



UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATEMÁTICA EM REDE  
NACIONAL – PROFMAT

BLOQUEIO MATEMÁTICO NÃO É INCAPACIDADE:  
ANÁLISE NEUROEMOCIONAL DA APRENDIZAGEM NA ADOLESCÊNCIA  
E O PROFESSOR COMO MARCADOR DE RELEVÂNCIA

MARIA JOSÉ SOUSA VITAL

Juazeiro do Norte – Ceará

2026

MARIA JOSÉ SOUSA VITAL

BLOQUEIO MATEMÁTICO NÃO É INCAPACIDADE:  
ANÁLISE NEUROEMOCIONAL DA APRENDIZAGEM NA ADOLESCÊNCIA  
E O PROFESSOR COMO MARCADOR DE RELEVÂNCIA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Matemática do Programa de Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional – PROFMAT do Departamento de Matemática Pura e Aplicada da Universidade Regional do Cariri – URCA, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Matemática.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Cavalcante de Oliveira.

JUAZEIRO DO NORTE – CEARÁ

2026

Ficha Catalográfica elaborada pelo autor através do sistema  
de geração automático da Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri - URCA

Vital, Maria José Sousa

V836b BLOQUEIO MATEMÁTICO NÃO É INCAPACIDADE ANÁLISE  
NEUROEMOCIONAL DA APRENDIZAGEM NA ADOLESCÊNCIA E  
OPROFESSOR COMO MARCADOR DE RELEVÂNCIA / Maria José Sousa  
Vital. Juazeiro do norte - CE, 2026.

148p. il.

Dissertação. Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional da  
Universidade Regional do Cariri - URCA.

Orientador(a): Prof. Dr. Paulo César Cavalcante de Oliveira

1.Bloqueio, 2.Matemática , 3.Neurociência, 4.Professor, 5.Incapacidade;  
I.Título.

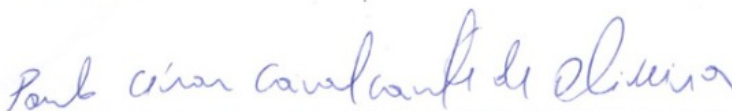
CDD: 510

# **Bloqueio Matemático não é Incapacidade: Análise Neuroemocional da Aprendizagem na Adolescência e o Professor como Marcador de Relevância**

**Maria José Sousa Vital**

Dissertação apresentada ao Departamento de Matemática Pura e Aplicada da Universidade Regional do Cariri como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título mestre em matemática.

Aprovada em 20/04/2026

  
Prof. Dr. Paulo César Cavalcante de Oliveira(Orientador)

Universidade Regional do Cariri(URCA)

  
Profa. Dra. Valéria Gerônimo Pedrosa

Universidade Regional do Cariri(URCA)

  
Profa. Dra. Juscelândia Machado Vasconcelos

Coordenadoria Regional de Desenvolvimento da Educação - CREDE 19

Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional - PROFMAT - URCA

  
Profa. Ma. Ana Paula Pereira Bernardo

Secretária de Educação do Estado do Ceará - SEDUC/CE

  
Profa. Ma. Luciana Maria de Souza Macêdo

Universidade Regional do Cariri(URCA)

Dedico este trabalho aos pilares da minha vida: meus filhos, Josué Heitor e Joyce Heloíse; minha mãe, Jurlene Rocha; e meus irmãos – minha principal fonte de motivação, inspiração e amor.

E, com saudade, dedico também ao meu pai, Nilo Vital, que já partiu, mas que, de onde estiver, sei que se orgulha de mim.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me conceder a oportunidade de realizar este sonho e por me capacitar para tal. Sinto Sua presença constante em minha vida e em toda a trajetória deste curso. Mesmo diante de diversos motivos que poderiam me levar a desistir, algo maior me dizia que o recuo não era uma opção — e eu sei que era Deus.

Agradeço aos meus filhos, Josué Heitor e Joyce Heloíse, por serem a força necessária para eu lutar pelos meus sonhos, por mim e por eles. Agradeço a cada ente querido da minha família, em especial à minha mãe, que sempre me apoiou e foi suporte no sentido mais profundo da palavra; sem ela, eu não teria conseguido. Aos meus irmãos — Ytalo, Carlos, Nilson, Niurlene, Crislene e Mirlene — e aos meus cunhados, Erinaldo, Leandro e Fabíola: todos me apoiaram, direta ou indiretamente, oferecendo suporte emocional e cuidando das crianças nos momentos em que precisei me ausentar para o trabalho e para a dedicação exclusiva ao Mestrado.

Agradeço profundamente a cada professor que tive o privilégio de conhecer durante este percurso. Sem dúvida alguma, vocês fizeram uma grande diferença na minha formação profissional. Kátia Pires, José Tiago, Valdemiro Braga, Flávio França e Alexsandro Coelho — lembrarei com carinho e gratidão de cada um de vocês.

Em especial, agradeço ao meu orientador, Paulo César, que me acompanha desde a graduação. O senhor acreditou em mim quando me convidou para ser sua bolsista, uma experiência marcante em minha história. Ter cursado mais duas disciplinas sob sua regência no mestrado fez com que minha admiração crescesse ainda mais; o senhor me mostrou que, além de um profissional extremamente capacitado, é um ser humano admirável e empático que, em um dos momentos mais delicados da minha vida, estendeu-me a mão. Sinto-me honrada em ser sua orientanda. Serei eternamente grata por confiar, impulsionar e acreditar nas minhas ideias. O senhor, sem dúvida, exerceu o papel de marcador de relevância positiva em minha vida.

Agradeço também a cada colega de turma que compartilhou comigo as demandas do mestrado, as dificuldades das disciplinas e a pressão do ENQ. Em especial aos colegas Silas, Jardel, Rafael, Gabriel e Allef, que sempre estiveram dispostos a ajudar e a estudar junto, reforçando o que acredito: “é perto dos bons que a gente melhora”.

Agradeço ao programa PROFMAT, que, sem dúvida alguma, tornou-me uma profissional melhor. O mestrado permitiu-me ampliar minha visão sobre a matemática, desde a

abordagem em sala de aula até a sua formalidade. Sem dúvida alguma, as disciplinas cursadas e esta pesquisa modificaram a minha anatomia neural e, com certeza, a dos demais colegas.

Agradeço a todos os meus alunos e seus familiares. Cada feedback de evolução recebido me faz sentir que faço diferença e me motiva a estudar mais, capacitando-me para oferecer o meu melhor — não apenas como professora, mas como ser humano.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana.” (Carl Jung)

“Nada é tão nosso como os nossos sonhos.”

(Friedrich Nietzsche)

## RESUMO

A ansiedade matemática afeta significativamente o desempenho de estudantes brasileiros, conforme revelam os dados do PISA 2022 e do TIMSS 2023, nos quais o Brasil figura entre os países com os mais baixos índices de proficiência. Esta dissertação parte do pressuposto de que o bloqueio cognitivo diante da matemática não expressa incapacidade intelectual, mas sim a ativação de circuitos neurais de defesa desencadeados por experiências emocionais negativas. Ancorada no diálogo entre a neurociência afetiva (Damásio, LeDoux, Panksepp) e a educação matemática, a pesquisa propõe o conceito de professor como marcador de relevância – uma adaptação da noção de marcador somático de Damásio para o contexto educacional, segundo a qual a figura docente atua como estímulo emocional capaz de modular positiva ou negativamente a aprendizagem. O estudo desenvolveu-se em três contextos complementares: (1) diagnóstico quanti-qualitativo com 38 alunos do 1º ano do Ensino Médio e 4 professores de matemática da EEMTI Dona Maria Amélia Bezerra (Juazeiro do Norte/CE); (2) intervenção aprofundada no Projeto Mathvital, com acompanhamento longitudinal de duas alunas com quadros de ansiedade matemática; e (3) análise documental e relatos espontâneos. Os instrumentos incluíram questionários estruturados em escala Likert, questões abertas e registros de atendimento. Os resultados indicam que 58% dos alunos relatam episódios frequentes de “branco” sob pressão e 42% manifestam desejo crônico de esquiva das aulas de matemática. A análise qualitativa revelou que professores descritos como pacientes, acolhedores e bem-humorados atuam como marcadores de relevância positivos, associando a matemática a sentimentos de segurança e competência. Em contrapartida, práticas baseadas em rigidez, exposição pública e pressão psicológica consolidam marcadores negativos, transformando a disciplina em gatilho de estresse. Os relatos do Projeto Mathvital documentaram a superação de quadros severos de ansiedade por meio de intervenções centradas na regulação emocional, na valorização do processo e no acolhimento do erro como oportunidade de reestruturação sináptica. Como produto educacional, desenvolveu-se o fanzine *Divertidamaths*, que traduz conceitos neurocientíficos em linguagem acessível, oferecendo aos professores estratégias práticas para atuarem como marcadores de relevância positivos. Conclui-se que o bloqueio matemático não é incapacidade, mas expressão de um cérebro que, diante de estímulos percebidos como ameaçadores, ativa circuitos de defesa que sequestram a memória de trabalho. O professor, ao compreender esses mecanismos e assumir conscientemente seu papel regulador, pode transformar a sala de aula em ambiente de segurança neurobiológica, onde o erro deixa de ser gatilho de dor para tornar-se oportunidade de aprendizagem.

**Palavras-chave:** Ansiedade matemática. Neurociência afetiva. Adolescência. Marcador de relevância. Formação docente.

## ABSTRACT

Mathematical anxiety significantly affects the performance of Brazilian students, as revealed by PISA 2022 and TIMSS 2023 data, in which Brazil ranks among the countries with the lowest proficiency levels. This dissertation assumes that cognitive blockage in mathematics does not express intellectual inability, but rather the activation of neural defense circuits triggered by negative emotional experiences. Anchored in the dialogue between affective neuroscience (Damásio, LeDoux, Panksepp) and mathematics education, the research proposes the concept of the teacher as a relevance marker – an adaptation of Damásio’s somatic marker notion to the educational context, according to which the teacher’s figure acts as an emotionally charged stimulus capable of positively or negatively modulating learning. The study was developed in three complementary contexts: (1) quantitative and qualitative diagnosis with 38 first-year high school students and 4 mathematics teachers from EEMTI Dona Maria Amélia Bezerra (Juazeiro do Norte/CE); (2) in-depth intervention at the Mathvital Project, with longitudinal monitoring of two female students with mathematical anxiety; and (3) documentary analysis and spontaneous reports. Instruments included Likert-scale questionnaires, open-ended questions, and tutoring records. Results indicate that 58% of students report frequent episodes of “blanking out” under pressure and 42% express chronic avoidance of mathematics classes. Qualitative analysis revealed that teachers described as patient, welcoming, and humorous act as positive relevance markers, associating mathematics with feelings of safety and competence. Conversely, practices based on rigidity, public exposure, and psychological pressure consolidate negative markers, transforming the subject into a stress trigger. Reports from the Mathvital Project documented the overcoming of severe anxiety through interventions focused on emotional regulation, process valuation, and embracing error as an opportunity for synaptic restructuring. As an educational product, the fanzine *Divertidamaths* was developed, translating neuroscientific concepts into accessible language and offering teachers practical strategies to act as positive relevance markers. It is concluded that mathematical blockage is not inability but the expression of a brain that, when facing stimuli perceived as threatening, activates defense circuits that hijack working memory. The teacher, by understanding these mechanisms and consciously assuming their regulatory role, can transform the classroom into an environment of neurobiological safety, where error ceases to be a pain trigger and becomes an opportunity for learning.

**Keywords:** Mathematical anxiety. Affective neuroscience. Adolescence. Relevance marker. Teacher education.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da compreensão sobre a localização funcional no encéfalo. (A) Mapa frenológico do século XIX, que atribuía traços de personalidade a protuberâncias no crânio. (B) Mapeamento cortical contemporâneo, evidenciando a especialização funcional dos lobos. . . . .	25
Figura 2 – Representação da conectividade neural e processamento em rede. . . . .	26
Figura 3 – Comparativo entre o encéfalo humano e do elefante. . . . .	28
Figura 4 – Vista medial evidenciando as estruturas que compõem o encéfalo. . . . .	29
Figura 5 – Distribuição celular de neurônios e gliócitos no encéfalo humano. . . . .	30
Figura 6 – Vista dorsolateral. Na porção anterior, cor mais escura, está a região pré-frontal. . . . .	31
Figura 7 – Sistema nervoso central e periférico. . . . .	32
Figura 8 – Analogia entre a estrutura de um nervo e um cabo de fibra ótica/elétrico. . . . .	32
Figura 9 – Representação do sistema nervoso Autônomo. . . . .	33
Figura 10 – Classificação das células neuronais levando em consideração sua morfologia. . . . .	34
Figura 11 – Células nervosas e suas respectivas sinapses: químicas e elétricas. . . . .	35
Figura 12 – Corte transversal do encéfalo: distinção entre substância branca (mielina) e massa cinzenta. . . . .	42
Figura 13 – Representação de Phineas Gage e a lesão ocasionada pela haste de ferro. . . . .	46
Figura 14 – Mapa Mental da Neuroplasticidade - Tipos e Meios. . . . .	49
Figura 15 – Relação entre a plasticidade cerebral (linha verde) e o esforço despendido para a aprendizagem ao longo da vida (linha Laranja). . . . .	50
Figura 16 – Analogia visual para os processos de Neuroplasticidade Sináptica e Neurogênese. . . . .	52

Figura 17 – Distribuição de jovens por idade no ato da infração (A) e por série escolar (B). . . . .	59
Figura 18 – Fomas de memória de longa duração. . . . .	61
Figura 19 – Consolidação da memória. . . . .	64
Figura 20 – Macete para tabuada do 9. . . . .	66
Figura 21 – A arquitetura do sono e consolidação da memória: Alternância entre os estados de NREM e REM. . . . .	70
Figura 22 – Comparação das médias do TIMSS 2023   Matemática – 8º ano. . . . .	75
Figura 23 – Resultado do PISA dos últimos anos comparado à média da OCDE. . . . .	76
Figura 24 – Desempenho do Brasil em Matemática se comparado com outros países. . . . .	77
Figura 25 – Representação do Eixo Hipotálamo- Hipófise-Suprarrenal (HPA). . . . .	85
Figura 26 – Representação do Eixo Hipotálamo- Hipófise-Suprarrenal (HPA). . . . .	86
Figura 27 – Evolução da ansiedade matemática entre 2012 e 2022. . . . .	94
Figura 28 – Secção coronal na altura da amígdala. . . . .	98
Figura 29 – Ativação da Amígdala Esquerda pelo Medo em Sujeitos Normais. . . . .	100
Figura 30 – Ativação encefálica associada a cinco emoções básicas. . . . .	106
Figura 31 – Ilustração das respostas neurofisiológicas associadas à ansiedade matemática na estudante mencionada. . . . .	114
Figura 32 – Distribuição das respostas por pergunta (Escala Likert) - Discente . . . . .	123
Figura 33 – Distribuição das respostas por pergunta (Escala Likert) - Docente. . . . .	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo Numérico e Estrutural. . . . .	28
Tabela 2 – Comparativo Numérico e Estrutural. . . . .	123
Tabela 3 – Comparativo Numérico e Estrutural. . . . .	131

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais neurotransmissores e sua influência na aprendizagem matemática. . . . .	38
Quadro 2 – Subregiões do córtex Frontal e suas Funcionalidades. . . . .	44
Quadro 3 – Comparativo de características semelhantes entre Phineas Gage pós-lesão e a fase da adolescência. . . . .	47
Quadro 4 – Principais neurotransmissores e sua influência na aprendizagem matemática. . . . .	90
Quadro 5 – Panorama geral da pesquisa. . . . .	119
Quadro 6 – Participantes da pesquisa. . . . .	121
Quadro 7 – Descrição dos instrumentos. . . . .	122
Quadro 8 – Análise da questão Questão 6 (marcadores de relevância POSITIVOS). . . . .	125
Quadro 9 – Análise da questão Questão 7: (marcadores de relevância NEGATIVOS). . . . .	126
Quadro 10 – Síntese: Dois lados da mesma folha. . . . .	129

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>1</b>	<b>FUNDAMENTOS NEUROBIOLÓGICOS DA APRENDIZAGEM . . . . .</b>	<b>22</b>
1.1	Neurociência: uma breve retrospectiva histórica . . . . .	24
1.2	Conhecendo a central de comandos: Encéfalo . . . . .	27
1.2.1	O diferencial humano: Córtex cerebral e a densidade neuronal . . . . .	27
1.3	Conhecendo a “máquina” como um todo – sistema nervoso . . . . .	31
1.4	A unidade funcional: o neurônio e a sinapse . . . . .	34
1.5	A linguagem química do cérebro: Os neurotransmissores e seu papel na aprendizagem matemática . . . . .	36
1.5.1	Os Mensageiros Químicos: Neurônios Noradrenérgicos e Colinérgicos . . . . .	39
<b>2</b>	<b>A ARQUITETURA DO CÉREBRO ADOLESCENTE: PLASTICIDADE, EMOÇÃO E VULNERABILIDADE . . . . .</b>	<b>40</b>
2.1	Reorganização e maturação sob a ótica de Herculano-Houzel . . . . .	40
2.1.1	O despertar biológico: Hipotálamo, poda sináptica e mielinização . . . . .	41
2.1.2	A “lesão funcional” da adolescência: o caso Phineas Gage e a imaturidade do córtex pré-frontal . . . . .	45
2.2	Neuroplasticidade: A capacidade dinâmica do cérebro . . . . .	48
2.2.1	Plasticidade ontogenética e o período crítico . . . . .	50
2.2.2	Plasticidade sináptica, neurogênese e o papel do BDNF (“fertilizante neural”) . . . . .	52
2.3	A influência do ambiente e os neurônios-espelho: o professor como modelo . . . . .	55
2.4	Heterocronia e vulnerabilidade: quando o biológico encontra o social . . . . .	58
<b>3</b>	<b>OS ALICERCES DA MEMÓRIA E OS FACILITADORES DA APRENDIZAGEM . . . . .</b>	<b>60</b>
3.1	Classificação quanto à natureza: explícita (semântica e episódica) e implícita (procedimental, associativa e não associativa) . . . . .	60
3.1.1	Classificação quanto à duração: consolidação e o papel do sono . . . . .	64
3.2	Os pilares biológicos para a consolidação do conhecimento . . . . .	67

3.2.1	Atividade física e a prontidão biológica: o marco de Naperville . . . . .	67
3.2.2	Sono: A janela crítica para a fixação e regulação emocional . . . . .	69
3.2.3	O cenário brasileiro: diálogo entre TIMSS, PISA e a urgência de novas perspectivas . . . . .	74
4	<b>ESTRESSE, CORTISOL E O FENÔMENO DA ANSIEDADE MATEMÁTICA . . . . .</b>	80
4.1	Alostase vs. Carga Alostática: Quando o estresse se torna um obstáculo . . . . .	80
4.2	A “sirene do cérebro”: a amígdala e o eixo Hipotálamo-Hipófise-Suprarrenal (HPA) . . . . .	83
4.3	O impacto do estresse crônico na memória e no raciocínio lógico	87
4.4	Ansiedade Matemática: definição, sintomas e bases neurobiológicas . . . . .	91
4.5	A Teoria da Eficiência de Processamento (TEP) e a sobrecarga da memória de trabalho . . . . .	92
4.6	Análise estatística da ansiedade matemática no Brasil: PISA 2022 e os dados da Fundação Itaú . . . . .	93
5	<b>DA TEORIA À PRÁTICA DOCENTE: O PROFESSOR COMO MARCADOR DE RELEVÂNCIA . . . . .</b>	97
5.1	Amígdala e hipocampo: estruturas centrais para a emoção e a memória . . . . .	97
5.2	O erro de Descartes e a indissociabilidade entre razão e emoção	102
5.3	O conceito de “Marcador de Relevância”: a amígdala como filtro da aprendizagem . . . . .	105
5.4	O professor como regulador emocional e marcador externo de relevância . . . . .	108
5.5	Do lado de cá da lousa: análise da prática no Projeto Mathvital: Relato 1 . . . . .	110
5.6	Relato 2: quando o corpo grita o medo dos números . . . . .	113
6	<b>DIAGNÓSTICO NA ESCOLA PÚBLICA: A VOZ DOS ALUNOS E DOS PROFESSORES . . . . .</b>	119
6.1	Análise quantitativa e qualitativa dos questionários . . . . .	119
6.2	Contexto de Intervenção: Projeto Mathvital . . . . .	120

6.3	Caracterização dos participantes . . . . .	120
6.4	Instrumentos de pesquisa . . . . .	121
6.5	Análise dos questionários: diagnóstico da ansiedade matemática na escola pública . . . . .	122
6.6	Perspectivas discentes: o professor como marcador de relevância	125
6.7	Perspectivas docentes . . . . .	130
6.7.1	Análise dos Resultados Quantitativos . . . . .	131
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	133
	REFERÊNCIAS . . . . .	135
	APÊNDICES . . . . .	139
	APÊNDICE A – Questionário para alunos . . . . .	140
	APÊNDICE B – Questionário para professores . . . . .	142
	APÊNDICE C – Fanzine Divertidamaths (produto educacional) . . . . .	144

## INTRODUÇÃO

*“O erro de Descartes foi a separação abissal entre o corpo e a mente, entre a razão e a emoção.”*

(Damásio, 2012, p. 219)

É comum ouvirmos que, para tomar decisões corretas ou produzir intelectualmente, devemos “manter a cabeça fria”, “ser racional” e silenciar as emoções. Essa herança do pensamento cartesiano moldou não apenas a ciência, mas a forma como compreendemos a aprendizagem – especialmente a aprendizagem matemática, tradicionalmente associada à lógica pura, à abstração desencarnada e ao rigor formal. No entanto, a vida real e a prática docente frequentemente desmentem essa separação.

Hoje, como futura mestre em matemática, posso afirmar, com base na minha própria história e vivência com meus alunos, embasada na neurociência, que os bloqueios matemáticos podem ser superados. Desde pequena, admirava quem sabia matemática, achava que eram “gênios”. Minha vida escolar foi toda em escola pública, do infantil ao médio, e, diferente de muitos colegas que também são professores de matemática hoje, eu não era “boa” nessa disciplina. Pelo contrário. Apesar de admirar profundamente quem dominava os números, os acúmulos de frustrações durante minha trajetória me fizeram acreditar que eu nunca aprenderia matemática. Por mais que me esforçasse, sentia-me incapaz.

Foi no 2º ano do ensino médio que Deus colocou um excelente professor de matemática no meu caminho, que modificou minhas conexões neurais. Pela primeira vez, alguém me fez sentir capaz de aprender. No início, sentia receio de tirar dúvidas, de perguntar, mas com o tempo ele foi tornando a aula leve, criando um ambiente seguro. Aproximava-se da minha carteira, chamava-me para ir ao quadro, e aquela sensação de acolhimento – ele provavelmente não faz ideia do quanto foi importante para mim – me estimulou a buscar aprender mais. Lembro que sentava ao lado de um colega que admirava muito, e ele me ajudava a estudar. Pasmem: cheguei ao ensino médio sem saber dividir com dois números no divisor.

A sensação de estar aprendendo, de resolver um exercício e a resposta estar correta, me fazia sentir como nosso querido Roberto Carlos diria: “Esse cara sou eu”. Sentir-me segura, acolhida, valorizada... Esse professor me mostrou que eu poderia confiar

em mim mesma e investir nos meus estudos. Resultado: fui aluna prêmio naquele mesmo ano e, hoje, estou aqui escrevendo a introdução da minha dissertação de mestrado com lágrimas nos olhos, com a certeza absoluta de que um professor pode fazer toda a diferença na vida de um aluno. É exatamente isso que eu busco fazer na vida dos meus alunos: ser um marcador de relevância positivo, assim como ele, e outros professores, foram para mim. Ele modificou a valência do meu bloqueio para a aprendizagem, modificando, sem dúvidas, minhas sinapses e estimulando minha plasticidade cerebral – e meu emocional também.

Durante a construção desta pesquisa, porém, conheci um outro lado da estudante que fui, agora com o emocional profundamente abalado. Diante de situações de luto, crises pessoais, e as múltiplas demandas da vida adulta – o mestrado, o trabalho, a maternidade de duas crianças, as responsabilidades familiares –, tentei, por diversas vezes, “guardar a emoção em uma gaveta” para que a razão pudesse focar na escrita e no estudo. O resultado foi a constatação empírica de um bloqueio: as memórias intrusivas e a angústia não pediam licença; elas ocupavam o espaço que a razão tentava controlar. Por semanas, o “preciso focar” da lógica foi silenciado pelo “preciso processar” do organismo. Essa vivência pessoal me fez compreender, na pele, o que antes eu só conhecia pelos livros.

Essa experiência, somada a anos de atuação como professora de matemática – tanto na rede pública quanto na particular (ensino fundamental II e médio) e no atendimento individualizado do Projeto Mathvital –, despertou meu interesse por uma questão fundamental: o que realmente acontece no cérebro de um estudante quando ele “trava” diante da matemática? O bloqueio seria sinal de incapacidade ou a expressão de um processo neurobiológico mais profundo?

A literatura neurocientífica oferece respostas promissoras. Autores como Damásio (2012), LeDoux (2011), Panksepp (1998) e Herculano-Houzel (2005) demonstram, de diferentes perspectivas, que emoção e cognição são indissociáveis. A amígdala, estrutura central no processamento do medo, e o hipocampo, sede da consolidação da memória, trabalham em estreita colaboração, modulando a forma como aprendemos e recordamos. O estresse crônico, por sua vez, ativa o eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA), liberando cortisol e comprometendo a plasticidade sináptica necessária à aprendizagem (McEwen, 2002; Kandel et al., 2014). Nesse contexto, o fenômeno do “branco” em avaliações de matemática deixa de ser visto como “falta de estudo” ou “incapacidade” para ser compreendido como uma resposta fisiológica involuntária – o sequestro da memória de trabalho pela amígdala diante de uma ameaça percebida (Eysenck e Calvo, 1992; Ashcraft, 2002).

A ansiedade matemática, definida como uma reação de tensão, apreensão e medo que interfere no desempenho (Ashcraft, 2002), emerge como um problema de saúde educacional no Brasil. O cenário crítico revelado pelo TIMSS 2023 (Estudo Internacional de Tendências em Matemática e Ciências) é corroborado pelos dados do PISA 2022 (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes). Segundo a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), o Brasil permanece estagnado em patamares baixos de proficiência: cerca de 73% dos estudantes brasileiros não atingiram o nível básico em Matemática (Nível 2). Isso significa que a grande maioria dos jovens de 15 anos não consegue, por exemplo, extrair informações diretas de uma tabela ou realizar cálculos simples. Pesquisa da Fundação Itaú (2024) corrobora esses números, indicando que 38% dos alunos associam a matemática a sentimentos de ansiedade, e que essa percepção se intensifica ao longo da escolaridade.

Diante desse cenário, esta dissertação propõe-se a investigar a interface entre emoção, memória e aprendizagem matemática, tendo como eixo central o conceito de marcador de relevância – uma adaptação da noção de marcador somático de Damásio (2012) para o contexto educacional. A amígdala cerebral, neste modelo, atua como um filtro que sinaliza ao cérebro quais informações, por sua carga emocional, merecem ser priorizadas no armazenamento e na recuperação. Quando a matemática é repetidamente associada a experiências negativas – humilhação, fracasso, pressão –, ela passa a carregar um marcador de relevância negativo, transformando-se em um gatilho de estresse que bloqueia o acesso ao raciocínio lógico. A pesquisa desenvolveu-se em três contextos complementares:

1. Diagnóstico quanti-qualitativo na EEMTI Dona Maria Amélia Bezerra, escola pública de Juazeiro do Norte, com 38 alunos do 1º ano do Ensino Médio e 4 professores de matemática;
2. A intervenção aprofundada no Projeto MathVital - espaço de atendimento especializado que se constitui como um projeto autoral de intervenção pedagógica e reforço escolar - atende discentes de instituições públicas e privadas da Região do Cariri. A iniciativa fundamenta-se no atendimento individualizado ou em grupos reduzidos, com foco central na identificação e na superação das dificuldades específicas de aprendizagem na disciplina de Matemática. Com um olhar inclusivo e pautado nos avanços da neurociência aplicada à aprendizagem matemática, o projeto também acompanha alunos laudados com Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH) e Transtorno do Espectro Autista (TEA) nível 1 de suporte, visando transpor os

obstáculos cognitivos e emocionais inerentes ao processo de ensino-aprendizagem. A prática pedagógica do MathVital é alicerçada em metodologias ativas que posicionam o estudante como protagonista de sua formação, promovendo a autonomia e fortalecendo a percepção de autoeficácia diante dos desafios matemáticos. Foi nesse contexto que se tornou possível acompanhar, longitudinalmente, duas alunas que apresentavam quadros de ansiedade matemática.;

3. Análise documental e relatos espontâneos que deram voz aos sujeitos da pesquisa.

As perguntas que orientaram esta investigação foram:

1. Como a ansiedade matemática se manifesta em adolescentes do Ensino Médio, considerando suas dimensões comportamentais, fisiológicas e cognitivas?
2. Qual o papel da relação professor-aluno na modulação dos marcadores de relevância associados à matemática?
3. De que forma intervenções pedagógicas baseadas no acolhimento e na regulação emocional podem contribuir para a superação do bloqueio cognitivo?

Os objetivos específicos derivados dessas perguntas incluem:

- a) diagnosticar a prevalência de sintomas de ansiedade matemática em uma turma de escola pública;
- b) analisar as percepções de alunos e professores sobre a dimensão emocional da aprendizagem;
- c) documentar, por meio de relatos de prática, o processo de superação do bloqueio em atendimentos direcionados; e
- d) desenvolver um produto educacional, sob o formato de fanzine, intitulado *Divertida-Math*, que traduza conceitos neurocientíficos em linguagem acessível, contribuindo para a formação continuada de professores.

O termo fanzine origina-se da aglutinação das palavras inglesas fan (fã) e magazine (revista), caracterizando-se historicamente como uma publicação impressa, autoral, de circulação alternativa e confeccionada de forma artesanal ou independente. No contexto pedagógico, essa mídia transcende sua natureza contracultural para consolidar-se como um valioso instrumento didático e de divulgação científica, ideal para a transposição de saberes complexos da neuroeducação para a práxis docente.

A dissertação está organizada em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta os fundamentos neurobiológicos da aprendizagem, percorrendo a história da neurociência, a estrutura do encéfalo, o funcionamento dos neurônios e o papel dos neurotransmissores.

O Capítulo 2 mergulha na arquitetura do cérebro adolescente, explorando a plasticidade neural, a maturação do córtex pré-frontal e a influência do ambiente – incluindo os neurônios-espelho – na aprendizagem. O Capítulo 3 dedica-se aos alicerces da memória, à sua classificação e aos facilitadores biológicos da aprendizagem, como atividade física, sono e nutrição, além de traçar um panorama do desempenho brasileiro em avaliações internacionais. O Capítulo 4 aborda o estresse, o cortisol e o fenômeno da ansiedade matemática, analisando seus mecanismos neurobiológicos e apresentando dados estatísticos recentes sobre sua prevalência no Brasil. Por fim, o Capítulo 5 estabelece a ponte entre teoria e prática, apresentando o conceito de marcador de relevância, analisando os dados coletados na pesquisa de campo e propondo o produto educacional Divertidamaths como ferramenta de intervenção. Importante destacar que, para fins didáticos, foi utilizada inteligência artificial (Gemini e ChatGPT) na elaboração de algumas imagens, inclusive nas ilustrações do produto educacional e lapidações essenciais para um texto acadêmico, como ajuste de pontuação e gramática, mantendo a voz autoral.

Ao final, espero demonstrar que o bloqueio matemático não é incapacidade – é a expressão de um cérebro que, diante de estímulos percebidos como ameaçadores, ativa circuitos de defesa que sequestram os recursos cognitivos necessários ao raciocínio lógico. O professor, ao compreender esses mecanismos e atuar como regulador externo para um cérebro ainda em maturação –, pode transformar a sala de aula em um ambiente de segurança neurobiológica, onde o erro deixa de ser gatilho de dor para tornar-se oportunidade de reestruturação sináptica.

Que esta pesquisa possa contribuir para que mais professores compreendam o poder que têm nas mãos – e no coração (ou melhor dizendo, no encéfalo) – e para que mais alunos encontrem, na figura de um educador, o marcador de relevância positivo que transforma não apenas notas, mas vidas inteiras.

## 1 FUNDAMENTOS NEUROBIOLÓGICOS DA APRENDIZAGEM

Antes de adentrar nas especificidades deste e dos próximos capítulos, torna-se fundamental explicitar a composição teórica que fundamenta este trabalho. A aproximação com o campo das Neurociências não se configura como uma análise técnica especializada, mas como uma apropriação teórica rigorosa de seus fundamentos com finalidade explicativa no âmbito educacional. Procuro estabelecer um diálogo estruturado entre os achados da neurobiologia e os fenômenos observados no processo de aprendizagem, especialmente no que se refere às dificuldades e aos bloqueios relacionados à matemática.

Parto do raciocínio de que a aprendizagem não pode ser compreendida exclusivamente sob o viés pedagógico ou psicológico, uma vez que envolve processos neurobiológicos concretos, relacionados à regulação emocional, à memória, à atenção e ao funcionamento executivo. Nesse sentido, o bloqueio matemático não é interpretado como ausência de capacidade cognitiva, mas como resultado de circuitos neurais modulados por experiências afetivas negativas, especialmente durante a adolescência — período marcado por intensa reorganização cerebral.

A fundamentação teórica que sustenta esta análise apoia-se em autores que se tornaram referências essenciais ao longo desta pesquisa. Para compreender a arquitetura e o funcionamento do sistema nervoso, recorro a Lent (2010), cuja obra *Cem Bilhões de Neurônios* acompanhou meus primeiros escritos, bem como aos clássicos Bear, Connors e Paradiso (2017) e Kandel et al. (2014), que oferecem uma visão aprofundada sobre os mecanismos celulares e moleculares da memória e da aprendizagem.

Para compreender o cérebro adolescente — essa fase tão decisiva e vulnerável —, a neurocientista brasileira Suzana Herculano-Houzel (2005) foi igualmente fundamental. Seu livro *O Cérebro Adolescente* contribuiu para ampliar a compreensão de que muitas das dificuldades observadas em sala de aula possuem raízes biológicas profundas, não podendo ser reduzidas a interpretações simplificadas como “rebeldia” ou “desinteresse”.

