 2015; Fonseca, 2016).

Então acordar mais cedo implica em um aprendizado mais eficiente em um contexto de aprendizado? Não necessariamente. Acordar muito cedo, de forma repentina e pouco natural pode - inclusive - prejudicar a liberação de hormônios relacionados com o ciclo sono-vigília, prejudicando o processo atencional nas horas seguintes.

Crianças e adolescentes normalmente precisam de mais horas de sono que adultos, e isso tem sido levado em conta para decisões estratégicas em **ensino**, no mundo todo. Alguns estados norte-americanos criaram normas sobre horário de início de aulas matutinas, justamente para evitar que elas iniciem muito cedo e prejudiquem o desempenho

dos alunos. Mas vamos aprofundar esse assunto em breve.

Esse tipo de iniciativa mostra um zelo dos profissionais e órgãos de educação pelas evidências fornecidas por estudos recentes. O impacto das descobertas sobre o funcionamento do sistema nervoso e dos avanços alcançados pelos estudos em neurociências sobre as estratégias de ensino e aprendizado serão, justamente, o tema do próximo módulo da disciplina.

Nos vemos em breve!

Considerações finais

Neste módulo, alcançamos o tema central desta disciplina: os processos de aprendizagem e memória, que cercam o contexto de ensino. Atualmente, no contexto de mudanças constantes no cenário de ensino, é imperativo aos mediadores do aprendizado refletir sobre a dinâmica dos processos de formação de memórias e o papel crucial da modulação emocional e atencional no aprendizado. Com base no conteúdo apresentado, podemos chegar a algumas conclusões com desdobramentos práticos.

A formação das memórias leva tempo e passa por vários crivos, incluindo os sensoriais e atencionais. Modelos conteudistas de aprendizado, com foco na quantidade de informações apresentadas, podem “pecar pelo excesso”. A sobrecarga de estímulos pode gerar memórias concomitantes que competem entre si por mecanismos biológicos de armazenamento no sistema nervoso. A apresentação gradual de informações, em uma crescente de detalhamento e complexidade pode ser uma estratégia mais eficiente, especialmente quando as abordagens acontecem de forma espaçada, em contraponto ao formato massivo de aulas que buscam esgotar as informações possíveis sobre um tema.

Compreender que a memória não é um mero arquivo estático, mas uma entidade dinâmica, é essencial para as práticas educacionais. Como agentes que moldam o aprendizado, o papel dos educadores transcende a mera transmissão de informações. O modelo do professor que entende de um assunto e vai “transbordar” o aluno de conhecimento nunca foi mais antiquado, para desespero dos docentes mais ortodoxos. O educador, como curador de uma área do conhecimento, pode melhorar o contexto de ensino ao estimular estratégias ativas de aprendizado.

Sempre que a uma informação nova é envolta de experiências particulares e individuais, ela ganha uma nova roupagem para o sistema nervoso. Busque explorar essa premissa ao contextualizar o aprendizado, deixando claro a relevância daquele conhecimento. Mais ainda, busque entender as particularidades do seu aluno, para que você possa personalizar a experiência de ensino para cada público.

Lembre-se: o cérebro prioriza informações que ele julga serem úteis para a nossa vivência. Se você não consegue estabelecer a importância e aplicação prática das informações que pretende apresentar aos seus alunos, não espere que eles mesmos consigam chegar a essa conclusão.

Embora o aprendizado envolva memória, ele não é exclusivamente isso. O impacto da modulação emocional na formação de memórias também pode representar uma revelação poderosa. As emoções não são apenas acompanhantes passageiras, mas sim a

cola que une a informação ao significado. Ao criar ambientes de aprendizado que nutrem emoções positivas, cultivamos não apenas a retenção de informações, mas também o engajamento duradouro dos alunos.

Uma informação envolta de significado, aplicação e pessoalidade deixa marcas mais profundas na mente. Você não vai se lembrar de todos os detalhes do que aprendeu na escola, anos ou décadas atrás, mas certamente vai lembrar o suficiente, ou o contexto geral, daquilo que teve uma importância ou utilidade em sua vida.

Assim como as emoções, a atenção é uma função essencial a ser explorada. Como uma lanterna focalizada, ela ilumina os caminhos do aprendizado, selecionando criticamente o que merece ser gravado na biblioteca da memória. Por mais que um assunto possa ser “decorado” - por repetição exaustiva - para garantir um bom desempenho em uma avaliação, esse processo mecânico e “automatizado” traz o esquecimento rápido como principal efeito colateral.

A passagem repetida das informações na mente pode chegar a um ponto de desatenção que beira a inconsciência, inviabilizando a manutenção desse tipo de informação na mente por muito tempo. Lembre-se que nosso cérebro mantém o que julga relevante. Uma informação repetida muitas vezes ganha espaço pela insistência, não pela importância.

O desafio à frente reside na aplicação prática desse conhecimento. Ao incorporar estratégias que consideram a complexidade das memórias, bem como a influência das emoções e da atenção, você pode alcançar as potencialidades máximas de cada aluno. Obviamente, cada mente é única, respondendo de maneira singular aos estímulos emocionais e cognitivos. A individualidade do processo de aprendizado vai de encontro ao contexto impessoal e frio de aprendizado pré-estabelecido e massificado.

Independentemente do nome ou classificação dada a uma determinada estratégia de ensino que você adote, a aplicação dos princípios apresentados aqui certamente otimizam o aprendizado significativo, que prioriza informações de qualidade e contextualizadas. Com isso, espero que o seu embasamento em neurociências seja não apenas uma fonte de conhecimento e curiosidade, mas uma bússola orientadora na sua jornada pedagógica!

Até breve!

Referências

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências**: desvendando o sistema nervoso. 4 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017.

FONSECA, V. Importância das emoções na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica. **Psicopedagogia**, v. 33, n. 102, p. 365–384, 2016. Disponível em: <https://link.ufms.br/9alE3>. Acesso em: 14 jan. 2024.

IZQUIERDO, I. **A Arte de esquecer**: cérebro, memória e esquecimento. 2 ed. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2010.

IZQUIERDO, I. A mente humana. **MultiCiência**, v. 3, 2004. Disponível em: <https://link.ufms.br/AigrL>. Acesso em: 14 jan. 2024.

IZQUIERDO, I. **Memória**. 3 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2018.

KANDEL, E. R.; et al. **Princípios de neurociências**. 6 ed. Porto Alegre: AMGH, 2020.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais de neurociência. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2022.

NOGARO, A.; ECCO, I.; NOGARO, I. Sono e seus interferentes na aprendizagem. **Educação em Revista**, v. 19, n. 2, p. 95–108, 2018. Disponível em: <https://link.ufms.br/ALyIE>. Acesso em: 14 jan. 2024.

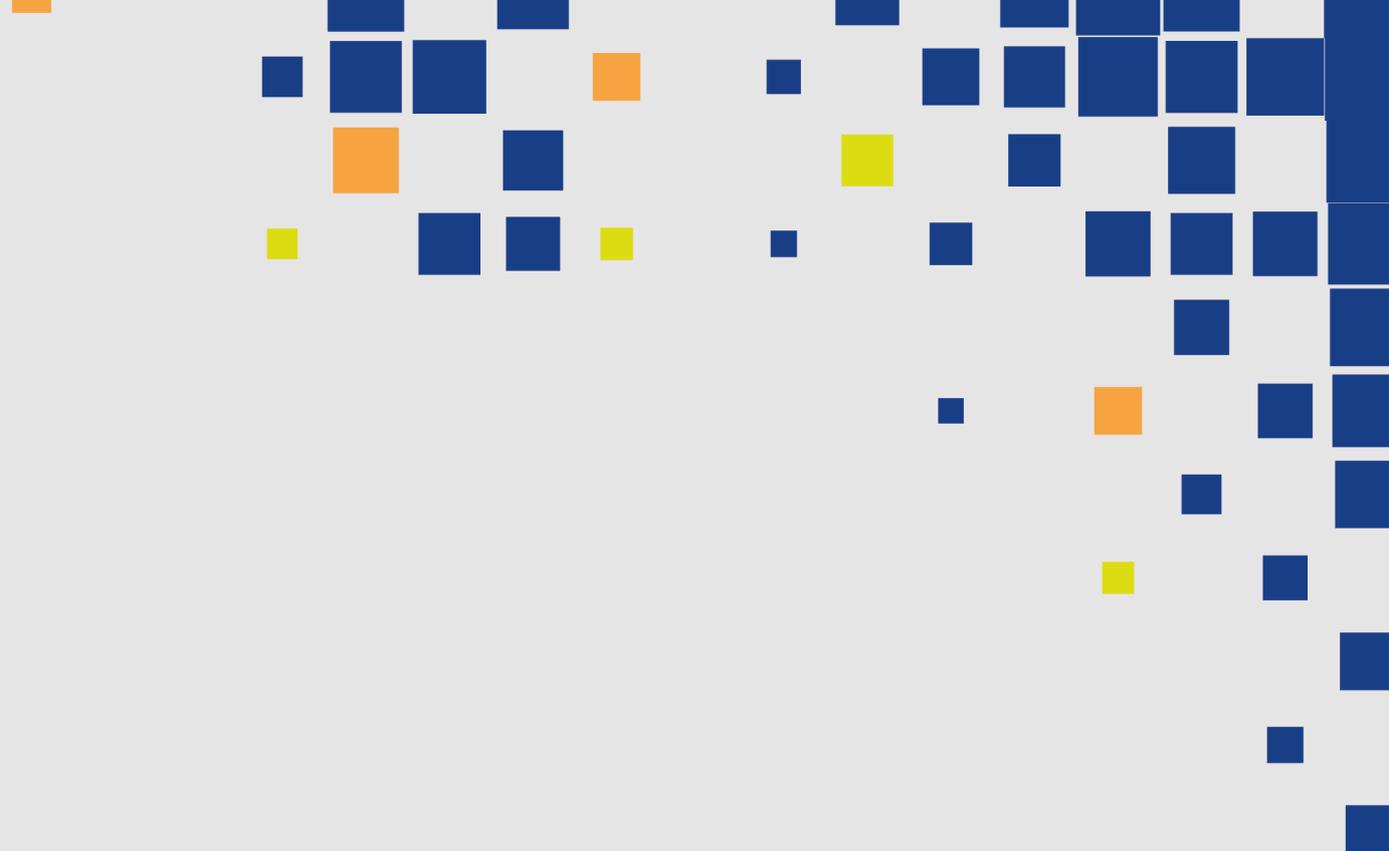
PARANÁ, C. M. O. B. **Cognição, atenção e funções executivas**. Contentus, 2020. Disponível na [Biblioteca Digital da UFMS](#). Acesso em: 13 nov. 2023.

