

ISSN 2595-5934



PERIODICIDADE  
MENSAL

ABR      EDIÇÃO  
2026    N°96

IDIOMAS  
PORTUGUÊS E INGLÊS

 **QUALIS B3**



**CAPES**

**BASES NEUROANATÔMICAS DA ATENÇÃO: UM ESTUDO DAS ESTRUTURAS  
E CONEXÕES ENVOLVIDAS NO CONTROLE ATENCIONAL**  
**NEUROANATOMICAL BASES OF ATTENTION: A STUDY OF THE STRUCTURES  
AND CONNECTIONS INVOLVED IN ATTENTIONAL CONTROL**

ALVES, José Vitor Ferreira<sup>1</sup>

**RESUMO**

A atenção é um processo cognitivo complexo que regula a seleção, priorização e manutenção de informações relevantes por meio da integração dinâmica de múltiplas redes neurais. Realizou-se uma revisão narrativa destinada a organizar e analisar criticamente evidências sobre as bases neuroanatômicas que sustentam esse sistema. Os achados indicam a participação coordenada de circuitos frontais, parietais, talâmicos e troncoencefálicos, modulados por sistemas noradrenérgicos, colinérgicos, dopaminérgicos e serotoninérgicos. Observa-se ainda a importância de ritmos neurais alfa, teta e gama na organização temporal das redes. Conclui-se que a atenção emerge de interações distribuídas que articulam estrutura, modulação neuroquímica e dinâmica funcional.

**Palavras-chave:** Atenção. Neuroanatomia. Neurotransmissores. Conectividade Neural.

**ABSTRACT**

Attention is a complex cognitive process that regulates the selection, prioritization, and maintenance of relevant information through the dynamic integration of multiple neural networks. A narrative review was conducted to organize and critically analyze evidence on the neuroanatomical bases that support this system. The findings indicate the coordinated involvement of frontal, parietal, thalamic, and brainstem circuits, which are modulated by noradrenergic, cholinergic, dopaminergic, and serotonergic systems. Neural rhythms such as alpha, theta, and gamma also play a key role in the temporal organization of these networks. Overall, attention emerges from distributed interactions that integrate structural architecture, neurochemical modulation, and functional dynamics.

**Keywords:** Attention. Neuroanatomy. Neurotransmitters. Neural Pathways.

---

<sup>1</sup> Farmacêutico e Bioquímico. Mestre em Medicina Tropical e Saúde Pública. Universidade Federal de Goiás. vitor.alves.farma@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

A atenção constitui um dos pilares centrais da cognição humana, possibilitando ao indivíduo selecionar, priorizar e sustentar informações relevantes em meio a um ambiente repleto de estímulos concorrentes. Longe de representar um mecanismo simples, ela emerge como um processo multifacetado que permite ao organismo adaptar-se de forma eficiente, otimizar recursos cognitivos e modular o comportamento de acordo com contextos internos e externos. A literatura das neurociências contemporâneas reafirma esse caráter complexo, destacando que a atenção não se reduz a um único sistema, mas envolve a integração de múltiplas operações cognitivas que interagem de forma dinâmica e contínua (KRAUZLIS *et al.*, 2023). Ao longo das últimas décadas, modelos teóricos buscaram sintetizar esse fenômeno em componentes como alerta, orientação e controle executivo, estruturação proposta de modo seminal por Petersen e Posner (2012). Contudo, avanços em técnicas de neuroimagem, análises de conectividade e modelagem computacional têm desafiado essa segmentação rígida, revelando uma arquitetura cerebral extremamente interconectada e fluida (HUANG, LI, ZHANG, 2023).

As descobertas recentes indicam que a atenção não pode ser entendida como um conjunto de módulos isolados, mas como um fenômeno distribuído que resulta da comunicação coordenada entre redes neurais específicas. Evidências provenientes de ressonância magnética funcional de alta resolução, magnetoencefalografia, eletroencefalografia de alta densidade e neuroimagem de difusão mostram que o comportamento atencional reflete interações contínuas entre sistemas corticais e subcorticais capazes de reconfigurar seu funcionamento em escalas temporais que variam de milissegundos a minutos (BABAEEGHAZVINI *et al.*, 2021). Redes como a dorsal de atenção (DAN), voltada ao controle top-down, e a rede ventral de atenção (VAN), sensível a estímulos inesperados, articulam-se na seleção e processamento de informações relevantes, enquanto sistemas moduladores, como o noradrenérgico, ajustam estados de vigiância e responsividade neural (THIELE, BELLGROVE, 2018). Essa perspectiva integrativa reforça o entendimento da atenção como um processo

emergente de redes coordenadas, cuja operação ultrapassa explicações localizacionistas tradicionais (GU *et al.*, 2025; POSNER, 2023).

Outro avanço fundamental diz respeito à compreensão da atenção como um fenômeno profundamente dependente da dinâmica temporal dos circuitos neurais. A sincronização entre ritmos alfa, teta e gama desempenha papel decisivo na amplificação ou supressão de estímulos sensoriais, modulando a percepção consciente e sustentando processos executivos. Ritmos alfa estão associados à inibição sensorial e ao bloqueio de distrações; ritmos gama refletem integração rápida de informações perceptivas; e ritmos teta organizam o controle cognitivo e a memória de trabalho (BESTE, MÜNCHAU, FRINGS, 2023; PROSKOVEC *et al.*, 2018). Paralelamente, flutuações no estado de alerta, reguladas pelo *locus coeruleus* e pela liberação de noradrenalina, ajustam a responsividade global do cérebro, favorecendo foco ou dispersão de acordo com exigências contextuais (CRUNELLI *et al.*, 2018; GRIMM *et al.*, 2024). Assim, a atenção emerge da combinação entre propriedades estruturais, dinâmicas oscilatórias e modulação neuroquímica que, juntas, moldam o processamento da informação (GHOSH, MAUNSELL, 2024).