No campo da neurociência afetiva, que investiga a indissociabilidade entre emoção e cognição, dois autores foram particularmente importantes: o português António Damásio (2012) — neurologista e neurocientista cujos estudos sobre as emoções humanas e o conceito de marcador somático inspiraram diretamente a proposição do marcador de relevância apresentada neste trabalho — e o norte-americano Joseph LeDoux (2011). LeDoux, autor de *O Cérebro Emocional*, investigou os circuitos neurais do medo e o papel

da amígdala cerebral, contribuindo para explicar por que um estudante pode “travar” diante de situações avaliativas. A essas contribuições somam-se os estudos de Panksepp (1998), especialmente sua investigação sobre os sistemas emocionais primitivos, entre eles o sistema SEEKING, associado à curiosidade e à motivação para explorar e aprender.

Para aproximar esses achados do contexto educacional, dialogo também com autores brasileiros que discutem a dimensão afetiva da aprendizagem, como Oliveira e Santos (2021) e Morais (2016). No campo específico da ansiedade matemática, as pesquisas de Ashcraft (2002) foram fundamentais para compreender como a ansiedade compromete a memória de trabalho, enquanto Eysenck e Calvo (1992) propuseram a Teoria da Eficiência de Processamento, que ajuda a elucidar o fenômeno do “branco” em situações de pressão.

Autores como Bruce McEwen (2002, 2003) e Robert Sapolsky (2007) contribuíram para a compreensão dos efeitos do estresse crônico sobre o cérebro, particularmente no que se refere à ação do cortisol, à carga alostática e aos impactos no hipocampo. Já Ratey e Hagerman (2012) e Walker (2018) trouxeram contribuições relevantes sobre a influência do exercício físico e do sono nos processos de consolidação da memória e na aprendizagem.

Por fim, para evitar uma interpretação reducionista do fenômeno, recorro a Vygotsky (2008), cuja perspectiva destaca que as funções psicológicas superiores se desenvolvem na interação social, e a Wallon (2007), que enfatiza a afetividade como dimensão constitutiva do ato de aprender. Também dialogo com as contribuições do psicólogo Ekman (2011), cujos estudos sobre as expressões faciais das emoções — amplamente difundidos, inclusive na consultoria científica do filme *Divertida Mente* — inspiraram a concepção do produto educacional desenvolvido nesta pesquisa.

Assim, este e os demais capítulos propõem compreender o bloqueio matemático como um fenômeno neuroeducacional, no qual aspectos emocionais e cognitivos se entrelaçam em bases biológicas concretas. Ao articular evidências científicas com experiências subjetivas relatadas no contexto escolar, busco demonstrar que a superação das dificuldades em matemática exige uma compreensão integrada do funcionamento cerebral, reconhecendo a afetividade não como elemento periférico, mas como dimensão constitutiva do próprio ato de aprender.

## 1.1 Neurociência: uma breve retrospectiva histórica

A neurociência é o campo científico dedicado ao estudo do sistema nervoso em sua totalidade, abrangendo desde a estrutura molecular até o comportamento complexo. Embora o termo tenha se consolidado academicamente apenas por volta da década de 1970, o interesse pelo órgão central do pensamento é milenar. Conforme apontam Bear, Connors e Paradiso (2017), essa investigação remonta à Grécia Antiga, período em que já se discutia a dicotomia entre o coração e o cérebro como sede da inteligência.

A aceitação de que o cérebro sustenta o pensamento não foi imediata. Ela foi construída através de séculos de observações clínicas e experimentações que derrubaram a visão cardiocêntrica da Antiguidade. Embora evidências egípcias de aproximadamente 5.000 anos demonstrem que médicos já conheciam lesões cerebrais, predominava a crença de que o coração era o centro do espírito e o repositório da memória. Nessa perspectiva, enquanto o corpo era enaltecido por sua vitalidade, o encéfalo era frequentemente descartado após a morte, sendo removido pelas narinas durante os processos de mumificação (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

Esse paradigma preservou-se até o período de Hipócrates (460–379 a.C.). Considerado o pai da medicina ocidental, ele rompeu com a tradição ao propor que o encéfalo era, de fato, o órgão das sensações e da inteligência. Contudo, essa visão não foi consensual; anos mais tarde, Aristóteles (384–322 a.C.) retomou a tese de que o coração seria o responsável pelo intelecto. Para o filósofo, o encéfalo funcionava apenas como um “radiador para resfriar o sangue, o qual era superaquecido pelo coração. O temperamento racional dos humanos era então explicado pela grande capacidade de resfriamento do encéfalo” (Bear, Connors e Paradiso, 2017, p.5).

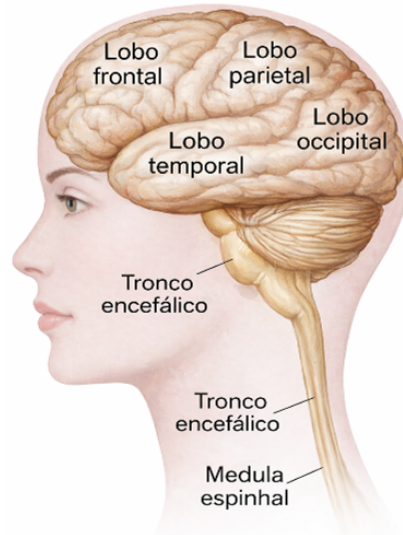
Avançando na história, por muito tempo acreditou-se que, assim como o sistema nervoso central podia ser anatomicamente mapeado, seria possível fragmentar a mente quanto à sua funcionalidade externa — uma ideia que ficou conhecida como frenologia, proposta por Franz Josef Gall por volta de 1800. Conforme ilustrado na Figura 1(A), os frenologistas subdividiam o crânio em regiões associadas a diferentes faculdades mentais e morais, compreendendo que a superfície craniana refletia o desenvolvimento das áreas cerebrais subjacentes (Lent, 2010).

Embora essa teoria tenha sido posteriormente descartada — demonstrando-se que o crânio é apenas a caixa óssea que abriga o encéfalo —, ela representou um



ilustrada na Figura 2, que exemplifica como diferentes áreas se conectam para realizar tarefas complexas.

**Figura 2 – Representação da conectividade neural e processamento em rede.**



Fonte: Adaptado de Lent (2010).

A partir dessa organização, observa-se, de forma geral, a seguinte especialização:

- **Lobo occipital**: concentra funções relacionadas à visão;
- **Lobo temporal**: associado à audição, ao reconhecimento de objetos, à compreensão linguística e a aspectos cruciais da memória;
- **Lobo parietal**: agrupa funções de sensibilidade corporal e reconhecimento espacial;
- **Lobo frontal**: abriga funções motoras, expressão linguística, memória de trabalho e as chamadas funções executivas, como o planejamento e a tomada de decisão.

Esses mapas funcionais modernos baseiam-se em dados científicos obtidos inicialmente em modelos animais e, posteriormente, confirmados em seres humanos por meio do estudo de lesões e de modernas técnicas de neuroimagem funcional (Kandel et al., 2014).

A neurociência contemporânea representa, portanto, uma abordagem interdisciplinar que integra a biologia molecular, a psicologia e a ciência da computação (Lent, 2010). No contexto educacional, tais descobertas tornam-se fundamentais para a compreensão dos processos cognitivos, permitindo identificar as bases biológicas das dificuldades de aprendizagem.

Um princípio fundamental desse campo é que a função cerebral origina de sua estrutura; portanto, alterações na organização das conexões neurais ou no processamento sináptico podem estar na base de manifestações comportamentais e cognitivas distintas

(Bear, Connors e Paradiso (2017); Lent (2010); Kandel et al. (2014)). Esse entendimento possibilita o desenvolvimento de intervenções pedagógicas mais precisas, fundamentadas em evidências científicas e sensíveis à complexidade do organismo que aprende.

## 1.2 Conhecendo a central de comandos: Encéfalo

Para que um médico cardiologista analise o exame de um paciente, é indispensável o domínio pleno da estrutura e do funcionamento do coração. Essa compreensão deve ser ainda mais profunda para a execução de uma cirurgia cardíaca; além dos conhecimentos técnicos, é preciso realizar uma avaliação sistêmica da saúde do paciente para precaver riscos. Em exemplos cotidianos, o açougueiro, para realizar cortes precisos e aproveitar o alimento, precisa conhecer a anatomia do animal, assim como o padeiro deve deter conhecimento técnico sobre a massa que manipula.

Essas analogias ilustram que o professor, independentemente de sua área de atuação, lida diretamente com a mente humana e com os processos de aprendizagem. Portanto, assim como em outras profissões, é necessário conhecer a “matéria-prima” com a qual se trabalha. O educador deve possuir domínios básicos sobre o funcionamento do sistema nervoso, desde sua estrutura anatômica até as funções exercidas por cada área. Esse saber confere a propriedade necessária para mediar a aprendizagem do aluno de forma otimizada.

### 1.2.1 O diferencial humano: Córtex cerebral e a densidade neuronal

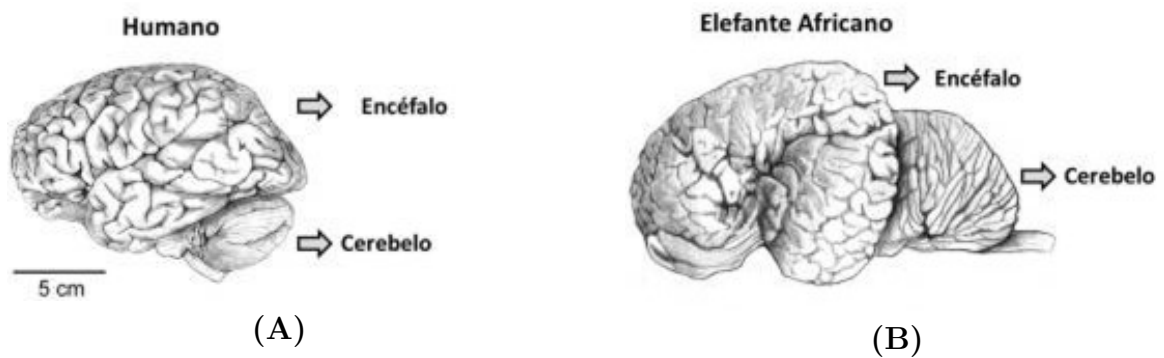
Crescemos ouvindo que o diferencial da nossa espécie é a racionalidade. Mas de onde vem essa capacidade? Seria a quantidade total de neurônios ou o tamanho absoluto do cérebro? A ciência moderna responde que não. Segundo Lent (2010) o encéfalo humano possui cerca de 86 bilhões de neurônios — contagem específica que é fruto das pesquisas da neurocientista brasileira Suzana Herculano-Houzel —, dos quais 16 bilhões estão localizados no córtex cerebral. Fazendo um paralelo com os elefantes africanos, nota-se que esses mamíferos possuem 257 bilhões de neurônios totais, mas apenas cerca de 5,6 bilhões situados no córtex. Para visualizar essa diferença, a Tabela 1 apresenta um comparativo numérico e estrutural. Observa-se que, embora o elefante possua uma massa cerebral três vezes maior, o cérebro humano detém quase o triplo de neurônios na região cortical.

**Tabela 1 – Comparativo Numérico e Estrutural.**

Características	Cérebro Humano	Cérebro de Elefante Africano
Massa total	~1.5 kg	~5.0 kg
Neurônios Totais	~86 bilhões	~257 bilhões
Massa do córtex	Menor (~1,2 kg)	Maior (~2,8 kg)
Neurônios no córtex	~16 bilhões	~5,6 bilhões

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Herculano-Houzel (2005).

Apesar de a espécie humana possuir uma massa encefálica e uma quantidade total de neurônios inferiores em comparação às do elefante africano, como ilustra a Figura 3, detemos uma quantidade superior de neurônios no córtex cerebral. Conforme apontam Oliveira e Santos (2021), o córtex cerebral é a região mais potente e evoluída do nosso sistema nervoso, sendo responsável pelo maior consumo de energia do órgão. Portanto, o que nos difere das demais espécies não é o peso bruto do cérebro, mas a densidade elevada de neurônios especificamente nesta camada. É essa região que nos permite falar, sentir e coordenar habilidades motoras e cognitivas complexas como, por exemplo, a resolução de problemas matemáticos.

**Figura 3 – Comparativo entre o encéfalo humano e do elefante.**

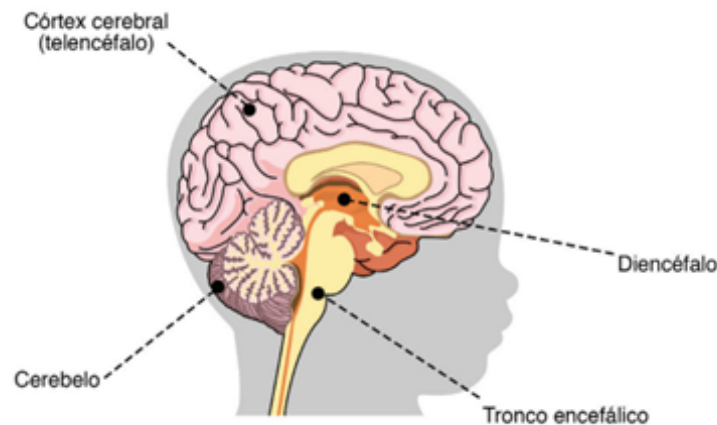
Fonte: Mistérios do cérebro (2014), adaptado de Herculano-Houzel (2005).

Como mencionado no início deste capítulo, a neurociência dedica-se ao estudo do sistema nervoso, integrando suas funcionalidades ao comportamento humano para explicar os processos que unem corpo e mente. Focaremos, a partir de agora, nas estruturas e na composição do encéfalo, dando ênfase às regiões envolvidas no processamento emocional, na memória e na aprendizagem — pilares fundamentais para esta investigação.

Para fundamentar essa análise, examinaremos a organização estrutural desta “máquina fantástica” que é o encéfalo, superando a imprecisão terminológica que frequentemente confunde o termo apenas com o “cérebro”. As divisões principais desta organização

podem ser observadas na Figura 4. Compreender essa organização em rede é o que nos permite desvendar os mecanismos biológicos por trás da cognição. O encéfalo não é uma massa homogênea, mas um sistema dinâmico onde o processamento de emoções e a resolução de problemas matemáticos se entrelaçam em circuitos integrados.

**Figura 4 – Vista medial evidenciando as estruturas que compõem o encéfalo.**



Fonte: Oliveira e Santos (2021).

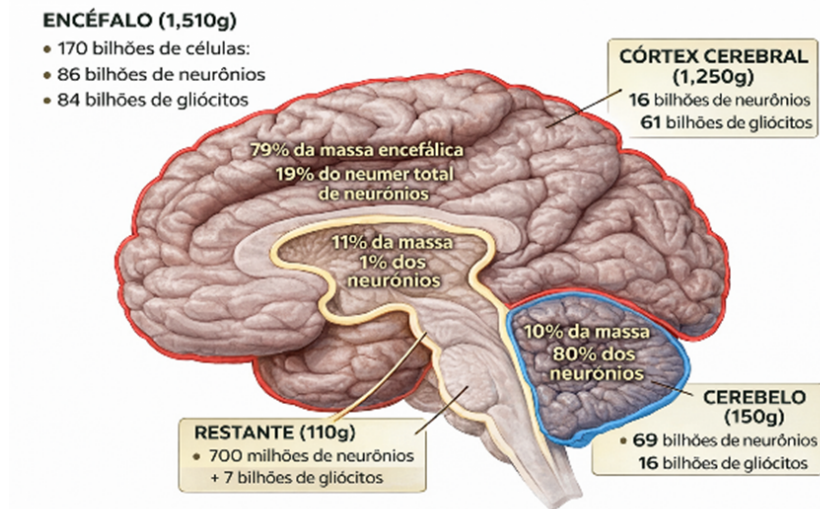
Observando a Figura 4, podemos visualizar o cérebro, que é subdividido em duas grandes regiões. A primeira é o **diencéfalo**, composto pelo tálamo e pelo hipotálamo, que atuam como centros de processamento vitais. O **tálamo** é responsável por organizar e transmitir informações sensoriais para áreas específicas do córtex cerebral. Já o **hipotálamo** é a estrutura encarregada de associar estados emocionais a respostas fisiológicas, como a alteração do batimento cardíaco ou a sudorese, em situações de estresse e ansiedade matemática (Oliveira e Santos, 2021).

A outra região extremamente importante para o nosso estudo é o **córtex cerebral (telencéfalo)**, que corresponde à parte externa da figura. Podemos associá-lo a uma estrutura “enrugada”; seu formato em giros (saliências) e sulcos (fragmentações) permite que todo o seu volume se acomode dentro da caixa craniana. É nesta região que processamos informações complexas e tomamos decisões conscientes (Lent, 2010).

O encéfalo, por sua vez, é composto por três estruturas principais: **Cérebro**, **Cerebelo** e **Tronco Encefálico** (Kandel et al., 2014). O cerebelo é o centro do equilíbrio e da harmonia motora. Se conseguimos sentar confortavelmente, pular corda ou dançar, devemos agradecer a essa região que possui a maior densidade de neurônios do encéfalo — cerca de 69 bilhões de células (Lent, 2010). Já o tronco encefálico funciona como o “cabo mestre” do corpo, ligando o encéfalo à medula espinhal. Atua como uma “avenida

principal”, responsável pelas funções vitais involuntárias, como os batimentos cardíacos e a pressão arterial. Por essa via, passam todas as fibras sensoriais e motoras que permitem a comunicação entre o Sistema Nervoso Periférico (SNP) e Sistema Nervoso Central (SNC) (Bear, Connors e Paradiso, 2017). Lembrando os 86 bilhões de neurônios mencionados anteriormente, Lent (2010) demonstra que essa distribuição celular pode ser fragmentada conforme ilustra a Figura 5:

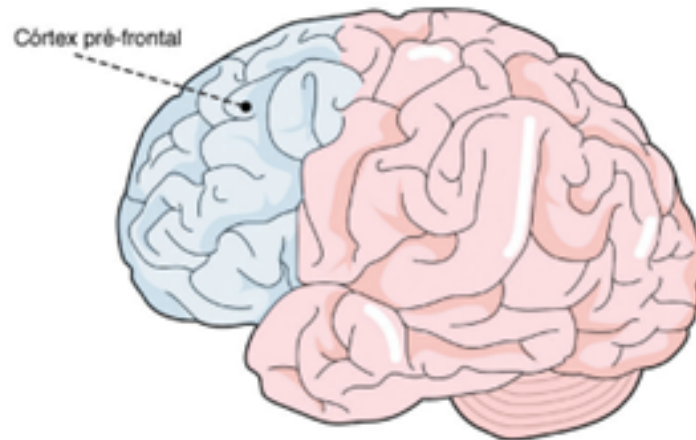
**Figura 5 – Distribuição celular de neurônios e gliócitos no encéfalo humano.**



Fonte: Adaptado de Lent (2010).

Para compreendermos o coração deste capítulo, analisemos o córtex pré-frontal (CPF), ilustrado na Figura 6. Ao colocarmos a mão sobre a testa, deparamo-nos com essa área riquíssima, sendo a principal estrutura que nos diferencia dos demais animais. É neste centro executivo que processamos as funções cognitivas superiores, como o planejamento e a tomada de decisões. Nele, projetamos o futuro e inibimos impulsos. Ao encarar um problema matemático, o CPF é ativado para coordenar a leitura, a interpretação e a escolha de estratégias lógicas (Oliveira e Santos, 2021).

**Figura 6 – Vista dorsolateral. Na porção anterior, cor mais escura, está a região pré-frontal.**



Fonte: Oliveira e Santos (2021).

Paralelamente, o CPF atua em harmonia com as demais áreas encefálicas. Segundo Lent (2010), ele exerce a função de “maestro da orquestra” do organismo. Todavia, sob condições de estresse ou fortes reações emocionais, essa região tem sua capacidade de processamento racional comprometida. Esse fenômeno explica o “branco” em momentos de avaliação: se o aluno nutre medo da Matemática, a carga emocional sobrecarrega o sistema e o CPF não consegue processar com eficiência os problemas propostos. É importante destacar que o CPF é a última estrutura cerebral a completar sua maturação, ponto ao qual daremos ênfase no decorrer do texto (Herculano-Houzel, 2005).

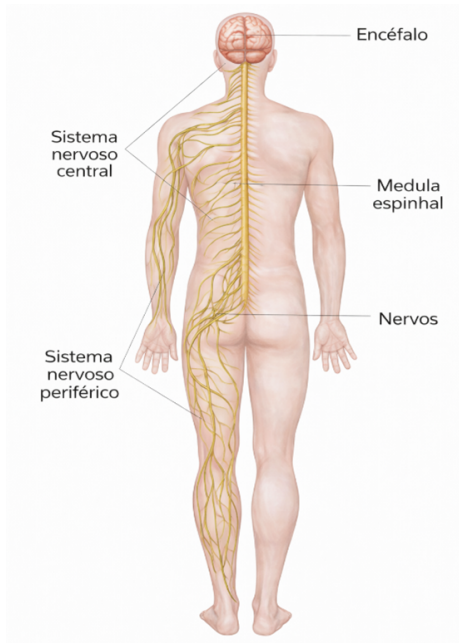
### **1.3 Conhecendo a “máquina” como um todo – sistema nervoso**

Não podemos pensar no encéfalo de forma isolada. Como mencionado anteriormente, os processos emocionais trazem impactos diretos ao nosso corpo; isso ocorre devido à relação de reciprocidade entre o Sistema Nervoso Central (SNC) e o Sistema Nervoso Periférico (SNP) (ver Figura 5). O fluxo de informações entre eles ocorre por meio de uma complexa rede de comunicação composta pelas vias aferentes (que conduzem os estímulos sensoriais captados pelo corpo até o encéfalo) e pelas vias eferentes (que levam as instruções do encéfalo para o corpo). Sobre essa organização, Lent (2010, p. 7) esclarece que:

O sistema nervoso central do homem aloja a imensa maioria dos neurônios, e está contido no interior da caixa craniana (encéfalo) e da coluna vertebral (a medula espinal). Já o sistema nervoso periférico é constituído de menor proporção de neurônios, mas apresenta uma extensa rede de fibras nervosas espalhadas por quase todos os órgãos e tecidos do

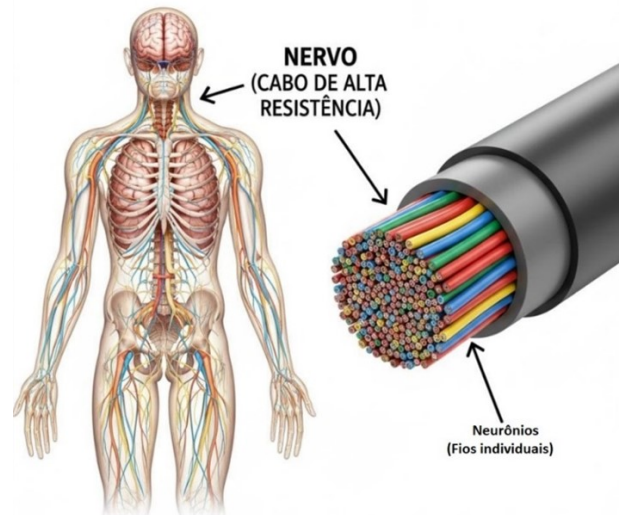
organismo.

**Figura 7 – Sistema nervoso central e periférico.**



Fonte: Lent (2010).

**Figura 8 – Analogia entre a estrutura de um nervo e um cabo de fibra ótica/elétrico.**

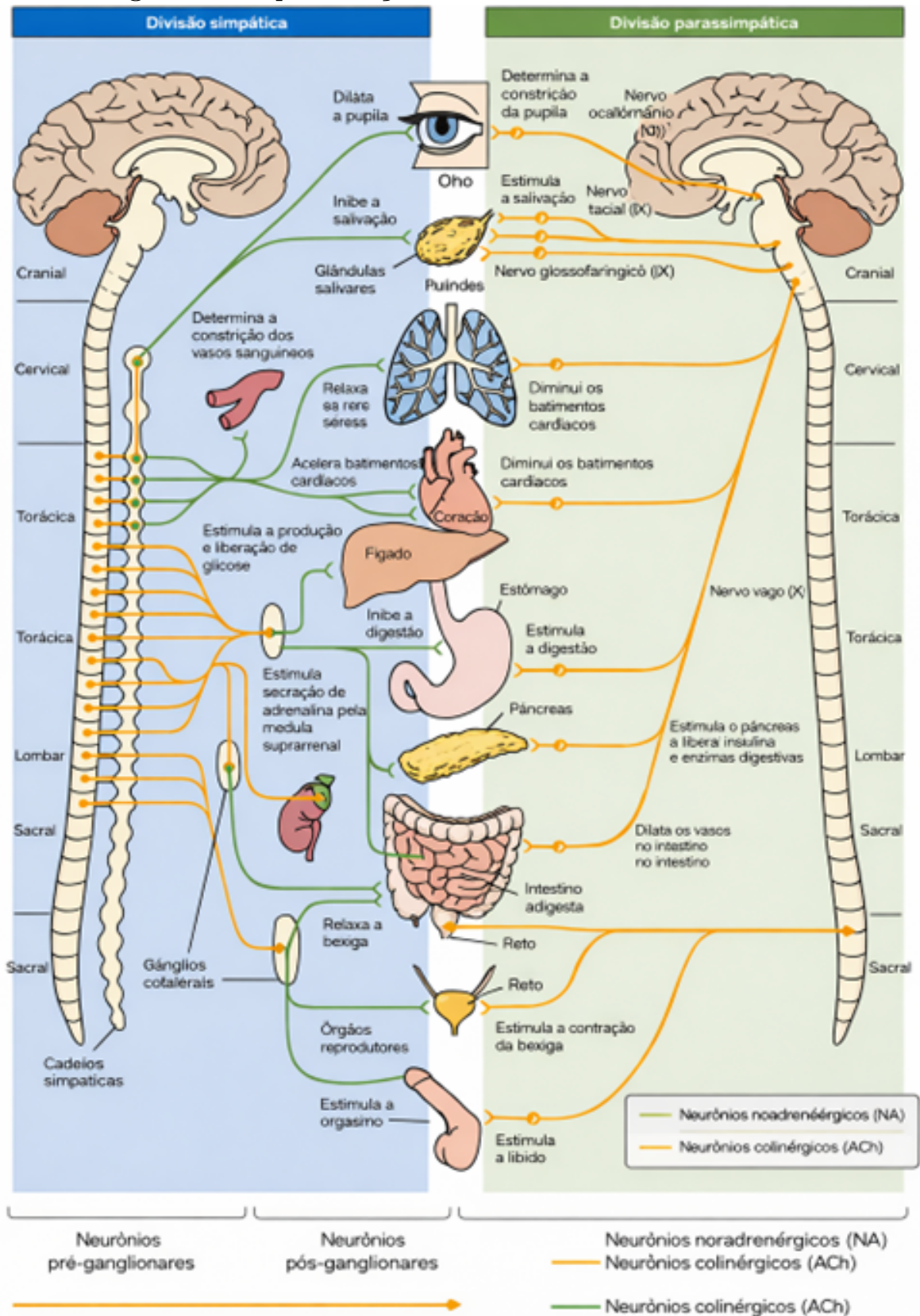


Fonte: Elaborada pela autora (2026) com auxílio de inteligência artificial (IA).

Precisamente, o SNC é o centro de comando que processa e organiza as informações recebidas e enviadas pelo SNP através dos nervos. Podemos pensar no nervo como um cabo de alta resistência, formado por milhares de fios individuais: os neurônios (como ilustra a Figura 8). Segundo Lent (2010), essas células são responsáveis pelo traslado de informações por todo o corpo, conectando todo o sistema nervoso. Analisando o trajeto individual dos nervos, observa-se que uma das extremidades conecta-se a algum órgão ou tecido (Figura 7), enquanto a outra se liga ao SNC (tronco encefálico ou medula espinhal), fechando o circuito de comunicação do organismo.

Como vimos, o SNP realiza a ligação direta do SNC com todo o corpo e pode ser subdividido em dois: o **Sistema Nervoso Somático** e o **Sistema Nervoso Autônomo (SNA)**. O sistema somático é o responsável pelas nossas ações voluntárias, controlando a musculatura esquelética. Por sua vez, o sistema autônomo subdivide-se em **Simpático** e **Parassimpático** (ver Figura 9).

Figura 9 – Representação do sistema nervoso Autônomo.



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017).

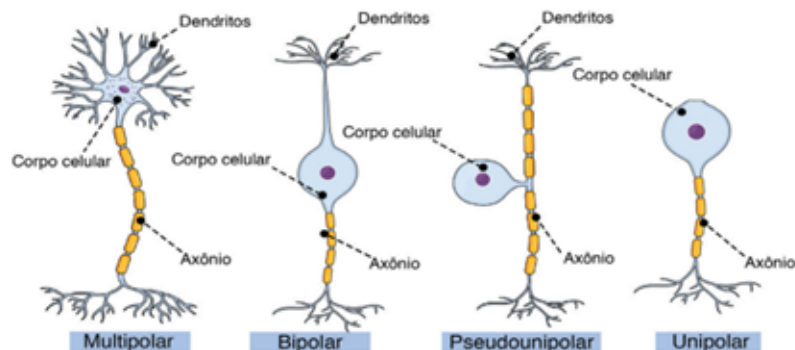
O Sistema Simpático atua estimulando o funcionamento dos órgãos para reações de emergência, como a resposta de “luta ou fuga”. Este conceito, introduzido pelo fisiologista

Walter Cannon (1929), descreve a resposta de sobrevivência que ocorre no organismo quando nos deparamos com estímulos ameaçadores (Kandel et al., 2014). Esse “alerta” é viabilizado pelos gânglios simpáticos, que captam mensagens da medula espinal e as transmitem para órgãos específicos, como o coração e os pulmões, acelerando o ritmo cardíaco e a respiração. Já o Sistema Parassimpático atua de forma oposta, acalmando o funcionamento desses mesmos órgãos para promover o relaxamento e a homeostase (equilíbrio do organismo).

#### 1.4 A unidade funcional: o neurônio e a sinapse

Para compreendermos melhor como essas trocas de informações acontecem, faz-se necessário visualizar a estruturação do neurônio (Figura 10). Ele é uma célula especializada em receber, processar e transmitir mensagens que percorrem todo o sistema nervoso através de sinais eletroquímicos.

**Figura 10 – Classificação das células neuronais levando em consideração sua morfologia.**



Fonte: Oliveira e Santos (2021).

Como observado na Figura 10, os neurônios apresentam tipos diferentes, sendo que cada um deles pode ser encontrado em distintos locais do sistema nervoso. Segundo Lent (2010), os dendritos, assemelhados a “pequenos ramos de árvore”, são as estruturas por onde os neurônios recebem informações quando associados a outras células. Já a parte mais prolongada é denominada axônio (ou fibra nervosa), que é individual para cada neurônio. É através do axônio que as informações saem do encéfalo em direção ao sistema nervoso periférico, caracterizando a via eferente.

Essa estrutura é fundamental para a rapidez da resposta motora e cognitiva, uma vez que o impulso elétrico percorre todo o seu comprimento até atingir a fenda

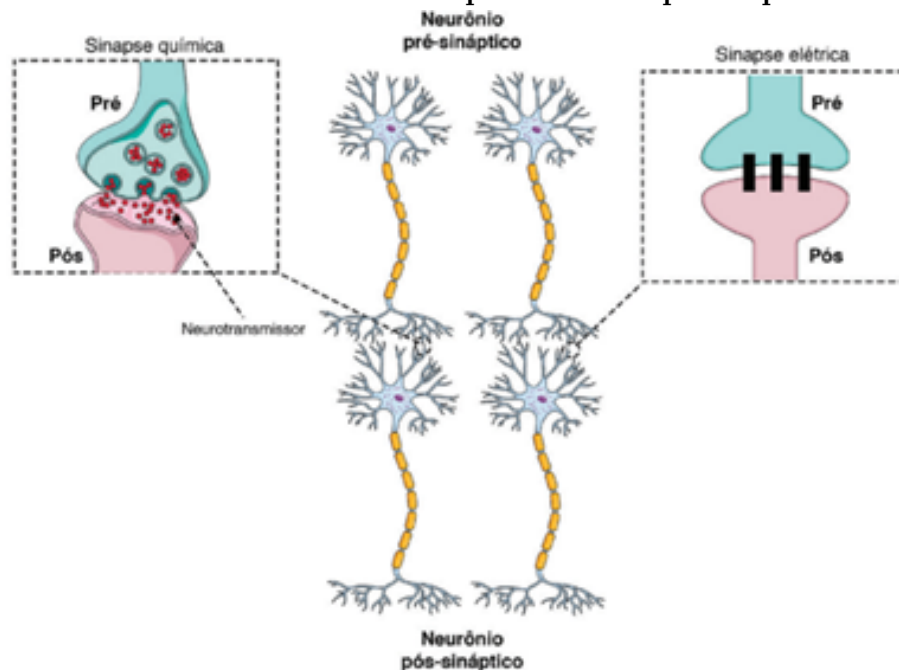
sináptica para a comunicação com a célula seguinte. Além disso, Oliveira e Santos (2021) definem precisamente cada tipo de neurônio com base em sua morfologia e função no organismo: os bipolares (condução sensorial), unipolares (sensitivos simples), multipolares (abundantes no SNC) e pseudounipolares (transmissão de dor e tato na medula espinal).

Note que, no prolongamento do axônio, há repartições que cobrem a estrutura chamadas de bainha de mielina. Esta substância gordurosa atua como um isolante elétrico, evitando a perda da carga do impulso nervoso e permitindo que o sinal elétrico “salte” entre os espaços do axônio, tornando a comunicação significativamente mais rápida e eficiente.

É intuitivo pensar que os neurônios se conectam realizando uma espécie de “fusão”, como fios descascados que se unem. No entanto, esse é um pensamento errôneo, pois os neurônios não se tocam fisicamente. Segundo Lent (2010), entre eles existe um espaço microscópico denominado fenda sináptica. A transmissão de informações ocorre por meio de impulsos elétricos que desencadeiam a liberação de neurotransmissores, os quais atravessam esse espaço para realizar a sinapse.

Segundo Kandel et al. (2014) As conexões sinápticas podem ser classificadas em duas categorias principais, conforme ilustrado na Figura 11:

**Figura 11 – Células nervosas e suas respectivas sinapses: químicas e elétricas.**



Fonte: Oliveira e Santos (2021).