PACKARD, M. G.; GADBERRY, T.; GOODMAN, J. Neural systems and the emotion-memory link. **Neurobiology of learning and memory**, v. 185,, 2021. Disponível em: <https://link.ufms.br/8Ezqx>. Acesso em: 15 nov. 2023.

PURVES, D.; et al. **Neuroscience**. 6 ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017.

SOUSA, A. B.; SALGADO, T. D. M. Memória, aprendizagem, emoções e inteligência. **Revista Liberato**, v. 16, n. 26, p. 141–152, 2015. Disponível em: <https://link.ufms.br/DqlOT>. Acesso em: 14 jan. 2024.

WU, A.; ZHANG, J. Neuroinflammation, memory, and depression: new approaches to hippocampal neurogenesis. **Journal of neuroinflammation**, v. 20, n. 1, 2023. Disponível em: <https://link.ufms.br/FWZBM>. Acesso em: 15 nov. 2023.



Módulo 3

**Educação, neurociência e
aprendizagem**



Apresentação

Olá, estudante.

Seja bem-vindo e bem-vinda ao terceiro módulo da disciplina **Neurociência e Aprendizagem!**

Até aqui, aprendemos sobre os fundamentos da neurociência e processos básicos envolvidos com a cognição, especialmente a aprendizagem e memória. Neste último módulo, vamos alcançar o propósito mais “refinado” e aplicável entre os objetivos do curso: relacionar educação, neurociência e aprendizagem.

Na **Unidade 1**, vamos aprofundar conhecimentos sobre os transtornos do neurodesenvolvimento. Nesses casos, particularidades no desenvolvimento do sistema nervoso podem levar a mudanças na forma como o mundo é percebido e interpretado, bem como nas diferentes respostas comportamentais elaboradas frente a situações específicas. Você já deve ter se dado conta que mudanças na organização do sistema nervoso - mesmo as mais sutis - podem trazer impactos ao processo de aprendizado. Consequentemente, ao ambiente de ensino.

Ao entendermos um pouco melhor as particularidades de mentes de pessoas com autismo e déficit de atenção, conseguimos nos ater não apenas às diferenças em comparação às demais pessoas, mas também às potencialidades únicas dessas mentes. A neuroplasticidade, o fenômeno que permite ao cérebro reorganizar-se em resposta à experiência, abre portas para abordagens personalizadas a direcionar o aprendizado nesses casos.

Oferecer estratégias para atender às necessidades específicas desses alunos não é só uma forma de inclusão, mas também de garantir o florescimento de habilidades singulares. E essa premissa nos leva ao assunto discutido na próxima unidade.

Na **Unidade 2**, vamos alcançar a fronteira das novidades e descobertas mais recentes aplicadas ao ensino e aprendizagem: o que revelam os estudos atuais sobre métodos de ensino e avaliação? Como a compreensão da neurociência pode trazer alternativas para otimizar o processo de aprendizagem? Alguma inovação em ensino, com base em evidências em neurociências, já é aplicada?

Como você deve imaginar, essa unidade vai aplicar conceitos apresentados durante toda essa disciplina, apontando detalhes - que podem ter passado despercebidos até então - a serem explorados para melhorar o ambiente de ensino. Este texto servirá como uma ponte entre a neurociência e a prática educacional, ao apresentar novas descobertas neuro-

científicas e, mais crucialmente, oferecer estratégias tangíveis para aprimorar o aprendizado e adaptar metodologias de ensino.

Não é apenas uma explanação de descobertas neurocientíficas, mas um guia pragmático para aprimorar o contexto de ensino-aprendizagem nas salas de aula. Ao incorporar essas estratégias e refletir sobre elas, você estará contribuindo para a criação de ambientes educacionais mais ricos, eficientes e adaptativos para todos.

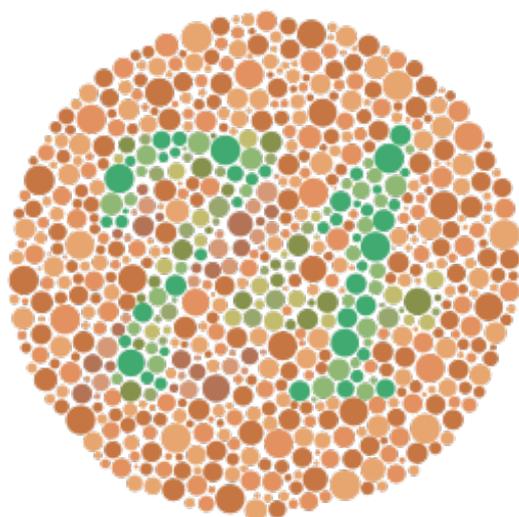
Bons estudos!

Unidade 1

Aprendizado nos transtornos do neurodesenvolvimento

Até agora, acompanhamos características e funções do sistema nervoso desde sua composição microscópica até a manutenção de aspectos que transpassam o aprendizado, como a memória, atenção e emoções. Levando em conta a complexidade do tecido nervoso e interações entre redes neurais, não é de se estranhar que pequenas variações no desenvolvimento do sistema nervoso possam ter grandes impactos em funções específicas.

Por exemplo, alterações em algumas células sensíveis à luz presentes na retina podem resultar em **daltonismo**, uma incapacidade de diferenciar algumas cores, especialmente tons de verde e vermelho. O mesmo se aplica à audição, que pode ser prejudicada - ou até mesmo ausente, em casos de surdez absoluta - como resultado de variações nos órgãos sensoriais (Bear; Connors; Paradiso, 2017).



Que número você consegue ver nesta imagem? Se você não enxerga o número 74 nela, você pode ter algum grau de daltonismo relacionado às cores verde e vermelha.

Fonte: [Shinobu Ishihara](#)

Esses exemplos se referem a alterações em órgãos sensoriais, responsáveis pela percepção de estímulos. Mas o que acontece quando particularidades individuais acontecem no sistema nervoso central, em redes neurais complexas do encéfalo? Pensando em todas as funções que discutimos nos módulos anteriores, qual seria o impacto no aprendizado e, conseqüentemente, no ambiente de ensino?

Atualmente, algumas condições neuropsiquiátricas já foram descritas, relacionadas a alterações no processo esperado de desenvolvimento do sistema nervoso. A causa dessas alterações no neurodesenvolvimento não é clara, mas seus impactos são. Essas condições são chamadas de **transtornos do neurodesenvolvimento**.



Como esses transtornos se manifestam durante o desenvolvimento usual do sistema nervoso, é comum que suas consequências sejam percebidas durante a infância, justamente em idade escolar (Kandel *et al.*, 2020). Daí a importância de entender um pouco mais sobre essas condições, levando em conta o papel do educador no encaminhamento de casos prováveis para investigação clínica. Além disso, o processo de aprendizado pode ser otimizado nesses casos com o uso de estratégias particulares, garantindo o acesso à educação a essas pessoas.

É importante deixar claro que os transtornos de neurodesenvolvimento não são doenças e sequer têm tratamentos ou “curas” específicas. Por isso, embora a detecção aconteça na infância, características e sintomas desses transtornos podem ser mantidos na vida adulta, impactando também na vida adulta dessa população, em níveis em que a educação não é obrigatória como o ensino superior e pós-graduações.

Essas condições podem incluir uma série de prejuízos funcionais em aspectos executivos, como atenção e controle da impulsividade, cognição, incluindo a aprendizagem e linguagem, habilidades sociais e até mesmo a capacidade intelectual, como um todo. O **Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais** (DSM-5; American Psychiatric Association, 2023) lista uma série de condições incluídas entre os transtornos de neurodesenvolvimento. É importante salientar que esse manual é usado como guia em avaliações clínicas em psiquiatria, adotando classificações voltadas à essa área de conhecimento.

Vários dos transtornos listados também são descritos em outras vertentes, com visões mais voltadas à psicologia ou à pedagogia. Independentemente da ótica adotada para avaliar esses casos, é relevante conhecer algumas características básicas sobre elas. Veja a seguir.

Transtorno do desenvolvimento intelectual (deficiência intelectual)

Afeta capacidades mentais mais básicas, como a capacidade de planejamento, solução de problemas, raciocínio, pensamento, abstração e aprendizado escolar/acadêmico, principalmente quando comparado a outras pessoas na mesma faixa etária, com atraso global no desenvolvimento. As limitações intelectuais podem ser tantas a ponto de dificultar a adaptação e autonomia do indivíduo.

Transtornos de comunicação

Caracterizados por deficiências no desenvolvimento e uso da linguagem - transtornos da linguagem, da fala e da comunicação social - ou perturbações na fluência (articulação) e produção motora da fala (transtorno da fluência com início na infância, ou “gagueira”).

Transtornos motores do desenvolvimento

Podem envolver prejuízos na aquisição e execução de habilidades motoras que exigem coordenação, com maior lentidão, imprecisão e aprendizado motor (transtorno do desenvolvimento da coordenação); ações motoras repetitivas, geralmente sem propósito claro (transtorno do movimento estereotipado); presença de tiques motores (incluindo vocais), que acontecem de forma brusca, recorrentes e sem um padrão (transtornos de tique).

Transtorno do espectro do autismo (TEA)

Envolve principalmente habilidades de interação social, com alterações na comunicação social (verbal ou não-verbal) e na interação social, incluindo a reciprocidade social e capacidade de desenvolver, manter e compreender relacionamentos.

Transtorno de déficit de atenção/hiperatividade (TDAH)

Acomete essencialmente funções executivas como a atenção e controle inibitório, podendo resultar em prejuízos na atenção, na capacidade de organização e dificuldades no controle da impulsividade, levando à hiperatividade.