A literatura contemporânea também aponta que a atenção não pode ser compreendida plenamente sem considerar sua trajetória ao longo do desenvolvimento humano e a expressiva variabilidade individual. Estudos longitudinais mostram que sistemas de alerta apresentam maior estabilidade ao longo da vida, enquanto o controle executivo, dependente do córtex pré-frontal, passa por longo período de maturação que se estende até o início da vida adulta (BOEN *et al.*, 2021). Durante a adolescência, alterações dopaminérgicas e reorganização da comunicação entre amígdala e córtex pré-frontal tornam o sistema atencional particularmente sensível à interferência emocional. No envelhecimento, observa-se declínio na integridade de tratos fronto-parietais e na responsividade noradrenérgica, fatores associados à diminuição da vigilância e ao aumento da variabilidade comportamental (KNYAZEVA *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2025). Além disso, diferenças individuais em espessura cortical, integridade de fibras de substância branca e padrões oscilatórios ajudam a

explicar por que pessoas apresentam níveis distintos de eficiência atencional (HU *et al.*, 2023; MITKO *et al.*, 2019).

A interação entre atenção, emoção e motivação representa outro eixo essencial para compreender o funcionamento desse sistema. Pesquisas recentes evidenciam que o foco atencional é fortemente influenciado por estímulos emocionalmente significativos, mediado por circuitos como amígdala, córtex orbitofrontal e redes de saliência. A amígdala prioriza estímulos com valor emocional e orienta recursos cognitivos para situações potencialmente ameaçadoras ou recompensadoras, enquanto a dopamina regula a estabilidade cognitiva e a atualização de informações relevantes ao contexto (ROLLS, 2023; SCHINDLER, BUBLATZKY, 2020). A serotonina modula respostas afetivas e influencia a comunicação entre regiões límbicas e pré-frontais, impactando diretamente o processamento atencional. Essa integração evidencia que a atenção atua como um elo regulador entre cognição e emoção, sustentando comportamentos adaptativos e processos decisórios (JANET *et al.*, 2023; WASSERMAN, WASSERMAN, 2024).

Por fim, compreender as bases neuroanatômicas da atenção possui relevância significativa para campos como a psicologia, a educação e a saúde. A identificação de biomarcadores baseados em conectividade funcional e assinaturas neuroquímicas tem contribuído para o diagnóstico precoce de transtornos como TDAH, ansiedade e depressão (CORRIVEAU *et al.*, 2025; ROSENBERG *et al.*, 2025; RUBIA, 2018). No âmbito educacional, práticas que respeitam ritmos atencionais, variabilidade individual e mecanismos motivacionais têm se mostrado fundamentais para promover aprendizagem significativa e autorregulação (CHUIKOVA *et al.*, 2024; THOMAS, ARSLAN, 2025). Assim, este trabalho tem por objetivo analisar as bases neuroanatômicas da atenção, identificando as estruturas, redes e mecanismos de conectividade que sustentam o controle atencional, de modo a compreender como a arquitetura neural e funcional desse sistema fornece fundamentos sólidos para intervenções voltadas à promoção do bem-estar, do desempenho cognitivo e do desenvolvimento humano.

## 2 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo qualitativo, observacional, descritivo e de delineamento transversal, desenvolvido no formato de revisão narrativa da literatura (FONTELLES *et al.*, 2009), cujo objetivo é reunir, organizar e analisar criticamente o conhecimento disponível sobre as bases neuroanatômicas, neuroquímicas e dinâmicas oscilatórias que sustentam os diferentes componentes da atenção. A revisão narrativa é apropriada para o mapeamento do “estado da arte” de temas amplos, complexos e multifacetados (ROTHER, 2007), pois possibilita sistematizar e examinar de forma aprofundada, os avanços conceituais, evidências experimentais e achados clínicos, identificando convergências, divergências e lacunas presentes na literatura contemporânea.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida nas bases eletrônicas PubMed/Medline, Scopus, *Web of Science* (WOS) e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS). Foram incluídos artigos originais, revisões, capítulos de livros, relatórios técnicos e documentos acadêmicos que abordem estruturas e circuitos neuroanatômicos e neurofisiológicos envolvidos no processo de atenção. Não houve restrição temporal inicial para garantir amplitude histórica do levantamento; entretanto, será dada prioridade a publicações dos últimos dez anos, visando contemplar achados contemporâneos associados à neuroimagem, neuroanatomia e neurofisiologia.

A seleção do material seguiu as seguintes etapas: (1) triagem inicial por título e autores; (2) leitura dos resumos, verificando aderência ao objetivo da revisão; (3) leitura integral dos estudos elegíveis, excluindo-se aqueles que não abordarem diretamente as relações entre neuroanatomia, neurofisiologia e os processos atencionais. Foram incluídos materiais publicados nos idiomas português e inglês. Foram excluídas apenas publicações duplicadas, fora dos idiomas determinados ou que não apresentaram conteúdo compatível com o escopo da pesquisa.

O conjunto desses procedimentos assegura a consistência do processo de revisão, favorecendo a identificação de padrões conceituais, limitações dos estudos disponíveis e lacunas que poderão orientar pesquisas futuras na área.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

A atenção, enquanto função cognitiva fundamental para a sobrevivência, adaptação e aprendizagem humana, constitui um dos processos mais complexos investigados pelas neurociências contemporâneas. Mais do que um mecanismo isolado, a atenção representa um conjunto de operações que regulam a seleção, priorização e manutenção de informações relevantes, coordenando recursos cognitivos de modo flexível perante ambientes dinâmicos (KRAUZLIS *et al.*, 2023).