Oliveira e Santos (2021) definem que as **sinapses químicas** ocorrem por meio de agentes químicos, os neurotransmissores, que podem sofrer alteração no envio da

mensagem. Já as **sinapses elétricas** acontecem quando os neurônios estão extremamente próximos, permitindo a passagem direta de substâncias carregadas (íons) através de canais que conectam as células.

Como descreve Lent (2010), existem neurônios especializados para as mais diversas funções e comandos: processamento de emoções, olfato, paladar, regulação de batimentos cardíacos e até a tomada de decisões voluntárias. Essas células estão profusamente interconectadas, de modo que um único estímulo é capaz de ativar uma rede complexa por meio das sinapses. Sobre essa especialização, o autor detalha:

Até mesmo os neurônios mais complexos, como aqueles que participam das emoções, são especializados: alguns respondem a estímulos negativos e provocam tristeza, angústia, medo e demais emoções com essa valência, enquanto outros respondem a estímulos positivos e provocam sentimentos de amor, amizade, prazer etc. A cada dia que passa, os neurocientistas descrevem um tipo diferente de neurônio, participante de cada uma das infinitas capacidades que o nosso cérebro nos propicia. (Lent, 2010, p. 21).

É possível observar a ativação de circuitos neurais voltados a estímulos de valência negativa de forma empírica em situações cotidianas. Durante a escrita desta dissertação, pude vivenciar esse mecanismo: ao ouvir o barulho de uma pancada vindo da varanda onde meus filhos brincavam, meus neurônios auditivos enviaram um sinal imediato ao Sistema Nervoso Central (SNC). Esse estímulo desencadeou uma resposta de medo ao ativar circuitos subcorticais específicos, como a amígdala (aprofundaremos nos capítulos seguintes), onde a informação foi correlacionada com memórias de perigo armazenadas no hipocampo.

Instantaneamente, o SNC enviou comandos via Sistema Nervoso Periférico (SNP), resultando em uma resposta motora de urgência. Após constatar que a situação estava sob controle, o organismo buscou retomar a homeostase (equilíbrio), evidenciando a rapidez e a eficiência das comunicações sinápticas em contextos de alerta.

## **1.5 A linguagem química do cérebro: Os neurotransmissores e seu papel na aprendizagem matemática**

Estabelecendo um paralelo com a analogia dos cabos de alta tensão anteriormente mencionada: se os neurônios representam os fios, os neurotransmissores e o impulso nervoso constituem a corrente elétrica que viabiliza a transmissão da mensagem. Lent (2010) afirma que existem mais de cem neurotransmissores descritos, os quais podem ser classificados em grupos químicos principais como os aminoácidos (glutamato, glicina

e GABA), as aminas (dopamina, noradrenalina, adrenalina, serotonina e histamina) e as purinas (ATP e adenosina). Vale ressaltar, ainda, a importância fundamental da acetilcolina (um éster), responsável por sustentar a atenção e a memória de trabalho; sem ela, a internalização de novos conceitos ficaria fragmentada.

Dessa forma, para a neurologia e a psiquiatria, a síntese dos neurotransmissores é um processo de importância vital, pois é na falha da transmissão destes que residem as explicações para diversas patologias. Na Doença de Parkinson, por exemplo, detecta-se um distúrbio nos neurônios dopaminérgicos, que perdem a capacidade de sintetizar a dopamina de forma apropriada, comprometendo os sistemas motores e cognitivos. Da mesma forma, quadros depressivos são frequentemente associados a falhas na disponibilidade de serotonina e noradrenalina na fenda sináptica.

No contexto educacional, essa clareza torna-se fundamental, visto que a comunicação química pode favorecer o processo de aprendizagem matemática ou, inversamente, ocasionar o bloqueio deste objetivo. De acordo com a neurociência das emoções (Silva e Viñas, 2021), cada estado afetivo está associado a uma “assinatura química” predominante. Enquanto a dopamina atua na motivação e no sistema de recompensa — essencial para o engajamento em desafios —, substâncias como a serotonina e a endorfina regulam o bem-estar e a homeostase do organismo.

O Quadro 1 sintetiza essas substâncias, destacando suas funções no sistema nervoso e sua importância para o desenvolvimento cognitivo, em especial na aprendizagem matemática.

**Quadro 1 – Principais neurotransmissores e sua influência na aprendizagem matemática.**

Neurotransmissores	Classificação	Função no Sistema Nervoso	Desenvolvimento Cognitivo Matemático
Dopamina	Amina	Relacionada ao querer, motivação e foco em recompensas.	Sensação de capacidade e prazer em resolver problemas complexos.
Noradrenalina	Amina	Elevada produtividade das redes pré-frontais; aumenta o alerta.	Eleva a atenção para o passo a passo da resolução lógica.
Serotonina	Amina	Regulador de circuitos emocionais; atua na homeostase e sono.	Proporciona estabilidade emocional para o raciocínio adequado.
Glutamato	Aminoácido	Principal excitatório do SNC; essencial para a neuroplasticidade.	Auxilia a criar novas rotas sinápticas para novos conceitos.
GABA (Ácido Gama - Aminobutírico)	Aminoácido	Principal inibitório; modula o estresse e promove relaxamento.	Reduz o “ruído mental” e o estresse, melhorando a atenção.
ATP	Purina	Fornecimento de energia para o funcionamento celular.	Energia necessária para sustentar o esforço mental prolongado.
Adenosina	Purina	Produto do metabolismo após esforço; promove cansaço.	Resulta em exaustão mental e no fenômeno do “bloqueio”.
Acetilcolina	Éster	Modulador da atenção sustentada e memória de trabalho.	Essencial para a internalização e processamento de cálculos.

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Lent (2010), Silva e Viñas (2020), Oliveira e Santos (2024), Kandel (2014) e Integra Edus (2023).

Ao analisarmos o Quadro 1, emergem questionamentos pertinentes: os neurotransmissores são componentes inatos? É possível estimular sua produção ao longo da vida? Fundamentados nos autores discutidos, Lent (2010); Kandel et al. (2014); Silva e Viñas (2021); Oliveira e Santos (2021); Bear, Connors e Paradiso (2017), dispomos de embasamento científico para essas questões.

- **Os neurotransmissores são natos?** Sim. O ser humano nasce com a capacidade intrínseca de sintetizar e transmitir essas substâncias através de seus 86 bilhões de neurônios. Contudo, a eficiência dessa comunicação é influenciada pela interação entre genética e ambiente.
- **Existem pessoas com maior concentração ou deficiência?** Sim. Variações individuais podem resultar em receptores menos eficientes ou produção reduzida. Na educação, um aluno com menor eficiência no sistema GABA (Ácido Gama -

Aminobutítico), por exemplo, pode apresentar maior suscetibilidade à ansiedade matemática.

- **É possível estimular sua produção?** Sem dúvida. A regulação neuroquímica está associada à neuroplasticidade. Estímulos adequados (escola, família, interações), aliados a hábitos saudáveis como exercícios e sono de qualidade, influenciam diretamente o equilíbrio químico e a aprendizagem.

### 1.5.1 Os Mensageiros Químicos: Neurônios Noradrenérgicos e Colinérgicos

Na Figura 9, com base no Quadro 1, dois tipos de neurônios fundamentais para o funcionamento do Sistema Nervoso Autônomo foram ilustrados, diferenciando-se pelo neurotransmissor que utilizam para transmitir a mensagem:

1. **Neurônios Noradrenérgicos (NA):** Utilizam a noradrenalina (norepinefrina) e são os protagonistas do **Sistema Simpático**. Em condições ideais, auxiliam a elevar a atenção necessária para o passo a passo da resolução lógica. Todavia, quando o aluno interpreta a prova como um “perigo”, esses neurônios intensificam sua ação, acelerando os batimentos cardíacos e preparando o organismo para a reação de luta ou fuga.
2. **Neurônios Colinérgicos (Ach):** Utilizam a acetilcolina (Ach) e constituem as principais vias do **Sistema Parassimpático**. Sua função primordial é promover a calma pós-estresse, reduzindo o ritmo cardíaco e restabelecendo o equilíbrio. No Sistema Nervoso Central (SNC), a acetilcolina é vital para a atenção e a memória, configurando-se como peça-chave na consolidação do aprendizado.

Segundo Bear, Connors e Paradiso (2017), o equilíbrio entre o “acelerador” noradrenérgico e o “freio” colinérgico é o que permite a homeostase do organismo. Essa regulação garante que o corpo responda adequadamente tanto aos desafios intelectuais quanto aos momentos de repouso, permitindo que o estudante transite entre o estado de alerta necessário para o cálculo e o relaxamento necessário para a recuperação cognitiva.

## 2 A ARQUITETURA DO CÉREBRO ADOLESCENTE: PLASTICIDADE, EMOÇÃO E VULNERABILIDADE

Após compreendermos os fundamentos básicos — a estrutura do encéfalo, o funcionamento dos neurônios e o papel dos neurotransmissores —, precisamos mergulhar no período que é o coração desta pesquisa: a **adolescência**. É nessa fase que o cérebro passa por uma verdadeira “reforma” estrutural. E é justamente nesse momento que muitos alunos definem sua relação com a Matemática — positivamente ou negativamente (consolidando bloqueios que podem durar a vida toda.)

O Capítulo 3 dedica-se, portanto, a explorar como o cérebro adolescente é construído, suas vulnerabilidades e suas grandes potencialidades. Para isso, usaremos como base as contribuições da renomada neurocientista brasileira Suzana Herculano-Houzel. Em sua obra “O Cérebro Adolescente: A neurociência da transformação da criança em adulto”, ela reúne descobertas científicas baseadas em exames de imagem modernos que mudaram o que sabíamos sobre essa fase.

Vale lembrar que a importância da autora é reconhecida mundialmente; ela é citada por Robert Lent (2010) como a responsável pela descoberta da contagem real dos 86 bilhões de neurônios no nosso encéfalo. Por sua autoridade e clareza, utilizarei o trabalho dela como fio condutor para este capítulo.

### 2.1 Reorganização e maturação sob a ótica de Herculano-Houzel

Herculano-Houzel (2005) defende que a adolescência não deve ser compreendida apenas como um período de instabilidade comportamental — popularmente conhecida como “aborrecência” e atribuída a uma suposta avalanche de hormônios — nem resumida à puberdade (maturação sexual). Trata-se, em verdade, de um período de profunda estruturação e maturação cerebral. É no início dessa fase que o cérebro atinge seu tamanho e volume máximo. A autora afirma que a “adolescência começa no cérebro”, precisamente no **hipotálamo**, um das estruturas responsáveis pela homeostase orgânica.

A neurocientista defende que a adolescência se inicia no cérebro, especificamente no hipotálamo — estrutura responsável pela regulação da homeostase e pelo controle do sistema endócrino. O aumento dos níveis de leptina, hormônio produzido pelas células adiposas, sinaliza ao hipotálamo que o organismo possui reserva energética suficiente para iniciar o processo de maturação corporal. Esse mecanismo reduz a produção de Neuropeptídeo Y (NPY) e permite a reativação do eixo hipotálamo-pituitária-gônadas

(HPG), responsável pela liberação dos hormônios sexuais. Como destaca:

Embora freado nas crianças, esse eixo é ativo nos fetos e bebês, graças à secreção de pulsos de GnRH pelo hipotálamo. Até o primeiro ano de vida nos meninos, e até o segundo nas meninas, ovários e testículos secretam grandes quantidades de estrogênio e testosterona. Esse simples fato deveria ser suficiente para fazer calar a fatídica frase “são os hormônios”, pois significa que criancinhas, nada interessadas pelo sexo oposto, têm o cérebro tão inundado por hormônios sexuais quanto adolescentes. (Herculano-Houzel, 2005, p. 20).

Isto indica que a infância é um estado de inibição cerebral ativa. No fim desse período, o aumento da leptina reduz a produção de NPY e, conseqüentemente, o eixo HPG é reativado. Um ponto relevante é que a adolescência marca a expressão da preferência sexual formada ainda durante a gestação (Herculano-Houzel, 2005, p. 22). Em suma, a adolescência inicia-se no cérebro por meio de uma reorganização estrutural profunda, da qual as mudanças hormonais e físicas são conseqüências, e não a causa primária.

Como mencionado, o córtex pré-frontal é a última região neural a atingir a maturidade plena. Embora o cérebro já possua dimensões de um órgão adulto durante a adolescência, a sua maturação estrutural e funcional só se completa tardiamente. É importante notar que existe uma divergência entre as delimitações cronológicas e biológicas: enquanto a Organização Mundial da Saúde (OMS) define a adolescência entre os 10 e 19 anos, e o Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA) a compreende entre os 12 e 18 anos incompletos, a neurobiologia estende esse período de transformação até por volta dos 30 anos de idade. Sobre essa maturação tardia, Herculano-Houzel (2005) destaca:

O córtex frontal, última grande divisão do cérebro a amadurecer em estrutura e função, é também a última a atingir o volume máximo de substância branca – aos 30 anos de idade, mais ou menos. Na verdade, é só em torno dessa idade que o volume total de substância cinzenta cortical parece se estabilizar no ser humano. (Herculano-Houzel, 2005, p. 48).

Essa defasagem entre a idade legal de maturidade e a conclusão da formação do córtex frontal é crucial para compreender as dificuldades de autorregulação e planejamento que muitos estudantes enfrentam na vida social e, particularmente, no âmbito escolar.

### 2.1.1 O despertar biológico: Hipotálamo, poda sináptica e mielinização

Se na adolescência o cérebro atingiu o volume máximo em relação ao tamanho, uma curiosidade seria imaginar: por que ele não cresce mais, se continuamos aprendendo mesmo depois dessa fase turbulenta?

Herculano-Houzel (2005) enfatiza que o cérebro infantil possui excesso de conexões e, durante a adolescência, ocorre a “poda sináptica”, processo no qual as sinapses

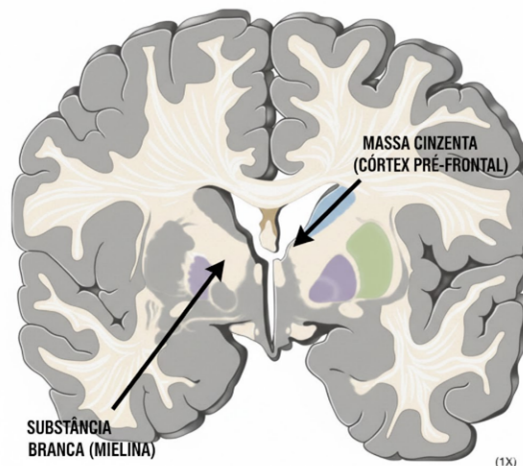
selecionadas são eliminadas pelo princípio do “use ou perca”. Isto é, as conexões neurais mais utilizadas são fortalecidas e as pouco utilizadas são perdidas, dando espaço à neuroplasticidade e à mielinização. Esta última consiste em uma camada lipídica que envolve os axônios (prolongamentos dos neurônios), seria como a capa de um cabo de fibra óptica (figura 6) fortalecendo sinapses no córtex pré-frontal e aumentando a velocidade de transmissão dos impulsos nervosos para outras áreas cerebrais.

À velocidade de 2 metros por segundo – ou cerca de 7 km/h – de condução de impulsos elétricos por uma fibra sem mielina, o sinal de um neurônio levaria cerca de 0,1 segundo para atravessar o cérebro de um lado ao outro, ou de trás para a frente. Com a mielina, essa velocidade pode subir para 100 metros por segundo – ou cerca de 360 km/h –, o que garante que um sinal atravesse o cérebro em 0,002 segundos. Para uma criança, pode ser a diferença entre conseguir dedilhar uma sonata ao piano ou apenas batucar com a mão inteira. Para um adolescente, pode ser o que faltava para permitir a integração funcional no córtex pré-frontal que torna possível o raciocínio abstrato. (Herculano-Houzel, 2005, p. 47).

É essa velocidade na propagação de dados que permite ao adolescente adentrar no mundo da abstração matemática do Ensino Médio. Sem essa “capa de fibra óptica” (mielina) finalizada no córtex pré-frontal, o esforço cognitivo para resolver uma equação do segundo grau ou compreender funções logarítmicas, por exemplo, é imensamente maior, gerando um **cansaço** mental que, por vezes, é confundido com desinteresse ou falta de capacidade.

Assim, a reorganização acontece com o aumento da substância branca (revestimento dos axônios com mielina) e a redução proporcional da substância cinzenta, que se torna mais fina, porém mais eficiente. Para melhor compreensão e visualização dessas regiões, a Figura 12 ilustra essa distinção estrutural:

**Figura 12 – Corte transversal do encéfalo: distinção entre substância branca (mielina) e massa cinzenta.**



Fonte: Adaptado de Bear, Connors e Paradiso (2017).

De acordo com Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 198), a substância cinzenta é constituída pelos corpos celulares neuronais, sendo o local onde o processamento de informações efetivamente ocorre. Em contrapartida, a substância branca é composta por axônios mielinizados que servem como vias de comunicação. Como reforça Lent (2010, p. 103), a presença da mielina nestas vias permite a condução saltatória, tornando a comunicação neural extremamente rápida e eficiente.

Convido o leitor a um momento de nostalgia: recorde a brincadeira ou o brinquedo que lhe trazia mais prazer na infância. Com o passar do tempo, o entusiasmo por essas atividades foi deixado de lado. Isso não ocorre simplesmente porque “crescemos” ou nos tornamos menos criativos, mas porque, na adolescência, ocorrem mudanças significativas no **sistema de recompensa** do cérebro. Este sistema, formado por estruturas que processam o prazer e a motivação, passa a exigir estímulos mais intensos e, primordialmente, novidades. Assim, as antigas brincadeiras infantis já não ativam esse circuito com a mesma eficácia. Há, nesta fase, uma supervalorização do novo, impulsionada pelas crescentes habilidades de abstração do córtex pré-frontal. Surgem interesses por novos estilos musicais, vestuário, religião, filosofia e interações sociais complexas. Paralelamente, o sistema de recompensa torna o adolescente mais suscetível a comportamentos de risco, como a prática de esportes radicais ou o consumo de substâncias psicotrópicas (como álcool e drogas). Tais atividades ativam diretamente as vias neurais de prazer, oferecendo sensações intensas e imediatas, todas essas mudanças comportamentais e físicas são necessárias para permitir que o jovem adolescente se torne um adulto independente. (Herculano-Houzel, 2005, p. 62-63).

É fundamental compreender que essa conduta não deve ser rotulada meramente como “rebeldia”, mas sim como uma busca biológica por dopamina em um sistema que agora opera sob os comandos da intensidade. Amparada nisso, a busca pelo prazer imediato ajuda a compreender a desmotivação e a evasão escolar nessa fase. De acordo com os dados mais recentes do Todos Pela Educação (2025), apenas 4,5% dos jovens da 3ª série do Ensino Médio de escolas públicas apresentaram aprendizagem satisfatória em Matemática em 2023, revelando que os resultados ainda não retomaram os patamares pré-pandêmicos. Em contextos pedagógicos tradicionais, a resolução de problemas matemáticos pode não gerar recompensas imediatas comparáveis às experiências intensas oferecidas pelo sistema de recompensa.

A boa notícia é que, quanto mais cedo um jovem é estimulado à prática de novas habilidades — como dançar, tocar um instrumento, aprender idiomas ou praticar

esportes e matemática — mais hábil se tornará. Como destaca Herculano-Houzel (2005, p. 59).

Por isso, é possível que a exuberância de substância cinzenta no caudado até a puberdade facilite o aprendizado de novas sequências motoras — ao piano, na quadra de esportes, judô, balé, dança, natação, e até nos movimentos precisos necessários para se pronunciar palavras estrangeiras sem sotaque. Habilidades motoras aprendidas até o início da adolescência encontrarão um caudado ainda rico em possibilidades sinápticas [...]. Quem começar mais tarde, só na adolescência, usará um caudado ainda capaz de aprender, mas amadurecido, que provavelmente já passou pelo período de eliminação sináptica.

É fundamental compreender que as regiões — associadas às emoções, à recompensa e à reatividade afetiva — amadurecem muito antes do córtex pré-frontal, região capaz de regular nosso comportamento social e o próprio sistema de recompensas. Como destaca Herculano-Houzel (2005, p. 94), o córtex pré-frontal torna possível funções complexas como a “memória de trabalho, concentração, planejamento, inibição de respostas, cálculo de consequências, raciocínio contingente, empatia e a Teoria da Mente”. Para melhor compreensão, as sub-regiões do córtex frontal e suas funcionalidades estão organizadas no quadro abaixo:

**Quadro 2 – Subregiões do córtex Frontal e suas Funcionalidades.**

<b>Sub-região do Córtex pré-frontal</b>	<b>Principal Funcionalidade</b>	<b>Possíveis impactos na aprendizagem e comportamento</b>
<b>Córtex Pré-Frontal Dorso-lateral (DLPFC).</b> É a região frontal por trás da “testa”, interligada à amígdala e ao hipocampo, estruturas responsáveis pelo processamento emocional e pela consolidação da memória.	Raciocínio lógico – Matemático. Memória de trabalho. Planejamento. Atenção seletiva.	Sustenta funções executivas superiores, e por ter uma maturação tardia pode explicar a dificuldade que os alunos sentem ao se depararem com conteúdos mais abstratos da matemática que exigem várias etapas de raciocínio.
<b>Córtex órbito-frontal.</b> Localizado atrás dos olhos, entre as órbitas, interligada com a amígdala e o hipocampo que cuidam das emoções e memória.	Controle de impulsos. Regulação emocional. Tomada de decisão social. Integração emoção-decisão.	Funciona como um “freio” do cérebro, enquanto não amadurece o estudante nessa fase tem dificuldade em resistir ao prazer imediato como engajar-se em estímulos digitais de recompensa imediata, para focar em estudar (recompensa adiada).

Fonte: Elaborado pela autora (2026), com base em Herculano-Houzel (2005), Lent (2010) e Kandel et al. (2014).

Essa realidade biológica sugere à prática pedagógica o desafio de tornar a aprendizagem matemática significativa, emocionalmente engajadora e cognitivamente

estimulante. Um fato notável que justifica muitos comportamentos típicos dessa fase é a comparação feita por neurocientistas entre o comportamento adolescente e o de pacientes com lesões no córtex pré-frontal.

### 2.1.2 A “lesão funcional” da adolescência: o caso Phineas Gage e a imaturidade do córtex pré-frontal

Um dos casos mais marcantes na história da neurociência é o de Phineas Gage, cujo acidente resultou numa lesão profunda no crânio e nos lobos frontais, alterando permanentemente a sua personalidade e o seu controle inibitório. Este caso é amplamente discutido em obras fundamentais como as de Lent (2010), Bear, Connors e Paradiso (2017) e Herculano-Houzel (2005), com base nesses autores, relato esse caso abaixo:

Precisamente em setembro de 1848, Phineas Gage, um trabalhador eficiente numa ferrovia — considerado um homem inteligente, perspicaz, persistente e com bom relacionamento social —, sofreu um acidente catastrófico: uma barra de ferro de 1 metro de comprimento e 6 kg atravessou o seu crânio. A haste entrou abaixo do olho esquerdo e saiu pelo topo da cabeça, destruindo uma porção considerável do lobo frontal esquerdo. Apesar da gravidade do acidente e de uma infecção no período de recuperação, Gage sobreviveu e, em pouco tempo, já caminhava pela cidade. A recuperação física foi rápida e surpreendente, mas as sequelas psíquicas foram irreparáveis: tornou-se agressivo, impulsivo, indeciso, impaciente e incapaz de seguir planos ou regras sociais. Elaborava planos para o futuro, mas logo os abandonava. Na tentativa de retornar ao trabalho, a companhia, percebendo que ele havia mudado para pior, decidiu não o contratar. Os amigos já não o reconheciam: “deixou de ser Gage”. Isto é, a parte do cérebro responsável por “travar” a impulsividade foi destruída, como ilustra a Figura 13 abaixo.

**Figura 13 – Representação de Phineas Gage e a lesão ocasionada pela haste de ferro.**



Fonte: Adaptado de Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 625).

Após a lesão, Gage viveu 12 anos. A barra de ferro e o seu crânio foram preservados num museu na Escola de Medicina de Harvard. Em 1994, os neurocientistas Hanna e António Damásio e colaboradores, da Universidade de Iowa, estudaram o crânio com a mais moderna tecnologia de imagem e confirmaram que a barra de ferro lesionou o córtex cerebral, especialmente o lobo frontal em ambos os hemisférios. Com isso, acredita-se que a perda de “travões” nos comportamentos de Gage pós-acidente tem uma relação direta com os comportamentos considerados inadequados na fase da adolescência, já que a região que controla tais comandos ainda está “em obras”. Herculano-Houzel (2005, p. 92) destaca:

O que bem poderia se aplicar a adolescentes em geral também descreve pacientes que sofreram lesões no córtex pré-frontal, a porção mais anterior do cérebro cuja função não é nem receber sinais do ambiente trazidos pelos sentidos, nem comandar diretamente os músculos do corpo – todas essas funções de regiões mais posteriores do cérebro. A semelhança entre adolescentes normais e esses pacientes não é mera coincidência: ao contrário, ela ilustra a importância do amadurecimento estrutural e funcional do córtex pré-frontal para a formação do comportamento adulto. Na verdade, a impulsividade, a incapacidade de antecipar consequências desastrosas de seus atos, a distração e o comportamento utilitário não surgem na adolescência; essas são características manifestas já no comportamento infantil.

Analogicamente, assim como a barra de ferro “desligou” o freio de Gage por meio de uma lesão estrutural, no adolescente esse freio — representado pelo córtex pré-frontal — pode ser compreendido como uma imaturidade funcional transitória, decorrente do processo de maturação neurobiológica, uma vez que essa região ainda se encontra em processo de

refinamento sináptico e mielinização, etapas fundamentais para o pleno desenvolvimento das funções executivas. A tabela abaixo compara semelhanças interessantes entre Phineas Gage e características comuns na adolescência:

**Quadro 3 – Comparativo de características semelhantes entre Phineas Gage pós-lesão e a fase da adolescência.**

PHINEAS GAGE	ADOLESCÊNCIA
Elaborava planos futuros, mas abandonava-os facilmente por impulsos imediatos.	Resistência ao estudo da matemática (plano futuro) por não perceber utilidade imediata, achar difícil ou por tédio (impulso imediato).
Dificuldade em antecipar consequências.	Dificuldade em antecipar as consequências acadêmicas de suas escolhas e comportamentos.
Tornou-se impaciente com obstáculos.	emonstram pouca tolerância à frustração e dificuldade no sequenciamento lógico ao encontrar um problema matemático complexo.

Fonte: Elaborado pela autora (2026) com base em Lent (2010), Bear, Connors e Paradiso (2017) e Herculano-Houzel (2005).

Contudo, a Matemática é, por excelência, uma disciplina que exige as funções do lobo frontal (lógica, abstração, sequenciamento e análise de erros). Durante a maturação dessa região, é fundamental que o professor, munido destas informações, atue como um “córtex pré-frontal externo” — uma espécie de “HD externo” —, fornecendo suporte nesta fase. Este profissional não ensina apenas números; ele “empresta” a sua capacidade de organização, persistência e visão de futuro para um cérebro que, biologicamente, ainda não possui estas ferramentas plenamente desenvolvidas.

Essa compreensão do professor como um “córtex pré-frontal externo” não é apenas uma metáfora pedagógica — ela encontra respaldo na própria biologia do cérebro. Ao oferecer organização, paciência e visão de futuro, o docente não está apenas ensinando conteúdos; está criando condições para que o cérebro do adolescente possa se reorganizar. Essa capacidade de reorganização, essa plasticidade, é justamente o que a neurociência denomina neuroplasticidade (Kandel et al., 2014).

Durante muito tempo acreditou-se que o cérebro adulto era uma estrutura rígida e imutável, como se, depois de certa idade, estivéssemos definitivamente “programados”. Hoje sabemos que não é bem assim. Aprendi isso não apenas nos livros, mas também na experiência vivida. Ao precisar elaborar o luto enquanto escrevia esta dissertação, percebi, inclusive em mim mesma, aquilo que a literatura descreve como reorganização neural diante de eventos emocionalmente significativos (Lent, 2010).

É essa mesma plasticidade que permite ao adolescente — com seu córtex pré-

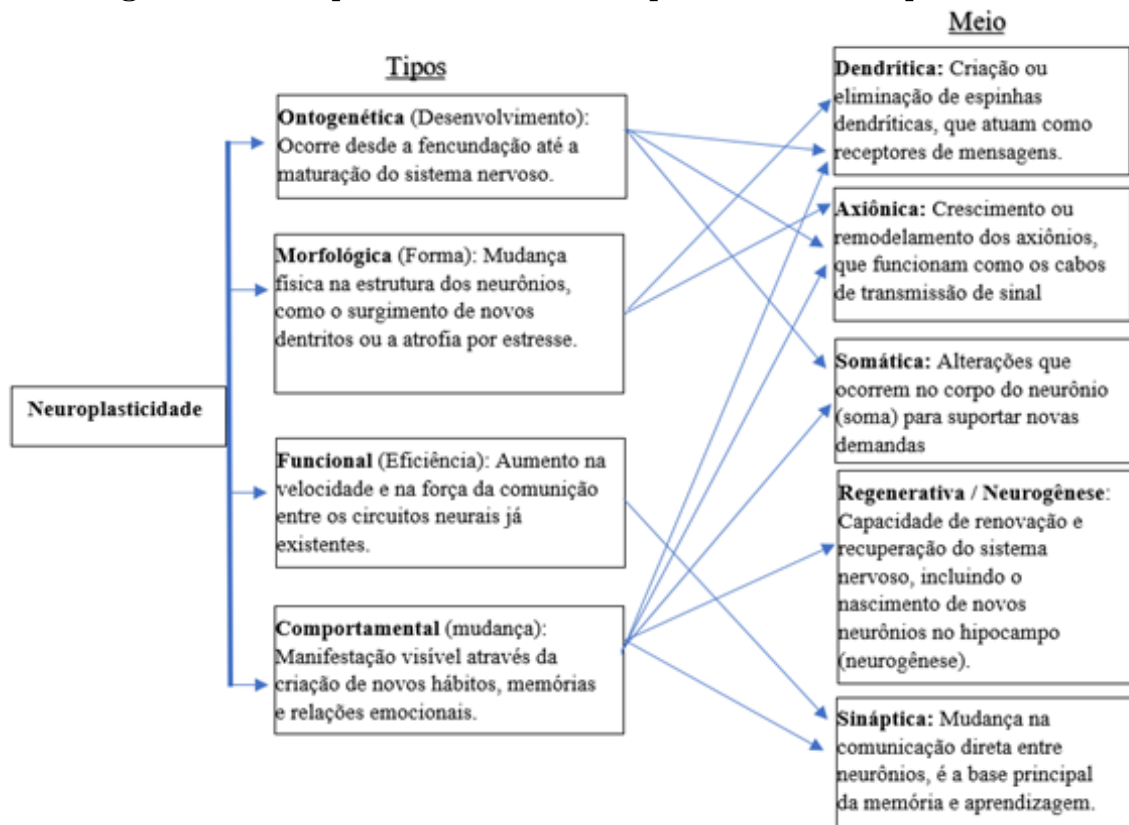
frontal ainda em processo de maturação, ou “em obras”, como descreve Suzana Herculano-Houzel (2005) — reconstruir gradualmente sua relação com a matemática. Cada intervenção acolhedora, cada erro ressignificado e cada pequeno avanço celebrado vai, aos poucos, contribuindo para a reorganização das conexões neurais. Nesse processo, o professor não é um mero espectador do aprendizado: ele se torna, em certa medida, um arquiteto de novas conexões sinápticas.

## 2.2 Neuroplasticidade: A capacidade dinâmica do cérebro

A neuroplasticidade refere-se à capacidade do sistema nervoso de modificar sua organização estrutural e funcional ao longo da vida, em resposta às experiências, aprendizagens, lesões ou mudanças no ambiente (Bear, Connors e Paradiso, 2017). Durante muito tempo, acreditou-se que o cérebro adulto era uma estrutura rígida e imutável (Herculano-Houzel, 2005). No entanto, avanços nas neurociências demonstraram que o encéfalo mantém, mesmo na vida adulta, a capacidade de reorganizar suas conexões neurais, evidenciando um sistema dinâmico, adaptativo e profundamente influenciado pela experiência.

Para Lent (2010), a neuroplasticidade é a capacidade que os neurônios têm de modificar sua estrutura física ou funcionalidade, de forma permanente ou duradoura, em resposta aos estímulos do ambiente externo. De acordo com o autor, esse fenômeno pode ser subdividido em alguns tipos, como ilustra o mapa conceitual na Figura 14, que sintetiza essa classificação, organizando visualmente os diferentes tipos de plasticidade e suas relações.

Figura 14 – Mapa Mental da Neuroplasticidade - Tipos e Meios.



Fonte: Elaborado pela autora (2026), adaptado de Lent (2010).

O tipo **ontogenético** se inicia no período embrionário e se estende até a adolescência, quando ocorre a maturação do sistema nervoso, como o desenvolvimento total do córtex pré-frontal. Cabe ressaltar que é nesta fase que ocorre o “período crítico”, momento em que tudo é novidade e descoberta. Classificada como a fase de maior neuroplasticidade, nela o organismo trabalha em sua potência máxima de desenvolvimento, criando conexões neurais que moldam a aprendizagem, comportamentos, valores e emoções. Se pensarmos nas conexões neurais como um percurso sendo criado, é nesse período que essa estrada é asfaltada. Ao discutir a transição dessa fase para a maturidade, Lent (2010) observa que:

Mesmo durante o desenvolvimento, há uma fase de grande plasticidade denominada período crítico, na qual o sistema nervoso do indivíduo é mais suscetível a transformações provocadas pelo ambiente externo. Depois que o organismo ultrapassa essa fase e atinge a maturidade, sua capacidade plástica diminui, ou pelo menos se modifica. Isso leva a supor, então, que a plasticidade ontogenética difere da plasticidade adulta, sendo ambos os dois grandes tipos de manifestação dessa propriedade geral do sistema nervoso. (Lent, 2010, p. 149).