Antes de prosseguirmos com a discussão, assista ao vídeo a seguir.



Talvez você nunca tenha ouvido falar de alguns desses transtornos. Mas certamente, você já conhece um pouco sobre TEA e TDAH, ou mesmo alguma pessoa com esses diagnósticos. Muitas vezes, os sintomas desses transtornos são “sutis” e, talvez por isso, passem despercebidos. Ou ainda, são interpretados como “preguiça”, “desinteresse”, “falta de educação”, ou outros adjetivos pejorativos.



Fonte: [Luna Rose](#)

No passado, considerar que essas pessoas poderiam ter particularidades no funcionamento encefálico era algo inimaginável. Hoje em dia, estudos em neurociência já conseguiram descrever alterações encefálicas que podem ser as responsáveis pelos impactos dessas condições. Como essas mudanças no neuroprocessamento de informações resulta em alterações de funções cognitivas, executivas e emocionais que divergem do que é considerado “usual” para a maioria das pessoas, é comum o uso do termo “**neurodivergente**” para caracterizar pessoas com TEA e TDAH (Ortega, 2008).

Você, na área de educação, vai lidar com pessoas que convivem com esses transtornos. Por isso, evite termos como “doente” para se referir a elas (lembre-se: esses transtornos não são doenças!) ou “normais” para se referir às pessoas que não tem essas condições. Atualmente, é cada vez mais comum a perspectiva de que o TEA e o TDAH seriam formas diferentes de lidar com as informações e com o mundo no entorno, não “doenças a serem tratadas”.

Um desafio atual é compreender as particularidades no funcionamento nervoso nessas pessoas, justamente para conseguir otimizar o contexto de ensino e garantir a acessibilidade ao ensino, mesmo frente a diferenças na forma como o aprendizado acontece individualmente. Por isso, vamos focar um pouco mais nessas condições de agora em diante.

Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade (TDAH)

Conheça alguns aspectos principais do TDAH.

Características

O Transtorno de Déficit de Atenção/Hiperatividade (TDAH) inclui características (ou “sintomas”) que acontecem por tempo suficiente (mais de 6 meses), são inconsistentes com o nível de desenvolvimento esperado da pessoa e, obviamente, trazem prejuízos funcionais, como dificuldade escolar ou de relacionamento.

Os sintomas são detectados antes dos 12 anos de idade, e estão presentes em mais de um ambiente, para descartar a possibilidade de casos seletivos em um local por algum motivo específico, que podem sugerir outra causa possível para os comportamentos apresentados (por exemplo, seletivamente na escola por falta de interesse no assunto ou falta de afinidade com os professores ou colegas de sala). Essas particularidades podem se estender a duas esferas distintas (American Psychiatric Association, 2023):

■ **Desatenção**

Não prestar atenção em detalhes e não seguir instruções detalhadas até o final; cometer muitos erros por descuido (imprecisões); ter dificuldade em sustentar o

foco de atenção por muito tempo ou se dedicar a atividades que exijam “esforço mental” prolongado; parecer não escutar quando a palavra lida é direcionada (fica no “mundo da lua”); não conseguir terminar tarefas, cumprir prazos ou esquecer de compromissos; dificuldade em se organizar, e; facilidade em perder objetos e se distrair com estímulos;

■ Hiperatividade

Inquietação com mãos/pés e movimentos frequentes, com incapacidade de “ficar parado(a)” (“impaciente”); realização de ações em movimentos inadequados (levantar da cadeira no meio da aula, correr, subir em objetos em situações inadequadas); agitação em todos os momentos, mesmo durante brincadeiras, com níveis de estímulo/energia maiores que os esperados (“motor ligado” o tempo todo); Fala demais, não sabe “esperar a sua vez” ou responde frequentemente antes da pergunta terminar (precipitação); interrompe conversas e ações e se intromete com frequência.



Entenda os **três tipos** de TDAH com o vídeo a seguir.



■ Ocorrência

É importante ter noção de que uma pessoa com TDAH pode apresentar características relacionadas a apenas uma delas, ou ambas. Então não existe um “padrão” de comportamento para essas pessoas, já que elas podem apresentar comprometimentos em níveis distintos em cada um dos componentes, ou em somente um deles.

Por exemplo, é mais comum a esfera de comportamentos de hiperatividade em meninos, e de desatenção em meninas. Como a hiperatividade gera consequências “mais fáceis de observar”, parece haver maior facilidade no diagnóstico de meninos, com diagnósticos duas vezes mais comuns no gênero masculino. Atualmente, estima-se uma ocorrência de **5%** entre crianças e **2,5%** em adultos (American Psychiatric Association, 2023).

A redução na ocorrência entre adultos pode acontecer por adaptação comportamental e capacidade de “lidar” com os comportamentos de desatenção e hiperatividade ao longo do desenvolvimento, ou subdiagnóstico, em pessoas que nunca conseguiram interpretar essas particularidades comportamentais como um transtorno do neurodesenvolvimento.

Aspectos sociais

Num **ambiente de ensino**, o prejuízo no aprendizado pode ser claro, com desempenho insuficiente, reprovações e percepções - tanto próprias como de outras pessoas - de ser “burro(a)” ou incapaz. Isso pode se tornar uma bola de neve, com impacto emocional (ansiedade e comportamentos depressivos, por frustração) e maior dificuldade em lidar com as pessoas (por julgar seu desempenho pouco adequado). Por isso, a detecção precoce e busca por estratégias que possam ser mais adequadas para o aprendizado nessas pessoas é essencial.

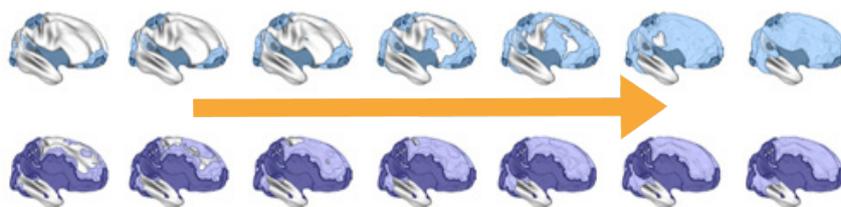
Sabendo desses sintomas, fica claro o motivo de pessoas com TDAH serem, frequentemente, taxadas de “mal educadas”, “inconvenientes” ou “preguiçosas”. A neurociência, contudo, nos ajudou a reduzir esses tabus, ao comprovar o funcionamento particular de algumas regiões do cérebro em pessoas com TDAH.

Aspectos neurológicos

O desenvolvimento normal do cérebro acontece até os 20-25 anos de idade. Durante esse período, nosso cérebro passa por uma série de modificações, como o surgimento de novas sinapses, perda de outras (“poda” sináptica) e estabelecimento de novos circuitos neuronais. Alguns neurônios morrem, outros surgem. “Desaprendemos” a engatinhar, mas “aprendemos” a andar sobre as duas pernas (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

Tudo isso, obviamente, envolve plasticidade neuronal, como vimos anteriormente. Estudos que compararam pessoas neurotípicas (sem TDAH) com aquelas com TDAH identificaram um **desenvolvimento encefálico mais lento** entre os neurodivergentes, especialmente em regiões do córtex cerebral, que se relaciona com funções mais “refinadas” do sistema nervoso. Ao longo do desenvolvimento, o córtex cerebral fica mais denso, mais “espesso”, por um desenvolvimento das camadas celulares nesta região. Em pessoas com TDAH, esse espessamento do córtex cerebral é mais lento, muitas vezes representando até o equivalente a 2 anos de “atraso” quando comparado a pessoas neurotípicas (Purves *et al.*, 2017).

TDAH



Desenvolvimento neurotípico

Fonte: [National Institute of Mental Health](https://www.nimh.nih.gov/health/publications/brain-development-in-children-and-adolescents/)

Ilustração que representa, da esquerda para a direita, as mudanças que acontecem no cérebro ao longo do desenvolvimento. Quanto mais escura a tonalidade de azul, maior o desenvolvimento e espessura das camadas corticais. A imagem compara o desenvolvimento de cérebros neurotípicos (parte inferior) com o de pessoas com TDAH (superior), deixando claro um menor desenvolvimento cortical nesses indivíduos.

Esse desenvolvimento mais lento pode resultar em prejuízo de funções corticais, como é observado no córtex frontal, região envolvida com o controle da impulsividade e atenção (lembre-se do caso de Phineas Gage, mencionado no módulo anterior).

Além da hipofunção do córtex frontal, que pode ser resultado do seu desenvolvimento mais lento, algumas outras regiões encefálicas relacionadas ao controle executivo também são menos funcionais em pessoas com TDAH, como os **núcleos da base**.

Eles são estruturas corticais bastante relacionadas ao planejamento e controle motor, mas também envolvidas com o controle de funções cognitivas e emocionais. Em associação ao córtex frontal, os núcleos da base são estruturas essenciais para a inibição comportamental. Ou seja, o controle da impulsividade e do fluxo de pensamentos passa por essas regiões encefálicas.

Como o funcionamento dessas áreas é menor em pessoas com TDAH, isso poderia explicar o componente atencional e de hiperatividade, seja por menor controle sobre fluxo de pensamentos e controle motor, respectivamente (Firouzabadi *et al.*, 2022). A dependência a drogas de abuso também é associada a alterações nessas regiões encefálicas, gerando comportamentos impulsivos de uso de substâncias. Por isso, não é incomum que pessoas com TDAH tenham maior risco de dependência a drogas (American Psychiatric Association, 2023).

Neurotransmissores

Parte das alterações encefálicas descritas em pessoas com TDAH pode ser explicada por componentes genéticos. Alguns genes relacionados à neurotransmissão dopaminérgica e noradrenérgica já foram associados ao TDAH, sugerindo um componente hereditário do transtorno. A presença dessas alterações genéticas não é determinante para o TDAH, mas pode aumentar o risco do desenvolvimento do transtorno em até cinco vezes (Silva *et al.*, 2023). Essas alterações poderiam levar à menor função desses neurotransmissores, prejudicando suas funções.