Historicamente, modelos clássicos buscaram compartimentalizar a atenção em componentes distintos, como alerta, orientação e controle executivo, sendo essa divisão proposta por Petersen e Posner (2012), uma referência estruturante para a organização dos achados empíricos nas últimas décadas. No entanto, os avanços recentes em neuroimagem, neurofisiologia, modelagem computacional e análises de conectividade cerebral têm evidenciado que tais componentes não refletem plenamente a natureza multifacetada e interativa dos processos atencionais (HUANG, LI, ZHANG, 2023). A atenção emerge, portanto, como um fenômeno distribuído, dependente da dinâmica temporal e da interação coordenada entre múltiplas redes neurais que se comunicam em escalas que variam de milissegundos a minutos, desafiando visões modularizadas e promovendo um paradigma mais integrativo da cognição humana (GU *et al.*, 2025; POSNER, 2023).

Pesquisas atuais indicam que o comportamento atencional é sustentado por complexas interações entre diferentes sistemas cerebrais, envolvendo circuitos corticais e subcorticais, modulados por sinais neuroquímicos que ajustam o cérebro a estados de preparação, vigilância e seleção (THIELE, BELLGROVE, 2018). Técnicas avançadas, como ressonância magnética funcional (fMRI) de ultra-alta resolução (7T), magnetoencefalografia (MEG), eletroencefalograma (EEG) de alta densidade, ressonância magnética por difusão multibanda (dMRI), conectividade funcional em tempo real e análises de dinâmica de redes de estado transiente (*dynamic functional connectivity*), têm contribuído para mapear como a atenção se reorganiza ao longo do tempo e como diferentes componentes interagem para sustentar comportamentos flexíveis (BABAEEGHAZVINI *et al.*, 2021).

Esses métodos permitem observar, por exemplo, como a rede dorsal de atenção (DAN) se envolve no controle *top-down* (de cima para baixo) orientado por metas, enquanto a rede ventral de atenção (VAN) responde a eventos inesperados, ou como flutuações noradrenérgicas modulam o estado de alerta em escalas de segundos. Assim, a atenção deve ser compreendida como uma função emergente da interação entre redes distribuídas e sistemas moduladores, em vez de um conjunto de módulos independentes e isolados (Majerus *et al.*, 2018; ROSENBERG *et al.*, 2020).

Além da ampliação conceitual, estudos recentes têm revelado que a atenção depende de propriedades dinâmicas do cérebro, como sincronização oscilatória entre áreas distantes, alternância entre estados de conectividade e modulação fina de padrões de atividade neural. A interação entre ritmos alfa, gama e teta, por exemplo, regula a amplificação ou supressão de estímulos sensoriais, influenciando diretamente a percepção consciente (BESTE, MÜNCHAU, FRINGS, 2023; PROSKOVEC *et al.*, 2018).

Paralelamente, variações no estado de alerta, moduladas por mecanismos neuroquímicos como a atuação do *locus coeruleus* e do sistema noradrenérgico, influenciam diretamente a responsividade global do cérebro e a variabilidade do comportamento. Dessa forma, a atenção não pode ser entendida apenas como o resultado de ativações regionais isoladas, mas como um fenômeno emergente de padrões temporais complexos que integram a ação de neurotransmissores, a dinâmica dos ritmos neurais e mudanças rápidas na configuração das redes cerebrais (GHOSH, MAUNSELL, 2024; GRIMM *et al.*, 2024).

Outra dimensão essencial para compreender as bases neuroanatômicas da atenção envolve o reconhecimento de que o funcionamento atencional é profundamente influenciado pela variabilidade individual, pelo desenvolvimento ao longo do ciclo de vida e por fatores clínicos. Pesquisas longitudinais demonstram que as redes atencionais apresentam trajetória não linear durante o desenvolvimento, com amadurecimento gradual do controle executivo e relativa estabilidade dos sistemas de alerta. Em idosos, observam-se alterações tanto estruturais quanto funcionais, refletidas na diminuição da conectividade frontoparietal e na menor responsividade

noradrenérgica, o que contribui para declínios em vigilância, seletividade e flexibilidade cognitiva. Além disso, diferenças individuais em eficiência atencional têm sido associadas à integridade de vias de substância branca, variabilidade intrínseca dos ritmos neurais e padrões de sincronia entre redes, reforçando a necessidade de modelos que integrem características estruturais, funcionais e neuroquímicas na explicação da diversidade cognitiva humana (KLEIN, GOOD, CHRISTIE, 2024; MILLS *et al.*, 2021; TOMASSINI *et al.*, 2022).

A literatura contemporânea destaca a atenção como um núcleo integrador que articula cognição, emoção e comportamento. Longe de atuar apenas como filtro sensorial, ela participa de processos como regulação emocional, tomada de decisão, memória de trabalho e ação orientada a metas (SCHINDLER, BUBLATZKY, 2020).

Nesse sentido, a atenção fornece a base para manter o foco, ajustar respostas diante de estímulos relevantes e suprimir informações irrelevantes, além de sustentar o monitoramento de erros. Evidências recentes mostram que falhas de conectividade entre redes executivas e sistemas límbicos estão associadas a dificuldades de regulação emocional, ansiedade, depressão e maior reatividade comportamental (PANG *et al.*, 2024; THAI *et al.*, 2021).

Essas interações reforçam a compreensão da atenção como um mecanismo multifuncional, que integra dimensões cognitivas, afetivas e motivacionais em um sistema coordenado. A visão contemporânea, assim, supera modelos puramente sensoriais e enfatiza sua participação ampla na organização do comportamento adaptativo (SCHINDLER, BUBLATZKY, 2020).

Por fim, pesquisas recentes mostram que o estudo das bases neuroanatômicas da atenção possui implicações diretas para a saúde, a educação e a prática clínica. Biomarcadores baseados em conectividade funcional, assinaturas de rede e indicadores neuroquímicos têm avançado a identificação precoce de transtornos, enquanto abordagens educacionais que consideram ritmos atencionais e variabilidade individual favorecem melhor aprendizagem e autorregulação. Nesse cenário, torna-se essencial aprofundar a integração entre evidências estruturais, funcionais e clínicas para compreender plenamente a atenção humana (CORRIVEAU *et al.*, 2025).