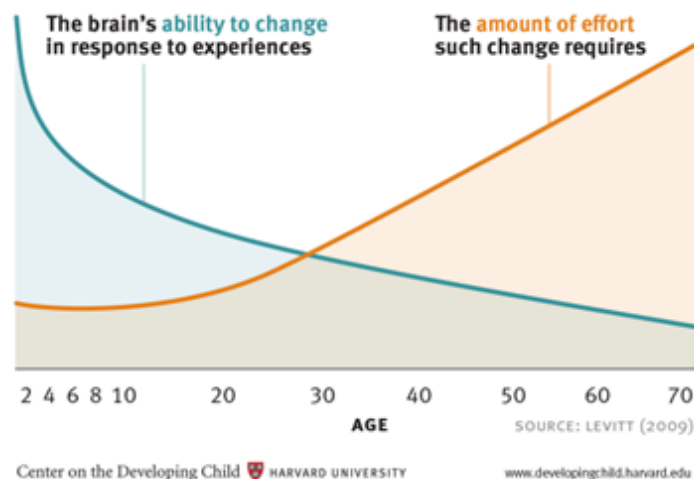
Essa definição de Lent (2010) converge com os estudos realizados pela Universidade de Harvard, que demonstraram que a capacidade da criança de desenvolver novas habilidades comportamentais e funções cognitivas (como a aprendizagem em seu sentido

amplo) é naturalmente maior nos primeiros anos de vida. Nessa fase, o processo é mais fluido e exige menos esforço fisiológico se comparado à fase adulta. Analisando a Figura 15, fica explícito que, à medida que a idade avança, um esforço e um investimento energético significativamente maiores devem ser empregados para a correção ou criação de novos hábitos e comportamentos. Utilizando uma analogia didática, é como comparar a escrita a lápis com a escrita à caneta: na primeira infância, as conexões neurais são como um rascunho a lápis, permitindo correções e ajustes com facilidade.

### 2.2.1 Plasticidade ontogenética e o período crítico

Já na vida adulta, os circuitos neurais assemelham-se a um documento formalizado à caneta; a estrutura já está fixada e, embora a mudança ainda seja possível através da plasticidade, ela exige um esforço de “rasura” e reescrita muito mais complexo e custoso ao organismo. Essa perspectiva apresentada por Lent (2010) encontra respaldo em pesquisas longitudinais conduzidas pela Universidade de Harvard, que reforçam a ideia de que a plasticidade apresenta maior intensidade nos primeiros anos de vida.

**Figura 15 – Relação entre a plasticidade cerebral (linha verde) e o esforço despendido para a aprendizagem ao longo da vida (linha Laranja).**



Fonte: Adaptado de Pat Levitt (2009); Harvard University.

Nesse contexto, surgem reflexões fundamentais sobre a importância de um acompanhamento integral desde a primeira infância. É necessário destacar que a figura do educador não se limita ao ambiente escolar, abrangendo também os pais e familiares como agentes essenciais nesse processo, visto que, nos primeiros anos de vida, o convívio social da criança ocorre, primordialmente, no núcleo familiar. É nesta etapa que os conceitos

matemáticos primordiais são introduzidos; o fato de o educador — seja ele o professor ou a família — mediar esse aprendizado de forma afetiva, didática e responsável torna-se o diferencial na vida da criança, construindo pontes para futuras abstrações. Contudo, essa maior dificuldade não significa impossibilidade, uma vez que a plasticidade adulta permanece ativa, embora sob outras condições e exigências energéticas maiores (Kandel et al., 2014).

Para finalizar a discussão deste tópico, além da plasticidade ontogenética, cabe dar ênfase à **plasticidade comportamental**. Esta pode ser compreendida como a manifestação da neuroplasticidade “visível a olho nu”, expressa por meio de comportamentos modificados e da aquisição de novas competências (Bear, Connors e Paradiso, 2017). É fundamental destacar que, para que se atinja esse nível de mudança observável, os demais tipos de plasticidade — como a **morfológica**, a **funcional** e a própria **ontogenética** (conforme a Figura 14) — atuam como pilares precedentes.

Para compreendermos a profundidade desse conceito, é necessário conhecer dois processos fundamentais: a **neuroplasticidade sináptica** e a **neurogênese**. Para isso, convido o leitor a ativar seus “neurônios da imaginação” ao observar a Figura 16. Imagine-se em uma trilha, na posição de observador: em determinado momento, você sentiria curiosidade de experimentar um novo percurso para descobrir aonde ele poderia levar? Ou, talvez, consideraria buscar um atalho para atingir o destino final com mais rapidez?

Uma experiência vivenciada recentemente ilustra com precisão esse questionamento. Durante uma caminhada em família, encontrávamo-nos em uma trilha extensa e bem demarcada, cercada por vegetação densa. Com o passar do tempo, o cansaço e a sensação de desorientação surgiram à medida que o caminho parecia se alongar além do esperado. Diante disso, duas possibilidades se apresentavam: continuar pela estrada já conhecida, segura e previsível, ou arriscar-se a desbravar a vegetação ao redor, criando uma nova rota de retorno.

Essa situação pode ser compreendida como uma analogia direta ao funcionamento do encéfalo humano. As trilhas bem definidas representam as conexões sinápticas já consolidadas — circuitos neurais fortalecidos pela repetição, responsáveis por comportamentos automatizados, rotinas e padrões mentais habituais. Esses caminhos, embora eficientes, tendem a ser percorridos de forma automática, exigindo menor esforço cognitivo. Por outro lado, a decisão de seguir um novo percurso, buscar um “atalho” ou abrir uma

nova rota simboliza a capacidade do cérebro de reorganizar-se estrutural e funcionalmente, fenômeno conhecido como neuroplasticidade.

**Figura 16 – Analogia visual para os processos de Neuroplasticidade Sináptica e Neurogênese.**



Fonte: Elaborada pela autora (2026), com auxílio de inteligência artificial.

Essa imagem da trilha (Figura 16) – com seus caminhos consolidados e atalhos possíveis – nos ajuda a compreender os dois mecanismos fundamentais da neuroplasticidade: a plasticidade sináptica, que fortalece ou enfraquece as conexões existentes, e a neurogênese, que cria novos percursos neurais. É o que exploraremos a seguir.

### 2.2.2 Plasticidade sináptica, neurogênese e o papel do BDNF (“fertilizante neural”)

No contexto educacional e ao longo da vida adulta, a neuroplasticidade manifesta-se primordialmente por meio de dois mecanismos complementares:

1. **Plasticidade Sináptica:** caracteriza-se pelo fortalecimento ou pela criação de novas conexões entre neurônios já existentes (Oliveira e Santos, 2021). Assim como pequenos atalhos que se formam a partir de uma trilha principal, esse processo permite novas formas de percorrer circuitos neurais previamente estabelecidos, constituindo o principal substrato biológico da aprendizagem.
2. **Neurogênese:** corresponde à formação de novos neurônios em regiões específicas do cérebro, como o hipocampo — estrutura intimamente relacionada à memória (Kandel et al., 2014). Metaforicamente, pode ser comparada à decisão de abrir um novo caminho em meio à mata fechada (como ilustra a Figura 16): trata-se de um processo que demanda gasto energético, esforço contínuo e a repetição da passagem por esse

percurso para que ele se consolide. Na fase adulta, a neurogênese, embora mais restrita, permanece possível e depende de condições ambientais favoráveis. Kandel et al. (2014), Lent (2010) e Ratey e Hagerman (2012) defendem que práticas como a atividade física, a qualidade do sono, a leitura e hábitos de vida que minimizem o estresse figuram entre os fatores associados à manutenção e à modulação positiva desse processo. Nas palavras de Ratey e Hagerman (2012, p. 51):

O que é bom para o coração também é bom para o cérebro. O exercício aeróbico não apenas melhora o condicionamento físico, mas também aumenta a capacidade de aprender e reter informações. Isso acontece porque o exercício estimula a liberação de BDNF, que fortalece as sinapses e facilita a consolidação da memória.

Sobre a neurogênese em adultos, Lent (2010), Kandel et al. (2014) e Oliveira e Santos (2021) observam que ainda se discute se ela atua apenas como reposição celular ou se participa ativamente dos mecanismos de plasticidade. Os autores destacam que fatores ambientais exercem influência direta nesse processo: o exercício físico, por exemplo, estimula a neurogênese via formação de novos vasos sanguíneos e a liberação de fatores neurotróficos.

Dentre esses fatores, destaca-se o BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor), frequentemente descrito na literatura científica como o “fertilizante dos neurônios” (Ratey e Hagerman, 2012). Na analogia da trilha, seria o responsável por deixar a vegetação verdinha, saudável. Conforme postulam Ratey e Hagerman (2012), em sua obra *Corpo Ativo, Mente Desperta*, o BDNF é uma proteína essencial que atua não apenas na sobrevivência dos neurônios existentes, mas também favorece o crescimento de novas sinapses e a estabilização das conexões já estabelecidas.

Na aprendizagem matemática, altos níveis de BDNF funcionam como um suporte biológico que facilita a Potenciação de Longa Duração (LTP), otimizando a arquitetura cerebral e preparando o terreno para que o esforço cognitivo se transforme em memória de longo prazo (como veremos no Capítulo 3).

Em contrapartida, o estresse comportamental inibe esse mecanismo por meio da secreção de glicocorticoides (como o cortisol, conhecido como o hormônio do estresse); tais substâncias atuam de forma antineurogênica, prejudicando os novos neurônios ou até causando atrofia nos já existentes, o que enfraquece a LTP. Segundo Lent (2010, p. 176):

A proliferação de percursos neurais provocada por essas influências ambientais resulta na integração de uma parcela de novos neurônios aos circuitos do hipocampo onde eles se tornam funcionais. Na vigência desses fatores ambientais pró ou antineurogênicos, a LTP aumenta ou diminui correspondentemente.

Embora mais restrita no cérebro adulto, a neurogênese evidencia que o encéfalo não é uma estrutura fixa ou imutável, mas um sistema dinâmico, capaz de adaptar-se às demandas do ambiente e de construir novos caminhos para o conhecimento ao longo da vida. Ao estabelecer um diálogo com a aprendizagem matemática, observa-se que o ambiente criado em sala de aula deve ter como princípio a ativação positiva das conexões neurais já existentes dos alunos. Ao promover um espaço acolhedor, dinâmico e seguro — favorecendo a ativação de circuitos emocionais positivos e minimizando indícios de estresse —, o professor oferece estímulos pró-neurogênicos que contribuem para o fortalecimento da LTP, permitindo que a neuroplasticidade ocorra de forma positiva e transformadora. Como argumenta Kandel et al. (2014), as modificações sinápticas constituem o principal substrato celular da memória, indicando que a experiência deixa marcas estruturais no sistema nervoso.

Em contextos opostos, a Depressão de Longa Duração (LTD) pode ser favorecida, reduzindo a eficiência da comunicação sináptica, segundo Kandel et al. (2014). Retomando a analogia da trilha, se a estrada principal representar o medo que o aluno sente da matemática, esse caminho pode ser progressivamente enfraquecido e, na ausência de manutenção (LTP), tornar-se menos acessível, sendo simbolicamente “encoberto” pela vegetação (LTD). Paralelamente, novos atalhos podem ser construídos e fortalecidos, representando o desbloqueio cognitivo e a aprendizagem matemática.

Nesse processo de ressignificação, o papel do professor mostra-se central, uma vez que ele pode auxiliar o aluno tanto no fortalecimento de novos percursos sinápticos (LTP) quanto no enfraquecimento de antigos bloqueios (LTD). Essas duas vertentes relacionam-se, em grande medida, a um elemento sob influência direta do docente: sua didática. Um profissional que compreende os fundamentos da neurociência pode, assim, conduzir seus alunos à construção de trilhas mais favoráveis à aprendizagem, superando barreiras previamente consolidadas.

Embora os achados da neurociência ofereçam fundamentos relevantes para compreender os processos de aprendizagem, é necessário evitar reducionismos biológicos. A plasticidade não atua de forma isolada, mas em constante interação com fatores históricos, culturais e sociais que atravessam a trajetória do estudante. Por essa ótica, a perspectiva histórico-cultural de Vygotsky contribui significativamente para ampliar a discussão. Vygotsky defende que toda função psicológica superior aparece primeiro no plano social para, posteriormente, internalizar-se no plano individual (Vygotsky, 2008). Isto nos

permite compreender que a plasticidade neural não se limita a um mecanismo orgânico, puramente biológico, mas responde às interações sociais que mediam o desenvolvimento. A reorganização sináptica descrita por Lent (2010) e Kandel et al. (2014) encontra, assim, no ambiente cultural e nas práticas educativas, o seu campo de ativação.

É precisamente nesse ambiente social – mediado pelo outro, pela cultura e pelas práticas educativas – que as estruturas neurais mais diretamente envolvidas com a emoção e a memória ganham relevo. A seguir, focaremos em duas dessas estruturas – a amígdala e o hipocampo –, centrais para compreender como as experiências emocionais se inscrevem no cérebro e modulam a aprendizagem matemática. Embora tradicionalmente associadas ao chamado “sistema límbico”, essas regiões serão abordadas aqui como componentes de redes neurais integradas, conforme a visão contemporânea da neurociência (Bear, Connors e Paradiso, 2017; LeDoux, 2011).

### **2.3 A influência do ambiente e os neurônios-espelho: o professor como modelo**

O descompasso entre o amadurecimento das regiões neurais associadas ao processamento emocional e o córtex pré-frontal — este último responsável pelas funções executivas, pelo planejamento e pelo controle inibitório — é amplamente discutido na literatura sobre desenvolvimento cerebral na adolescência (Herculano-Houzel, 2005; Lent, Lent (2010)). Ainda que esses autores não utilizem sistematicamente o termo, o fenômeno pode ser compreendido como um desenvolvimento assíncrono entre sistemas neurais que evoluem em ritmos distintos — o que a biologia do desenvolvimento denomina heterocronia. O conceito foi originalmente introduzido por Ernst Haeckel (1875) e posteriormente sistematizado por Gavin de Beer (1930), sendo retomado e popularizado por Stephen Jay Gould (1977) em sua obra *Ontogeny and Phylogeny*.

No campo da psicologia do desenvolvimento, Senna e Dessen (2012) empregam esse conceito para caracterizar a adolescência como um período marcado pelo descompasso entre maturação biológica e aquisição de competências psicossociais — uma perspectiva que converge com as evidências neurocientíficas apresentadas por Herculano-Houzel (2005) sobre a reorganização cerebral típica dessa fase.

Nesse contexto, a compreensão do papel do ambiente torna-se central. Estudos sobre aprendizagem social indicam que grande parte dos comportamentos humanos é construída por meio da observação e da interação com modelos significativos (Senna e Dessen, 2012). No campo da neurociência, Herculano-Houzel (2005) apresenta a descoberta

dos chamados neurônios-espelho, identificados por pesquisadores italianos na década de 1990, que se ativam tanto quando o indivíduo executa uma ação quanto quando observa outro realizá-la. Segundo a autora, esse sistema pode contribuir para fenômenos como empatia, imitação e compreensão de intenções. Conforme assinala Herculano-Houzel (2005, p. 103):

Esses neurônios podem ser a base para fenômenos desde a comunicação gestual até a intuição de intenções alheias e a empatia, por permitirem que o observador experimente ‘no próprio cérebro’ o que o outro está fazendo.

Kandel et al. (2014) destacam que essa capacidade de “simular” o outro é fundamental para a cognição social, permitindo que a gente antecipe comportamentos, compreenda intenções e, principalmente, se conecte emocionalmente. A gente costuma pensar que o ambiente nos afeta apenas no campo das sensações, daquele “clima” que sentimos ao entrar num lugar. Mas a verdade é que essa influência não é só percepção subjetiva — ela tem base biológica, e das mais profundas.

Você já deve ter passado por isso: você entra num velório e, sente o peso do ambiente (mesmo sem conhecer direito a pessoa que partiu). O corpo fala. O tom de voz baixa. O riso some. Por outro lado, chega numa festa, confraternizações e, em poucos minutos, está contagiado pela energia, pelo sorriso alheio, pela vontade de celebrar junto. Não é coincidência. É neurobiologia em ação.

Agora, transporta isso para dentro de uma sala de aula.

O aluno chega. Muitas vezes, chega carregado. Pode vir de uma manhã difícil, de uma noite mal dormida, de uma relação complicada com a Matemática que se arrasta desde o ensino fundamental. Vem com aquele peso nos ombros, aquele “não vou conseguir” tatuado na testa. E aí ele encontra o professor. Se o professor entra na sala com um sorriso genuíno, com uma postura aberta, com um olhar que acolhe em vez de julgar, algo começa a mudar ali. Não é mágica. É neurociência. O sistema de neurônios-espelho do aluno capta aquela assinatura emocional e dispara internamente os mesmos circuitos. O cérebro dele recebe a mensagem: “aqui é seguro”. E quando o cérebro se sente seguro, ele se abre para aprender. Libera dopamina, o neurotransmissor do prazer e da motivação, e associa aquele ambiente — a sala, a matéria, o professor — a uma experiência positiva.

Como apontam Oliveira e Santos (2021), a postura do educador não é um acessório didático, mas parte estruturante do processo de ensino-aprendizagem. Um sorriso, uma palavra de incentivo, uma abordagem mais lúdica diante de um conteúdo difícil —

tudo isso funciona como uma chave que desarma o sistema defensivo do aluno e o convida a entrar.

Mas o contrário também é verdadeiro. Se o professor entra na sala com a cara fechada, com a postura de quem carrega o peso do mundo, com o discurso de que Matemática é “difícil”, “não é para todo mundo”, o espelho do aluno reflete isso. O cérebro capta a mensagem de perigo, de desprazer, de evitação. E o que acontece? O bloqueio se instala. A matéria vira ainda mais distante. E o aluno sai da aula com a mesma sensação com que entrou: a de que ali não é lugar para ele.

O que a neurobiologia da empatia nos mostra é que o professor não ensina apenas com o que diz. Ele ensina com o que é. Com o corpo. Com o tom. Com o afeto. Desde o momento em que pisa na escola, passando pelo corredor, pelo cumprimento ao porteiro, pela forma como entra na sala e olha para cada aluno — tudo isso é lido, interpretado e espelhado.

Ensinar com prazer não é “balela” pedagógica. É estratégia neurocientífica. Quando o professor ensina com autenticidade e alegria, ele não transmite apenas conteúdos. Ele projeta um estado emocional que convida o outro a sentir o gosto pela descoberta. E nesse movimento, o conhecimento deixa de ser um objeto distante e vira uma experiência compartilhada.

O professor, nessa perspectiva, não é só um transmissor de saber. Ele é um regulador emocional. Um espelho. E às vezes, o primeiro a refletir para o aluno uma imagem que ele nunca viu de si mesmo: a de que é capaz.

Essa descoberta possui implicações profundas para as relações sociais e também para a aprendizagem da matemática. O dito popular “Maria vai com as outras” pode ser relacionado diretamente à influência do ambiente e de como as pessoas moldam o comportamento humano, em especial nesse período de imaturação cerebral. Nas escolas, é comum observarmos comportamentos de grupo nem sempre positivos que um aluno inicia e os demais reproduzem; aqui reside a importância da supervisão de adultos, como a família e, no contexto escolar, os professores e a gestão. Ainda nessa linha de raciocínio, se os neurônios-espelho permitem que o observador experimente “no próprio cérebro” o que o outro faz, o professor deixa de ser um mero transmissor de fórmulas para se tornar um modelo biológico de comportamento cognitivo (Herculano-Houzel, 2005).

Embora não se deva atribuir a esse mecanismo uma explicação isolada para comportamentos complexos, sua existência reforça a relevância do ambiente social no

desenvolvimento. A observação de atitudes, posturas e estratégias cognitivas constitui parte do processo formativo do adolescente. Em contexto escolar, isso significa que comportamentos — positivos ou negativos — tendem a ser internalizados a partir da convivência cotidiana.

No âmbito da aprendizagem matemática, essa perspectiva adquire significado particular. A Matemática exige organização lógica, tolerância à frustração, sequenciamento de etapas e persistência diante de erros — competências associadas às funções executivas do córtex pré-frontal (Lent, 2010; Bear, Connors e Paradiso, 2017). Se tais funções ainda estão em consolidação durante a adolescência, o ambiente pedagógico pode exercer papel estruturante ao oferecer modelos de raciocínio organizado e autorregulação emocional.

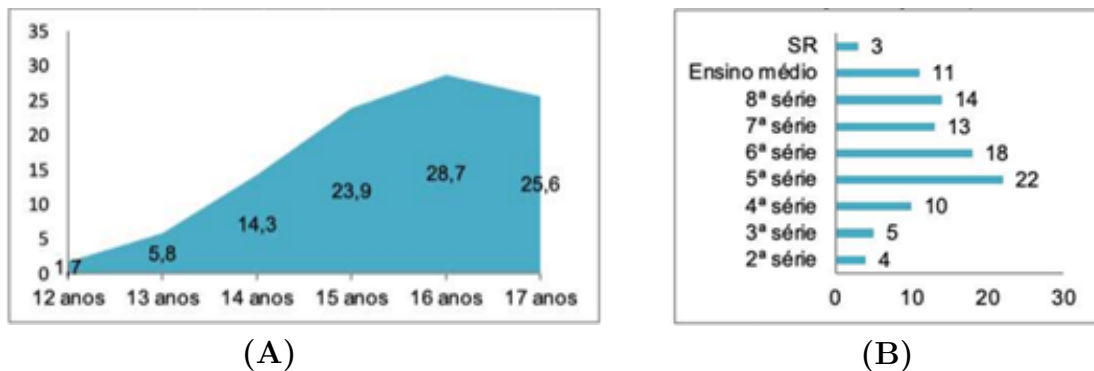
Assim, o professor deixa de ocupar apenas o lugar de transmissor de conteúdos e passa a constituir-se como referência cognitiva e comportamental. Quando demonstra calma na resolução de um problema, explicita o passo a passo do raciocínio ou reformula um erro como oportunidade de aprendizagem, ele contribui para a construção de estratégias que podem ser progressivamente internalizadas pelos estudantes. Tal processo não decorre exclusivamente de mecanismos neurais específicos, mas de uma interação complexa entre desenvolvimento biológico, mediação social e práticas pedagógicas.

#### **2.4 Heterocronia e vulnerabilidade: quando o biológico encontra o social**

Por outro lado, ambientes marcados por tensão constante, desorganização ou ausência de suporte tendem a dificultar o exercício das funções executivas em formação. A literatura em neurociência indica que situações prolongadas de estresse podem interferir em processos de atenção e memória (Lent, 2010) elementos fundamentais para a consolidação do conhecimento matemático. Isso não implica afirmar que dificuldades escolares tenham causa exclusivamente neurobiológica, mas reconhecer que fatores emocionais e contextuais interagem com o desenvolvimento cerebral.

Essa interação entre fatores neurobiológicos e contextuais torna-se particularmente evidente quando analisamos populações em situação de vulnerabilidade. É o que revelam os dados do Conselho Nacional de Justiça (CNJ) e do Levantamento Nacional SINASE (Brasil, 2025) referentes a adolescentes em conflito com a lei. Observa-se a presença recorrente de vulnerabilidades sociais, distorção idade-série e ausência de suporte socioemocional, como ilustra a Figura 17.

**Figura 17 – Distribuição de jovens por idade no ato da infração (A) e por série escolar (B).**



Fonte: Conselho Nacional de Justiça, 2019. [NÃO ENCONTREI ESSA REFERÊNCIA]

Tais fatores não podem ser reduzidos a explicações biológicas. Contudo, a imaturidade das funções executivas — característica do período adolescente — pode constituir um elemento adicional que, em interação com condições sociais adversas, contribui para maior impulsividade e dificuldade de planejamento a longo prazo. Trata-se, portanto, de um fenômeno multifatorial, no qual o biológico e o social se entrelaçam. Essa perspectiva converge com a visão de Vygotsky (2008), para quem o desenvolvimento das funções psicológicas superiores ocorre justamente na intersecção entre o biológico e o social, mediado pela cultura e pelas interações.

Dessa forma, a criação de um ambiente escolar estruturado, previsível e emocionalmente seguro não é apenas uma escolha pedagógica, mas uma condição que favorece o exercício das competências cognitivas em desenvolvimento. A articulação entre neurociência e educação, longe de biologizar questões sociais, busca compreender o estudante em sua totalidade — reconhecendo que a aprendizagem matemática envolve cérebro, emoção, contexto e mediação.

### 3 OS ALICERCES DA MEMÓRIA E OS FACILITADORES DA APRENDIZAGEM

Para compreender como o adolescente processa o conhecimento lógico-formal, especialmente no campo da matemática, é necessário distinguir aprendizagem e memória — conceitos indissociáveis, mas funcionalmente distintos no processamento cerebral.

Segundo Bear, Connors e Paradiso (2017), aprendizagem refere-se à aquisição de novos conhecimentos ou habilidades, enquanto memória diz respeito à retenção dessas informações ao longo do tempo. Lent (2010) converge com essa definição ao afirmar que memória é a capacidade de armazenar e evocar informações, podendo operar de maneira consciente ou inconsciente. A aprendizagem, nesse sentido, constitui a etapa inicial do processo, marcada pela captação e codificação da experiência.

Sob a ótica da neurobiologia celular, Eric Kandel — laureado com o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina (2000) — aprofunda essa compreensão ao demonstrar que aprendizagem e memória produzem alterações estruturais concretas no encéfalo (Kandel et al., 2014). Para o autor, a formação da memória de longa duração envolve a expressão gênica — o processo pelo qual a informação codificada em um gene é transformada em uma função (Kandel et al., 2014). Esse mecanismo atua como um “interruptor liga/desliga”, que controla quando e onde as moléculas de RNA e proteínas são produzidas, e como um “controle de volume”, que determina a quantidade desses produtos gerados.

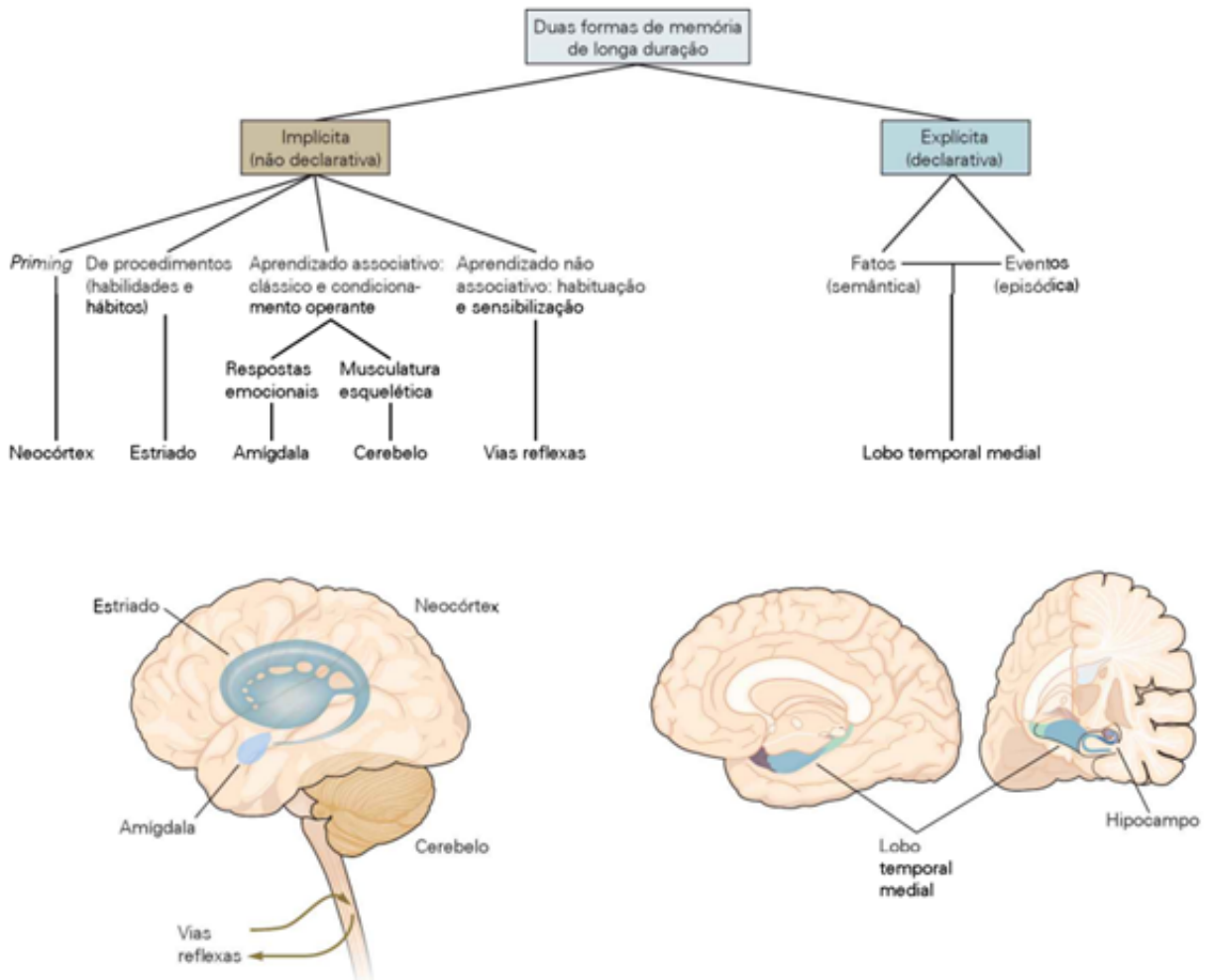
Esse processo de expressão resulta na síntese proteica e na modificação da eficácia sináptica, resultando no fortalecimento ou na criação de novas conexões neurais. Assim, a aprendizagem pode ser compreendida como o processo pelo qual o encéfalo modifica seu funcionamento em resposta à experiência, enquanto a memória representa a persistência dessas modificações ao longo do tempo. Não se trata, portanto, de fenômenos abstratos, mas de eventos biológicos mensuráveis que se manifestam na reorganização das redes neurais; isto é, o ato de aprender matemática modifica fisicamente a configuração do cérebro.

#### 3.1 Classificação quanto à natureza: explícita (semântica e episódica) e implícita (procedimental, associativa e não associativa)

Kandel et al. (2014) distinguem duas grandes categorias de memória de longa duração que se complementam no aprendizado matemático. Esses dois sistemas envolvem

circuitos neurais distintos, mas complementares. A aprendizagem matemática mobiliza múltiplas redes cerebrais: a declarativa para a compreensão conceitual e a implícita para a automatização procedimental. Como ilustra a Figura 18:

**Figura 18 – Formas de memória de longa duração.**



Fonte: Kandel et al. (2014, p. 1275).

Para melhor compreensão, e com base na Figura 18, descrevo abaixo a relação das memórias na aprendizagem matemática sob a ótica de Kandel et al. (2014) e Bear, Connors e Paradiso (2017):

- **Memória Explícita (ou Declarativa):** Envolve a recordação consciente de fatos e eventos. É o sistema utilizado para armazenar fórmulas, conceitos geométricos e definições algébricas. Depende fundamentalmente da atenção seletiva e da reflexão, isto é, resulta de um esforço consciente. “São frequentemente fáceis de formar e, também, facilmente esquecidas” (Bear, Connors e Paradiso, 2017, p. 825). Faz uso do sistema do lobo temporal medial, com destaque para o hipocampo. E podem ser

classificadas como:

- **Fatos (Memória Semântica):** Funciona como o arquivo de conhecimentos sobre o mundo, como nomes, lugares, regras gramaticais e fórmulas matemáticas. É o “saber o que é”.
- **Eventos (Memória Episódica):** É a memória autobiográfica, referente a momentos individuais vividos em tempo e lugar específicos, como a experiência marcante de um exame de qualificação (ENQ).
- **Memória Implícita (ou Não Declarativa):** Opera de forma automática e inconsciente, abrangendo habilidades motoras e hábitos, resulta diretamente da experiência pessoal. É obtida através da repetição, sem a necessidade de recordação consciente, “exige repetição e prática durante um período mais longo, mas essas memórias são menos prováveis de ser esquecidas” (Bear, Connors e Paradiso, 2017, p. 825). Divide-se em:
  - **Priming (Preparação):** Ocorre no neocórtex; é a facilitação do processamento de um estímulo após exposição prévia a ele.
  - **Habilidades e Hábitos (Procedural):** Envolve o aprendizado motor e cognitivo automatizado (como a execução rápida de um algoritmo de multiplicação), ocorrendo no estriado.
  - **Aprendizado Associativo:**
    - \* *Condicionamento Clássico:* Associa um estímulo neutro a um significado. Na matemática, o medo pode surgir ao não se compreender o significado de símbolos (como o logaritmo) experiências repetidas de frustração podem envolver circuitos neurais associados ao processamento emocional, como a amígdala.
    - \* *Condicionamento Operante (ou instrumental):* Refere-se à relação entre uma ação e sua consequência, sendo que a motivação desempenha um papel fundamental nesse processo. No contexto educacional, o comportamento do estudante é moldado pelos resultados de suas ações: a recompensa (reforço positivo) por um bom rendimento escolar — como a obtenção de prêmios ou privilégios — ou a punição, como a restrição de acesso a dispositivos eletrônicos em caso de baixo desempenho acadêmico. Esse sistema de reforços influencia diretamente a prontidão do cérebro para consolidar novos conhecimentos. O sistema dopaminérgico é mobilizado

pelo condicionamento operante, sendo essencial, no ambiente escolar, para manter o engajamento e a persistência do aluno diante de problemas matemáticos complexos.

– **Aprendizado Não Associativo:**

- \* **Habituação:** Refere-se à redução progressiva da resposta comportamental ou neural diante da repetição de um estímulo neutro (inofensivo ou insignificante) (Bear, Connors e Paradiso, 2017; Kandel et al., 2014). Trata-se de um mecanismo adaptativo do sistema nervoso, que permite economizar recursos atencionais ao filtrar estímulos considerados irrelevantes.

No contexto escolar, a habituação pode manifestar-se quando determinado conteúdo deixa de mobilizar a atenção do estudante por não ser percebido como significativo. Em matemática, isso ocorre com frequência em tópicos de maior abstração formal — como operações com frações algébricas — nos quais muitos alunos relatam dificuldade de assimilação e questionam sua aplicabilidade prática, expressando indagações recorrentes como: “Para que vou usar isso na minha vida?”. Tal questionamento revela não apenas uma dúvida utilitária, mas um enfraquecimento do vínculo entre o conteúdo apresentado e os sistemas motivacionais e atencionais do aprendiz.