Não coincidentemente, dopamina e noradrenalina são neurotransmissores bastante frequentes nos núcleos da base e córtex frontal, mediando funções de controle motor e atenção, respectivamente. Alguns psicoestimulantes usados no TDAH, como o metilfenidato (Ritalina[®]), atuam diretamente potencializando essas vias de transmissão, e por isso controlam alguns sintomas. Esses medicamentos, no entanto, podem apresentar riscos de dependência e devem ser usados com cautela.

Estratégias de ensino

Algumas estratégias de ensino que incorporam pausas estruturadas, ambientes organizados e métodos interativos podem ser ferramentas valiosas para otimizar o aprendizado

para pessoas que apresentam TDAH. Obviamente, elas precisam estar alinhadas com o estágio de desenvolvimento do estudante.

Quer saber como trabalhar a atenção das crianças com TDAH? Assista ao vídeo a seguir.



Transtorno do Espectro do Autismo (TEA)

Conheça a seguir alguns aspectos principais do TEA.

Características

Assim como o TDAH, o Transtorno do Espectro do Autismo (TEA) inclui sintomas que surgem precocemente no desenvolvimento e trazem prejuízos funcionais. No autismo, as principais características se estendem a duas esferas distintas de comportamentos (American Psychiatric Association, 2023):

■ **Prejuízos na comunicação e interação sociais**

Problemas na reciprocidade emocional, com abordagem social atípica, dificuldade em iniciar e responder a interações sociais etc.; uso deficiente de estratégias não-verbais de comunicação, como contato visual, linguagem corporal e expressões faciais, ou dificuldade de integração de comunicação verbal com não-verbal e de interpretação gestual; dificuldades na criação e manutenção de relacionamentos; problemas na compreensão desses relacionamentos e na adaptação de comportamentos sociais a contextos diferentes.

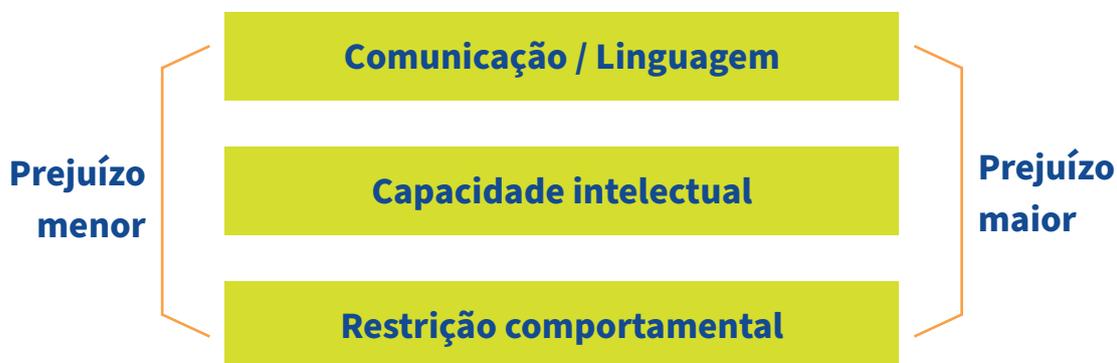
■ **Padrões restritos e repetitivos de comportamentos**

Movimentos, uso de objetos ou falas de forma repetitiva e estereotipada; pouca flexibilidade comportamental, como uma rigidez cognitiva (“insistência”); adesão obstinada a rotinas e rituais comportamentais; interesses fixos e pouco variados, em níveis anormais de intensidade ou foco (“hiperfoco”); sensibilidade alterada (para mais ou para menos) a estímulos de algumas modalidades sensoriais, como as olfatórias, visuais e táteis.



Com base nas características mais frequentes, você deve entender porque pessoas com autismo são rotuladas de “teimosas”, “mimadas” ou “frescas”. Há algum tempo, o autismo era essencialmente associado a deficiências intelectuais, e seu diagnóstico era restrito à presença de retardos no aprendizado e outras funções cognitivas.

Hoje, contudo, sabemos que os níveis de comprometimento em diversas funções podem variar, e isso se estende aos componentes de comunicação e restrição comportamental. Por isso, o transtorno é caracterizado como um “espectro”, com cada indivíduo com autismo apresentando comprometimentos distintos em funções diferentes (Kandel, 2020), conforme a imagem:



Por isso, termos como “autismo grave” ou “leve” vêm sendo abandonados, já que os sintomas podem ser mais severos em uma esfera, mas não em outras. Isso diverge de uma ideia de gravidade como um “contínuo” de comprometimento linear em uma só função. Termos como “autismo de alto funcionamento” (anteriormente conhecido como Asperger) também são inadequados, porque geralmente implicam pouco prejuízo intelectual, como se isso fosse suficiente para “funcionar”.



Atualmente, é comum a classificação de severidade em diferentes **níveis de suporte**, ou seja, o quanto a pessoa com autismo requer apoio para desempenhar funções comprometidas (American Psychiatric Association, 2023).

Em geral, a imagem estereotipada de uma criança autista (“autismo grave”) - que não fala e repete movimentos continuamente - se refere ao nível de suporte 3, que exige apoio substancial nas esferas de comunicação e/ou padrão de comportamentos restritivos. O que se chamava de “autismo leve” provavelmente se refere a um nível de suporte 1, com menos demandas para a adaptação e menor comprometimento comportamental.

Você já deve ter ouvido alguém falar que uma pessoa “nem parece autista...”. Justamente porque autistas não se enquadram em um só perfil, mas em qualquer perfil dentro do espectro de possibilidades. E muitas pessoas autistas aprendem a “simular” comportamentos neurotípicos, em uma estratégia de “mascaramento” de sintomas, o que pode ser extenuante.

Ocorrência

A ocorrência de autismo varia, oscilando em torno de **1%** da população. Em geral, o TEA é quatro vezes mais comum no gênero masculino (American Psychiatric Association, 2023). O número de diagnósticos vem aumentando, supostamente pela inclusão de casos com menor grau de prejuízos (nível 1 de suporte). Contudo, a possibilidade de diagnósticos inadequados não pode ser descartada. Independentemente disso, avanços em pesquisas passaram a indicar possíveis bases neurais associadas ao TEA.

Aspectos neurológicos

Estudos em neurociências sugerem que pessoas com TEA parecem ter alterações no curso da maturação cerebral em comparação a pessoas neurotípicas. Você deve ter pensado: “*um atraso, assim como no TDAH*”? Errado. No TEA, algumas regiões do encéfalo parecem amadurecer de forma “**antecipada**”.

Durante o desenvolvimento, é comum que os neurônios aumentem o número de prolongamentos e estabeleçam contato com outros neurônios por múltiplas sinapses. Algumas sinapses são removidas (ou “podadas”) ao longo do tempo, para ajustar respostas a funções específicas durante o crescimento (Kandel *et al.*, 2020). No autismo, essa poda sináptica parece deficiente, resultando em um cérebro com maior quantidade de fibras de conexões e sinapses (Molloy *et al.*, 2023).

Essa conectividade aumentada é associada a particularidades genéticas, como alterações em genes com função de direcionar e facilitar o estabelecimento de sinapses, sugerindo um componente hereditário, presente em 40% a 90% dos casos. Essa “hiperconectividade” acontece em várias regiões cerebrais associadas à interação social (como o lobo frontal e a amígdala), além de regiões associadas ao olhar, interpretação facial, linguagem e controle comportamental (como cerebelo e estriado) (Camasio *et al.*, 2022).

Esses achados sugerem que a pessoa com autismo processa todo tipo de informação de forma diferente, por integrar regiões que normalmente não seriam recrutadas em um neurotípico. Por isso, estímulos inócuos podem gerar dor e incômodo em algumas pessoas com TEA, e estímulos sociais eficientes podem gerar poucas respostas nesses indivíduos, por exemplo.

Os tratamentos do TEA focam no controle de sintomas, como ansiedade e agressividade, com estratégias medicamentosas ou psicoterápicas, e podem nem ser necessárias em todos os casos (Purves *et al.*, 2017).

Estratégias de ensino

De acordo com o nível de suporte, é possível criar estratégias de adaptação e otimizar o aprendizado. Autistas com redução significativa no interesse social podem preferir estratégias de aprendizado individualizadas, como o EaD. Outros com hipersensibilidades auditivas muito intensas podem se adaptar melhor com materiais didáticos escritos. E é aí que começa o papel do mediador do aprendizado, visando adaptações metodológicas apropriadas.

Para saber mais sobre a ação pedagógica, assista ao vídeo a seguir:



Agora, você entende um pouco melhor sobre o funcionamento do cérebro e os impactos comportamentais que podem influenciar a aprendizagem em pessoas com TDAH e TEA.

O acúmulo de conhecimento sobre essas condições permitiu um diagnóstico mais adequado, permitindo a detecção precoce e redução dos rótulos pejorativos associado a esses indivíduos. Mas não caia na armadilha do superdiagnóstico: como esses transtornos se popularizaram e seus sintomas são conhecidos por uma parcela da população, é comum assumir que a presença de uma característica já seria suficiente para um diagnóstico.

Alguns pais podem buscar diagnósticos como forma de “facilitar” a conduta (tomar um medicamento?) ao invés de buscar razões que possam explicar rendimentos insuficientes na escola, como problemas familiares, falta de motivação ou apoio adequado no aprendizado etc. É cultural da nossa sociedade a busca por rótulos e respostas rápidas, especialmente quando isso envolve saúde e uso de medicamentos (Ortega, 2008).

Como profissional da educação, é importante que você observe características em um contexto, e não de forma pontual. Uma pessoa “avoada” pode ser, somente... desatenta. Alguém mais isolado pode ser, somente... uma pessoa introspectiva (Kandel, 2020). Atrair traços de personalidade a transtornos pode ser um desserviço, ao estigmatizar pessoas que convivem com esses transtornos.

No entanto, quando várias das características se mantêm por um período prolongado, pode ser interessante sugerir uma avaliação. Descobrir-se como neurodivergente é o primeiro passo para buscar alternativas visando um aprendizado mais eficiente, tanto por parte do próprio estudante, quanto do profissional da educação, pela adoção de abordagens de ensino mais adequadas (Cosenza; Guerra, 2010). Vamos prosseguir com nossas discussões na próxima unidade.