### 3.1 REDES NEURAIS ATENCIONAIS E ESTRUTURAS NEUROANATÔMICAS ENVOLVIDAS NO PROCESSO DE ATENÇÃO

A atenção é compreendida atualmente como uma função distribuída sustentada por redes neurais que integram regiões corticais, núcleos subcorticais e sistemas moduladores ascendentes. Sua operação envolve circuitos que coordenam a seleção e priorização de informações relevantes por meio de mecanismos neuroquímicos e propriedades dinâmicas de comunicação entre áreas distantes. A visão contemporânea substitui modelos localizacionistas por concepções que enfatizam a interação entre estruturas frontais, parietais, talâmicas e troncoencefálicas (LIU *et al.*, 2023; ROSENBERG *et al.*, 2020).

Do ponto de vista estrutural, três sistemas neuroanatômicos principais organizam o comportamento atencional: o sistema de alerta, o sistema de orientação e o sistema de controle executivo (PETERSEN, POSNER, 2012). O sistema de alerta engloba o *locus coeruleus*, a formação reticular, o tálamo intralaminar e projeções difusas noradrenérgicas que modulam o grau global de responsividade cortical. O sistema de orientação envolve o córtex parietal posterior, o colículo superior, áreas occipitais e a rede fronto-parietal dorsal. Já o sistema de controle executivo depende de regiões do córtex pré-frontal dorsolateral, giro frontal inferior, córtex cingulado anterior e córtex parietal superior, responsáveis pelo monitoramento e controle voluntário (GHOSH, MAUNSELL, 2024; KLEIN, GOOD, CHRISTIE, 2024; PETERSEN, POSNER, 2012).

O sistema de alerta funciona como regulador do estado neurofisiológico basal que sustenta a vigilância e a prontidão. O *locus coeruleus*, localizado na ponte, projeta-se amplamente para córtex, hipocampo, tálamo e cerebelo, modulando o ganho sináptico por noradrenalina. O tálamo intralaminar ajusta a excitabilidade cortical e atua como “*hub*” entre estruturas subcorticais e o córtex, sincronizando transições rápidas entre estados de alta e baixa prontidão. Esse conjunto anatômico cria as condições para que outras redes atencionais operem de modo eficiente (BRETON-PROVENCHER, DRUMMOND, SUR, 2021; CRUNELLI *et al.*, 2018; GRIMM *et al.*, 2024; WANG *et al.*, 2023).

O sistema de orientação depende fortemente da arquitetura occipito-parietal, uma vez que direciona o foco atencional para estímulos relevantes no espaço. O lóbulo parietal inferior, especialmente o giro supramarginal e angular, dirige a alocação espacial de recursos perceptivos. O lóbulo parietal superior coordena mapas espaciais e integra sinais sensoriais com comandos motores. O colículo superior, no mesencéfalo, participa da seleção rápida de estímulos salientes e da geração de movimentos oculares orientadores. Projeções colinérgicas do núcleo basal de Meynert modulam a precisão perceptiva nessas regiões, ajustando a razão sinal-ruído (refere-se ao grau em que informações relevantes são destacadas em relação a estímulos distrativos) (CHEN *et al.*, 2023; FISCHER, MOSCOVITCH, ALAIN, 2021; LEE *et al.*, 2020).

O sistema de controle executivo organiza-se majoritariamente no lobo frontal, cuja função envolve a coordenação e monitoramento de conflitos, atualização de metas e inibição (processo de ignorar estímulos irrelevantes). O córtex pré-frontal dorsolateral sustenta manutenção de metas e representações de trabalho. A porção anterior do giro do cíngulo monitora conflitos e seleciona respostas. O córtex pré-frontal ventrolateral inibe estímulos irrelevantes. O córtex parietal superior integra informações sensoriais ao controle top-down (de cima para baixo). Projeções dopaminérgicas da área tegmental ventral modulam a estabilidade de representações pré-frontais, permitindo flexibilidade adaptativa (BARROT, 2014; GUAN *et al.*, 2023; MORAES, 2025).

Além das redes anatômicas, a atenção depende de propriedades dinâmicas que emergem de padrões rítmicos. Ritmos alfa modulam inibição sensorial no córtex occipital; ritmos gama sincronizam processamento local entre áreas occipito-temporais e parietais; ritmos teta conectam hipocampo, córtex pré-frontal e o giro do cíngulo, coordenando controle executivo e memória de trabalho. Esses ritmos se organizam em circuitos precisos, como as vias parieto-occipitais e fronto-cinguladas, que formam cadeias de ressonância funcional (FIEBELKORN, KASTNER, 2019).

A dinâmica desses ritmos, porém, não ocorre de forma independente: ela é profundamente modulada pelo estado de alerta regulado pelo *locus coeruleus*.

Oscilações na liberação de noradrenalina modulam diretamente a responsividade de regiões como o córtex pré-frontal medial, o tálamo e áreas sensoriais primárias, alterando os regimes oscilatórios que sustentam o foco atencional. Em momentos de elevação noradrenérgica, há maior facilitação de ritmos gama no córtex, promovendo foco e vigilância. Em estados de baixa noradrenalina, ritmos alfa se tornam mais predominantes, levando a maior dispersão atencional e lapsos comportamentais (BRETON-PROVENCHER, DRUMMOND, SUR, 2021; CRUNELLI *et al.*, 2018; GOTTESMANN, 2011).

A acetilcolina modula a seletividade sensorial alterando o modo como os córtices occipital e temporal processam informações visuais e auditivas. As projeções do núcleo basal de Meynert aumentam a precisão perceptiva ao ajustar a atividade dos microcircuitos inibitórios locais, especialmente nas camadas corticais profundas. Esse ajuste ocorre por meio da modulação de interneurônios GABAérgicos que influenciam ritmos alfa e gama. Como resultado, os estímulos relevantes tornam-se mais nítidos, enquanto ruídos e informações irrelevantes são suprimidos (CHEN *et al.*, 2023; GUAN *et al.*, 2023; NEYHART *et al.*, 2024).