Quando a explicação é reiterada sem mediação que estabeleça conexões com experiências concretas ou contextos significativos, o sistema nervoso pode passar a classificar esse estímulo como irrelevante, reduzindo progressivamente sua resposta neural — processo característico da habituação (Bear, Connors e Paradiso, 2017; Kandel et al., 2014). Como consequência, observa-se diminuição da ativação de circuitos relacionados à atenção e à codificação, o que reduz a probabilidade de participação efetiva do hipocampo na consolidação da memória de longa duração Kandel et al. (2014).

É importante distinguir esse processo da **automatização procedimental**, que não constitui habituação, mas resulta do fortalecimento e da estabilização de circuitos neurais por meio da prática significativa. A automatização envolve modificações sinápticas dependentes da experiência e reorganização funcional de redes corticoestriatais, permitindo que tarefas inicialmente dependentes de controle executivo intenso se tornem progressivamente mais eficientes (Kandel et al., 2014; Ratey e Hagerman, 2012). No caso da resolução de uma equação do 2<sup>o</sup> grau, por exemplo, o esforço inicial mobiliza intensamente o córtex pré-frontal — associado ao controle executivo e à memória de trabalho —, enquanto a prática compreensiva favorece maior participação de circuitos

como o estriado, relacionados à memória procedimental. Diferentemente da habituação — que implica redução de resposta a estímulos considerados irrelevantes —, a automatização decorre do refinamento funcional de circuitos que permanecem relevantes e são fortalecidos pelo uso repetido e significativo.

*Sensibilização*: Refere-se ao aumento da resposta após uma experiência nociva, possuindo relação direta com a amígdala. Exemplo: após falhar repetidamente em um problema, o aluno assume que “não entende matemática”, exacerbando sua reação negativa a novos desafios. Segundo Kandel et al. (2014, p. 1277):

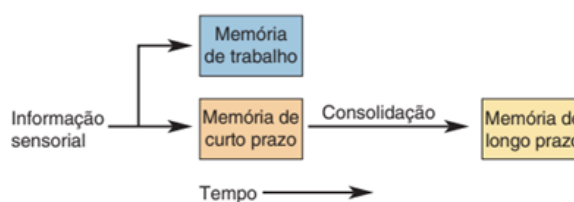
Quando se depara repetidamente com o estímulo inócuo, um animal habitua-se a ele. Entretanto, diante do estímulo nocivo, o animal aprende a temê-lo, respondendo vigorosamente não somente ao estímulo nocivo, mas também a estímulos relacionados (mesmo que inócuos). Portanto, reflexos defensivos, como a retirada e a fuga, tornam-se intensificados. Esse aumento da resposta reflexa é chamado de sensibilização.

Aqui reside a importância de o professor utilizar estratégias diversas e atrativas para evitar a habituação constante e, simultaneamente, prevenir a sensibilização negativa — como a gerada por práticas pedagógicas baseadas na intimidação ou na exposição punitiva do erro (“terrorismo matemático”), o que justifica o comportamento defensivo de muitos alunos ao “revirarem os olhos” diante da disciplina.

### 3.1.1 Classificação quanto à duração: consolidação e o papel do sono

Vimos que as memórias de longa duração podem ser subdivididas basicamente em dois tipos: **explícita** e **implícita**. Contudo, essa classificação não garante que as informações não possam ser esquecidas. Tal fenômeno está relacionado à forma como a consolidação do conhecimento acontece, tendo em vista que esse “alicerce” não é obtido de forma instantânea, mas sim através de um processo que atravessa distintos estágios temporais. A transição da informação recebida e sua permanência dependem de mecanismos de retenção e processamentos diferenciados, conforme ilustrado abaixo:

**Figura 19 – Consolidação da memória.**



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 828).

Descrevendo a ilustração acima, segundo a obra *Neurociências: Desvendando o Sistema Nervoso* (2017), as **informações sensoriais** são a “porta de entrada” dos dados: estímulos visuais, auditivos e somatossensoriais que chegam ao encéfalo. No contexto da aula de matemática, é o momento em que o aluno observa o professor, sua escrita no quadro e ouve a explicação.

A maior parte das informações recebidas pelo cérebro é mantida temporariamente (na ordem de horas) e pode ser chamada de **memória de curto prazo**. Esta difere da **memória de trabalho**, que retém as informações com duração na ordem de segundos: manter uma memória viva pela repetição é o objetivo da memória de trabalho e pode ser convertida em memória de curto prazo (Bear, Connors e Paradiso, 2017). Isto é, se o indivíduo parar de pensar nessa informação, ela desaparece.

Por exemplo, é comum que, antes de uma avaliação de matemática, os alunos repitam incansavelmente uma fórmula para não esquecerem, chegando a dizer: “Entrega logo a prova, professor(a), senão esqueço tudo!”. Vale ressaltar que, infelizmente, o estudante munido apenas dessa técnica de memorização momentânea não aprendeu o conceito de forma significativa; ele apenas o mecanizou temporariamente (Oliveira e Santos, 2021).

Tal comportamento difere totalmente da memória de longo prazo, que permite a recordação por dias, meses ou anos após a retenção da informação. Como afirmam Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 870): “a informação que constitui a memória de longo prazo representa, naturalmente, apenas uma fração daquilo que experimentamos diariamente. A maior parte da informação é mantida no encéfalo apenas temporariamente”.

Assim, um dos objetivos do ensino de matemática é que os conceitos fundamentais — como as operações básicas e funções — vistos no Ensino Fundamental e Médio, atinjam o estágio da memória de longo prazo, tornando-se parte da bagagem cognitiva permanente do estudante. O que separa a memória de curto prazo da memória de longo prazo é o processo de consolidação (ilustrado pela seta na Figura 19). Unindo esses conceitos à neurobiologia celular, essa consolidação seria o equivalente ao “encapar” os caminhos neurais através da mielinização das conexões que são repetidas e consideradas significativas. Esse processo físico e temporal só ocorre se houver a expressão gênica e a síntese proteica descritas pelo National Human Genome Research Institute (NHGRI, 2026) e por Kandel et al. (2014). Vale ressaltar que, por muito tempo no contexto educacional, a memorização foi supervalorizada, mas isso não implica que a aprendizagem tenha, de fato, ocorrido.

Um exemplo claro dessa distinção são os “bizus” propagados nas redes sociais, como o macete para a tabuada do 9: o aluno escreve de 0 a 9 em ordem crescente para as dezenas e de 9 a 0 em ordem decrescente para as unidades. Embora pareça interessante, aqui reside o “nó” da questão: se questionarmos esse mesmo aluno sobre quanto é  $9 \times 6$ , ele possivelmente tentará recriar toda a sequência visual em vez de utilizar a formação lógica da multiplicação (como o raciocínio de  $9 \times 5 + 9$ ).

**Figura 20 – Macete para tabuada do 9.**

1	x	9 =	0	9
2	x	9 =	1	8
3	x	9 =	2	7
4	x	9 =	3	6
5	x	9 =	4	5
6	x	9 =	5	4
7	x	9 =	6	3
8	x	9 =	7	2
9	x	9 =	8	1
10	x	9 =	9	0

Fonte: Tabuada Online (2012).

A matemática, portanto, exige o diálogo constante entre memória explícita e implícita, mediado por experiências que promovam estabilidade sináptica e sentido cognitivo. Neste contexto, a consolidação de um conceito complexo requer tempo e repetição para que ocorram as modificações sinápticas associadas à estabilização da memória: “Em todas as formas de aprendizado, a prática leva à perfeição. Experiências repetidas convertem a memória de curta duração em memória de longa duração” (Kandel et al., 2014, p. 1281).

Vale ressaltar que tais modificações não ocorrem isoladamente no plano biológico, mas são desencadeadas por experiências mediadas culturalmente. Essa perspectiva é reforçada por Kandel et al. (2014, p. 1293), ao afirmarem que:

Devido ao fato de cada indivíduo ser criado em um ambiente de certo modo diferente, ter vivenciado combinações diferentes de estímulos e ter desenvolvido habilidades motoras de diferentes modos, cada encéfalo é modificado de maneira única. Essas modificações ímpares na arquitetura encefálica, juntamente com a composição genética única, constituem a base biológica da individualidade.

Essa clareza exposta por Kandel permite estabelecer um diálogo direto com a **Teoria Histórico-Cultural de Lev Vygotsky**. Se a neurobiologia demonstra que o encéfalo é moldado pelas experiências, Vygotsky (2008) complementa essa visão ao postular que as funções psicológicas superiores — como o raciocínio matemático abstrato

— não se desenvolvem apenas por maturação biológica, mas surgem das interações sociais e da mediação por instrumentos e signos. Assim, a aprendizagem matemática pode ser compreendida como um processo simultaneamente biológico e cultural, no qual a plasticidade neural fornece a base material, enquanto a mediação social orienta a direção e o significado das transformações cognitivas.

### 3.2 Os pilares biológicos para a consolidação do conhecimento

Já vimos que a aprendizagem não é um fenômeno isolado ou restrito a uma única região neural; ao contrário, aprender mobiliza uma rede integrada de estruturas encefálicas, com destaque para a relação funcional entre o córtex pré-frontal, responsável pelas funções executivas e pelo raciocínio abstrato, e o hipocampo, estrutura central nos processos de consolidação da memória.

Nesse contexto, a neuroplasticidade depende não apenas da ativação elétrica dos neurônios, mas também de mecanismos moleculares que sustentam e estabilizam as conexões sinápticas. Em *Corpo Ativo, Mente Desperta*, Ratey e Hagerman (2012) destacam o papel do Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro (BDNF), descrito metaforicamente como um “fertilizante neural”. Essa proteína atua protegendo neurônios, fortalecendo sinapses e estimulando processos de neurogênese, especialmente no hipocampo, região diretamente associada à aprendizagem e à memória.

Do ponto de vista neurobiológico, o BDNF está intimamente relacionado à potenciação de longa duração (LTP), mecanismo fundamental da memória descrito por Kandel et al. (2014) como base celular do aprendizado duradouro. Ao favorecer a estabilização das conexões sinápticas, o BDNF contribui para que experiências repetidas se convertam em modificações estruturais permanentes, sustentando a consolidação da memória de longa duração.

#### 3.2.1 Atividade física e a prontidão biológica: o marco de Naperville

O exercício físico aeróbico, como correr, dançar ou pular corda, promove o aumento do fluxo sanguíneo cerebral e estimula a liberação de neurotransmissores como dopamina, serotonina e noradrenalina (destacados no Quadro 2) (Ratey e Hagerman, 2012). Tais atividades favorecem a produção de BDNF, criando condições ideais para a reorganização neural. Como destacam Ratey e Hagerman (2012, p. 43): “Além de preparar

nosso estado de espírito, o exercício influencia diretamente a aprendizagem, no nível celular, melhorando o potencial do cérebro para se conectar e processar novas informações.”

A leitura da obra *Corpo Ativo, Mente Desperta* (2012) permitiu diversas conexões com minha própria prática. No capítulo dedicado ao estresse, os autores relatam o caso de uma paciente sobrecarregada que, devido a limitações de tempo e espaço causadas por uma obra em sua residência, desenvolveu o hábito nocivo de consumir vinho para relaxar. Como alternativa terapêutica, o neurocientista recomendou pular corda em casa. O resultado foi a cessação do consumo de álcool e o relato da paciente de que, após a atividade, sentia como se seu cérebro fosse “reiniciado”.

Compartilho da mesma sensação relatada na obra. No processo de estudo deste mestrado (Profmat), conciliando a maternidade de duas crianças, a docência em um colégio, aulas particulares e demandas domésticas, frequentemente me senti sobrecarregada, o que impactava diretamente minha produção acadêmica. Para “oxigenar” os neurônios e pausar o estado de “multitarefa”, adotei a prática de pular corda, dançar e até os dois simultaneamente, especialmente quando não conseguia ir a academia. Após o esforço físico (comumente atingindo pelo menos mil pulos, no mínimo 4 vezes na semana), experimento a mesma sensação de “reinício” encefálico e clareza mental necessária para retomar os estudos.

Entretanto, não apenas o movimento corporal estimula esses processos. Atividades cognitivamente desafiadoras — como a resolução de problemas matemáticos complexos — também promovem o fortalecimento sináptico, sobretudo nos circuitos que envolvem o córtex pré-frontal e o hipocampo (Bear, Connors e Paradiso, 2017). O esforço intelectual sustentado ativa mecanismos de plasticidade que, quando associados a um ambiente emocionalmente seguro e estimulante, favorecem o desenvolvimento das funções executivas: memória de trabalho, controle inibitório e flexibilidade cognitiva (Ratey e Hagerman, 2012), capacidades essenciais ao raciocínio lógico-matemático.

Nesse sentido, torna-se compreensível o sucesso acadêmico excepcional dos alunos de **Naperville 203, Illinois**. Ao submeter os estudantes a atividades físicas aeróbicas, como a corrida, imediatamente antes das primeiras aulas, a escola não buscava apenas o condicionamento físico, mas a “prontidão biológica” para o aprendizado (Ratey e Hagerman, 2012). A atividade física atuava como um “Pré-treino” da concentração e da memória, preparando o terreno sináptico para o esforço intelectual subsequente.

A eficácia do programa Learning Readiness Physical Education (LRPE) é

amplamente documentada tanto na literatura científica quanto nos registros oficiais do Naperville Community Unit School District 203 (2024), os quais indicam que a integração de atividades aeróbicas ao currículo regular gera resultados positivos consistentes. A longevidade e o sucesso institucional dessa proposta foram evidenciados por resultados históricos em 1999, quando os estudantes de Naperville participaram do TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study), um dos mais rigorosos exames globais de proficiência.

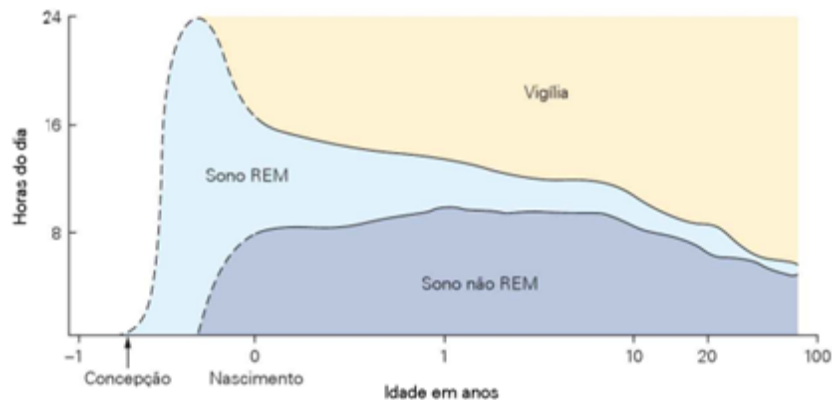
Conforme destacam os dados do TIMSS (1999), os resultados de Naperville foram surpreendentes: enquanto os Estados Unidos, de forma geral, ocupavam posições medianas em rankings internacionais, os alunos daquele distrito alcançaram o 6º lugar mundial em Matemática e o 1º lugar em Ciências. Esses resultados sugerem fortemente que a integração sistemática entre atividade física aeróbica e rotina escolar constitui um fator potencializador na otimização das condições neurobiológicas para o desempenho cognitivo de alto nível. É importante considerar que múltiplos fatores possam ter contribuído para esses resultados — incluindo aspectos socioeconômicos, culturais e pedagógicos. Ainda assim, a organização sistemática da atividade física antes das aulas constitui um elemento distintivo do modelo adotado.

### 3.2.2 Sono: A janela crítica para a fixação e regulação emocional

Assim como a atividade física, o sono de qualidade é um dos pilares para a produção adequada do BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor). Esta proteína, pertencente à família das neurotrofinas, atua como um facilitador da neuroplasticidade, auxiliando o cérebro a formar novas conexões sinápticas (Bernardes, 2023). Em contrapartida, a privação do sono impacta negativamente as funções cognitivas, reduzindo a disponibilidade dessa proteína essencial (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

Segundo Kandel et al. (2014), o sono é um estado ativamente organizado e não meramente um período de inatividade; o cérebro não interrompe o processamento de informações enquanto dormimos. Na verdade, o sono é caracterizado pela alternância cíclica entre dois estados principais: o sono NREM (dividido em estágios) e o sono REM (Rapid Eye Movement – Movimento Rápido dos Olhos). Estes estágios trabalham de forma integrada, como ilustrado na Figura 21.

**Figura 21 – A arquitetura do sono e consolidação da memória: Alternância entre os estados de NREM e REM.**



Fonte: Kandel et al. (2014).

É fundamental observar que, na idade do aluno em questão (aproximadamente 12 anos), tanto o sono REM quanto o sono NREM profundo deveriam ocupar uma parcela generosa das horas de repouso. Ao privar-se de sono, o estudante não está apenas “dormindo menos”; ele está eliminando a janela crítica de tempo em que o cérebro adolescente realizaria a integração de memórias e a regulação do humor.

Walker (2018) destaca que é no sono NREM profundo (predominante nas primeiras horas da noite) que ocorre o “diálogo” entre o hipocampo (armazenamento temporário) e o córtex (armazenamento permanente). Nesse estágio, realiza-se a “limpeza” da adenosina (ver quadro 2) e o fortalecimento dessa relação hipocampo-córtex: o cérebro seleciona as informações do dia — inclusive definições e algoritmos aprendidos na aula de Matemática — e as transfere para o armazenamento de longo prazo. Kandel et al. (2014) complementa essa perspectiva ao explicar que é nesse período que ocorre a consolidação da memória, especialmente a declarativa (fatos e fórmulas). Para o autor, a estabilidade das conexões sinápticas depende dessa atividade neuronal coordenada que Walker descreve como “Essa arquitetura do sono é organizada por um mecanismo biológico essencial: o ciclo circadiano. Trata-se de um ritmo biológico de aproximadamente 24 horas que regula não apenas o sono, mas também a temperatura corporal, a liberação de hormônios e o metabolismo” (Walker, 2018). O ciclo circadiano é controlado por um “relógio mestre” localizado no núcleo supraquiasmático do hipotálamo, que responde principalmente à luz – especialmente à luz azul emitida por telas de dispositivos eletrônicos. Quando esse sistema está desalinhado, “a qualidade do sono é comprometida, e com ela a capacidade de aprendizagem e consolidação da memória” (Walker, 2018, p. 158).

Walker (2018) explica que o ciclo circadiano atua como um maestro, determi-

nando os momentos ideais para o organismo estar alerta ou em repouso. Durante a noite, a glândula pineal libera melatonina, o “hormônio do escuro”, que sinaliza ao corpo que é hora de dormir. Pela manhã, a exposição à luz inibe a produção de melatonina e promove o estado de vigília.

Na adolescência, esse sistema sofre uma alteração natural: o relógio biológico tende a se atrasar, fazendo com que os jovens sintam sono mais tarde e tenham mais dificuldade para acordar cedo (Herculano-Houzel, 2005). No entanto, quando o adolescente passa a noite exposto à luz azul das telas, há uma dupla agressão ao sistema: (1) a luz inibe a produção de melatonina, retardando ainda mais o início do sono; (2) o uso de estímulos digitais mantém o cérebro em estado de alerta, ignorando os sinais naturais de cansaço mediados pela adenosina. Como destaca Walker (2018, p. 145), “a luz artificial à noite engana nosso relógio biológico, fazendo-o acreditar que ainda é dia”.

Paralelamente, Walker (2018) define o sono REM como o momento da criatividade e da regulação emocional, no qual o cérebro realiza associações de ideias que não seriam óbvias no estado de vigília. Kandel et al. (2014), por sua vez, associa o REM a processos mais complexos de aprendizado e à memória procedural (o “saber fazer”). No contexto da Matemática, o sono REM auxiliaria o aluno não apenas a memorizar a fórmula (processo iniciado no NREM), mas a compreender a lógica subjacente e a aplicá-la na resolução de diferentes problemas.

Este ciclo ocorre em intervalos de aproximadamente 90 minutos ao longo da noite. Durante a madrugada, o tempo gasto em sono profundo (NREM) diminui, enquanto a duração do sono REM aumenta. Do ponto de vista do desenvolvimento, recém-nascidos passam, em média, 50% do tempo em sono REM (dentro de um total de 16 a 18 horas diárias). Com o envelhecimento, entretanto, o sono torna-se cada vez mais fragmentado e o tempo em estágios profundos reduz-se drasticamente.

No que tange ao tempo ideal de repouso, Kandel et al. (2014) aponta que, em adultos, a média saudável gira em torno de 7 a 9 horas por noite. Já Walker (2018) reforça que qualquer período habitualmente abaixo de 7 horas compromete severamente as funções cognitivas e a saúde física, estabelecendo que a marca das 8 horas é a “âncora” necessária para a restauração plena do encéfalo.

No contexto escolar, como docente, é comum ouvir frases como: “Tia, esqueci a tarefa” ou “A senhora passou exercício? Não lembro!”. Embora pareçam desculpas casuais, tais falas podem refletir uma realidade biológica. Segundo Varella e Telles (2021),

muitos dos “esquecimentos” relatados por jovens na atualidade não são falhas de memória propriamente ditas, mas sim um déficit de atenção gerado pelo excesso de estímulos – celular, notificações, multitarefa e redes sociais.

Essa dinâmica é visível em sala de aula, onde alunos frequentemente relatam o uso excessivo de jogos online e redes sociais durante a madrugada, chegando à escola em estado de sonolência. Um caso emblemático em minha prática envolveu um aluno do 6º ano que apresentava irritabilidade constante e desinteresse, buscando dormir durante as aulas. Conseqüentemente, sua aprendizagem em Matemática estava severamente comprometida. Após intervenção e restrição do acesso às telas no período noturno, houve uma melhora significativa no comportamento e no desempenho escolar, corroborando a afirmação de que “o excesso de estímulos digitais tem sido apontado como um dos principais vilões da atenção em jovens” (Varella e Telles, 2021).

A irritabilidade e o déficit de aprendizagem observados encontram fundamentos na obra de Walker (2018), que associa a privação de sono em jovens a prejuízos no humor e na capacidade cognitiva. O autor defende que o ajuste no horário de sono é uma necessidade biológica para que o cérebro processe e consolide as informações (Walker, 2018). Tal perspectiva converge com Herculano-Houzel (2005), ao destacar que, na adolescência, a natureza das transformações neurais impacta o ritmo circadiano. A melatonina – hormônio do sono – começa a ser liberada muito mais tarde nos adolescentes do que nos adultos (Herculano-Houzel, 2005).

Walker (2018) ressalta que o sistema educacional ignora esse atraso natural, induzindo os estudantes a um estado de privação. Quando o aluno passa a noite exposto à luz azul das telas, há a inibição da melatonina e o uso de estímulos digitais para ignorar a pressão da adenosina. O neurocientista alerta que “a luz artificial à noite engana nosso relógio biológico, fazendo-o acreditar que ainda é dia” (Walker, 2018, p. 145). Como destacado no Quadro 2, a adenosina é um subproduto do metabolismo energético que promove o cansaço; seu acúmulo impede o processamento cognitivo otimizado, resultando em exaustão mental e no fenômeno do “bloqueio” na resolução de problemas complexos.

Esta vulnerabilidade do córtex pré-frontal (CPF) ocorre porque, sem a “limpeza” da adenosina realizada durante o sono, a excitabilidade neuronal é suprimida. Kandel et al. (2014) documenta que esse acúmulo inibe a liberação de neurotransmissores essenciais, tornando a comunicação sináptica no CPF “lenta”, o que explica o déficit nas funções executivas. Como o autor destaca:

O sono envolve todo o organismo e, de fato, envolve a família e a sociedade como um todo. Mesmo assim, muitos neurocientistas acreditam que o sono seja do encéfalo e para o encéfalo. Uma função neural que é proposta para o sono é a consolidação da memória. A perturbação do sono tem efeitos prejudiciais sobre alguns tipos de aprendizado, principalmente a memória procedural, embora os efeitos estressantes do sono perdido sejam sempre um fator de confusão. (Kandel et al., 2014, p. 1006)

Assim, conforme defendem Kandel et al. (2014) e Bear, Connors e Paradiso (2017), a homeostase do sono é vital para manter os sistemas de alerta e a eficiência sináptica necessários para o processamento cognitivo superior e a aprendizagem matemática de alto nível. Isso explica a dificuldade de manter o foco em raciocínios lógicos complexos, como observado no caso do aluno do 6º ano. Como menciona Walker (2018): “Dormir o suficiente antes de aprender ajuda na retenção da memória ao recarregar o cérebro. Pesquisas mostram que o sono ajuda a transferir informações recém-aprendidas da memória de curto prazo para a de longo prazo”. Essa premissa é reforçada por evidências no cenário nacional, as quais já apontavam, desde meados dos anos 2000, que a correlação entre notas baixas e a privação de sono é um fator determinante para o insucesso escolar (Sousa, 2006).

Antes de encerrar a discussão sobre os fatores que favorecem a neuroplasticidade, vale destacar que uma alimentação equilibrada também influencia positivamente os níveis de BDNF. Segundo Bernardes (2023), nutrientes como ômega-3, presentes em peixes gordurosos, têm sido associados ao aumento dessa neurotrofina. Da mesma forma, alimentos ricos em antioxidantes, como frutas vermelhas e vegetais verdes, auxiliam na proteção dos neurônios e na promoção da saúde cerebral. Destaca-se, ainda, que compostos como a curcumina e o resveratrol têm mostrado uma relação positiva com a expressão dessa proteína essencial (Bernardes, 2023).

Dessa forma, o sono não apenas restaura o organismo, mas atua como mecanismo central de regulação emocional, consolidação sináptica e manutenção da plasticidade neural, constituindo um elemento estruturante para o desempenho matemático em contextos escolares contemporâneos. No entanto, é fundamental compreender que o equilíbrio biológico necessário para a aprendizagem não depende apenas da presença de fatores facilitadores – como o sono adequado, a alimentação equilibrada e a prática regular de atividade física –, mas também da ausência de elementos capazes de comprometer esse funcionamento. A literatura em neurociência tem demonstrado que processos fisiológicos relacionados ao bem-estar exercem influência direta sobre a plasticidade neural e sobre a

eficiência das funções cognitivas superiores (Bear, Connors e Paradiso, 2017; Kandel et al., 2014; Ratey e Hagerman, 2012).

Quando a tríade biológica do bem-estar – sono, exercício e nutrição – é negligenciada, o organismo tende a interpretar essa condição como um estado de ameaça, ativando mecanismos biológicos associados à resposta ao estresse. Esse processo envolve a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, responsável pela liberação de hormônios relacionados à adaptação do organismo a situações de pressão ou perigo (Kandel et al., 2014; Herculano-Houzel, 2005). Nesse contexto, instala-se um estado de tensão fisiológica que pode interferir diretamente nos mecanismos neurais envolvidos na aprendizagem. Estudos em neurociência indicam que a exposição prolongada ao estresse – tema que será abordado na seção seguinte – está associada à elevação dos níveis de cortisol, hormônio que, quando presente de forma crônica, pode comprometer processos de neuroplasticidade e afetar estruturas fundamentais para a memória, como o hipocampo (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

No caso específico da aprendizagem matemática, cuja realização exige elevada demanda de memória de trabalho, controle inibitório e flexibilidade cognitiva, tais alterações neurobiológicas podem representar um obstáculo significativo para o desempenho acadêmico. Como destacam estudos sobre cognição e funções executivas, o funcionamento eficiente do córtex pré-frontal é essencial para a resolução de problemas complexos e para a organização do raciocínio lógico (Kandel et al., 2014). Dessa forma, compreender os efeitos do estresse sobre o cérebro torna-se fundamental para explicar por que, em determinadas situações escolares, estudantes apresentam bloqueios cognitivos, dificuldades de concentração ou o fenômeno popularmente conhecido como “branco” durante avaliações.

Assim, após discutir os fatores que favorecem a plasticidade neural e a consolidação da memória, torna-se necessário examinar também os elementos que podem comprometer esses processos. É à luz desses desafios – que comprometem a memória e a plasticidade – que devemos ler os preocupantes dados do desempenho brasileiro em matemática, apresentados a seguir.

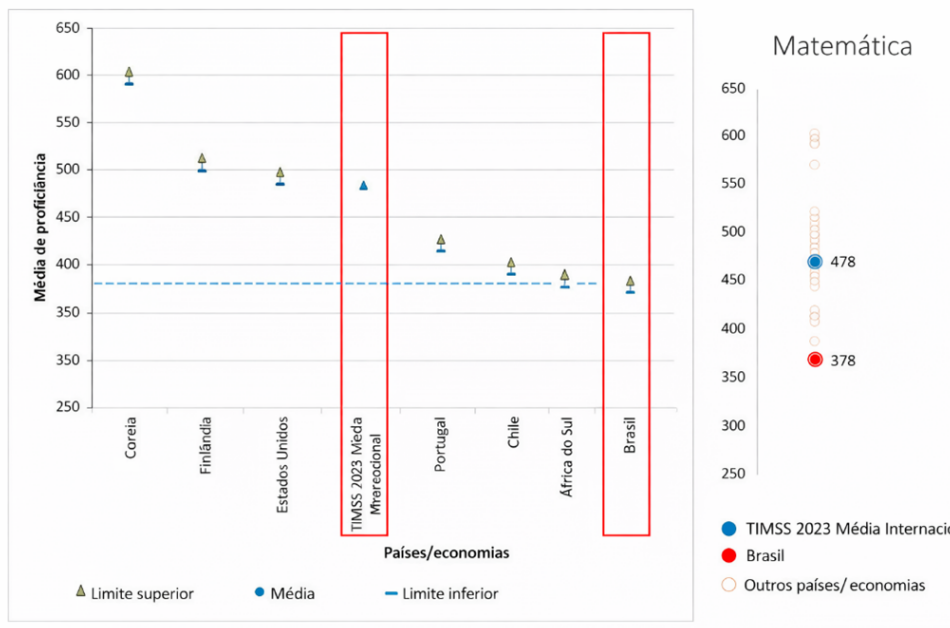
### 3.2.3 O cenário brasileiro: diálogo entre TIMSS, PISA e a urgência de novas perspectivas

A título de comparação com o marco histórico de Naperville, o Brasil participou, pela primeira vez em 2023, do Estudo Internacional de Tendências em Matemática

e Ciências (TIMSS). Coordenado pela International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA) e operacionalizado no país pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), o exame avalia o desempenho de estudantes do 4º e 8º ano do Ensino Fundamental. No domínio da Matemática, são contemplados conteúdos como Números, Álgebra, Geometria, Dados e Probabilidade, permitindo que aproximadamente 70 nações monitorem a eficácia de seus sistemas educacionais em perspectiva comparada (Brasil, 2024).

Os resultados brasileiros revelam um cenário preocupante. No 8º ano, 62% dos estudantes não alcançaram sequer o nível básico de proficiência em Matemática, enquanto a média internacional para esse patamar é de 19%. Apenas 1% dos estudantes brasileiros atingiram o nível avançado. A Figura 22 ilustra a posição do país em relação aos demais participantes, evidenciando uma lacuna significativa entre o desempenho nacional e o padrão internacional esperado.

**Figura 22 – Comparação das médias do TIMSS 2023 | Matemática – 8º ano.**



Fonte: Brasil (2024).

Diante desse panorama, torna-se evidente que o cenário atual da educação matemática no Brasil exige medidas urgentes e cientificamente embasadas. E essa constatação fica ainda mais evidenciada quando analisamos também o último resultado do PISA (*Programme for International Student Assessment – Programa Internacional de Avaliação de Estudantes*), realizado a cada três anos pela OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), é um estudo comparativo internacional que

avalia os conhecimentos e as habilidades em Matemática, Leitura e Ciências de estudantes na faixa etária de 15 anos. De acordo com dados do Ministério da Educação (Brasil, 2023), essa avaliação foca na capacidade do jovem de aplicar o que aprendeu em situações do cotidiano.

É fundamental distinguir que, enquanto o **TIMSS** avalia o currículo escolar — analisando o que os alunos efetivamente aprenderam de Matemática até a série investigada —, o **PISA** analisa o letramento matemático voltado para o dia a dia. Essa complementariedade entre as avaliações revela que o déficit brasileiro é profundo: nossos estudantes apresentam dificuldades tanto no domínio do conteúdo formal (medido pelo TIMSS) quanto na aplicação prática e lógica desses conceitos (medida pelo PISA).

O cenário crítico revelado pelo **TIMSS 2023** é corroborado pelos dados do **PISA 2022**. Segundo a OCDE, o Brasil permanece estagnado em patamares baixos de proficiência: cerca de **73% dos estudantes brasileiros** não atingiram o nível básico em Matemática (Nível 2). Isso significa que a grande maioria dos jovens de 15 anos não consegue, por exemplo, extrair informações diretas de uma tabela ou realizar cálculos simples e elementares.

Este resultado foi amplamente divulgado pela mídia com manchetes de impacto, como: “7 em 10 alunos no Brasil não sabem o mínimo de matemática, diz prova mundial” (UOL, 2023) e “Até alunos mais ricos no Brasil estão abaixo da média global em Matemática, aponta Pisa” (BBC News Brasil, 2023). O próprio Ministério da Educação (Brasil, 2023) reforça essa percepção de imobilidade através da comparação histórica com a média internacional (Figura 23).

**Figura 23 – Resultado do PISA dos últimos anos comparado à média da OCDE.**



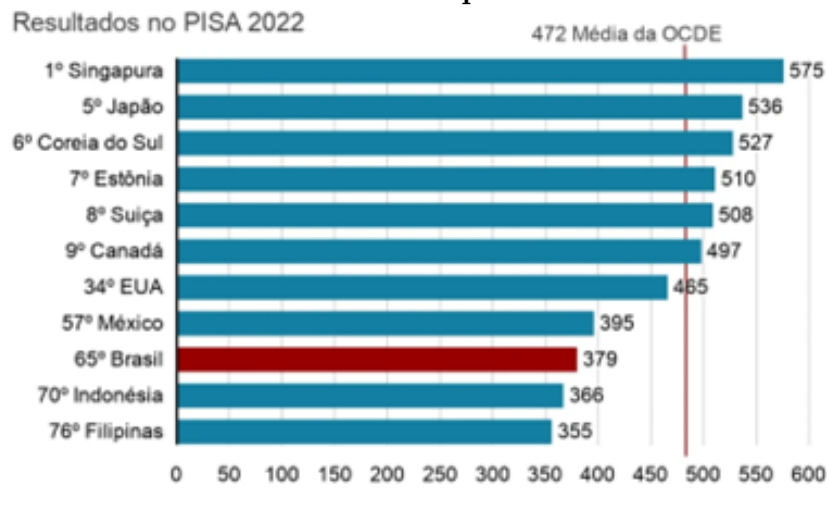
Fonte: Ministério da Educação (Brasil, 2023).