Unidade 2

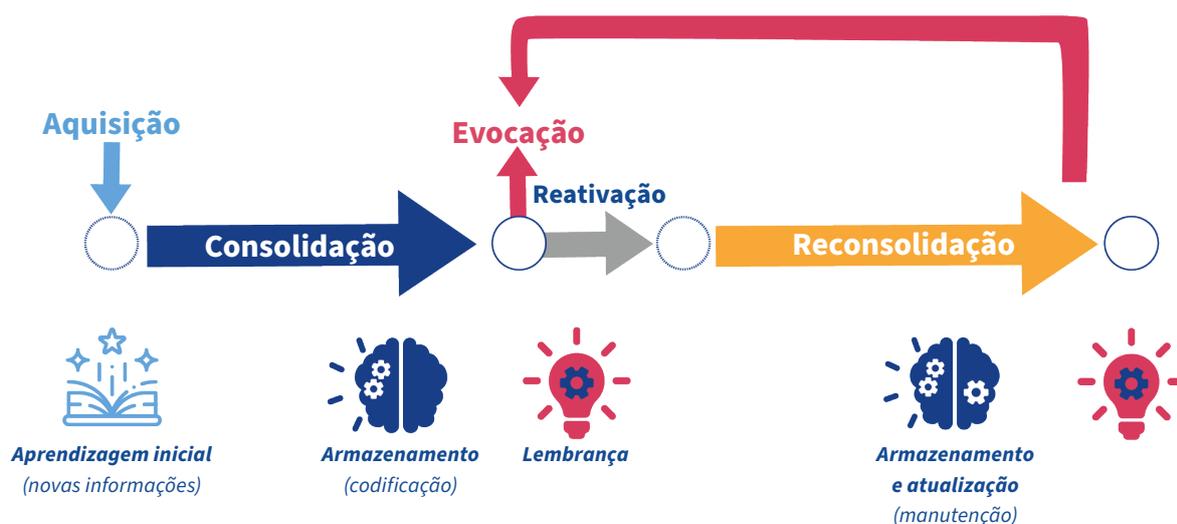
Estratégias de ensino baseadas em evidências atuais da neurociência

A **“Ciência do Aprendizado”** foca em avaliar, com metodologia científica, os mecanismos por trás do aprendizado e métodos de ensino. Embora seja um campo em ascensão - que vêm inclusive ganhando destaque recentemente, como nesta disciplina - poucos cursos de licenciatura incluem abordagens neurocientíficas na formação de mediadores do ensino, limitando o acesso a informações relevantes e o empoderamento de estratégias eficientes no contexto de ensino (Cuevas; Childers; Dawson, 2023).

Vimos ao longo dos módulos passados que a memória é uma etapa essencial do processo de ensino e aprendizagem, já que ela permite a retenção das informações aprendidas. Agora você tem ciência de que a memória é modelável e dinâmica, sujeita a sofrer alterações - e até mesmo se perder - ao longo do tempo.

Diversas variáveis podem modificar o destino de uma memória, especialmente aquelas envolvidas no seu processo de codificação (aquisição e consolidação) e lembrança (evocação, reativação e reconsolidação) (Van Kesteren; Meeter, 2020). Já abordamos todas essas etapas do processamento de memórias nas unidades anteriores, mas agora vamos aplicá-las em um contexto mais prático, levando em conta algumas premissas teóricas sobre cada momento crucial do aprendizado.

As etapas da memória em um ambiente de ensino e aprendizagem



Aprendizado inicial

Quando uma nova informação é apresentada pela primeira vez, acontece a **aquisição da memória**, com seu acesso imediato garantido pela forma de memória de curta duração.

Essa etapa depende diretamente de fatores emocionais (como motivação) e atenção (incluindo estado de alerta e sono), além de vários outros. Por esse motivo, um estado emocional ideal é essencial para o aprendizado: ter motivação suficiente para evitar uma situação de apatia ou tédio, mas não ter um ambiente estressante a ponto de prejudicar o aprendizado (lembre-se da curva de Yerkes-Dodson, sobre a influência não-linear do estresse sobre o desempenho!). O aprendizado é otimizado quando o conteúdo é contextualizado e aplicado, deixando clara a sua relevância e, conseqüentemente, associando um valor emocional a ele (Fonseca, 2016).

Outro aspecto importante na aquisição eficiente de informações é a atenção direcionada a elas: na maioria das vezes que “esquecemos” de algo, não demos a devida atenção a essa informação durante a aquisição (Kandel *et al.*, 2020). Uma série de fatores determinam a possibilidade de alcançar níveis adequados de atenção. Alguns deles fogem ao controle do educador, como uma rotina de sono adequada, frequentar o ambiente de aprendizado sentindo-se descansado(a) e capacidade individual de manter o foco (que varia entre cada pessoa, e de forma mais drástica naqueles com TDAH!).

Outros fatores podem ser moldados pelo mediador do aprendizado: adotar pausas estruturadas durante aulas, metodologias ativas que aumentem o engajamento e protagonismo dos estudantes e abordagens que envolvam mais aspectos socioemocionais (Konopka; Adaime; Mosele, 2015; Marques *et al.*, 2021).

Armazenamento

Após a aquisição, a memória passa pela **consolidação** para ser “codificada” no cérebro, o que permite seu acesso como memória de longa duração.

Embora a consolidação aconteça sem a nossa percepção consciente, ela também pode sofrer interferências externas: a sobrecarga de informações pode criar várias memórias que se consolidam ao mesmo tempo. Nosso cérebro pode priorizar as memórias mais recentes em detrimento àquelas adquiridas há mais tempo, prejudicando seu armazenamento.

Por isso, pausas entre aulas e evitar o excesso de informações (abordagem “conteudista”) podem ser formas de garantir o armazenamento das informações. O descanso adequado pode favorecer o armazenamento, incluindo algumas fases do sono, que parecem ser essenciais nesse processo (Miller; Gehrman, 2019). A qualidade de consolidação de uma

memória define o seu destino: memórias consolidadas de forma intensa, carregadas de contexto e valor emocional, tendem a ser mantidas por mais tempo.

Essa distinção é observada claramente em modelos de aprendizado por repetição, “decorando” informações. Por mais que as informações estejam presentes, elas não foram aprendidas em um contexto claro de sua importância, muito mais direcionada à relação de poder e hierarquia professor-estudante (Sartori; Duarte, 2021). Com isso, a tendência é que elas sejam esquecidas com facilidade tão logo elas parem de ser acessadas, ou lembradas, frequentemente.

O aprender sem uma função clara, ou pensamento crítico, torna aquela memória pouco relevante, e até mesmo menos acessada (ou menos “aplicável”), exceto nas situações condicionadas ao ato de decorar.

Lembrança

Uma vez que a memória é lembrada, por meio da sua **evocação**, as informações são acessadas novamente. Isso torna a memória novamente frágil, sendo necessário o processo de **reconsolidação**, necessário para rearmazenar a memória.

Por mais que pareça contraintuitivo, essa etapa permite que memórias acessadas frequentemente tenham a sua intensidade “ajustada”, ou reforçadas, de acordo com a sua relevância. É natural que memórias lembradas frequentemente sejam interpretadas como “importantes”, em contraste com informações armazenadas e deixadas de lado. Por esse motivo, se lembrar frequentemente das informações aprendidas é uma forma de refinar o aprendizado e garantir a manutenção de memórias ao longo do tempo (Stavnezer; Lom, 2019).

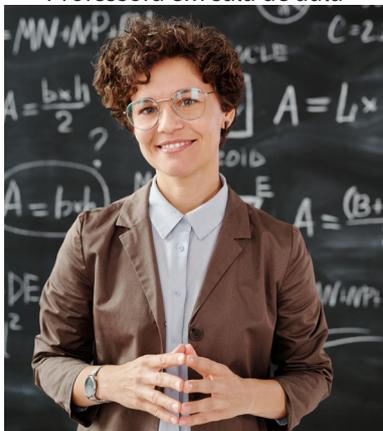
Armazenamento e atualização

Uma outra vantagem da **reconsolidação** é permitir a atualização das memórias: ao evocar uma memória e torná-la frágil, é possível “associar” novas informações à rede neural que a representa. Isso permite, por exemplo, a correção de informações, quando percebe-se - você mesmo(a), ou através da ajuda de outra pessoa - alguma imprecisão em informações adquiridas anteriormente. Nesse ponto, fica clara a importância do aprendizado dialogado, das tutorias para tirar dúvidas, do estudar em conjunto (Batista; Cunha, 2021).

Durante a atualização, também é possível inserir novas informações que busquem “aprofundar” o assunto. Essa estratégia é bastante adotada em métodos de “espiral de conhecimento” (ou espiral construtivista), no qual um mesmo assunto é abordado sucessivamente, mas com graus maiores de complexidade ou detalhamento, transpassando do conhecimento sobre o assunto até sua aplicação (Luchesi; Lara, Santos, 2022).

Como já existe uma memória inicial do tema, mesmo que mais simples, é mais intuitivo simplesmente atrelar os novos detalhes à memória inicial, reforçando redes neurais pré-estabelecidas que representam aquela memória (Scully; Napper; Hupbach, 2017).

Professora em sala de aula



Fonte: [pexels.com](https://www.pexels.com)

Agora que você conseguiu contextualizar as etapas da memória em um ambiente de ensino e aprendizagem, vamos focar em alguns estudos que buscaram avaliar o impacto de alterações em métodos de ensino sobre a eficiência do aprendizado. Basicamente, vamos retomar vários dos aspectos mencionados anteriormente, mas trazendo evidências de estudos em neurociência que podem te dar ideias de como aplicá-las na sua **prática** em educação. Ou seja, vamos sair do campo da teoria e adentrar um campo mais empírico.

Um grande problema atual é que poucas evidências em neurociência do aprendizado, encontradas nos últimos anos, foram, de fato, aplicadas no contexto de ensino. Ainda para muitos educadores, o aprendizado acontece pela “transferência passiva de informações” do professor para o aluno, e tem como objetivo final a nota em uma prova. O aprendizado de qualidade, que acontece de forma relevante e caráter duradouro, fica de lado (Cuevas; Childers; Dawson, 2023). Vamos ver como podemos mudar isso.

Para começar, vamos tocar em estratégias que buscam controlar fatores que interferem no aprendizado.