O sistema dopaminérgico exerce forte influência sobre os circuitos fronto-estriatais. As projeções da área tegmental ventral para o estriado ventral, o núcleo accumbens e o córtex pré-frontal regulam a motivação e a estabilidade cognitiva. A dopamina contribui tanto para manter informações relevantes durante tarefas exigentes quanto para permitir uma atualização rápida quando o contexto muda. Quando esses circuitos apresentam disfunções, surgem dificuldades no controle inibitório e um aumento da impulsividade (AVERBECK, O'DOHERTY, 2022; HILL *et al.*, 2022).

A atenção também atua como ponto de convergência entre redes de controle executivo e os circuitos límbicos. A amígdala atribui prioridade a estímulos emocionalmente relevantes e influencia o direcionamento do foco atencional por meio de projeções para o córtex pré-frontal ventromedial, córtex orbitofrontal e giro do cíngulo anterior. A ínsula anterior, integrante da rede de saliência, monitora mudanças internas e externas e coordena a transição entre as redes executiva e padrão. A

serotonina, produzida no núcleo da rafe, modula a reatividade emocional ao ajustar a comunicação entre a amígdala e regiões pré-frontais (JANET *et al.*, 2023; WASSERMAN, WASSERMAN, 2024).

Ao mesmo tempo, a seleção de estímulos relevantes depende da integração entre esses sinais afetivos e o sistema motivacional, mediado pelo circuito córtico-estriatal. A atividade dopaminérgica proveniente do estriado ventral, desse circuito, reforça estímulos de alta valência, influenciando quais informações recebem prioridade, modulando sua prioridade no processamento atencional. O córtex orbitofrontal integra valor, expectativa e custo, modulando alocação atencional conforme demandas de recompensa. Essa combinação anatômica e neuroquímica sustenta comportamentos dirigidos a metas.(BARROT, 2014; ROLLS, 2023).

O desenvolvimento das redes atencionais reflete mudanças estruturais ao longo da infância e adolescência. Nos primeiros anos, ocorre expansão sináptica nos córtices parietal e occipital, o que beneficia a orientação espacial. Já o córtex pré-frontal amadurece mais lentamente, só atinge maturação completa na vida adulta jovem, o que explica por que o controle executivo demora mais para se desenvolver. Além disso, a mielinização progressiva de tratos como o fascículo longitudinal superior aumenta a velocidade de comunicação fronto-parietal, acelerando a transmissão de sinais nessa via (BOEN *et al.*, 2021; SAITO *et al.*, 2022).

Na adolescência, a reorganização das conexões dopaminérgicas no córtex pré-frontal aumenta sensibilidade a recompensas e interfere na estabilidade atencional. Esse período envolve maior comunicação entre amígdala e córtex pré-frontal medial, contribuindo para maior influência emocional sobre o foco atencional. A sincronia de ritmos teta entre hipocampo e a porção anterior do giro do cíngulo também se fortalece progressivamente (BOEN *et al.*, 2021; NUÑEZ, BUÑO, 2021).

No envelhecimento, regiões frontais sofrem redução de volume, o *locus coeruleus* acumula pigmento neuromelânico e diminui suas projeções, e tratos fronto-parietais perdem integridade. O resultado é diminuição da vigilância e aumento da variabilidade comportamental. Ritmos teta se tornam menos estáveis, afetando o monitoramento executivo, enquanto ritmos alfa apresentam maior dispersão,

prejudicando filtragem sensorial (KNYAZEVA *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2025; TINNEY *et al.*, 2024).

A variabilidade individual em atenção está associada à integridade estrutural de vias como o feixe do cíngulo, a via fronto-occipital inferior e o já citado fascículo longitudinal superior. Além disso, diferenças anatômicas no tálamo, especialmente nos núcleos intralaminares e pulvinares, predizem eficiência em tarefas de seleção e orientação. Microdiferenças em arquitetura cortical, como espessura no córtex parietal ou densidade de interneurônios no pré-frontal, influenciam perfis oscilatórios individuais (HU *et al.*, 2023; MITKO *et al.*, 2019; SHINE, 2021).

As implicações neuroanatômicas da atenção alcançam saúde mental, educação e intervenção clínica. Em contextos clínicos, a análise da conectividade fronto-parietal e amígdalo-prefrontal auxilia na identificação de vulnerabilidades a transtornos de ansiedade, depressão e déficit de atenção. Biomarcadores baseados em redes, como assinaturas oscilatórias em teta e gama, têm sido úteis em diagnósticos precoces (ROSENBERG *et al.*, 2025; RUBIA, 2018).

Na educação, compreender o funcionamento das redes parietais e pré-frontais orienta práticas que respeitam limites de vigilância e variabilidade individual. Abordagens que alternam carga cognitiva, utilizam mapas visuais ou exploram mecanismos motivacionais modulam diretamente sistemas executivos e parietais, fortalecendo consolidação de aprendizagem (CHUIKOVA *et al.*, 2024; THOMAS, ARSLAN, 2025).