Sobre a estabilidade dos índices brasileiros frente à queda global pós-pandemia, Clara Machado, coordenadora-geral do Saeb, observa:

“Percebe-se que, em 2022, os países da OCDE registraram uma queda relevante, e isso não aconteceu no Brasil, apesar da situação pandêmica que experimentamos” (Brasil, 2023).

Entretanto, o relatório da OCDE destaca que, embora a pandemia tenha causado um declínio global invasivo no aprendizado, o Brasil já apresentava índices críticos de desempenho muito antes da crise sanitária mundial. Esse cenário de **“imobilidade”** nos rankings internacionais sinaliza que as estratégias pedagógicas convencionais, isoladamente, parecem insuficientes para romper a barreira do baixo rendimento. A comparação direta com outras nações (Figura 24) evidencia o abismo educacional em que o país se encontra.

**Figura 24 – Desempenho do Brasil em Matemática se comparado com outros países.**



Fonte: OCDE, adaptado pela BBC News Brasil (2023).

A complementariedade entre o TIMSS (2023) e o PISA (2022) permite afirmar que o déficit brasileiro é abrangente: manifesta-se tanto no domínio do conteúdo escolar quanto na capacidade de mobilizá-lo em contextos práticos. Trata-se, portanto, de um cenário que não pode ser explicado exclusivamente por fatores socioeconômicos ou por dificuldades pontuais de metodologia, mas que envolve desafios sistêmicos relacionados à organização do ensino, às práticas pedagógicas e às condições cognitivas e emocionais que sustentam a aprendizagem.

Longe de “biologizar” a problemática educacional, essa situação alarmante evidencia a urgência de se pensar em propostas pedagógicas mais amplas e cientificamente fundamentadas. Nesse sentido, a neurociência oferece contribuições relevantes ao demons-

trar que a estimulação de fatores como o Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) — favorecida pelo exercício físico e por estímulos positivos, como um ambiente acolhedor e relações afetivas seguras — influencia diretamente os processos de neuroplasticidade (cujos mecanismos serão aprofundados no decorrer do texto).

Essa estimulação, articulada a práticas pedagógicas fundamentadas tanto nas evidências neurocientíficas quanto na análise do contexto sociocultural — conforme evidenciado pelos dados do SINASE (Figura 17) —, configura um conjunto de estratégias potencialmente robustas. Tais medidas podem contribuir para a mitigação do quadro de estagnação observado e para a melhoria progressiva do desempenho acadêmico em Matemática, oferecendo suporte cognitivo e pedagógico especialmente relevante para jovens em contextos de maior vulnerabilidade.

Desse modo, a convergência entre o diagnóstico internacional e os fundamentos neurocientíficos aponta para a necessidade de reconfiguração das práticas pedagógicas, incorporando estratégias que favoreçam, de forma integrada, o desenvolvimento cognitivo, a regulação emocional e a prontidão para a aprendizagem matemática.

Essa constatação converge com o entendimento, amplamente respaldado pela literatura científica, de que os efeitos do exercício físico sobre a cognição não se limitam a casos pontuais, mas encontram suporte em evidências empíricas consistentes. Essa premissa é corroborada por uma ampla revisão de literatura detalhada por Ratey e Hagerman (2012) e ratificada pelo Institute of Medicine (2013). Um marco nesse campo foi a análise realizada pelo Departamento de Educação da Califórnia em 2004, que cruzou dados de desempenho acadêmico de mais de 850.000 alunos. Para dar suporte a essa análise, um comitê de 13 pesquisadores revisou mais de 850 estudos sobre os efeitos da atividade física em jovens em idade escolar. Os pesquisadores concluíram que a prática de exercícios de intensidade moderada a forte, com duração de 30 a 45 minutos e frequência de três a cinco vezes por semana, impacta positivamente o desempenho escolar. Entretanto, os pesquisadores sugerem que, para a plena otimização da aprendizagem e das funções cognitivas, os estudantes deveriam praticar uma hora (ou mais) de atividade física diária.

Ademais, o Institute of Medicine (2013) destaca que as evidências científicas indicam que a Matemática e a Leitura figuram entre as disciplinas acadêmicas mais sensíveis aos benefícios da atividade física. Tal relação pode ser compreendida pelo fato de ambas dependerem de funções executivas íntegras, as quais apresentam melhora funcional associada ao condicionamento aeróbico. Aprender matemática, sob a perspectiva

neurobiológica, exige a ativação de redes neurais responsáveis pela tomada de decisão, pelo julgamento crítico e pela memória de trabalho — processos que compõem o conjunto das funções executivas (Ratey e Hagerman, 2012).

De modo significativo, trata-se das mesmas redes neurais mobilizadas e funcionalmente moduladas durante a prática regular de atividades físicas estruturadas. O que foi constatado empiricamente pelo Departamento de Educação da Califórnia, em 2004, encontra respaldo em estudos contemporâneos que reforçam a compreensão do movimento corporal como facilitador biológico dos processos cognitivos.

Conforme a metáfora proposta por Ratey e Hagerman (2012), o exercício pode ser compreendido como um “fertilizante” neural, ao favorecer a expressão de fatores neurotróficos, como o BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor). Retomando a analogia da “trilha neural” apresentada anteriormente (Figura 15), o BDNF atua na manutenção e no fortalecimento das ramificações sinápticas, tornando-as mais receptivas à formação de novas conexões.

A eficácia desse estímulo na adolescência é corroborada pela revisão sistemática de Azevedo et al. (2020), que demonstra que programas de exercícios aeróbicos, praticados em intensidade moderada ou alta, elevam significativamente os níveis de BDNF em jovens de 10 a 19 anos. Tal evidência é particularmente relevante para a educação matemática, pois indica que a estimulação neurotrófica ocorre em uma fase crucial para o desenvolvimento das funções executivas e para a consolidação das aprendizagens.

Esse incremento proteico está diretamente associado ao fortalecimento da plasticidade sináptica e à neuroproteção, oferecendo o suporte fisiológico necessário para que o estudante transite do esforço cognitivo inicial à estabilização duradoura do conhecimento. Como ressalta o Institute of Medicine (2013), as funções executivas — essenciais ao raciocínio lógico — apresentam melhora funcional associada à prática regular de exercício físico, contribuindo para a constituição de um ambiente neural mais favorável à resolução de demandas cognitivas complexas.

Assim, a integração do movimento ao currículo não deve ser compreendida como atividade periférica, mas como estratégia complementar capaz de favorecer condições neurobiológicas propícias ao enfrentamento de desafios lógicos e à retenção duradoura do conhecimento. Para a educação matemática, a inserção planejada de pausas ativas ou atividades físicas antes de aulas que demandem elevada carga cognitiva pode favorecer a consolidação das aprendizagens e contribuir para o desempenho acadêmico.

## 4 ESTRESSE, CORTISOL E O FENÔMENO DA ANSIEDADE MATEMÁTICA

No cotidiano escolar, é comum presenciarmos, enquanto professores, o estresse manifestando-se de forma latente ou explícita, tanto em nós quanto nos estudantes. Esse fenômeno revela-se desde conflitos interpessoais aparentemente triviais — como a exaltação por um material escondido ou um caderno riscado — até o paralisante bloqueio cognitivo diante de conteúdos mais complexos, como as equações exponenciais. Muitas vezes, o estresse evidencia na ausência de palavras: o olhar tenso e a gestualidade rígida emitem sinais claros de impaciência e irritabilidade. Desabafos como “nunca vou aprender isso”, “é difícil demais” ou o clássico “quem inventou a matemática?” são, na verdade, pedidos de socorro de um cérebro que atingiu seu limite momentâneo de tolerância cognitiva.

### 4.1 Alostase vs. Carga Alostática: Quando o estresse se torna um obstáculo

Na cultura em geral, mas especialmente escolar, o estresse é frequentemente reduzido à figura de um “vilão”, associado apenas a efeitos nocivos, como irritabilidade, ansiedade ou agressividade. Mas como a literatura científica define esse estado? Segundo Ratey e Hagerman (2012), o estresse pode ser compreendido, em sua essência, como uma ameaça ao equilíbrio homeostático do corpo. De forma semelhante, Bruce, Shatté e Perlman (2017) esclarecem que ele corresponde a uma resposta biológica natural diante de situações percebidas como desafiadoras ou potencialmente ameaçadoras.

Paralelamente, essa resposta pode ser compreendida como um conjunto de reações fisiológicas mobilizadas pelo organismo para preparar o corpo a agir de forma adaptativa (Kandel et al., 2014; Bear, Connors e Paradiso, 2017). Já o renomado neuroendocrinologista Bruce S. McEwen e a escritora científica Elizabeth Norton Lasley, no livro *O fim do Estresse como Nós o Conhecemos*, defendem que o “estresse se refere à pressão que a vida exerce sobre nós e a como essa pressão nos faz sentir” (McEwen e Lasley, 2003, p. 17).

Longe de ser apenas um inimigo, esse mecanismo também nos equipa para lidar com pressões intensas. Como observam Bruce, Shatté e Perlman (2017, p. 20), as complexas conexões cerebrais ativam o conhecido sistema de “luta ou fuga”, mobilizando energia e preparando o organismo para enfrentar situações que exigem resposta rápida. Mesmo atividades cotidianas — como movimentar-se, praticar exercícios físicos, conhecer

novas pessoas ou envolver-se em processos de aprendizagem, como ensinar ou aprender matemática — implicam certo grau de ativação fisiológica (Ratey e Hagerman, 2012). Do ponto de vista biológico, essas ações demandam energia e envolvem intensa atividade neuronal, o que evidencia que o estresse faz parte do próprio funcionamento da vida. Nesse sentido, conforme destacam Ratey e Hagerman (2012), o estresse é inerente à experiência humana; o que distingue seus efeitos não é sua presença, mas o grau e a duração dessa resposta.

Para ilustrar essa herança biológica, imagine a cena de um leão avançando em sua direção. Inevitavelmente, essa imagem desencadearia uma cascata de reações neuroquímicas e ativações neurais responsáveis por preparar o organismo para “lutar ou fugir”. Esse mecanismo constitui uma resposta evolutiva fundamental para a sobrevivência, envolvendo a ativação de estruturas cerebrais relacionadas ao processamento de ameaças, especialmente a amígdala e outras regiões do sistema límbico (Kandel et al., 2014). Era assim que o cérebro humano primitivo reagia diante de perigos reais para garantir a preservação da espécie.

A literatura em neurociência demonstra que essa programação biológica permanece ativa no ser humano contemporâneo, embora seja frequentemente acionada em contextos distintos daqueles enfrentados por nossos ancestrais. Como destacam os estudos de LeDoux (2011), os circuitos neurais responsáveis pela detecção de ameaças — particularmente aqueles que envolvem a amígdala — podem ser ativados tanto por perigos físicos quanto por situações percebidas subjetivamente como ameaçadoras.

Conforme apontam McEwen e Lasley (2003), quando essas respostas de estresse se tornam recorrentes, elas interferem no funcionamento de sistemas cerebrais voltados à memória e à regulação emocional, gerando um desgaste progressivo que afeta processos cognitivos essenciais para a aprendizagem. Nesse sentido, um estudante, ao se deparar com uma avaliação de matemática (muito temida por ele), ou um problema proposto, pode ativar circuitos neurais semelhantes aos envolvidos em respostas de ameaça real, experimentando ansiedade, bloqueio cognitivo e dificuldade de acesso às informações previamente aprendidas.

McEwen e Lasley (2003) deixam claro que o estresse se refere à pressão que a vida exerce sobre nós e, fundamentalmente, à maneira como essa pressão nos faz sentir. Como no ditado popular que diferencia o remédio do veneno pela dosagem, a literatura evidencia que o estresse é vital para a existência humana. Ele é necessário, inclusive, para

o despertar: nas primeiras horas do dia, o aumento nos níveis de certos hormônios é o que nos permite levantar da cama e encarar as demandas da rotina. Esse sistema de autodefesa e adaptação é o que o autor denomina *alostase*: a capacidade do organismo de manter a estabilidade por meio da mudança (McEwen e Lasley, 2003). De forma geral, “uma pessoa saudável regula a resposta ao estresse por meio do aprendizado” (Bear, Connors e Paradiso, 2017, p. 759).

No nível celular, o estresse moderado pode atuar como um motor de crescimento. Como afirmam Ratey e Hagerman (2012), quando o estresse não é severo e os neurônios dispõem de tempo para se recuperar, as conexões sinápticas tornam-se mais fortes e o funcionamento cognitivo tende a se tornar mais eficiente. No entanto, quando esse sistema permanece continuamente ativado — como se o botão permanecesse constantemente ligado — surge a chamada *carga alostática*, que representa o estado de estresse crônico (McEwen e Lasley, 2003).

Para ilustrar esse conceito, podemos compará-lo ao funcionamento de uma sanduicheira: ligamos o aparelho para preparar o alimento e saciar a fome; contudo, se o botão permanecer acionado por tempo excessivo, o equipamento superaquece e pode queimar. De forma semelhante, o organismo humano necessita de períodos alternados de ativação e recuperação. Essa analogia ajuda a compreender a diferença entre *alostase* — o funcionamento adaptativo do sistema de resposta ao estresse, comparável ao uso adequado da sanduicheira — e *carga alostática*, que corresponde ao desgaste provocado pela ativação prolongada desse sistema, semelhante ao superaquecimento do aparelho quando permanece ligado por tempo excessivo. Como destacam McEwen e Lasley (2003, p. 21), “níveis cronicamente elevados de estresse esgotam o corpo e o cérebro”.

Essa perspectiva ajuda a explicar por que utilizamos um sistema biológico originalmente voltado à sobrevivência para lidar com pressões intelectuais e demandas da vida moderna. Estima-se que cerca de dois terços das consultas médicas estejam relacionadas a sintomas decorrentes do estresse (Nassar et al., 2014), o que reforça a hipótese de que o estresse crônico pode surgir quando o cérebro permanece “preso” em padrões persistentes de alerta, medo e recolhimento (Ratey e Hagerman, 2012).

Se para um adulto lidar com níveis elevados de cortisol já representa um desafio significativo, é pertinente questionar como o cérebro adolescente reage a essa sobrecarga fisiológica. De acordo com Herculano-Houzel (2005), o estresse tende a ser ainda mais intenso durante a adolescência, período marcado por profundas transformações

neurobiológicas. Nessa fase, observa-se aumento da pressão arterial e níveis mais elevados de cortisol quando comparados aos de adultos e crianças, o que torna o cérebro adolescente particularmente sensível aos efeitos prolongados do estresse.

Nesse sentido, Herculano-Houzel (2005, p. 79) alerta para os riscos associados à exposição intensa e contínua ao estresse durante esse período do desenvolvimento:

Expor o cérebro adolescente a estresse intenso e drogas, portanto, é receita para uma catástrofe psicotrópica e social. A razão é simples: se sozinha cada uma das três situações – adolescência, estresse ou drogas – leva a uma diminuição do número de receptores dopaminérgicos no sistema de recompensa, a conjunção das três no mesmo cérebro só pode conspirar para uma redução drástica na capacidade de ativação do sistema. Se a conjunção se estende por boa parte da adolescência, o resultado é que o sistema de recompensa chegará à idade adulta [...] com um número anormalmente baixo de receptores para dopamina.

Essas evidências reforçam que a adolescência constitui um período de elevada vulnerabilidade neurobiológica, no qual experiências de estresse intenso podem produzir impactos duradouros nos sistemas cerebrais responsáveis pela motivação, emoção e aprendizagem. É nesse contexto que se torna relevante compreender como o cérebro detecta e reage às ameaças percebidas no ambiente. Um dos principais sistemas responsáveis por essa função é a amígdala, estrutura central na identificação de estímulos emocionalmente importantes e na ativação das respostas de alerta do sistema nervoso.

#### **4.2 A “sirene do cérebro”: a amígdala e o eixo Hipotálamo-Hipófise-Suprarrenal (HPA)**

No contexto escolar, professores e alunos frequentemente se sobressaltam com o toque do sinal que anuncia o fim de uma aula. Esse breve estado de alerta constitui uma forma de estresse adaptativo — um exemplo de alostase. Agora imagine que esse interruptor ficasse preso e o alarme soasse continuamente: o desconforto e a sensação de urgência seriam imediatos. De forma análoga, essa sirene ininterrupta pode ser comparada à amígdala, estrutura cerebral frequentemente associada à detecção de ameaças e à ativação das respostas emocionais de alerta.

Segundo Joseph LeDoux, a amígdala desempenha papel central na identificação de estímulos potencialmente perigosos e na mobilização rápida do organismo para reagir a eles. Como explica o autor, “a amígdala é uma região fundamental para o processamento do medo, recebendo informações sensoriais e desencadeando respostas emocionais e fisiológicas apropriadas” (LeDoux, 2011, p. 168).

Essa interpretação conecta-se à definição apresentada por Ratey e Hagerman (2012), segundo a qual a função da amígdala é atribuir intensidade emocional às informações recebidas. Não se trata apenas de medo; qualquer estado emocional intenso pode ativar esse sistema (Lent, 2010). Na sala de aula, isso pode ser observado no momento da entrega de avaliações: o aluno eufórico com uma nota máxima e o aluno angustiado diante de um resultado negativo estão, ambos, com a amígdala ativada. Como descrevem Ratey e Hagerman (2012, p. 70):

A amígdala cerebral relaciona-se com várias partes do cérebro e assim recebe uma ampla gama de estímulos — alguns dos quais encaminhados pelo centro de processamento superior do córtex pré-frontal, e outros conectados indiretamente, ignorando o córtex.

Uma característica particularmente relevante desse sistema é a existência de uma via neural rápida, que permite que informações sensoriais alcancem a amígdala antes mesmo de serem plenamente processadas pelo córtex cerebral. Esse mecanismo ajuda a explicar por que determinadas reações emocionais podem ocorrer de forma automática e quase instantânea. Nas palavras de LeDoux (2011, p. 170), “os sinais sensoriais podem alcançar a amígdala por uma rota direta a partir do tálamo, permitindo que o cérebro responda rapidamente a estímulos potencialmente perigosos, mesmo antes de uma análise consciente mais detalhada”.

Esse funcionamento esclarece por que um aluno, após uma experiência negativa, pode criar uma memória emocional de ameaça associada a determinadas situações escolares. Ao visualizar uma nova avaliação, por exemplo, o estudante pode manifestar uma reação imediata ao estresse, associando o papel da prova à experiência anterior.

Ratey e Hagerman (2012) descrevem que esse disparo da amígdala desencadeia uma série de respostas fisiológicas. Inicialmente, ocorre a liberação de norepinefrina, que estimula a produção de adrenalina, elevando a frequência cardíaca e a respiração. Simultaneamente, sinais mediados pelo fator liberador de corticotrofina (CRF) conectam a amígdala ao hipotálamo, induzindo a hipófise a ativar as glândulas suprarrenais para liberar o hormônio central dessa resposta: o cortisol. Essa cascata hormonal é conhecida como Eixo Hipotálamo–Hipófise–Suprarrenal (HPA).

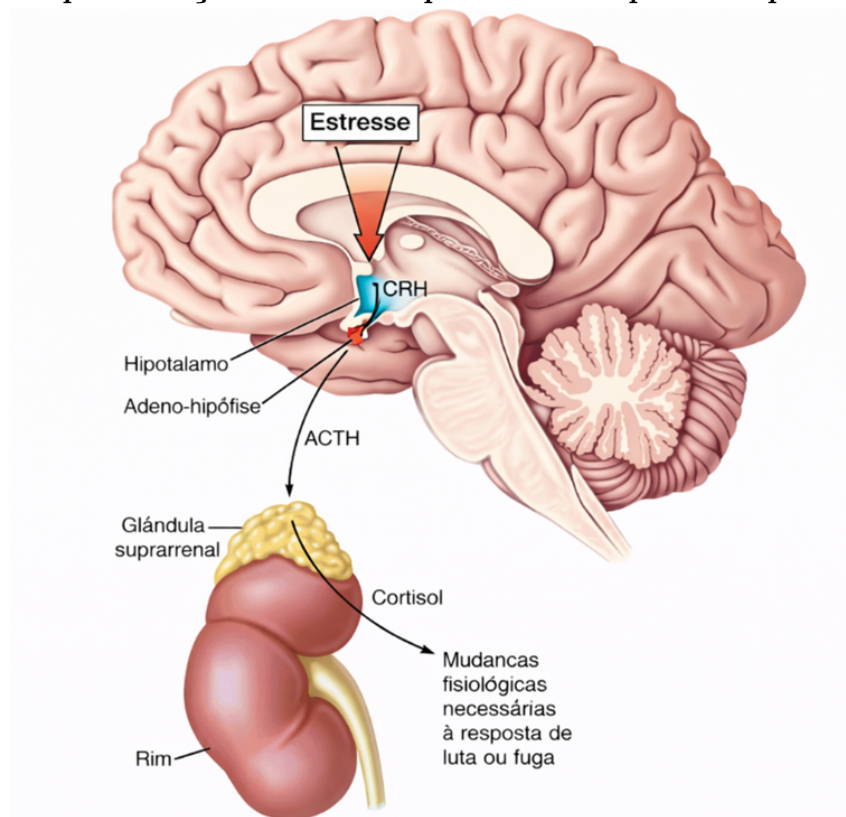
De acordo com a obra *Neurociências: Desvendando o Sistema Nervoso*, o medo é normalmente evocado por um estímulo ameaçador, denominado estressor, manifestando-se por meio de uma resposta biológica conhecida como resposta ao estresse. Em indivíduos saudáveis, essa resposta é modulada pelo aprendizado e pela experiência. Contudo, quando essa regulação falha, podem surgir características associadas aos transtornos de ansiedade,

nos quais a resposta ao estresse ocorre de maneira desproporcional ou mesmo na ausência de uma ameaça real (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

Esse sistema, extremamente útil para a sobrevivência ao longo da evolução humana, continua ativo no cérebro contemporâneo. Assim, estímulos que simbolicamente representam ameaça — como uma avaliação temida ou uma situação de exposição pública em sala de aula — podem ativar circuitos emocionais semelhantes aos mobilizados diante de perigos físicos reais. Nesse contexto, a amígdala funciona como uma verdadeira “sirene biológica”, disparando sinais de alerta que mobilizam o organismo para reagir.

Dessa forma, compreender a ansiedade implica entender como a resposta ao estresse é regulada pelo encéfalo. Para aprofundar essa análise, torna-se necessário examinar o funcionamento do Eixo Hipotálamo–Hipófise–Suprarrenal (HPA), conforme discutido por Bruce McEwen (2003) e detalhado na literatura de neurociência.

**Figura 25 – Representação do Eixo Hipotálamo- Hipófise-Suprarrenal (HPA).**



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 759).

Como ilustrado na Figura 25, o Eixo HPA regula a secreção de cortisol pela glândula suprarrenal em resposta ao estresse (Kandel et al., 2014). Essa resposta biológica é caracterizada por um conjunto de alterações coordenadas, que incluem:

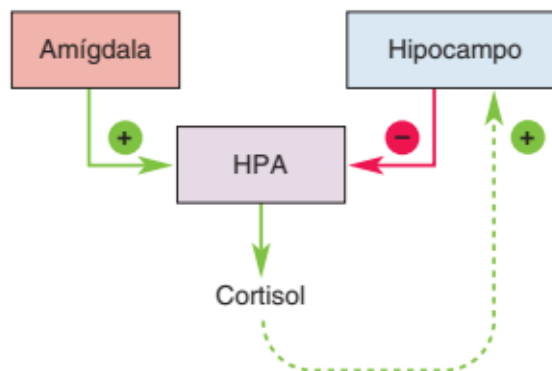
- **Comportamento de esquiva:** tendência instintiva de se afastar do estímulo

estressor (como o aluno que evita olhar para a prova);

- **Aumento da vigilância e do alerta:** estado de “sentinela”, no qual a atenção fica hiperfocada na ameaça percebida;
- **Ativação da divisão simpática do Sistema Nervoso Autônomo:** responsável pelas reações físicas imediatas, como aceleração cardíaca e sudorese;
- **Liberação de cortisol:** hormônio que mobiliza as reservas de energia do organismo para sustentar a resposta ao desafio (Bear, Connors e Paradiso, 2017, p. 729).

O eixo HPA também é regulado pelo hipocampo, estrutura diretamente relacionada à memória. Isso ocorre porque o hipocampo contém numerosos receptores para glicocorticoides, que são ativados pelo cortisol liberado pela glândula suprarrenal em resposta à ativação do eixo HPA (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

**Figura 26 – Representação do Eixo Hipotálamo- Hipófise-Suprarrenal (HPA).**



*As linhas verdes indicam a ativação da amígdala sobre o eixo HPA, resultando na liberação de cortisol, que por sua vez ativa o hipocampo em um mecanismo de retroalimentação.*

Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 761).

As linhas verdes na Figura 26 evidenciam que a ativação da amígdala estimula o eixo HPA que, por sua vez, libera cortisol e ativa o hipocampo. Essa interação ajuda a explicar por que situações estressantes são tão difíceis de serem esquecidas. Em muitos casos, o simples ato de recordar uma situação traumática — processo mediado pelo hipocampo — pode reativar o eixo HPA, gerando sintomas físicos como nervosismo e aceleração cardíaca.

Esse processo demonstra que o hipocampo exerce um papel fundamental no controle da resposta ao estresse, atuando como um verdadeiro “freio” biológico: “Assim, o hipocampo é importante para a regulação do eixo HPA por retroalimentação, prevenindo a liberação excessiva de cortisol” (Bear, Connors e Paradiso, 2017, p. 761).

Podemos metaforizar o hipocampo como o “adulto da sala”: ele possui receptores capazes de perceber a elevação do cortisol e enviar um sinal inibitório ao hipotálamo, dizendo, metaforicamente: “Já entendemos o perigo; pode interromper o envio de cortisol, está tudo sob controle”. No contexto escolar, esse papel de “adulto” é, muitas vezes, literalmente desempenhado pelo professor.

Quando o aluno percebe um desafio matemático como uma ameaça real, ele entra em um estado de alerta biológico. Como estudantes do Ensino Fundamental e Médio ainda não possuem o córtex pré-frontal totalmente maturado, carecem da capacidade plena de autoavaliação necessária para discernir que uma prova não representa um predador físico. Nesse momento, o professor atua não apenas como um “HD externo” de conteúdo, mas também como um mediador da regulação emocional de seus alunos.

Infelizmente, o caminho inverso também é frequente. Relatos de “terrorismo pedagógico”, especialmente em Matemática, mostram professores que utilizam a tensão como ferramenta de controle: ameaças de perda de pontos, proibição do erro e cobranças excessivas por velocidade. Essas atitudes mantêm o “botão do pânico” — a amígdala — constantemente pressionado.

Quando tais situações se tornam recorrentes, instaura-se um estado de estresse crônico. A simples lembrança dessas experiências ou a visualização de um problema matemático pode ser suficiente para ativar o hipocampo de forma negativa e disparar o eixo HPA. O resultado é a consolidação de uma memória emocional aversiva que sustenta a Ansiedade Matemática, bloqueio que impede o aluno de acessar suas habilidades cognitivas, mesmo quando ele já estudou o conteúdo.

### **4.3 O impacto do estresse crônico na memória e no raciocínio lógico**

Como discutido anteriormente, o hipocampo é uma região cerebral de enorme importância, sendo um dos principais locais da neurogênese, processo de nascimento de novos neurônios ao longo da vida. Entretanto, essa estrutura apresenta alta densidade de receptores para glicocorticoides, o que a torna particularmente vulnerável ao cortisol.

Quando esse hormônio circula em níveis elevados por períodos prolongados — caracterizando a carga alostática (McEwen e Lasley, 2003) — sua exposição contínua pode levar à retração das ramificações dendríticas e, em casos mais severos, à morte de neurônios hipocampais (Bear, Connors e Paradiso, 2017). Em outras palavras: “O estresse

intenso pode produzir a atrofia dos dendritos no hipocampo, estruturas responsáveis pelas fases iniciais da formação da memória.” (LeDoux, 2011, p. 208).

Essa vulnerabilidade hipocampal é agravada pelo impacto do estresse sobre o BDNF, proteína amplamente discutida nas seções anteriores. Segundo Bernardes (2023), o estresse crônico é um dos maiores inimigos dessa molécula, essencial para a sobrevivência e o crescimento neuronal. Altos níveis de cortisol reduzem significativamente a produção de BDNF, prejudicando a plasticidade cerebral e elevando o risco de transtornos como ansiedade e depressão.

Quando o estresse é moderado e controlado, porém, ele pode tornar as redes neurais mais flexíveis, promovendo adaptação e fortalecimento cognitivo. Essa dinâmica envolve o glutamato, principal neurotransmissor excitatório do sistema nervoso (Ratey e Hagerman, 2012).

Em minha própria experiência acadêmica como mestranda, percebi a ação bifásica desse mensageiro químico. Após horas de estudo intenso em disciplinas como Cálculo fundamental, o glutamato intensifica o fluxo de informações no hipocampo, mantendo o cérebro em um estado de alerta que frequentemente invade o período de repouso, preservando processos resolutivos ativos mesmo antes do adormecer. Esse “estresse positivo” favorece a Potenciação de Longa Duração (LTP), criando sinapses mais robustas e receptores mais eficientes, consolidando o aprendizado (Kandel et al., 2014).

No entanto, o limite entre a consolidação e o bloqueio é tênue. Quando o estresse se torna crônico ou traumático, a biologia passa a agir contra o aprendiz. Se, durante o processo sináptico, emergem memórias associadas ao medo ou à ansiedade, os neurônios encontram extrema dificuldade para formar novos circuitos relacionados ao conteúdo acadêmico, pois o cérebro torna-se “obcecado” pelo estressor em detrimento da lógica. Como menciona LeDoux: “Pessoas expostas a traumas apresentam redução do tamanho do hipocampo e déficits significativos de memória.” (LeDoux, 2011, p. 210).

Hoje consigo olhar para a estudante adolescente que fui e compreender cientificamente um episódio marcante do meu ensino médio. Lembro-me claramente de um professor de Matemática tecnicamente excelente, mas profundamente temido. Em uma dinâmica na qual ficávamos face a face no corredor da escola para responder perguntas de tabuada, eu me sentia a pessoa mais incapaz do mundo. Respondia qualquer número, não por desconhecimento, mas porque o excesso de cortisol gerado pelo medo bloqueava o acesso às memórias que eu já possuía.

Como pesquisas em humanos confirmam, níveis elevados de cortisol podem literalmente comprometer as “linhas de comunicação” do encéfalo, dificultando o resgate de informações previamente consolidadas (McEwen e Lasley, 2003).

Esse relato não é apenas uma memória pessoal; ele ilustra como o ambiente de aprendizagem e o estado emocional do aluno determinam a viabilidade da neuroplasticidade. Para que o estudante alcance níveis superiores de raciocínio lógico, é fundamental que o estresse funcione como motor de adaptação — e não como uma barreira neuroquímica que silencie o conhecimento.

Estudos indicam que o cortisol persistente reduz a arborização dendrítica no hipocampo — região vital para a memória de longo prazo (Bear, Connors e Paradiso, 2017; McEwen, 2003; Ratey e Hagerman, 2012; Kandel et al., 2014). No contexto da aprendizagem matemática, essa dinâmica torna-se particularmente relevante: quando o estudante associa a disciplina ao medo ou à vergonha, ativa-se um estado de estresse que ultrapassa o campo psicológico e alcança o neurobiológico.

O excesso de cortisol interfere na recuperação de conteúdos, produzindo o conhecido “branco” durante avaliações e, quando prolongado, pode comprometer o funcionamento do hipocampo — estrutura fundamental para memória e aprendizagem (LeDoux, 2011, p. 208).

O bloqueio, portanto, não decorre necessariamente da ausência de estudo, mas de uma barreira emocional que impede o acesso às redes de memória.

A síntese apresentada no Quadro 4 evidencia que a aprendizagem matemática não ocorre no vácuo, estando intrinsecamente ligada ao estado neurobiológico do estudante. O contraste entre alostase (estresse adaptativo) e carga alostática (estresse crônico) revela que o cortisol, embora vital para o estado de alerta e para o despertar cognitivo, torna-se um agente disruptivo quando em excesso, inibindo o hipocampo e silenciando as redes de memória essenciais para a resolução de problemas complexos (McEwen, 2012).

**Quadro 4 – Principais neurotransmissores e sua influência na aprendizagem matemática.**

<i>Condição</i>	<i>Fator Bio-químico</i>	<i>Processo Cerebral</i>	<i>Impacto na Aprendizagem Matemática</i>
<i>Estresse (Alostase)</i>	Cortisol em equilíbrio	Função cognitiva preservada; estabilidade emocional; expansão dendrítica e ativação do hipocampo.	Fornecer energia para o despertar, foco e atenção necessária para aprender.
<i>Estresse Crônico (Carga Alostática)</i>	↑ Cortisol em excesso	Retração dendrítica e inibição do funcionamento do Hipocampo.	<b>Bloqueio:</b> Dificuldade severa em evocar conteúdos e algoritmos já estudados.
<i>Privação de Sono</i>	↓ Adenosina / ↑ Fadiga	Falha na comunicação sináptica e na consolidação da memória.	<b>“Branco”:</b> Desconexão entre as redes de memória durante as avaliações.
<i>Exercício Físico</i>	↑ BDNF	Estimula a Neurogênese e facilita a LTP (Long-Term Potentiation).	<b>Facilitação:</b> Melhora a plasticidade cerebral e o raciocínio lógico-abstrato.
<i>Sono Adequado</i>	Homeostase Sináptica	Consolidação de memórias de longo prazo e "limpeza" de detritos metabólicos.	<b>Retenção:</b> Fixação profunda de conceitos e estratégias de resolução de problemas.

Fonte: Elaborada pela autora (2026), com base em McEwen (2012), Bear, Connors e Paradiso (2017), Ratey e Hagerman (2012), Kandel et al. (2014), Walker (2018) e Instituto de Psiquiatria do Paraná (2022).

Por outro lado, a inclusão do BDNF e da LTP na análise demonstra que o cérebro dispõe de mecanismos de reparo e fortalecimento sináptico que podem ser estimulados deliberadamente (Bear, Connors e Paradiso, 2017). Ao priorizar o sono adequado e a prática de exercícios físicos, o organismo não apenas reduz o “ruído” do estresse, mas também cria um ambiente bioquímico favorável à neuroplasticidade (Walker, 2018).