Talvez o **sono** seja um dos aspectos mais explorados. Ao longo da vida, passamos por mudanças quanto à necessidade de sono: em geral, dormimos muito mais como crianças, e cada vez menos, como adultos e idosos (Kandel *et al.*, 2020).

Aluno dormindo durante a aula



Fonte: [pexels.com](https://www.pexels.com)

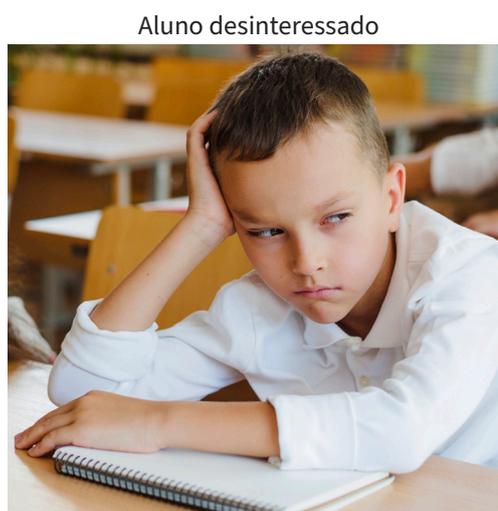
Um estudo conduzido com adolescentes, no Brasil, indicou que o atraso de 1h no início das aulas no período matutino foi suficiente para reduzir a sonolência em aula, me-

lhorar a atenção e aspectos do humor (Araújo *et al.*, 2022). Adicionalmente, um estudo norte-americano demonstrou que essa abordagem também reduz as ausências nas primeiras aulas do dia, além de melhorar o desempenho em avaliações (Dunster *et al.*, 2018).

Mesmo em adultos entre 30 a 40 anos, a qualidade de sono pode trazer impactos importantes: nessa faixa etária, pessoas que apresentam sono conturbado e fragmentado tendem a apresentar piores desempenhos cognitivos nos anos seguintes (Leng *et al.*, 2024). Em conjunto, essas pesquisas reforçam a importância do sono de qualidade para a manutenção de funções cognitivas essenciais ao aprendizado.

Com base em resultados como esse, algumas medidas começaram a ser tomadas para incluir achados da neurociência no contexto prático de ensino. O estado da Califórnia, nos Estados Unidos, aprovou uma lei que impede o início de aulas do ensino fundamental e médio antes das 8h da manhã, com vigor a partir de 2022 (California, 2019). Outras iniciativas como essa devem resultar da maior divulgação de estudos em neurociência do aprendizado.

Uma outra forma de otimizar a atenção e a motivação em ambiente de ensino é a adoção de **pausas estruturadas**. Ouvir sobre um mesmo assunto por horas é a receita certa para perder a motivação e foco atencional. Em crianças, a capacidade de atenção e compreensão de leitura aumentou com a adoção de pausas de 10 minutos para realizar atividades físicas ou estratégias de reflexão, como o *mindfulness* (Müller *et al.*, 2021). Pequenas mudanças, portanto, podem resultar em melhores desempenhos.



Fonte: [pexels.com](https://www.pexels.com)

Outro aspecto passível de ser moldado durante o ensino é a **emocionalidade**. A forma mais simples de fazer isso é contextualizando o aprendizado (Albuquerque, 2019). Ao deixar clara a relevância do conteúdo a ser abordado, explicitamente e com exemplos, cria-se um propósito para aquele aprendizado. A pergunta “*mas pra quê eu preciso saber disso!?*” ronda muitas aulas e liga um sinal de alerta na mente docente: “*será que eu não deixo clara a intenção desse aprendizado? Será que a função desse assunto é clara, mesmo para mim?*”. Reflita sobre isso.

Se a relevância de um tópico não é trazida à tona e reforçada, o aprendizado se torna uma formalidade, com o único propósito de garantir o desempenho na prova. O valor real da informação é perdido, assim como a própria memória formada, em pouco tempo. O

aprendizado contextualizado - seja por reflexão, problematização ou discussão de casos reais - associa a memória a uma função, aumentando as chances de manter essa informação por mais tempo.

Essa estratégia já é bastante utilizada em cursos de graduação na área da saúde: ao discutir casos clínicos, os estudantes reforçam memórias associadas àquelas situações. Mesmo que eles não lembrem pormenores sobre o caso, o resgate de informações associadas ao se confrontar com uma situação parecida na realidade profissional é muito mais fácil. Adicionalmente, o exercício da contextualização aumenta a capacidade reflexiva, fornecendo um ambiente mais apropriado para uma formação crítica e reflexiva (Maffi *et al.*, 2019).

Um outro ponto relevante são estratégias direcionadas a explorar a reconsolidação. Embora a conceituação da reconsolidação seja mais recente, algumas técnicas direcionadas a ela são estudadas há algum tempo. A mais conhecida talvez seja a prática de evocação (ou “**lembrança estimulada**”). Essa técnica se baseia em praticar evocações frequentes de memórias adquiridas como forma de reforçá-las, usando mecanismos engatilhados durante a reconsolidação.



Estudando para a prova

Perceba que essa premissa se opõe ao que muitos estudantes fazem na prática: entrar em contato com um assunto durante as aulas e só voltar a abordar esse tema às vésperas de uma avaliação. Embora essa abordagem possa ser suficiente para garantir a aprovação, ela não é adequada para garantir um aprendizado de qualidade. A prática da evocação, por sua vez, constitui uma alternativa plausível para “planejar a educação” a longo prazo, oferecendo estratégias para a formação de memórias mais relevantes e duradouras.

Alguns estudos indicam que a prática da evocação pode aumentar em até 15% a retenção de informações por até 6 meses após o aprendizado inicial, em comparação às abordagens tradicionais (Larsen, 2018). A cada evocação/reconsolidação, construímos

redes neurais mais extensivas e interconectadas, facilitando o acesso a essas informações no futuro.

Uma forma de adotar a prática de evocação é mudando a “função” das avaliações. Embora as avaliações sejam importantes para “formalizar” o desempenho dos estudantes, a adoção de mais provas - mesmo que sem valor real como nota - pode ser suficiente. A realização de “simulados” frequentes, ou atividades de diferentes formatos que retomem o tema abordado são formas de exigir uma retomada às informações adquiridas previamente e facilitar seu acesso futuramente.

Nesse sentido, as metodologias ativas também constituem formas interessantes de lembrança estimulada, por proporcionar que o estudante assuma papel de protagonismo no ensino, com aprendizado colaborativo, com elaboração de formas para explicar o assunto de formas diferentes, e assim por diante (Konopka; Adaime; Mosele, 2015; Marques *et al.*, 2021). Alguns pontos críticos na prática de evocação incluem (Larsen, 2018):



Formato

O formato das atividades de evocação, que deve incluir questionamentos mais “abertos”, e que permitam a reflexão sobre o tema, contornando as “respostas prontas”, que entrariam em uma esfera de repetição mecânica. Em geral, abordagens que exijam respostas dissertativas e argumentação trazem melhores resultados que questões objetivas, já que é uma tendência que o “esforço” para evocar as informações seja proporcional à capacidade de manter essas memórias de forma duradoura.

Repetição

A repetição, ou seja, múltiplas evocações, tendem a produzir memórias mais duradouras, já que cada evento de reconsolidação pode reforçar ainda mais as redes neurais estabelecidas (Forcato; Rodríguez; Pedreira, 2011). Por isso, a adoção de várias estratégias de evocação ao longo de um curso/disciplina deveriam ser adotadas.

Intervalo

Os intervalos são essenciais. Embora a repetição extensiva possa ser útil no início de um aprendizado, alguns estudos indicam que os melhores índices de retenção de informações acontecem quando as práticas de evocação acontecem com espaçamento de 1 a 2 semanas, evitando a “exaustão” sobre aquele assunto. A abordagem da espiral de conhecimento é uma forma interessante de permitir esse espaçamento, retomando assuntos prévios conforme novas informações relacionadas são apresentadas.

Feedback

O *feedback* sobre as avaliações é uma forma eficiente de melhorar a prática de evocação. Quando uma mesma avaliação é repetida sem *feedback*, estudantes são capazes de lembrar aproximadamente 40% das informações dessa prova; se um *feedback* sobre acertos e erros for realizado na primeira tentativa, contudo, o desempenho salta para aproximadamente 90%.

A justificativa, nesse caso, é que mesmo havendo a evocação induzida pelo teste, o *feedback* permite a atualização de informações adquiridas ou lembradas de forma imprecisa, favorecendo o surgimento de novas estratégias de evocação envolvendo as informações corretas. Sem o *feedback*, as informações incorretas podem ser reforçadas, cumprindo um papel contrário no aprendizado eficiente.

Nesse sentido, alunos devem ser encorajados a não “pular questões” que não saibam, mas a arriscar respondê-las, já que receber uma devolutiva sobre o motivo do erro pode ser mais eficiente do que simplesmente “conhecer a resposta correta”, em se tratando de reconsolidação e atualização da memória.

Embora várias formas de implantar a prática de evocação dependam dos educadores, algumas podem ser estimuladas como **práticas autônomas** de estudo:

- A “explicação” para si mesmo sobre o assunto - seja “mental” ou falada - é uma maneira simples de retomar um tema em momentos de estudo, em vez de simplesmente reler um texto.
- O estudo em grupo e explicação para pares também cumprem essa função, já que requerem uma lembrança e processamento mais refinado de informações para torná-las mais acessíveis a outra pessoa.
- O sono, novamente, parece ter papel crucial mesmo na “evocação inconsciente” de informações, já que memórias acessadas durante o dia podem ser reativadas e reforçadas durante algumas etapas do sono (Abdellahi *et al.*, 2023), deixando claro o papel do sono de qualidade para a reconsolidação das memórias.

Por mais que pareça simples, a adoção da lembrança estimulada exige uma re-estruturação de **disciplinas** e mais tempo exigido à execução dessas práticas. No entanto, as vantagens podem ser muitas, já que melhorias do desempenho foram demonstradas para memórias declarativas (Wiklund-Hörnqvist; Jonsson; Nyberg, 2014; Haebig *et al.*, 2021) e de habilidades (Herszage; Sharon; Censor, 2021), inclusive em disciplinas específicas do ensino superior (Dobson, 2013; Azzam; Easteal, 2023).