Em síntese, a atenção emerge da interação altamente coordenada entre arquitetura neuroanatômica, modulação neuroquímica e dinâmica oscilatória (BAGHDADI, TOWHIDKHAH, RAJABI, 2021). A integração entre córtex frontal, parietal, tálamo e tronco encefálico fornece a base estrutural; sistemas noradrenérgicos, colinérgicos, dopaminérgicos e serotoninérgicos modulam responsividade; e ritmos neuronais organizam comunicação temporal. O avanço no estudo dessas interações revela a atenção como fenômeno multifacetado, fundamental para cognição, emoção e comportamento humano.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atenção, conforme demonstrado ao longo deste trabalho, constitui um fenômeno altamente integrado que emerge da interação entre estruturas neuroanatômicas, sistemas neuroquímicos e dinâmicas oscilatórias. Longe de operar como um módulo isolado, ela resulta da coordenação entre redes distribuídas que incluem córtex frontal, parietal, tálamo, tronco encefálico e sistemas moduladores como os circuitos noradrenérgico, colinérgico, dopaminérgico e serotoninérgico (BRETON-PROVENCHER, DRUMMOND, SUR, 2021; GHOSH, MAUNSELL, 2024; PETERSEN, POSNER, 2012). Esses elementos estruturais e funcionais organizam-se em múltiplas escalas temporais, produzindo padrões oscilatórios e estados cerebrais que moldam a seleção, priorização e manutenção de informações relevantes (BESTE, MÜNCHAU, FRINGS, 2023; FIEBELKORN, KASTNER, 2019).

A literatura contemporânea tem ampliado a compreensão desse fenômeno ao evidenciar que a atenção não pode ser compreendida apenas por vias fixas, mas por sua natureza dinâmica, marcada por flutuações rápidas entre estados funcionais e pela constante reorganização da conectividade em resposta às demandas ambientais (BABAEEGHAZVINI *et al.*, 2021; ROSENBERG *et al.*, 2020). O papel modulador *do locus coeruleus* e das oscilações noradrenérgicas revela como mudanças sutis no estado de alerta influenciam a responsividade neural e o desempenho comportamental (CRUNELLI *et al.*, 2018; GRIMM *et al.*, 2024). Da mesma forma, ritmos alfa, teta e gama coordenam a comunicação entre regiões distantes, permitindo alternância eficiente entre foco, flexibilidade e integração sensorial (FIEBELKORN, KASTNER, 2019; PROSKOVEC *et al.*, 2018).

O desenvolvimento e a variabilidade individual surgem, também, como dimensões centrais na compreensão da atenção. Mudanças estruturais ao longo da infância, adolescência e envelhecimento moldam profundamente as capacidades atencionais, refletindo trajetórias não lineares de maturação e declínio (BOEN *et al.*, 2021; KNYAZEVA *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2025). Além disso, diferenças na integridade de tratos como o fascículo longitudinal superior, o feixe do cíngulo e vias

tálamo-parietais influenciam diretamente o desempenho e os perfis oscilatórios individuais (HU *et al.*, 2023; MITKO *et al.*, 2019; SHINE, 2021).

As implicações práticas desse corpo teórico são amplas. No campo clínico, biomarcadores derivados de assinaturas de rede e conectividade fronto-parietal têm auxiliado a identificação de transtornos como ansiedade, depressão e TDAH (ROSENBERG *et al.*, 2025; RUBIA, 2018). Na educação, práticas que respeitam ritmos atencionais, variabilidade individual e mecanismos motivacionais demonstram impacto positivo na aprendizagem (CHUIKOVA *et al.*, 2024; THOMAS, ARSLAN, 2025).

Considerando o conjunto das evidências apresentadas, compreender a atenção como um fenômeno multifacetado, estruturado por anatomia, modulado por neuroquímica e organizado por dinâmica temporal permite integrar achados experimentais, clínicos e educacionais, oferecendo uma visão abrangente sobre um dos pilares da cognição humana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVERBECK, B.; O'DOHERTY, J. P. Reinforcement-learning in fronto-striatal circuits. *Neuropsychopharmacology*, v. 47, n. 1, p. 147–162, 5 jan. 2022.

BABAEEGHAZVINI, P.; RUEDA-DELGADO, L. M.; GOOIJERS, J.; SWINNEN, S. P.; DAFFERTSHOFER, A. Brain Structural and Functional Connectivity: A Review of Combined Works of Diffusion Magnetic Resonance Imaging and Electro-Encephalography. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 15, 7 out. 2021.

BAGHDADI, GOLNAZ.; TOWHIDKHAH, FARZAD.; RAJABI, MOJDEH. Neurocognitive mechanisms of attention: computational models, physiology, and disease states. Academic Press ed. New York: Academic Press, 2021. v. 1

BARROT, M. The ventral tegmentum and dopamine: A new wave of diversity. *Neuroscience*, v. 282, p. 243–247, dez. 2014.

BESTE, C.; MÜNCHAU, A.; FRINGS, C. Towards a systematization of brain oscillatory activity in actions. *Communications Biology*, v. 6, n. 1, 1 dez. 2023.

BOEN, R.; FERSCHMANN, L.; VIJAYAKUMAR, N.; OVERBYE, K.; FJELL, A. M.; ESPESETH, T.; TAMNES, C. K. Development of attention networks from childhood to young adulthood: A study of performance, intraindividual variability and cortical thickness. *Cortex*, v. 138, p. 138–151, maio 2021.

---

BASES NEUROANATÔMICAS DA ATENÇÃO: UM ESTUDO DAS ESTRUTURAS E CONEXÕES ENVOLVIDAS NO CONTROLE ATENCIONAL, AUTOR(A): ALVES, JOSÉ VITOR FERREIRA.

BRETON-PROVENCHER, V.; DRUMMOND, G. T.; SUR, M. Locus Coeruleus Norepinephrine in Learned Behavior: Anatomical Modularity and Spatiotemporal Integration in Targets. *Frontiers in Neural Circuits*, v. 15, p. 638007, 7 jun. 2021.

CHEN, Z.; YANG, Y.; LI, M.; GAO, L.; QU, W.; HUANG, Z.; YUAN, X. Whole-brain neural connectivity to cholinergic neurons in the nucleus basalis of Meynert. *Journal of Neurochemistry*, v. 166, n. 2, p. 233–247, 23 jul. 2023.