Dessa forma, dificuldades frequentemente atribuídas à “falta de base” ou ao “desinteresse” podem, muitas vezes, ser manifestações de um sistema biológico sobrecarregado. Nesses casos, o bloqueio cognitivo surge como sintoma de uma carga alostática que impede a fluidez do pensamento abstrato e a retenção de algoritmos matemáticos.

Se, por um lado, a literatura de McEwen (2012), LeDoux (2011) e Bear, Connors e Paradiso (2017) revela o rastro de desgaste que o cortisol deixa no córtex pré-frontal e no hipocampo, autores como Ratey e Hagerman (2012) apresentam uma contrapartida promissora: o movimento. Para o aluno que afirma “nunca vou aprender isso”, o exercício físico deixa de ser apenas uma questão de saúde corporal e passa a constituir uma ferramenta biológica estratégica. O movimento aumenta a expressão de BDNF, restaura a plasticidade perdida e oferece ao encéfalo uma nova oportunidade de

processar a abstração matemática com maior clareza.

Nesse contexto, técnicas de gerenciamento do estresse — como a meditação e a terapia cognitivo-comportamental, frequentemente discutidas no campo da medicina integrativa — surgem como estratégias relevantes para mitigar esses efeitos e promover níveis saudáveis de neurotrofinas. Na obra *Estresse*, Jan Bruce, Andrew Shatté e Adam Perlman discutem, com base em evidências científicas, como pensamentos e hábitos cotidianos influenciam diretamente a fisiologia do organismo e a resposta ao estresse. Isto é, “a melhor maneira de lidar com o estresse é pela preservação de nossa saúde física e emocional.” (McEwen, 2012, p. 31)

O fenômeno de atrofia neural e redução neurotrófica, associado ao estresse crônico, compromete a capacidade do estudante de formar novas memórias e de “desligar” o sistema de alerta (McEwen, 2012). Assim, estabelece-se um ciclo vicioso: quanto maior a carga alostática, menores são os recursos biológicos disponíveis para lidar com os desafios cognitivos — entre eles, a própria Ansiedade Matemática.

#### **4.4 Ansiedade Matemática: definição, sintomas e bases neurobiológicas**

Conforme postula Campos (2022), a ansiedade matemática configura-se como uma aversão e temor específicos diante de atividades que envolvem o raciocínio quantitativo. Tal fenômeno atua como um obstáculo ao processamento cognitivo que, alimentado por crenças limitantes e pressões sociais, compromete a eficiência da memória de trabalho. Essa perspectiva converge com a definição do Instituto Reúna (2024), que caracteriza essa condição como uma reação negativa capaz de desencadear sintomas fisiológicos e emocionais, como nervosismo acentuado e preocupação persistente. Tais reações apresentam características semelhantes às manifestações da carga alostática descrita por McEwen (2012), na medida em que a exposição contínua a um estressor — neste caso, a matemática — pode ativar de forma recorrente os sistemas biológicos de resposta ao estresse.

Adicionalmente, a ansiedade matemática transcende o campo subjetivo, envolvendo componentes neurofisiológicos complexos. Moura-Silva, Neto e Gonçalves (2020) destacam que tarefas numéricas podem ativar redes neurais associadas ao medo e à dor física em indivíduos ansiosos. Estudos recentes corroboram essa tese, sugerindo que diferenças na forma como o cérebro monitora o erro durante a execução de tarefas influenciam diretamente o desempenho escolar (Superinteressante, 2026).

De acordo com Ashcraft (2002), uma das maiores autoridades mundiais sobre o tema, a ansiedade matemática interrompe a cognição ao sobrecarregar a memória de trabalho durante a execução de tarefas, dificultando o processamento numérico e o raciocínio necessário para a aprendizagem. Como discutido na seção anterior, a memória de trabalho é um processo cognitivo limitado e não uma central de memorização passiva; para que as informações se transformem em memórias mais resistentes ao tempo, são necessárias modificações nas sinapses desse processo (Kandel et al., 2014). Essa limitação biológica é reforçada pela International Dyslexia Association (2020, online), que explica:

A memória de trabalho é limitada tanto em capacidade quanto em duração. O adulto médio não consegue reter mais do que seis ou sete bits de informação [...]. A duração da memória de trabalho geralmente se limita a alguns segundos. Uma vez que a informação é perdida da memória de trabalho, ela não pode ser recuperada. O aluno que “perde” algumas das etapas de uma instrução oral não conseguirá recuperá-las sem repetição ou alguma outra forma de auxílio.

Para ilustrar esse mecanismo, pode-se imaginar uma metáfora visual: uma folha em branco representando o espaço cognitivo disponível nas regiões encefálicas responsáveis pela manutenção da memória. Uma parte mínima dessa folha corresponde à memória de trabalho. Se utilizarmos esse espaço restrito para "rascunhos" desnecessários — como pensamentos intrusivos ou preocupações — não restará área suficiente para organizar a sequência lógica necessária para resolver um problema matemático.

#### **4.5 A Teoria da Eficiência de Processamento (TEP) e a sobrecarga da memória de trabalho**

Nesse sentido, a Teoria da Eficiência de Processamento (TEP), proposta por Eysenck e Calvo (1992), oferece uma explicação relevante para esse bloqueio. Segundo os autores, a ansiedade introduz preocupações que funcionam como uma espécie de “tarefa secundária”. No momento em que o aluno se depara com um problema complexo — como a aplicação de definições de inequações exponenciais — pensamentos como “não sei fazer” ou “isso é muito difícil” passam a competir pelos mesmos recursos limitados da memória de trabalho que deveriam estar disponíveis para o raciocínio matemático.

Essa teoria estabelece uma distinção fundamental entre a eficácia do desempenho — o resultado final em termos de qualidade e precisão — e a eficiência do processamento, que corresponde à relação entre o resultado obtido e o esforço cognitivo investido. No contexto da ansiedade matemática, a eficiência do aluno diminui significativamente, pois o cérebro passa a dividir seus recursos entre o gerenciamento do medo do fracasso e a

execução cognitiva da tarefa. Em outras palavras, o estudante pode até conseguir resolver o problema proposto (eficácia), porém o custo cognitivo e o tempo despendido (eficiência) tornam-se desproporcionais, devido ao “rascunho emocional” que ocupa recursos valiosos do sistema. Nesse contexto, a ansiedade matemática pode ser compreendida como um conjunto de reações emocionais negativas — especialmente medo e aversão à matemática — que interferem na resolução de problemas e comprometem o desempenho acadêmico (Ribeiro e Carmo, 2024).

Reforçando essa visão, o UNIVERSITY OF CAMBRIDGE (2024) destaca que a ansiedade matemática constitui uma reação emocional específica e potencialmente debilitante. Um aspecto importante apontado pela instituição é que essa condição não deve ser confundida com a ansiedade geral de avaliação; ela não se limita a provas ou exercícios escolares, tratando-se de um fenômeno particular que pode se manifestar também em situações cotidianas da vida adulta. Esse quadro pode influenciar inclusive trajetórias profissionais, levando indivíduos a evitarem carreiras que envolvam qualquer tipo de manipulação numérica. Esse fenômeno converge com os estudos de Ashcraft (2002), que demonstram que a evasão de áreas acadêmicas e profissionais que exigem habilidades quantitativas constitui uma das consequências mais significativas da ansiedade matemática.

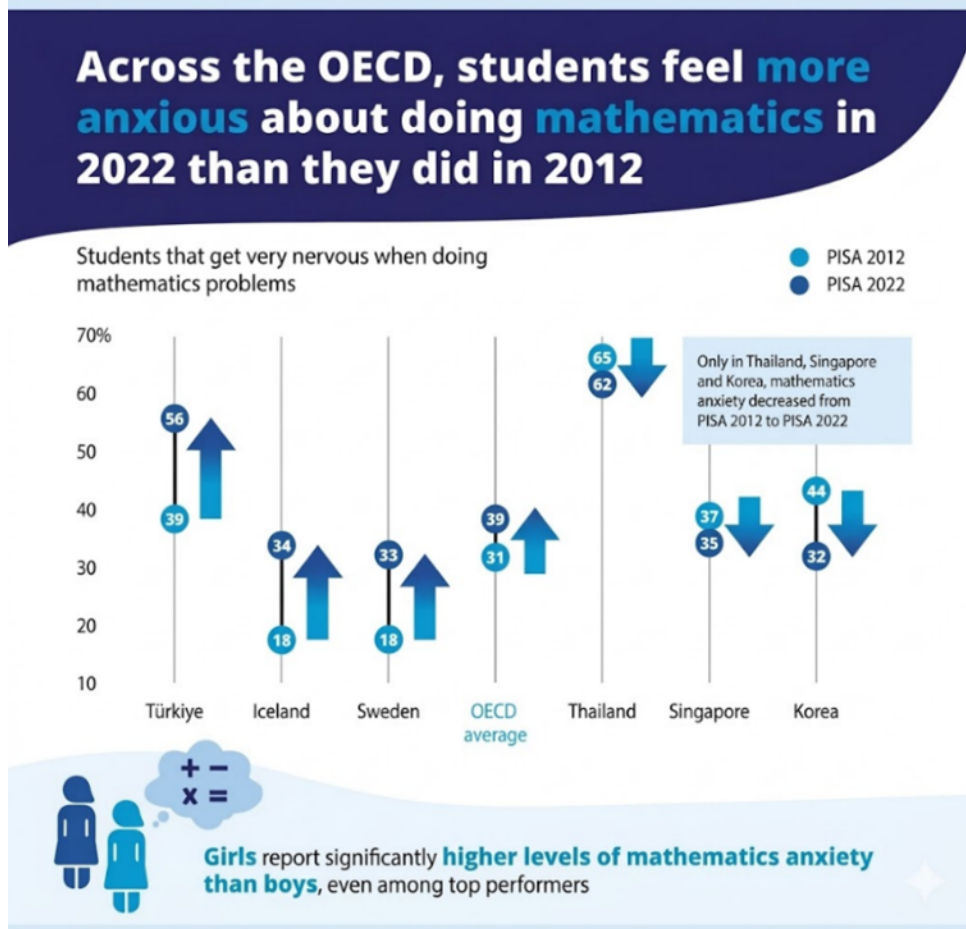
#### **4.6 Análise estatística da ansiedade matemática no Brasil: PISA 2022 e os dados da Fundação Itaú**

Essa fundamentação teórica é corroborada pelos dados do PISA 2022 (Volume V), dedicado às estratégias de aprendizagem. Os resultados revelam um cenário de elevada ansiedade matemática entre os estudantes brasileiros: 79,5% manifestam preocupação com suas notas e 62,3% relatam nervosismo ou tensão ao resolver problemas (OCDE, 2024). Este quadro é significativamente superior às médias da OCDE (65% e 40%, respectivamente). A análise desses dados sugere que o fenômeno está intrinsecamente ligado à baixa autoeficácia dos alunos e às profundas desigualdades socioeconômicas do país (Mori, 2024).

Conforme ilustrado na Figura 27, recorte do infográfico publicado no Volume V do PISA 2022 (OCDE, 2024), a ansiedade matemática aumentou significativamente na maioria dos países entre 2012 e 2022. Enquanto a média da OCDE subiu de aproximadamente 30% para 40%, o Brasil atingiu cerca de 62% — um dos índices mais elevados entre

todas as economias participantes. O infográfico também destaca que apenas Tailândia, Singapura e Coreia do Sul conseguiram reduzir seus níveis de ansiedade no período, e que as meninas apresentam níveis mais altos de ansiedade do que os meninos, mesmo entre os alunos de alto desempenho, o que corrobora os achados de pesquisas anteriores (Ashcraft, 2002).

Figura 27 – Evolução da ansiedade matemática entre 2012 e 2022.



Fonte: OCDE (2024).

Um panorama mais recente e contextualizado sobre a relação dos estudantes brasileiros com a matemática é oferecido pela pesquisa “Percepções sobre a Matemática na Comunidade Escolar”, realizada pelo Observatório Fundação Itaú em parceria com o Equidade.info (Fundação Itaú, 2024). O estudo, conduzido entre setembro e outubro de 2024 com uma amostra significativa de 197 escolas, 3.183 estudantes, 426 docentes e 235 gestores, traz dados que dialogam diretamente com as discussões propostas nesta dissertação.

Os resultados indicam que, embora a maioria dos alunos (92%) reconheça a importância da matemática para seu futuro, e 73% a considerem útil para resolver

problemas cotidianos, persistem barreiras significativas. A crença de que a matemática é apenas para “pessoas inteligentes” ainda encontra eco entre 23% dos estudantes, um percentual que, surpreendentemente, é maior nos anos iniciais do ensino fundamental (Fundação Itaú, 2024). Essa percepção contribui para um cenário onde 38% dos alunos relatam que a matemática lhes causa nervosismo ou ansiedade – um número que corrobora a relevância clínica e educacional do fenômeno aqui estudado. Esse sentimento é mais prevalente entre as meninas (46%) do que entre os meninos (33%), uma diferença de gênero que ecoa achados clássicos da literatura (Ashcraft, 2002) e sugere a influência de fatores socioculturais.

A ansiedade matemática parece se intensificar com o avanço escolar. A pesquisa revela uma queda acentuada na percepção de que a escola proporciona um ambiente no qual todos se sentem capazes de aprender matemática: de 84% nos anos iniciais para apenas 64% no ensino médio. Simultaneamente, a valorização da disciplina para o cotidiano também declina, passando de 75% nos primeiros anos para 52% no ensino médio (Fundação Itaú, 2024). Essa trajetória descendente sugere que a experiência escolar, em vez de consolidar a autoconfiança e o engajamento dos estudantes, pode estar reforçando a insegurança e o distanciamento — um processo que se alinha à tendência de esquiva descrita por Ashcraft (2002).

A comunidade escolar é, sem dúvida, um espaço de intensa interação social e potencial remodelagem cerebral. Otimizar a experiência do estudante nesse ambiente pode modificar positivamente suas estruturas neurais, visto que o isolamento e o estresse ambiental são fatores que elevam a carga alostática — o desgaste biológico imposto ao organismo pelo estresse crônico (McEwen, 2012). Nesse sentido, a construção de um ambiente seguro, acolhedor e cognitivamente estimulante torna-se fundamental para a otimização da aprendizagem.

Os dados indicam, portanto, que a escola exerce um papel ambíguo. Por um lado, 77% dos alunos acreditam que todos são capazes de aprender matemática, e 65% afirmam que aprenderiam mais se a disciplina fosse apresentada de forma mais interessante ou envolvente. Por outro lado, 48% dos estudantes já planejam escolher carreiras com pouca matemática, e 51% almejam profissões com baixa exigência dessa área do conhecimento (Fundação Itaú, 2024). Esses resultados evidenciam que a ansiedade e as crenças negativas associadas à matemática produzem consequências concretas na limitação de oportunidades futuras, configurando um dos efeitos mais preocupantes desse construto (Hembree, 1990).

A percepção dos professores e gestores, embora alinhada quanto à importância da matemática, também revela desafios. Metade dos docentes (50%) concorda que a matemática causa ansiedade nos alunos, e 20% sentem-se pouco ou nada preparados para integrar habilidades matemáticas em sua prática, mesmo fora de sua formação específica (Fundação Itaú, 2024). Isso significa que 80% dos professores da pesquisa se sentem preparados e habilitados em relação ao ensino de matemática, o que sugere que esses docentes estão em posição de amenizar a sensação de ansiedade matemática identificada nos alunos.

Intervenções que combinam estratégias pedagógicas e psicoterapêuticas apresentam maior eficácia na redução da ansiedade matemática em crianças e adolescentes (Curilla e Carmo, 2023). Esses dados, somados aos resultados do PISA 2022, apontam para a urgência de investir em formação continuada que capacite os educadores não apenas em conteúdos, mas também em estratégias para lidar com a dimensão emocional da aprendizagem – uma demanda que ecoa nos 20% de docentes que se sentem pouco preparados para essa tarefa.

É precisamente essa dimensão – a emoção – que o próximo capítulo se propõe a explorar como elemento fundamental na marcação de relevância cognitiva.

## 5 DA TEORIA À PRÁTICA DOCENTE: O PROFESSOR COMO MARCADOR DE RELEVÂNCIA

“Para Wallon, o ser humano é organicamente social e sua estrutura orgânica supõe a intervenção da cultura para se atualizar. Isto significa que, desde o nascimento, as emoções, que são o primeiro sistema de comunicação do indivíduo com o meio, já trazem em si a semente da cognição.” (Almeida e Mahoney, 2007, p. 17)

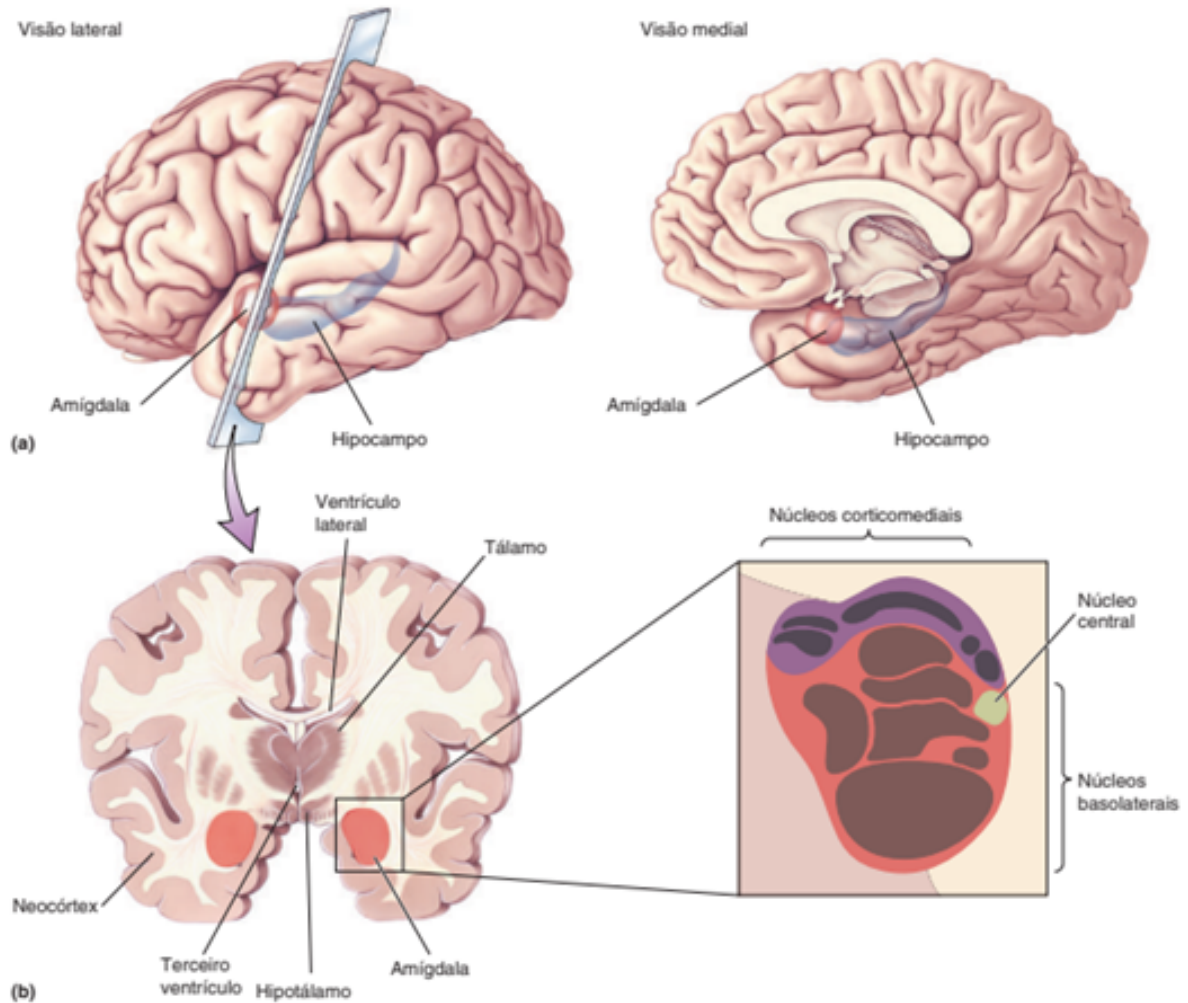
“A vida afetiva e a vida cognitiva não se desenvolvem paralelamente, uma ao lado da outra, mas de forma integrada, interdependente, uma constituindo a outra.” (Almeida e Mahoney, 2007, p. 23)

### 5.1 Amígdala e hipocampo: estruturas centrais para a emoção e a memória

Diante disso, torna-se necessário compreender como as emoções são definidas biologicamente e qual sua relação com o processamento cortical. Um ponto que frequentemente gera confusão terminológica é a distinção entre emoção e sentimento. De acordo com Kandel et al. (2014), as emoções são respostas automáticas e inconscientes. Elas representam o impacto imediato – como o susto e a reação física instantânea ao reencontrar alguém após anos –, sendo processadas primordialmente pela amígdala, o que converge com a definição de LeDoux (2011) em sua obra *O Cérebro Emocional*. Já o sentimento configura-se como o desdobramento consciente desse processo. Ele surge quando o indivíduo interpreta o impacto emocional, compreendendo o significado daquela “avalanche” orgânica. Trata-se da percepção consciente da emoção, uma integração que envolve áreas corticais, permitindo que o cérebro dê nome e sentido ao que foi vivenciado fisicamente.

Hoje, em meio a tantas possibilidades tecnológicas para analisar o cérebro em funcionamento, o que se vê é quase um espetáculo: o encéfalo humano trabalhando em frações de segundo enquanto processa o que sente. E nesse cenário, uma estrutura pequena, mas intensamente envolvida nas emoções – em especial no medo – merece destaque: a **amígdala**. Como sintetiza Lent (2010, p. 721), “a amígdala é o botão de disparo e modulador de toda experiência emocional”. Representada abaixo:

Figura 28 – Secção coronal na altura da amígdala.



(a) Visões lateral e medial do lobo temporal, mostrando a localização da amígdala em relação ao hipocampo. (b) Foi feita uma secção co-ronal do encéfalo para mostrar a amígdala em secção transversal. Os núcleos basolaterais (circundados de vermelho) recebem aferentes visuais, auditivos, gustatórios e táteis. Os núcleos corticomediais (circundados de violeta) recebem aferentes olfatórios.

Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 631).

Os estudos de neuroimagem evidenciam que diante de um estímulo que ameaça, que assusta, que mobiliza, é a amígdala quem primeiro acende. E essa ativação não se limita ao medo. O que as imagens revelam é que ela responde também ao que é intensamente bom, ao que surpreende, ao que importa para quem sente. Pesquisas recentes sugerem que “o papel da amígdala no medo aprendido, inicialmente estudado em coelhos e ratos, verifica-se também em seres humanos”(Bear, Connors e Paradiso, 2017, p. 635).

O que parece estar em análise não é exatamente a qualidade da emoção – se negativa ou positiva –, mas sim a sua relevância. A amígdala funciona como uma espécie “marcador”, avaliando o que no ambiente merece atenção imediata, o que pede uma reação do corpo, o que vai ficar guardado na memória como experiência que ensina. Tudo isso

acontece num piscar de olhos, muitas vezes antes mesmo que se tome consciência do que está acontecendo (Kandel et al., 2014). É por isso que Lent (2010, p. 670) afirma: “Dentre todos esses sistemas moduladores, entretanto, um deles desempenha um papel de maior relevo pelo fato de associar as emoções (e suas repercussões em todo o organismo) com a memória. Trata-se da amígdala.”

Essa capacidade de associar estímulos aparentemente neutros a experiências emocionais intensas é o que chamamos de condicionamento do medo. Como descreve LeDoux (2011, p. 122), “o condicionamento do medo transforma estímulos inexpressivos em sinais de alerta, pistas que indicam situações potencialmente perigosas com base em experiências do passado”. Esse aprendizado é notavelmente rápido e duradouro. Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 277) destacam que o aprendizado aversivo “requer notavelmente pouca experiência (tão pouca quanto uma única sessão) e pode durar um longo tempo – mais de 50 anos para algumas pessoas!”. Não é à toa, portanto, que Kandel et al. (2014, p. 1289) afirmam categoricamente: “A memória de medo aprendido em mamíferos envolve a amígdala.” Isto pode ser uma das possibilidades que justificam o porquê de grande parte dos estudantes que tiveram alguma experiência negativa, associarem a uma matéria muito difícil. Especialmente se essas experiências forem corriqueiras.

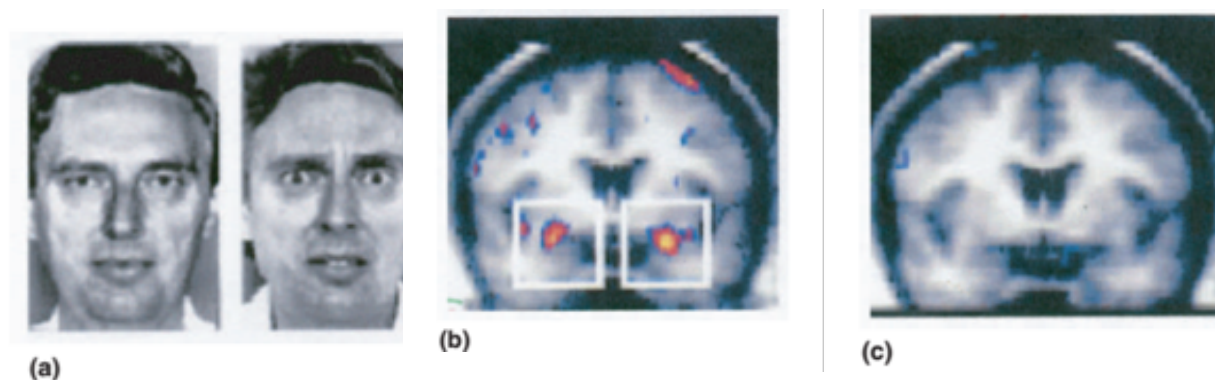
A força dessas memórias é tamanha que, uma vez consolidadas, dificilmente desaparecem. LeDoux (2011, p. 217-218) alerta: “Memórias inconscientes do medo, estabelecidas por meio da amígdala, parecem definitivamente eliminadas do cérebro. O mais provável é que permaneçam conosco por toda a vida.” É importante deixar claro, no entanto, que “eliminadas” não significa aqui um apagamento físico da memória, mas sim a impossibilidade de sua completa erradicação. A memória permanece, mas sua expressão pode ser regulada pelo córtex pré-frontal, que exerce um controle inibitório sobre a amígdala, permitindo que o estímulo que já foi ameaçador seja reinterpretado à luz de novas experiências.

É exatamente esse mecanismo que está em jogo quando um aluno acumula vivências negativas com a matemática – humilhação ao errar na lousa, notas baixas recorrentes, pressão por tempo, críticas constantes de pais, colegas, família ou professores. Sua amígdala aprende a associar a disciplina a uma ameaça, consolidando uma memória emocional que pode acompanhá-lo por anos, ativando-se automaticamente diante de novos desafios. A superação dessa resposta, portanto, não depende do apagamento da memória original – tarefa biologicamente impossível –, mas da construção de novas experiências

positivas que fortaleçam as vias de controle do córtex pré-frontal sobre a amígdala, ressignificando a relação do aluno com a matemática.

Para entender melhor o funcionamento, nas imagens de ressonância funcional, vê-se a amígdala acender em vermelho ou amarelo diante de um rosto amedrontador, de uma cena de perigo, mas também diante do rosto de alguém que se ama (Lent, 2010). Foi o que se verificou em um experimento realizado por Breiter e colaboradores, no qual os participantes eram posicionados em uma máquina de ressonância magnética funcional enquanto observavam faces com expressões de medo. Os resultados mostraram que “o aumento na memória para figuras emocionais apresentou correlação com a atividade registrada na amígdala (Figura 30). Não houve tal correlação para figuras neutras” (Bear, Connors e Paradiso, 2017, p. 633).

**Figura 29 – Ativação da Amígdala Esquerda pelo Medo em Sujeitos Normais.**



(a) Estímulos faciais utilizados: uma face com expressão neutra (à esquerda) e a mesma face expressando medo (à direita). (b) Imagem de ressonância magnética funcional (fMRI) de alta resolução evidenciando os focos de ativação neural (marcados em vermelho e amarelo) dentro da região límbica (destacada pelos quadrados brancos), confirmando a resposta robusta da amígdala esquerda ao estímulo de medo. (c) Imagem de controle com a mesma área visualizada, mostrando a ausência de ativação em condições não-afetivas.

Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 633).

Uma situação recorrente na prática do professor de Matemática é testemunhar a aflição de um aluno ao deparar-se com uma avaliação ou problema que envolva raciocínio matemático. No momento em que o estudante visualizar a situação, ocorre um impacto emocional imediato (emoção), que pode manifestar-se através de nervosismo, tensão muscular e palpitações. Em casos mais graves, essa resposta emocional pode ser externalizada por meio de sintomas psicossomáticos, como o vômito – exatamente como relatado no estudo de caso da aluna Beatriz (Seção 5.6).

A amígdala, que processa o medo, e o **hipotálamo**, responsável por converter

esse estímulo emocional em reações fisiológicas, trabalham em conjunto, atuando como o centro integrador que canaliza o estresse gerado, disparando respostas involuntárias que preparam o organismo para uma situação de ameaça (Lent, 2010).

Kandel et al. (2014) explicam que, biologicamente, essa reação ocorre porque o corpo entra em modo de “luta ou fuga”. Nessa resposta, há uma redistribuição do fluxo sanguíneo: o sistema digestivo é temporariamente “pausado” para que o sangue e o oxigênio sejam priorizados nos músculos esqueléticos. Isto é, o cérebro interpreta que o corpo necessita de força nos membros superiores para lutar ou prontidão nas pernas para fugir. Assim, o organismo reduz a atividade nos vasos sanguíneos do estômago e intestino (vasoconstrição) e expande a irrigação nos músculos (vasodilatação). Como consequência dessa interrupção do fluxo sanguíneo pleno para o sistema digestivo, o estômago pode reagir expulsando o seu conteúdo, interpretando-o como um peso desnecessário para a sobrevivência imediata, o que acaba gerando náuseas e o vômito diante da prova de Matemática.

O **hipocampo**, por sua vez, é a estrutura responsável pelo armazenamento de informações a longo prazo, trabalhando em estreita colaboração com a amígdala. Complementarmente, o hipotálamo coordena o equilíbrio e a estabilidade do organismo, regulando condutas vitais como o ciclo do sono, a temperatura corporal e os batimentos cardíacos. Como destacam Kandel et al. (2014, p. 947), “os correlatos neurais dos sentimentos estão começando a ser compreendidos”, e diversas áreas do encéfalo – não apenas a amígdala – estão envolvidas no processamento emocional. Além disso, “estados motivacionais influenciam o comportamento direcionado a um objetivo” Kandel et al. (2014, p. 952), o que significa que *a forma como o aluno se sente em relação à matemática afeta diretamente sua disposição para aprender e persistir*.

A psicologia do desenvolvimento, particularmente na obra *Afetividade e aprendizagem: Contribuições de Henri Wallon* (Almeida e Mahoney, 2007), oferece ferramentas fundamentais para compreender a indissociabilidade entre afetividade e cognição. Para Wallon, os domínios funcionais que compõem o psiquismo humano – afetividade, ato motor, conhecimento e pessoa – formam um todo integrado, um sistema regulador da vida mental (Almeida e Mahoney, 2007). O autor adverte que estudá-los separadamente “não pode ser feito sem certa artificialidade” (Almeida e Mahoney, 2007), antecipando em décadas a crítica que Damásio (2012) faria ao dualismo cartesiano.

A afetividade, nessa perspectiva, é definida como “a capacidade, a disposição

do ser humano de ser afetado pelo mundo externo e interno por meio de sensações ligadas a tonalidades agradáveis ou desagradáveis” (Almeida e Mahoney, 2007, p. 17). Sua exteriorização mais primitiva dá-se por meio das emoções, que possuem “um poder plástico, expressivo e contagioso; é o recurso de ligação entre o orgânico e o social; estabelece os primeiros laços com o mundo humano” (Almeida e Mahoney, 2007, p. 17). Essa concepção encontra eco na neurociência contemporânea, particularmente nos estudos sobre neurônios-espelho e ressonância emocional, que demonstram como o cérebro é capaz de “espelhar” estados afetivos alheios (Herculano-Houzel, 2005; Kandel et al., 2014).

Essa paralisia do raciocínio lógico em favor de uma resposta visceral de sobrevivência demonstra que a mente não opera em um vácuo puramente racional. Ao contrário, o “sequestro” das funções executivas pela amígdala evidencia que a arquitetura do pensamento é, em sua gênese, atravessada pela experiência corpórea. Essa constatação desmorona a visão clássica de que as emoções seriam apenas ruídos ou obstáculos à clareza intelectual. Ao investigar as bases dessa integração, o item a seguir explora como a negação desse vínculo — o que se convencionou chamar de herança cartesiana — limitou por séculos a compreensão sobre o verdadeiro funcionamento da inteligência humana e, por extensão, os processos de ensino e aprendizagem.

## **5.2 O erro de Descartes e a indissociabilidade entre razão e emoção**

É comum ouvirmos que, para tomar decisões corretas ou produzir intelectualmente, devemos “manter a cabeça fria”, “ser racionais” e silenciar as emoções. Essa herança do pensamento de René Descartes, que separou a mente do corpo e a razão da emoção, moldou não apenas a ciência, mas a forma como cobramos produtividade de nós mesmos. No entanto, a vida real frequentemente desmente essa separação.

Durante a construção desta pesquisa, vivi na pele a impossibilidade desse isolamento. Diante de situações de luto e problemas pessoais, tentei, por diversas vezes, “guardar a emoção em uma gaveta” para que a razão pudesse focar na escrita e no estudo. O resultado foi a constatação empírica de um bloqueio: as memórias intrusivas e a angústia não pediam licença; elas ocupavam o espaço que a razão tentava controlar. Por semanas, o “preciso focar” da lógica foi silenciado pelo “preciso processar” do organismo.