Como últimos pontos a serem tratados nessa disciplina, vamos passar por algumas adaptações que podem ser usadas para **otimizar o aprendizado remoto**. O momento de ensino remoto emergencial vivenciado durante o período de pandemia de COVID-19 nos obrigou a adotar o ensino remoto, mesmo entre os mais resistentes a ele. A maior vantagem, contudo, foi o refinamento das estratégias de ensino a distância em pouco tempo.



Existe um certo receio da “falta de pessoalidade” e individualização do ensino remoto, e esse medo não é à toa (Rhim; Han, 2020). Estudos indicam que o ensino remoto pode ser tão eficiente quanto o presencial, desde que algumas medidas sejam adotadas. Em aulas remotas, por exemplo, incluir o rosto do apresentador (em vídeo) traz maior satisfação aos estudantes, permitindo melhora na percepção afetiva da aula e do conteúdo assimilado, mesmo que não tenham sido observadas diferenças quanto à duração ou qualidade da memória formada (Kizilcec; Papadopoulos; Sritanyaratana, 2014). Ao comparar aulas remotas em vídeo - com o apresentador aparecendo - ou em podcasts (somente áudio), o desempenho em avaliações tende a ser maior quando existe uma representação visual do apresentador (Tolonen *et al.*, 2023).



Outras formas de tornar o ensino remoto mais pessoal tendem a ser valiosas para otimizar o aprendizado, incluindo a interação com colegas em fóruns de discussão, o contato com tutores que atuam como mediadores do ensino e o engajamento em atividades coletivas, adotando estratégias síncronas e assíncronas. Obviamente, outras estratégias podem ser adotadas pelos estudantes para melhorar a qualidade do ensino remoto, como a existência de um ambiente reservado para o aprendizado (e não locais associados a outras tarefas, como o quarto ou a sala de TV), duração e qualidade adequadas do sono, etc.



Ainda em ensino remoto, assistir vídeos e ouvir podcasts em velocidade aumentada tornou-se uma prática comum. Embora existam controvérsias quanto à eficácia da retenção de informações adquiridas em velocidades aumentadas, alguns estudos indicam que isso pode variar individualmente. Algumas pessoas podem apresentar desempenhos melhores quanto a informações adquiridas em velocidades aumentadas em 1,25x ou 1,5x (Mo *et al.*, 2022). Um dado interessante é que rever aulas em velocidade 2x em momentos próximos a avaliação se mostrou uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho, provavelmente por permitir uma recapitulação rápida de um conteúdo já aprendido (Murphy *et al.*, 2022). Nesse aspecto, alterar a velocidade de vídeos e áudios ainda é um tema sob debate, então utilize com cautela.



Um último ponto interessante nessa interface entre mundo real e digital é a forma como o estudante toma notas durante as aulas. Isso se aplica tanto a aulas remotas como presenciais, então fique de olho para aconselhar seus alunos! Vem sendo comum o uso de computadores e tablets como auxiliares no estudo. Dependendo da faixa etária e momento da vida acadêmica, estudantes podem levar esses equipamentos à sala de aula para tomar notas de forma “mais eficiente”.

Fazer anotações, sem dúvidas, é uma estratégia benéfica para o aprendizado, porque permite a “reverberação” de informações e garante uma fonte de consulta rápida. E fazer anotações digitalmente tende a ser mais ágil, o que pode parecer bom. Mas não é exatamente o que dizem as pesquisas. Ao comparar o desempenho de estudantes que fazem anotações manuscritas ou digitalmente, foi observado que o desempenho em avaliações foi significativamente maior entre aqueles mais “analógicos” (Mueller; Oppenheimer, 2014).

Uma possível justificativa para isso é que as anotações manuscritas, por serem um método “mais lento”, exigem que o estudante ouça o conteúdo e o processe rapidamente, sintetizando a anotação em poucas palavras, da forma mais eficiente possível. Ou seja, existe um esforço mental de interpretação. Nas anotações digitais, o processo pode ser tão ágil a ponto de permitir a simples transcrição do que é dito em uma aula ou palestra, removendo o componente de interpretação e reverberação mental.

Entenda que o propósito aqui não é vilanizar as anotações digitais, mas provavelmente repensar sobre elas: independente do formato, uma anotação pode ser mais eficien-

te quando envolve certo esforço reflexivo sobre o tema, não a simples cópia mecânica (como era, inclusive, adotada em alguns métodos de ensino por repetição).

É importante, ao final desta unidade, deixar claro que não existem receitas prontas para melhorar a experiência de ensino e aprendizado: estratégias adotadas de forma eficiente por uma pessoa podem não ser as mais adequadas para outra.

Por isso, estratégias diferenciadas adotadas em uma classe certamente não trarão resultados homogêneos para todos os estudantes. Mais importante que isso, você pode - e deve, a partir de agora - usar várias dicas apresentadas aqui para encontrar o melhor “modelo” para melhorar o ambiente de aprendizado para você e seus estudantes, inclusive buscando novas alternativas (Dunlosky *et al.*, 2013; Luchesi; Lara; dos Santos, 2022).

A neurociência nos recorda que a diversidade de estilos de aprendizado é a regra, não a exceção. Ao reconhecermos essa diversidade, abrimos portas para um aprendizado mais eficaz (Kandel, 2020).

Considerações finais

Neste módulo, navegamos nas fronteiras da neurociência educacional. Uma vez que concluímos esta disciplina, é imperativo refletir sobre as novas descobertas e evidências da neurociência que podem moldar o futuro de nossas práticas pedagógicas.

Este texto se propôs a iluminar os caminhos - muitas vezes desafiadores, mas repletos de potencial - ao lidar com mudanças de paradigmas que podem melhorar as práticas de ensino. Aqui, quero reforçar a importância de traduzir esses conhecimentos em ações concretas que impactem positivamente o aprendizado de todos os alunos (e inclusive no seu, como eterno estudante).

Ao nos debruçarmos sobre os transtornos de desenvolvimento, as recentes descobertas neurocientíficas nos alertam para a riqueza de variação e potencial presente nessas mentes. Compreender as particularidades de pessoas neurodivergentes é o primeiro passo para a adaptação de nossas abordagens pedagógicas. Isso nos coloca no comando de estratégias de ensino mais eficazes para atender às necessidades individuais de forma mais adequada.

A criação de ambientes estruturados, juntamente com métodos interativos e adaptativos, surge como uma resposta tangível à essa realidade. Em vez de ver os “sintomas” como obstáculos, sugiro que você tente enxergá-los como convites para inovação, criando espaços de aprendizado que atendam à diversidade inerente a cada sala de aula, mesmo entre estudantes neurotípicos. Você, ao mediar o aprendizado de outras pessoas, tem o desafio de arquitetar um ambiente inclusivo, onde a singularidade deve ser celebrada e os desafios transformados em oportunidades de crescimento.

Talvez o clímax desta jornada seja a aplicação prática do conhecimento em neurociência no campo empírico da ciência do aprendizado. Incorporar estratégias neurocientificamente fundamentadas exige não apenas flexibilidade, mas também a coragem de questionar as tradições e “neuromitos” que limitam o acesso ao aprendizado e aprisionam o ambiente de ensino em práticas obsoletas. O desafio está em superar a inércia do status quo e abraçar um paradigma educacional mais dinâmico e inclusivo.

Provavelmente, você, sem saber as bases apropriadas, já aplicava alguma das estratégias sugeridas. A visualização do estudante como indivíduo, a valorização do seu tempo e o fornecimento de um ambiente apropriado para o ensino são mandatórias para a aplicação de práticas voltadas a otimizar o aprendizado relevante e duradouro.

Ao aplicar as estratégias sugeridas, lembre-se de que a ciência da mente é uma área de estudo “recente” e em evolução constante. O material desta disciplina serve como uma

introdução nesse campo: continue a acompanhar as pesquisas e a adaptar suas práticas, e então você estará na vanguarda da educação. Este é um compromisso vitalício, uma promessa silenciosa a cada estudante que vai interagir contigo em um contexto de ensino.

E lembre-se: usar estratégias baseadas em evidências de neurociências não é uma forma de se opor a linhas teóricas e práticas pedagógicas estabelecidas: é uma forma de torná-las atuais.

Por fim, agradeço pela sua dedicação à vocação de ensinar. Somos os arquitetos de mentes do futuro, esculpindo a próxima geração de pensadores, inovadores e líderes. Assim como eu espero ter mediado a sua aprendizagem, sei que isso não vai terminar por aqui.

Que este conhecimento da neurociência funcione como um tempero para suas abordagens futuras em ensino, transformando desafios em oportunidades e construindo um amanhã onde cada aluno possa prosperar. Que este conhecimento se converta em ação, com seu comprometimento em adaptar e evoluir com as descobertas da neurociência, em busca de uma educação em direção a horizontes mais inclusivos e eficientes.

Obrigado!

Referências

ABDELLAHI, M. E. A. *et al.* Targeted memory reactivation in human REM sleep elicits detectable reactivation. **eLife**, v. 12, 2023. Disponível em: <https://link.ufms.br/pSjIq>. Acesso em: 14 jan. 2024.

ALBUQUERQUE, A. G. A importância da contextualização na prática pedagógica. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 11, 2019. Disponível em: <https://link.ufms.br/Wjrrj>. Acesso em: 13 jan. 2024.

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. **Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais**: DSM-5-TR: texto revisado. 5 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2023.

ARAÚJO, L. B. G.; *et al.* Multiple positive outcomes of a later school starting time for adolescents. **Sleep health**, v. 8, n. 5, p. 451–457, 2022. Disponível em: <https://link.ufms.br/ntwoz>. Acesso em: 13 jan. 2024.

AZZAM, M. B.; EASTEAL, R. A. Retrieval practice for improving long-term retention in anatomical education: A quasi-experimental study. **Medical science educator**, v. 31, n. 4, p. 1305–1310, 2021. Disponível em: <https://link.ufms.br/9t2vm>. Acesso em: 14 jan. 2024.