CHUIKOVA, Z. V.; FILATOV, A. A.; FABER, A. Y.; ARSALIDOU, M. Mapping common and distinct brain correlates among cognitive flexibility tasks: concordant evidence from meta-analyses. *Brain Imaging and Behavior*, v. 19, n. 1, p. 50–71, 29 out. 2024.

CORRIVEAU, A.; KE, J.; TERASHIMA, H.; KONDO, H. M.; ROSENBERG, M. D. Functional brain networks predicting sustained attention are not specific to perceptual modality. *Network neuroscience (Cambridge, Mass.)*, v. 9, n. 1, p. 303–325, 2025.

CRUNELLI, V.; LŐRINCZ, M. L.; CONNELLY, W. M.; DAVID, F.; HUGHES, S. W.; LAMBERT, R. C.; LERESCHE, N.; ERRINGTON, A. C. Dual function of thalamic low-vigilance state oscillations: rhythm-regulation and plasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 19, n. 2, p. 107–118, 11 fev. 2018.

FIEBELKORN, I. C.; KASTNER, S. A Rhythmic Theory of Attention. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 23, n. 2, p. 87–101, fev. 2019.

FISCHER, M.; MOSCOVITCH, M.; ALAIN, C. A systematic review and meta-analysis of memory-guided attention: Frontal and parietal activation suggests involvement of fronto-parietal networks. *WIREs Cognitive Science*, v. 12, n. 1, 25 jan. 2021.

FONTELLES, M. J.; SIMÕES, M. G.; FARIAS, S. H.; GARCIA, R.; FONTELLES, S. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. *Revista Paraense de Medicina*, v. 23, n. 3, jul. 2009.

GHOSH, S.; MAUNSELL, J. H. R. Locus coeruleus norepinephrine contributes to visual-spatial attention by selectively enhancing perceptual sensitivity. *Neuron*, v. 112, n. 13, p. 2231–2240.e5, jul. 2024.

GOTTESMANN, C. The involvement of noradrenaline in rapid eye movement sleep mentation. *Frontiers in neurology*, v. 2, p. 81, 2011.

GRIMM, C. *et al.* Tonic and burst-like locus coeruleus stimulation distinctly shift network activity across the cortical hierarchy. *Nature Neuroscience*, v. 27, n. 11, p. 2167–2177, 1 nov. 2024.

GU, J.; WANG, X.; LIU, C.; YANG, L.; FAN, J.; SUN, J.; KENETT, Y. N.; QIU, J. Cognitive and neural mechanisms of mental imagery supporting creative cognition. *Communications Biology*, v. 8, n. 1, 1 dez. 2025.

GUAN, Z.; LIN, M.; WU, Q.; WU, J.; CHEN, K.; HAN, H.; CHUI, D.; ZHANG, X.; LI, C. Neural mechanisms of top-down divided and selective spatial attention in visual and auditory perception. *Brain Science Advances*, v. 9, n. 2, p. 95–113, jun. 2023.

HILL, D. F.; OLSON, Z. G.; BARTLETT, M. J.; FALK, T.; HEIEN, M. L.; COWEN, S. L. Heterogeneous neuronal activity in the ventral tegmental area coordinates dopamine release in the nucleus accumbens. *BioRxiv*, n. 1, 31 jul. 2022.

HU, R.; TAN, F.; CHEN, W.; WU, Y.; JIANG, Y.; DU, W.; ZUO, Y.; GAO, B.; SONG, Q.; MIAO, Y. Microstructure abnormalities of the diffusion quantities in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: an AFQ and TBSS study. *Frontiers in Psychiatry*, v. 14, 22 ago. 2023.

HUANG, H.; LI, R.; ZHANG, J. A review of visual sustained attention: neural mechanisms and computational models. *PeerJ*, v. 11, p. e15351, 13 jun. 2023.

JANET, R.; COSTES, N.; MÉRIDA, I.; DERRINGTON, E.; DREHER, J. C. Relationships between serotonin availability and frontolimbic response to fearful and threatening faces. *Scientific Reports*, v. 13, n. 1, p. 1558, 27 jan. 2023.

KLEIN, R. M.; GOOD, S. R.; CHRISTIE, J. J. Changes in the Networks of Attention across the Lifespan: A Graphical Meta-Analysis. *Journal of Intelligence*, v. 12, n. 2, p. 19, 10 fev. 2024.

KNYAZEVA, M. G.; BARZEGARAN, E.; VILDAVSKI, V. Y.; DEMONET, J.-F. Aging of human alpha rhythm. *Neurobiology of Aging*, v. 69, p. 261–273, set. 2018.

KRAUZLIS, R. J.; WANG, L.; YU, G.; KATZ, L. N. What is attention? *WIREs Cognitive Science*, v. 14, n. 1, 24 jan. 2023.

LEE, K. H.; TRAN, A.; TURAN, Z.; MEISTER, M. The sifting of visual information in the superior colliculus. *eLife*, v. 9, 14 abr. 2020.

LIU, J. *et al.* Fronto-parietal networks shape human conscious report through attention gain and reorienting. *Communications Biology*, v. 6, n. 1, p. 730, 11 abr. 2023.

MAJERUS, S.; PÉTERS, F.; BOUFFIER, M.; COWAN, N.; PHILLIPS, C. The Dorsal Attention Network Reflects Both Encoding Load and Top-down Control during Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, v. 30, n. 2, p. 144–159, fev. 2018.

MILLS, K. L.; SIEGMUND, K. D.; TAMNES, C. K.; FERSCHMANN, L.; WIERENGA, L. M.; BOS, M. G. N.; LUNA, B.; LI, C.; HERTING, M. M. Inter-individual variability in structural brain development from late childhood to young adulthood. *NeuroImage*, v. 242, p. 118450, nov. 2021.

MITKO, A.; ROTHLEIN, D.; POOLE, V.; ROBINSON, M.; MCGLINCHEY, R.; DEGUTIS, J.; SALAT, D.; ESTERMAN, M. Individual differences in sustained attention

are associated with cortical thickness. *Human brain mapping*, v. 40, n. 11, p. 3243–3253, 1 ago. 2019.