BATISTA, L. M. B. M.; DA CUNHA, V. M. P. uso das metodologias ativas para melhoria nas práticas de ensino e aprendizagem. **Docent Discunt**, v. 2, n. 1, p. 60–70, 2021. Disponível em: <https://link.ufms.br/xerrS>. Acesso em: 13 jan. 2024.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências**: desvendando o sistema nervoso. 4 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017.

CALIFORNIA. **Senate Bill No. 328** - Pupil attendance: school start time. 2019 p.1-20. Disponível em: <https://link.ufms.br/PsJvI>. Acesso em: 13 jan. 2024.

CAMASIO, A.; *et al.* Linking neuroanatomical abnormalities in autism spectrum disorder with gene expression of candidate ASD genes: A meta-analytic and network-oriented approach. **PloS one**, v. 17, n. 11, 2022. Disponível em: <https://link.ufms.br/RPGH6>. Acesso em: 11 jan. 2024.

COSENZA, R. M.; GUERRA, L. **Neurociência e educação**. Porto Alegre: ArtMed, 2011. ISBN 9788536326078. Disponível na [Biblioteca Digital da UFMS](#). Acesso em: 13 nov. 2023.

CUEVAS, J. A.; CHILDERS, G.; DAWSON, B. L. A rationale for promoting cognitive science in teacher education: Deconstructing prevailing learning myths and advancing research-based practices. **Trends in neuroscience and education**, v. 33, n. 100209, 2023. Disponível em: <https://link.ufms.br/0RhvV>. Acesso em: 11 jan. 2024.

DOBSON, J. L. Retrieval practice is an efficient method of enhancing the retention of anatomy and physiology information. **Advances in physiology education**, v. 37, n. 2, p. 184–191, 2013. Disponível em: <https://link.ufms.br/ZIDUF>. Acesso em: 14 jan. 2024.

DUNLOSKY, J.; *et al.* Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. **Psychological Science in the Public Interest**, v. 14, n. 1, p. 4–58, 2013. Disponível em: <https://link.ufms.br/IKWGC>. Acesso em: 13 jan. 2024.

DUNSTER, G. P.; *et al.* Sleepmore in Seattle: Later school start times are associated with more sleep and better performance in high school students. **Science advances**, v. 4, n. 12, 2018. Disponível em: <https://link.ufms.br/C0HkL>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FIROUZABADI, F. D.; *et al.* Neuroimaging in attention-deficit/hyperactivity disorder: Recent advances. **American journal of roentgenology**, v. 218, n. 2, p. 321–332, 2022. Disponível em: <https://link.ufms.br/9wgSI>. Acesso em: 11 jan. 2024.

FONSECA, V. Importância das emoções na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica. **Revista psicopedagogia**, v. 33, n. 102, p. 365–384, 2016. Disponível em: <https://link.ufms.br/9alE3>. Acesso em: 13 jan. 2024.

FORCATO, C.; RODRÍGUEZ, M. L. C.; PEDREIRA, M. E. Repeated labilization-reconsolidation processes strengthen declarative memory in humans. **PloS one**, v. 6, n. 8, 2011. Disponível em: <https://link.ufms.br/c2cf1>. Acesso em: 14 jan. 2024.

HAEBIG, E.; *et al.* The neural underpinnings of processing newly taught semantic information: The role of retrieval practice. **Journal of speech, language, and hearing research**, v. 64, n. 8, p. 3195–3211, 2021. Disponível em: <https://link.ufms.br/c2cf1>. Acesso em: 14 jan. 2024.

HERSZAGE, J.; SHARON, H.; CENSOR, N. Reactivation-induced motor skill learning. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 118, n. 23, 2021. Disponível em: <https://link.ufms.br/6vPkd>. Acesso em: 14 jan. 2024.

KANDEL, E. R.; *et al.* **Princípios de neurociências**. 6 ed. Porto Alegre: AMGH, 2020.

KANDEL, E. R. **Mentes diferentes**: o que cérebros incomuns revelam sobre nós. Barueri: Manole, 2020. Disponível na [Biblioteca Digital da UFMS](#).

KIZILCEC, R. F.; PAPADOPOULOS, K.; SRITANYARATANA, L. Showing face in video instruction: Effects on information retention, visual attention, and affect. **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**, 2014. Disponível em: <https://link.ufms.br/0L2ph>. Acesso em: 13 jan. 2024.

KONOPKA, C. L.; ADAIME, M. B.; MOSELE, P. H. Active teaching and learning methodologies: Some considerations. **Creative education**, v. 06, n. 14, p. 1536–1545, 2015. Disponível em: <https://link.ufms.br/WWxTq>. Acesso em: 13 jan. 2024.

LARSEN, D. P. Planning education for long-term retention: The cognitive science and implementation of retrieval practice. **Seminars in neurology**, v. 38, n. 4, p. 449–456, 2018. Disponível em: <https://link.ufms.br/5irI3>. Acesso em: 14 jan. 2024.

LENG, Y.; *et al.* Association between sleep quantity and quality in early adulthood with cognitive function in midlife. **Neurology**, v. 102, n. 2, 2024. Disponível em: <https://link.ufms.br/luxlg>. Acesso em: 13 jan. 2024.

LUCHESI, B. M.; LARA, E. M. O.; DOS SANTOS, M. A. **Guia prático de introdução às metodologias ativas de aprendizagem**. 1 ed. Campo Grande: Editora UFMS, 2022. Disponível em: <https://link.ufms.br/0NjFd>. Acesso em: 19 jan. 2024.

MAFFI, C.; *et al.* A contextualização na aprendizagem: percepções de docentes de ciências e matemática. **Revista Conhecimento Online**, v. 2, p. 75–92, 2019. Disponível em: <https://link.ufms.br/F7P7i>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MARQUES, H. R.; *et al.* Inovação no ensino: uma revisão sistemática das metodologias ativas de ensino-aprendizagem. **Revista da Avaliação da Educação Superior**, v. 26, n. 3, p. 718–741, 2021. Disponível em: <https://link.ufms.br/p8l6p>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MILLER, K. E.; GEHRMAN, P. R. REM sleep: What is it good for? **Current biology**, v. 29, n. 16, p. R806–R807, 2019. Disponível em: <https://link.ufms.br/9toJJ>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MO, C.Y. *et al.* Video playback speed influence on learning effect from the perspective of personalized adaptive learning: A study based on cognitive load theory. **Frontiers in psychology**, v. 13, p.1-11, 2022. Disponível em: <https://link.ufms.br/irurn>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MOLLOY, C. J.; *et al.* Bridging the translational gap: what can synaptopathies tell us about autism? **Frontiers in molecular neuroscience**, v. 16, 2023. Disponível em: <https://link.ufms.br/9rLwu>. Acesso em: 11 jan. 2024.

MUELLER, P. A.; OPPENHEIMER, D. M. The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. **Psychological science**, v. 25, n. 6, p. 1159–1168, 2014. Disponível em: <https://link.ufms.br/OWZh1>. Acesso em: 11 jan. 2024.

MÜLLER, C.; *et al.* Short breaks at school: effects of a physical activity and a mindfulness intervention on children’s attention, reading comprehension, and self-esteem. **Trends in neuroscience and education**, v. 25, n. 100160, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://link.ufms.br/Kx8Jz>. Acesso em: 13 jan. 2024.

MURPHY, D. H.; *et al.* Learning in double time: The effect of lecture video speed on immediate and delayed comprehension. **Applied cognitive psychology**, v. 36, n. 1, p. 69–82, 2022. Disponível em: <https://link.ufms.br/EPFZ0>. Acesso em: 13 jan. 2024.

ORTEGA, F. O sujeito cerebral e o movimento da neurodiversidade. **Mana**, v. 14, n. 2, p. 477–509, 2008. Disponível em: <https://link.ufms.br/RYhfY>. Acesso em: 11 jan. 2024.

PURVES, D.; *et al.* **Neuroscience**. 6 ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017.

RHIM, H. C.; HAN, H. Teaching online: foundational concepts of online learning and practical guidelines. **Korean journal of medical education**, v. 32, n. 3, p. **175–183**, 2020. Disponível em: <https://link.ufms.br/F8xLC>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SARTORI, A. S. T.; DUARTE, C. G. Repetir, Memorizar, Recitar: Mecanismos para a Fabricação de Corpos Dóceis pela Educação Matemática. **Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática**, v. 14, n. 1, p. **84–91**, 2021. Disponível em: <https://link.ufms.br/lffOX>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SCULLY, I. D.; NAPPER, L. E.; HUPBACH, A. Does reactivation trigger episodic memory change? A meta-analysis. **Neurobiology of learning and memory**, v. 142, p. **99–107**, 2017. Disponível em: <https://link.ufms.br/lwnAR>. Acesso em: 13 jan. 2024.

SILVA, B. S.; *et al.* An overview on neurobiology and therapeutics of attention-deficit/hyperactivity disorder. **Discover mental health**, v. 3, n. 1, 2023. Disponível em: <https://link.ufms.br/P7DfM>. Acesso em: 11 jan. 2024.

STAVNEZER, A. J.; LOM, B. Student-led recaps and retrieval practice: A simple classroom activity emphasizing effective learning strategies. **Journal of undergraduate neuroscience education**, v. 18, n. 1, p. **A1–A14**, 2019. Disponível em: <https://link.ufms.br/ZPngz>. Acesso em: 13 jan. 2024.

TOLONEN, M.; *et al.* Comparison of remote learning methods to on-site teaching -randomized, controlled trial. **BMC medical education**, v. 23, n. 1, p. **1–10**. 2023. Disponível em: <https://link.ufms.br/cywI9>. Acesso em: 13 jan. 2024.

VAN KESTEREN, M. T. R.; MEETER, M. How to optimize knowledge construction in the brain. **NPJ Science of Learning**, v. 5, n. 1, p. **1–7**, 2020. Disponível em: <https://link.ufms.br/xqoM2>. Acesso em: 13 jan. 2024.

WIKLUND-HÖRNQVIST, C.; JONSSON, B.; NYBERG, L. Strengthening concept learning by repeated testing. **Scandinavian journal of psychology**, v. 55, n. 1, p. **10–16**, 2014. Disponível em: <https://link.ufms.br/bMGi8>. Acesso em: 14 jan. 2024.



AGEAD

Agência de Educação
Digital e a Distância