MORAES, F. V. Efeitos da estimulação magnética transcraniana sobre atenção, memória e função executiva de pacientes com acidente vascular. 1. ed. São Paulo: Editora dialética, 2025.

NEYHART, E. *et al.* Cortical acetylcholine dynamics are predicted by cholinergic axon activity and behavior state. *Cell Reports*, v. 43, n. 10, p. 114808, out. 2024.

NUÑEZ, A.; BUÑO, W. The Theta Rhythm of the Hippocampus: From Neuronal and Circuit Mechanisms to Behavior. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, v. 15, 4 mar. 2021.

PANG, X.; FAN, S.; ZHANG, YULIN; ZHANG, T.; HOU, Q.; WU, Y.; ZHANG, YE; TIAN, Y.; WANG, K. Alterations in neural circuit dynamics between the limbic network and prefrontal/default mode network in patients with generalized anxiety disorder. *NeuroImage: Clinical*, v. 43, p. 103640, 2024.

PETERSEN, S. E.; POSNER, M. I. The Attention System of the Human Brain: 20 Years After. *Annual Review of Neuroscience*, v. 35, n. 1, p. 73–89, 21 jul. 2012.

POSNER, M. I. The Evolution and Future Development of Attention Networks. *Journal of Intelligence*, v. 11, n. 6, 1 jun. 2023.

PROSKOVEC, A. L.; HEINRICHS-GRAHAM, E.; WIESMAN, A. I.; MCDERMOTT, T. J.; WILSON, T. W. Oscillatory dynamics in the dorsal and ventral attention networks during the reorienting of attention. *Human Brain Mapping*, v. 39, n. 5, p. 2177–2190, 6 maio 2018.

ROLLS, E. T. Emotion, motivation, decision-making, the orbitofrontal cortex, anterior cingulate cortex, and the amygdala. *Brain Structure and Function*, v. 228, n. 5, p. 1201–1257, 13 maio 2023.

ROSENBERG, B. M.; MOREIRA, J. F. G.; LEAL, A. S. M.; SARAGOSA-HARRIS, N. M.; GAINES, E.; MEREDITH, W. J.; WAIZMAN, Y.; NINOVA, E.; SILVERS, J. A. Functional connectivity between the nucleus accumbens and amygdala underlies avoidance learning during adolescence: Implications for developmental psychopathology. *Development and Psychopathology*, v. 37, n. 4, p. 1833–1845, 26 out. 2025.

ROSENBERG, M. D.; SCHEINOST, D.; GREENE, A. S.; AVERY, E. W.; KWON, Y. H.; FINN, E. S.; RAMANI, R.; QIU, M.; TODD CONSTABLE, R.; CHUN, M. M. Functional connectivity predicts changes in attention observed across minutes, days, and months. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 117, n. 7, p. 3797–3807, 18 fev. 2020.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 20, n. 2, p. v–vi, jun. 2007.

RUBIA, K. Cognitive Neuroscience of Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) and Its Clinical Translation. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 12, 29 mar. 2018.

SAITO, D. N.; FUJISAWA, T. X.; YANAKA, H. T.; FUJII, T.; KOCHIYAMA, T.; MAKITA, K.; TOMODA, A.; OKAZAWA, H. Development of attentional networks during childhood and adolescence: A functional MRI study. *Neuropsychopharmacology Reports*, v. 42, n. 2, p. 191–198, 9 jun. 2022.

SCHINDLER, S.; BUBLATZKY, F. Attention and emotion: An integrative review of emotional face processing as a function of attention. *Cortex*, v. 130, p. 362–386, set. 2020.

SHINE, J. M. The thalamus integrates the macrosystems of the brain to facilitate complex, adaptive brain network dynamics. *Progress in Neurobiology*, v. 199, p. 101951, abr. 2021.

SINGH, A. D.; KUMAR, M.; SWATHI, B. H.; BHARGAVI, P.; GODBOLE, A.; KHUSHU, S. Age-related cortical changes and cognitive performance in healthy adults. *Brain and Cognition*, v. 187, p. 106306, jul. 2025.

THAI, M.; SCHREINER, M. W.; MUELLER, B. A.; CULLEN, K. R.; KLIMES-DOUGAN, B. Coordination between frontolimbic resting state connectivity and hypothalamic–pituitary–adrenal axis functioning in adolescents with and without depression. *Psychoneuroendocrinology*, v. 125, p. 105123, mar. 2021.

THIELE, A.; BELLGROVE, M. A. Neuromodulation of Attention Neuron. *Cell Press*, 21 fev. 2018.

THOMAS, M. S. C.; ARSLAN, Y. Why does the brain matter for education? *British Journal of Educational Psychology*, v. 95, n. 2, p. 303–320, 4 jun. 2025.

TINNEY, E. M. *et al.* Understanding Cognitive Aging Through White Matter: A Fixel-Based Analysis. *Human brain mapping*, v. 45, n. 18, p. e70121, 15 dez. 2024.

TOMASSINI, A.; HEZEMANS, F. H.; YE, R.; TSVETANOV, K. A.; WOLPE, N.; ROWE, J. B. Prefrontal Cortical Connectivity Mediates Locus Coeruleus Noradrenergic Regulation of Inhibitory Control in Older Adults. *The Journal of Neuroscience*, v. 42, n. 16, p. 3484–3493, 20 abr. 2022.

WANG, Y. *et al.* A common thalamic hub for general and defensive arousal control. *Neuron*, v. 111, n. 20, p. 3270–3287.e8, out. 2023.

WASSERMAN, T.; WASSERMAN, L. D. Attention and the Role of the Reward Recognition Network. *Em: Disorders of Attention. Neural Network Model: Applications and Implications*. Cham: Springer, 2024. p. 91–132.