É nesse cenário de vulnerabilidade que a obra de António Damásio, *O Erro de Descartes*, deixa de ser apenas uma referência bibliográfica para se tornar uma chave de compreensão da própria existência. Damásio argumenta que o erro de Descartes foi

justamente acreditar na dissociação entre o racional e o emocional:

É esse o erro de Descartes: a separação abissal entre o corpo e a mente, entre a substância corporal, infinitamente divisível, com volume, com dimensões e com um funcionamento mecânico, de um lado, e a substância mental, indivisível, sem volume, sem dimensões e intangível, de outro; a sugestão de que o raciocínio, o juízo moral e o sofrimento advindo da dor física ou da agitação emocional poderiam existir independentemente do corpo. Especialmente: a separação das emoções mais refinadas, de um lado, e da estrutura e funcionamento do organismo biológico, de outro (Damásio, 2012, p. 219).

Isto é, ao contrário do que defendia o dualismo cartesiano, a emoção não é um ruído que atrapalha o sistema, mas um componente biológico indispensável para o funcionamento da própria razão.

Como vimos, a amígdala atua como esse marcador biológico de relevância, é a partir dessa compreensão que Damásio formula a Hipótese do Marcador-Somático. Para o autor, as emoções funcionam como um sistema de orientação biológica: diante de uma experiência, o corpo cria marcadores que atuam como uma espécie de “campanha de alarme automático” (Damásio, 2012, p. 163), filtrando opções e auxiliando o processo decisório antes mesmo do raciocínio lógico ser plenamente processado. Em suas palavras:

Em suma, os marcadores-somáticos são um caso especial do uso de sentimentos gerados a partir de emoções secundárias. Essas emoções e sentimentos foram ligados, pela aprendizagem, a resultados futuros previstos de determinados cenários. (Damásio, 2012, p. 164)

No contexto escolar, esse mecanismo sugere que o “bloqueio” ou a paralisia do aluno diante de um problema de Matemática pode ser, em última análise, a manifestação de um marcador somático negativo, criado a partir de experiências afetivas anteriores. Se esses marcadores forem negativos — como os registrados pela amígdala — eles atuam como um sinal de alarme automático que desvia a atenção da tarefa cognitiva, confirmando que a emoção não é um obstáculo à razão, mas um componente biológico indispensável de sua engrenagem.

É justamente a partir dessa compreensão — de que emoção e razão são indissociáveis e que a aprendizagem molda nossos marcadores — que proponho, neste trabalho, o conceito de marcador de relevância. Adaptando a noção de Damásio para o contexto educacional, entendo que a amígdala atua como um filtro que sinaliza ao cérebro quais informações, por sua carga emocional, merecem ser priorizadas no armazenamento e na recuperação. Se o marcador somático responde à pergunta “O que devo fazer?”, o marcador de relevância responde à pergunta “O que devo lembrar?”. A amígdala, ao avaliar a carga emocional de uma experiência, sinaliza ao hipocampo: “isto é importante, guarde com prioridade”. Como descreve Lent:

Dentre todos esses sistemas moduladores, entretanto, um deles desempenha um papel de maior relevo pelo fato de associar as emoções (e suas repercussões em todo o organismo) com a memória. Trata-se da amígdala. [...] Guardamos com mais facilidade os fatos de nossa vida que têm um forte componente emocional, positivo ou negativo: a morte de uma pessoa querida, o nascimento de um filho, um evento trágico presenciado na rua, o primeiro encontro com uma pessoa amada, e assim por diante. (Lent, 2010, p. 670)

Os estudos da neurociência voltados para o campo emocional — hoje consolidado como neurociência afetiva — ganharam uma estrutura mais robusta no início da década de 1990. Desde então, sua evolução tem sido proporcional ao avanço tecnológico: nas últimas três décadas, o campo foi acelerado por inovações em neuroimagem, optogenética, farmacologia, modelagem computacional e inteligência artificial (Mobbs, s.d). Embora ainda não seja possível mapear o sistema emocional com a mesma precisão com que os sistemas sensoriais periféricos foram delineados, o paradigma científico evoluiu consideravelmente (Lent, 2010, p. 714). As investigações iniciais, que buscavam um sistema único ou áreas isoladas dedicadas a emoções específicas, estão sendo substituídas por teorias contemporâneas que compreendem as emoções como resultados de redes de atividade encefálica amplamente distribuídas (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

Historicamente, a tentativa de agrupar as estruturas responsáveis pela emoção culminou no conceito de sistema límbico. No entanto, obras de referência como *Neurociências: Desvendando o Sistema Nervoso* apresentam essa ideia com ressalvas, indicando que o conceito, embora historicamente relevante, é cientificamente impreciso sob a luz das descobertas atuais. A compreensão neuroanatômica das emoções passou por profundas transformações, evoluindo de um modelo de “centro emocional” único para uma perspectiva de sistemas integrados.

Este percurso conceitual iniciou-se em 1878, quando o neurologista Paul Broca identificou um anel de córtex na superfície medial dos hemisférios cerebrais, presente em todos os mamíferos, ao qual denominou lobo límbico (do latim *limbus*, que significa “borda” ou “anel”). Curiosamente, à época, Broca vinculou essa estrutura primordialmente ao sentido do olfato, e não às emoções.

Quase seis décadas depois, em 1937, James Papez propôs um modelo inovador ao sugerir que a experiência e a expressão emocional resultavam da atividade em um circuito anatômico específico que conectava o córtex ao hipotálamo. O Circuito de Papez incluía o córtex cingulado (associado à experiência emocional), o hipocampo, o fórnix, o hipotálamo (responsável pela expressão emocional) e os núcleos anteriores do tálamo. A

inclusão do hipocampo foi influenciada pela observação de que o vírus da raiva, que causa hiperexcitabilidade emocional, afetava severamente essa região.

Em 1952, o fisiologista Paul MacLean popularizou o termo Sistema Límbico, integrando o lobo de Broca ao circuito de Papez e adicionando estruturas como a amígdala e a área septal. MacLean concebeu esse sistema como parte de seu modelo evolutivo do “cérebro triúno”, no qual o sistema límbico representaria um estágio filogenético intermediário entre o cérebro reptiliano e o neocórtex (Kandel et al., 2014).

### 5.3 O conceito de “Marcador de Relevância”: a amígdala como filtro da aprendizagem

Autores contemporâneos, como Joseph LeDoux, questionam a utilidade do conceito de sistema límbico. Em *O Cérebro Emocional*, LeDoux (2011, p. 63) é categórico: “A teoria do sistema límbico mostra-se equivocada como justificativa para o cérebro emocional, e alguns cientistas chegam mesmo a afirmar que o sistema límbico não existe.” Para ele, o conceito agrupa artificialmente estruturas com funções diversas e subestima a participação de áreas corticais no processamento emocional.

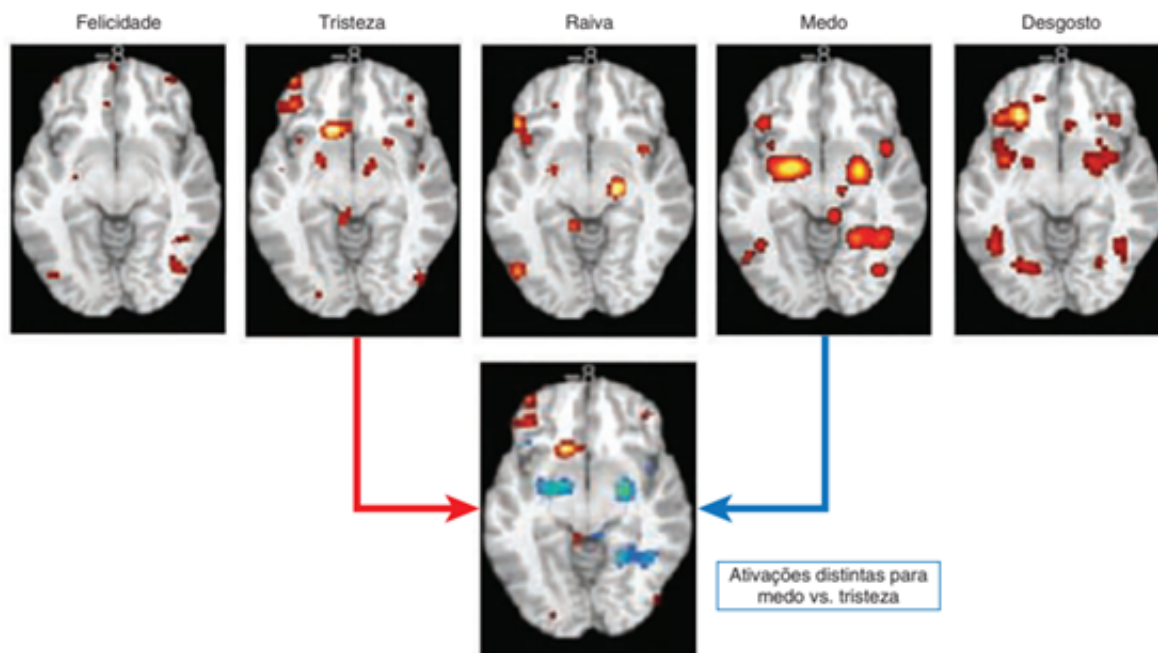
Nessa mesma linha, António Damásio, em *O Erro de Descartes*, demonstra como as emoções e os sentimentos são indissociáveis dos processos de raciocínio e tomada de decisão, envolvendo uma integração complexa entre corpo, tronco cerebral, sistema límbico e córtex pré-frontal – um modelo que se distancia radicalmente da ideia de um “centro” isolado. Conforme sintetizado por Lent (2010), as emoções emergem da atividade coordenada de múltiplas redes neurais, e a busca por um sistema único reflete uma visão ultrapassada da organização cerebral.

Nesse contexto, a neuroimagem funcional tem sido fundamental para questionar a validade de um sistema límbico “monolítico”. Como destacam Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 625):

O ponto crítico parece ser conceitual [...]. Dada a diversidade das emoções que experimentamos e a diferente atividade encefálica associada a cada uma delas, não há uma razão forte que nos faça pensar que apenas um sistema esteja envolvido, em vez de diversos sistemas. [...] está se tornando cada vez mais claro que não existe um sistema único e bem delimitado para as emoções.

Ao observarem experimentos de Imageamento por Ressonância Magnética Funcional (fMRI), pesquisadores identificam os chamados “pontos quentes” (*hotspots*) – áreas de atividade metabólica aumentada, representadas em escalas de cores.

Figura 30 – Ativação encefálica associada a cinco emoções básicas.



Fonte: Hamann (2012, p. 460).

Conforme ilustrado na Figura 30, a intensidade da ativação encefálica para cada uma das cinco emoções básicas é representada por uma escala cromática, na qual o amarelo indica uma atividade metabólica superior ao vermelho. Um ponto de destaque na análise comparativa (parte inferior da imagem) é a diferenciação clara entre os circuitos da tristeza e do medo: enquanto as áreas em vermelho e amarelo evidenciam maior atividade durante a tristeza, as áreas em azul sinalizam a predominância de atividade relacionada ao medo (Hamann, 2012). A análise dessas evidências revela três fenômenos fundamentais:

- **Variabilidade de Extensão:** diferentes emoções recrutam redes de magnitudes distintas, variando de redes vastas a núcleos mais concentrados;
- **Sobreposição Funcional:** uma mesma região pode ser recrutada por diferentes emoções, indicando que as áreas são componentes de múltiplas redes funcionais;
- **Circuitos Distintivos e Integrados:** embora existam padrões de especialização – como a amígdala no medo e o Córtex Pré-Frontal Medial (CPFM) na tristeza – tais estruturas operam de forma interdependente.

Essa evolução reflete duas correntes de interpretação: a Interpretação Localizcionista, que busca “centros exclusivos” para cada emoção (análoga à Área Facial Fusiforme para rostos, citada em Kandel et al. (2014), e a Interpretação em Rede (Dimensional/Construcionista), atualmente mais defendida pela literatura (Hamann, 2012; Bear, Connors e

Paradiso, 2017). Nesta última, a amígdala representa a dimensão de alerta presente no medo, enquanto o CPFM processa a valência e o aspecto autorreflexivo da experiência, configurando a emoção como uma construção dinâmica e adaptativa.

Diante do exposto, é possível afirmar que, se o estresse excessivo compromete a memória, a emoção adequada pode potencializá-la. É nesse ponto que o conceito de marcador de relevância torna-se pertinente, a amígdala, ao identificar uma experiência como significativa, sinaliza ao hipocampo e às áreas corticais que aquela informação merece prioridade no armazenamento e na recuperação futura (Lent, 2010; (Bear, Connors e Paradiso, 2017). No contexto educacional, isso significa que as emoções modulam diretamente os sistemas responsáveis pela memória (Kandel et al., 2014). Destaca-se, em especial, a interação entre o hipocampo – estrutura essencial para a consolidação de memórias declarativas, como conceitos matemáticos – e a amígdala, que atribui significado emocional à experiência. Ao receber um estímulo, a amígdala modula a memória de trabalho e influencia a força com que a informação será consolidada (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

Complementando essa visão, o trabalho do psicólogo Paul Ekman – pioneiro no estudo das emoções e consultor científico do filme *Divertida Mente* (*Inside Out*) – oferece uma base sólida para esta pesquisa. Conforme destaca Grant (2015), a animação da Pixar não é apenas entretenimento, mas uma obra fundamentada nas descobertas de Ekman sobre a universalidade das expressões faciais e das emoções básicas. Por essa razão, o filme tornou-se inspiração central para o produto educacional desenvolvido nesta dissertação, ao dar rosto e voz às emoções, *DivertidaMente* traduz, de forma lúdica e acessível, conceitos que a neurociência que vem sendo consolidado há décadas.

A título de curiosidade, a perspectiva de Panksepp (neurobiólogo e psicólogo estoniano-americano) sobre a existência de sistemas emocionais inatos encontra forte ressonância nos trabalhos de Paul Ekman. Enquanto Ekman demonstrou, por meio de estudos transculturais, a universalidade das expressões faciais associadas a emoções como raiva, medo e alegria em seu livro *A Linguagem das Emoções* (Ekman, 2011), Panksepp ofereceu a base neurobiológica para esses fenômenos, identificando os circuitos cerebrais subcorticais responsáveis por gerar tais estados afetivos (Panksepp, 1998). A própria inclusão da obra de Panksepp — *Neurociência Afetiva: Os Fundamentos das Emoções Humanas e Animais* — na “Series in Affective Science”, editada por Ekman e outros, simboliza a integração dessas duas perspectivas complementares no estudo científico das

emoções, fundamentando teoricamente o produto educacional deste trabalho. É sobre esse solo — onde a neurociência encontra a sala de aula — que construiremos, a seguir, a ponte entre os conceitos aqui estabelecidos e sua aplicabilidade concreta na compreensão e superação da ansiedade matemática.

#### 5.4 O professor como regulador emocional e marcador externo de relevância

A dificuldade em lidar com o novo ou com o divergente no ensino de Matemática não é apenas uma barreira pedagógica, mas possui raízes neurobiológicas profundas. Conforme aponta reportagem recente sobre o funcionamento cerebral diante de opiniões contrárias (BBC News Brasil, 2026), o Córtex Cingulado Anterior (CCA) atua como um “radar de incongruências”, disparando sinais de alerta antes mesmo da avaliação racional dos argumentos. Esse processo, que envolve a ativação da amígdala e da ínsula, transforma o desacordo cognitivo em um mal-estar físico real.

No contexto da aprendizagem, o aluno que se depara com um conceito que desafia sua intuição pode vivenciar esse “custo emocional”, no qual o cérebro tende a buscar o raciocínio motivado para justificar suas crenças anteriores em vez de processar a nova informação. Por exemplo, quando um aluno aprendeu a dividir fazendo bolinhas (quantificando o dividendo) e formando grupos iguais (divisor), ao ser introduzido o algoritmo formal da divisão, há uma resistência inicial na assimilação, justamente porque se sai da intuição para a formalidade.

Outro exemplo comum é quando o estudante inicia o mundo da álgebra com equações do primeiro grau. Aqui, é fundamental trabalhar inicialmente conceitos que aproximem os alunos do conteúdo, para que entendam a essência antes de partirem para as regras de resolução — o que, infelizmente, alguns colegas não fazem. O aluno, especialmente crianças e adolescentes, precisa de um raciocínio motivado para conseguir “pegar o fio da meada”.

O Córtex Cingulado Anterior, vale destacar, é uma estrutura cerebral envolvida na detecção de conflitos e na sinalização de que algo “não se encaixa” (Kandel et al., 2014). Quando um aluno se depara com um conceito matemático que contradiz sua intuição — como a existência de números negativos, a multiplicação de frações ou a ideia de infinito — o CCA é ativado, gerando um desconforto cognitivo que, se não for acolhido, pode ser interpretado pela amígdala como uma ameaça real. O “raciocínio motivado” que daí

decorre é exatamente o que ocorre quando o aluno resiste a aprender: seu cérebro está protegendo uma crença anterior porque a nova informação foi sinalizada como perigosa.

É neste ponto que o professor assume o que proponho denominar marcador externo de relevância. Se a amígdala do aluno funciona como um filtro interno que avalia e sinaliza a relevância das experiências com base em vivências passadas, o professor pode atuar como uma referência externa que, deliberadamente, sinaliza ao cérebro do estudante o que merece atenção e, mais importante, que o ambiente é seguro para a exploração intelectual. Pois, assim como a amígdala atribui significado emocional às experiências, orientando o hipocampo sobre o que deve ser priorizado na memória, o professor pode, intencionalmente, criar condições para que determinados conteúdos e vivências sejam marcados como relevantes pelo cérebro do aluno. Mas essa marcação só é eficaz se ocorrer em um contexto de segurança emocional. Se o aluno percebe o ambiente como ameaçador — se o erro é punido, se a dúvida é ridicularizada, se a dificuldade é interpretada como incapacidade — sua amígdala permanecerá em estado de alerta, o funcionamento do córtex pré-frontal, responsável pelo raciocínio complexo, será comprometido e o medo literalmente aprendido se instalará.

Nesse cenário, o professor exerce um papel duplo: é, ao mesmo tempo, o marcador externo de relevância (sinalizando quais conceitos e experiências merecem ser consolidados) e o regulador emocional (auxiliando o aluno a nomear e processar o desconforto cognitivo, em vez de fugir dele). Que fique claro que não defendo aqui que o profissional seja um psicólogo individual ou que abdique da teoria, mas que tenha em mente que um ambiente acolhedor, estimulador e produtivo pode ser proporcionado diretamente por nós, professores.

Isto é, ao acolher o erro sem punição, ao validar a dificuldade como parte do processo e ao modelar uma postura de curiosidade diante do novo, o professor ensina ao cérebro do aluno, repetidamente, que a matemática não é uma ameaça, mas um campo seguro para a descoberta. E é precisamente essa sinalização repetida de segurança que permite, aos poucos, que as vias corticais de controle (córtex pré-frontal) se fortaleçam sobre as respostas automáticas da amígdala, criando as condições neurobiológicas para a superação da ansiedade matemática.

## 5.5 Do lado de cá da lousa: análise da prática no Projeto Mathvital: Relato 1

Em minha prática docente no projeto Mathvital, presenciei um episódio que ilustra, com clareza, como a teoria da neurociência afetiva se manifesta no cotidiano escolar. Uma aluna do 7<sup>o</sup> ano, a quem chamarei de Ana, conhecida por sua extroversão e vivacidade nas aulas, apresentava-se totalmente diferente do comum, com olhar vago e triste, não estava conseguindo focar nos conteúdos estudados. Ao perceber que a dificuldade ia além da compreensão conceitual, interrompi a atividade e propus uma conversa rápida.

Foi no acolhimento da escuta que a dor se revelou. Em meio a lágrimas, Ana desabafou: “Minha mãe disse que meu irmão nunca precisou de aulas extras, sempre tirou notas boas... eu só dou preocupação. Se continuar assim, não irei viajar nas férias.” A comparação com o irmão, somada à ameaça de perder um momento familiar importante, e a bagagem de notas baixas na disciplina de matemática, instalara um estado de angústia tão profundo que o acesso ao raciocínio lógico estava temporariamente bloqueado.

Naquele instante, ficou evidente que a demanda da aluna não era por algoritmos ou fórmulas, mas por equilíbrio emocional — ou, em uma metáfora que fundamenta este trabalho, ela precisava de seus “Divertimentos” regulados. O estresse gerado pela comparação ativava um estado de ameaça tão intenso que o acesso às funções executivas superiores estava comprometido.

Sob a ótica de Damásio (2012), o que testemunhei foi o funcionamento de um marcador somático de valência negativa. Para Damásio, as emoções funcionam como sinalizadores que indicam ao organismo o que é vital — aqui, tratado como marcador de relevância. No caso dessa estudante, a matemática deixou de ser um objeto de aprendizagem para se tornar um gatilho de dor e desajuste familiar. Seu cérebro, priorizando a sobrevivência emocional (homeostase), “sequestrou” os recursos cognitivos para processar a angústia, deixando o raciocínio matemático em segundo plano.

Ao interromper o conteúdo técnico por alguns minutos para realizar a regulação emocional — através do acolhimento, da escuta ativa e deixando a aula o mais “leve” e didática possível —, atuei diretamente na redução da reatividade da amígdala da estudante. Pelo redirecionamento do foco, deslocando sua atenção da comparação externa para a percepção de sua própria competência, permiti que seu sistema nervoso retornasse ao estado de equilíbrio. Nesse momento, compreendi que a Ana, além das transformações da puberdade e das demandas escolares, encarava uma pressão familiar, com um córtex

pré-frontal ainda em processo de maturação. Embora nem sempre transpareça, como defende Herculano-Houzel (2005), essa é uma das fases da vida de maior liberação de cortisol. O intuito da minha intervenção foi “silenciar os pensamentos intrusivos” para que a memória de trabalho ficasse, enfim, livre para a aprendizagem.

O resultado imediato foi notório: a fluidez cognitiva foi retomada e finalizamos aquela aula com Ana rindo e escrevendo no quadro os conceitos estudados. No entanto, a transformação não se resumiu a um episódio isolado. Ao longo dos meses, o acompanhamento semanal no Mathvital consolidou uma nova relação com a matemática – uma relação que a própria mãe da aluna pôde testemunhar e descrever em seu depoimento:

*“Ana sempre apresentou uma certa dificuldade relacionada à interpretação de texto, e acredito que isso acabou refletindo diretamente na forma como ela lidava com a matemática. Muitas vezes, o desafio não estava apenas no cálculo em si, mas em compreender o enunciado, interpretar o problema e se sentir segura para resolvê-lo. Percebo também que a Ana possui uma forma muito particular de aprender. Ela responde melhor quando o processo é lúdico, conversado e contextualizado. Para que o aprendizado realmente aconteça, ela precisa se sentir parte daquilo que está sendo construído. É como se precisasse entrar na história para conseguir compreendê-la. Métodos muito rígidos ou puramente tradicionais não despertavam nela o mesmo engajamento. Com o tempo, algumas experiências menos positivas acabaram criando uma certa trava emocional em relação à matemática, o que diminuiu o interesse e a confiança dela na matéria. Foi então que começamos a buscar um professor que tivesse uma visão diferente do ensino tradicional — alguém que conseguisse transformar o aprendizado em algo mais leve, criativo e envolvente. Foi nesse processo que encontramos o Mathvital, com uma proposta que trazia justamente essa abordagem mais lúdica e significativa. A mudança foi muito marcante. A matemática deixou de ser vista como uma matéria difícil ou ‘chata’ e passou a se tornar algo interessante, desafiador e até divertido. O aprendizado ganhou sentido para ela. Hoje, ver a trajetória da Ana emociona. Aquela menina que já chegou a ficar em recuperação em matemática passou a conquistar notas excelentes, recuperou a autoconfiança e, recentemente, foi inclusive selecionada para participar das Olimpíadas de Matemática da escola. Mas talvez o mais bonito não sejam apenas as notas. O mais bonito é perceber que ela vai para as aulas feliz, com brilho nos olhos, sabendo que ali não encontrará apenas contas para decorar, mas sim histórias para construir, nas quais ela mesma se sente protagonista. E isso, para mim, é a*

*maior transformação que o aprendizado pode gerar.”*

Este depoimento materno traz aspectos que o relato da aluna, por si só, não alcança. A mãe contextualiza a origem da dificuldade – não apenas emocional, mas também cognitiva, ligada à interpretação de texto – e descreve, com sensibilidade, a ‘forma muito particular de aprender’ da filha: lúdica, contextualizada, narrativa. Esta observação corrobora, na prática, o que a neurociência afetiva descreve: o engajamento do sistema de recompensa e a ativação do sistema SEEKING – definido por Panksepp (1998) como o sistema cerebral do “querer”, da expectativa, da curiosidade e da exploração energética do mundo – são facilitados quando o aprendizado é apresentado de forma significativa e prazerosa, reforçando a importância da sensibilidade histórica e pedagógica na formação docente (Alves, 1996).

A fala “ela vai para as aulas feliz, com brilho nos olhos” é a expressão mais genuína do que significa reverter um marcador de relevância negativo. A matemática, que antes ativava a amígdala e disparava respostas de estresse, passou a ativar circuitos de prazer e curiosidade. O “brilho nos olhos” é, biologicamente, a assinatura da dopamina – o neurotransmissor do engajamento e da motivação.

A transformação descrita pela mãe, no entanto, não aconteceu de um dia para o outro. Foram necessários cerca de três meses de acompanhamento semanal para que a memória de trabalho da aluna ficasse consistentemente livre dos pensamentos intrusivos que paralisavam seu raciocínio. A cada encontro, novos problemas eram propostos, novos acertos eram celebrados e, gradualmente, novas rotas neurais iam sendo pavimentadas. Como ensina Kandel et al. (2014, p. 1274), “conexões neurais podem ser modificadas pela experiência”, mas essa modificação não é instantânea: a neuroplasticidade exige repetição e tempo para que as conexões sejam fortalecidas, conforme demonstrado por estudos sobre consolidação da memória procedural Bear, Connors e Paradiso (2017). A prática repetida de uma habilidade promove modificações no balanço excitação-inibição das representações corticais, e essas modificações estão diretamente associadas à consolidação da memória ao longo do tempo (Lent, 2010).

No caso desta aluna, a experiência repetida de acolhimento, intervenções didáticas como jogos pedagógicos, exposição de conteúdos com clareza, apresentação de diferentes caminhos para uma mesma solução e a valorização de seu conhecimento prévio foram, literalmente, reescrevendo a anatomia de seu cérebro. O estresse crônico, que

antes reduzia a expressão do BDNF no hipocampo e comprometia a plasticidade sináptica (McEwen e Lasley, 2002), foi progressivamente substituído por experiências positivas que estimulam a neuroplasticidade adaptativa (Lent, 2010). Os antigos “atalhos” neurais de evitação e medo foram enfraquecidos, enquanto novas trilhas sinápticas associadas à confiança e à competência eram abertas e consolidadas – um processo que, como demonstra a literatura, exige estimulação repetida ao longo de múltiplas sessões para induzir a consolidação dos efeitos (Kandel et al., 2014). A matemática, que antes disparava alarmes na amígdala, passou a ativar circuitos de recompensa e prazer.

Este episódio reforça uma premissa fundamental desta dissertação: o professor de matemática não ensina apenas números. Ele gerencia, conscientemente ou não, os marcadores de relevância que permitem ou impedem o acesso do aluno ao conhecimento. Educar, portanto, é também um ato de regulação emocional.

## 5.6 Relato 2: quando o corpo grita o medo dos números

Um caso que se tornou marcante. Tratava-se de algo que, até então, eu conhecia apenas teoricamente: a ansiedade matemática. Uma aluna do 7<sup>o</sup> ano do Ensino Fundamental (hoje, aluna do 9<sup>o</sup> ano), a quem chamarei de Beatriz, foi trazida por sua mãe, que relatava uma situação profundamente preocupante.

Relato da mãe:

*“Matemática sempre foi o carma dela; ficava em recuperação, temia ir para outra escola, mas pela cobrança tinha muito medo de não conseguir acompanhar. Quando iniciou na nova escola, tirava notas boas, menos em matemática. Ela ficava nervosa de um tipo que não parava quieta: começava a chorar, vomitar, sentia dor de barriga... chegamos a pensar que era apendicite logo no início, fiz ultrassom e não foi constatado nada; intolerância à lactose, também não tinha. E era sempre em véspera de prova de exatas. Levei ao psiquiatra e, depois de várias perguntas, ele indicou Ritalina e Escitalopram, como se fosse TDAH, para poder amenizar. Ela dizia que, quando dormia, sonhava com matemática e não conseguia relaxar, tinha pesadelos. Comia até os dedos, nada ficava inteiro.”*

Do ponto de vista neurobiológico, esses sintomas não eram meras “desculpas” ou “frescura”, mas sim respostas fisiológicas reais e involuntárias do corpo da adolescente

diante de uma ameaça percebida (Herculano-Houzel, 2005). A ansiedade matemática, como outras formas de estresse crônico, ativa o eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA), desencadeando a liberação de cortisol e adrenalina – processo ilustrado na Figura 31. Quando essa ativação é recorrente, instala-se o que McEwen e Lasley (2002) denominou carga alostática — o desgaste acumulado no organismo devido à tentativa constante de manter a estabilidade diante do estresse.

**Figura 31 – Ilustração das respostas neurofisiológicas associadas à ansiedade matemática na estudante mencionada.**



Fonte: Elaborada pela autora com auxílio de inteligência artificial, 2026.

Como explicam Kandel et al. (2014), a ativação do sistema nervoso autônomo simpático estimula respostas periféricas como taquicardia, sudorese e alterações gastrointestinais — incluindo náuseas e vômitos —, exatamente os sintomas relatados pela mãe. O organismo da estudante, ao antecipar a situação de prova, comportava-se como se estivesse diante de uma ameaça real à sua sobrevivência, ativando circuitos neurais que envolvem a amígdala, o hipotálamo e o tronco encefálico.

Ao iniciar o atendimento, ficou claro que não se tratava apenas de uma dificuldade cognitiva, mas de um quadro típico de ansiedade matemática, conforme definido por Ashcraft (2002): uma reação de tensão, apreensão e medo que interfere no desempenho. Os sintomas fisiológicos relatados são consistentes com a ativação da amígdala e das regiões associadas ao processamento da dor e da ameaça (Lent, 2010; Kandel et al., 2014). A aluna vivenciava uma resposta fóbica.

Conforme Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 1289), “a memória de medo aprendido em mamíferos envolve a amígdala”. Podemos interpretar, com base na neurobiologia, que a ansiedade matemática é uma resposta emocional condicionada. O medo condicionado ocorre quando um estímulo neutro (neste caso, a matemática) é associado a algo aversivo (cálculos, notas baixas, sentimento de incapacidade). A via molecular desse processo é conservada evolutivamente – o que significa que, para o cérebro da aluna deste relato, não havia diferença funcional entre um leão prestes a atacá-la e a prova de matemática que se aproximava. Trata-se do que LeDoux (2011, p. 189) denominou “via baixa do medo”: um circuito neural que permite à amígdala responder a estímulos ameaçadores por uma rota direta que ignora o córtex, “transmitindo uma representação mais primitiva, mas mais rápida”. Essa via permite que o cérebro “responda rapidamente a estímulos potencialmente perigosos, mesmo antes de uma análise consciente mais detalhada” LeDoux (2011, p. 190). Em ambos os casos, a amígdala dispara o alarme, o eixo HPA libera cortisol e o corpo responde com vômitos, taquicardia e pesadelos – exatamente os sintomas que sua mãe descreveu.

“A formação da memória implícita envolve modificações na efetividade da transmissão sináptica” Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 1274). Essas memórias são aquelas que não requerem esforço consciente para serem acessadas. Alunos com histórico de fracasso em matemática frequentemente ativam a amígdala antes mesmo de abrir o caderno, pois os bloqueios emocionais criam “atalhos” neurais de evitação que precisam ser desativados.

Relato da aluna:

*“Matemática sempre foi uma coisa impossível, fora da minha realidade. Eu sempre tive dificuldade desde que comecei a vida escolar e, além disso, tenho ansiedade diagnosticada desde pequena. Na hora de fazer as provas, eu passava mal, eu vomitava, chorava. Antes disso tinha pesadelos, não conseguia dormir, mas essas reações eram apenas quando se tratava de matemática. Eu tinha medo até de ir para as aulas porque não queria encarar aquela lousa com um monte de cálculo sem entender nada. Isso afetava meu sono e minha convivência, porque via meus amigos discutindo questões e eu ficava perdida. Estava acabando com o meu emocional.”*

Diante desse cenário, meu primeiro desafio foi estabelecer um ambiente seguro e acolhedor, livre da pressão e da cobrança. Como sugere a Teoria da Eficiência de Processamento (Eysenck e Calvo, 1992), a ansiedade compromete a memória de trabalho porque parte dos recursos cognitivos é desviada para pensamentos intrusivos e preocupações. No caso da minha aluna, sua mente era tomada por crenças negativas sobre sua própria capacidade — baixa autoeficácia e autoconceito negativo (Oliveira e Santos, 2021). Era necessário interromper esse ciclo.

Iniciei o trabalho com problemas simples, adequados ao seu nível, mas sem cobrança de tempo. O objetivo era que ela experimentasse o sucesso e reconstruísse sua autoconfiança. A cada acerto, reforçava positivamente sua capacidade. Procurei tornar as aulas dinâmicas e leves, valorizando o processo. Essa abordagem está alinhada com Ashcraft (2002), que aponta que a ansiedade matemática prejudica principalmente as tarefas que demandam maior envolvimento da memória de trabalho.

Relato da aluna (pós-intervenção):

*“Com a Maria ela foi tirando aquela mentalidade de que a matemática é uma coisa pesada e difícil. Ela viu meu medo, meu bloqueio e foi aos poucos tirando isso, me mostrando caminhos que deixassem a matemática acessível. Eu olhava para as contas e me dava uma angústia, uma vontade de chorar, pensava ‘não sou capaz’. Hoje eu tive uma evolução muito grande, consigo acompanhar os conteúdos e tirar notas muito boas. Quando vejo um cálculo hoje, eu não sinto mais aquele desespero. A senhora me fez outra pessoa, uma versão muito mais confiante e segura.”*

Relato da mãe (pós-intervenção):

*“O problema dela era só matemática mesmo, ela melhorou 100%. Ela melhorou nas notas e um dos pontos-chave foi que ela nem ficou mais em recuperação e, em 2025, passou por média. Melhorou 100%.”*

A transformação descrita pela mãe não foi instantânea nem fruto de uma única intervenção milagrosa. Foram necessários cerca de três meses de acompanhamento semanal para que a memória de trabalho da aluna ficasse consistentemente livre dos

pensamentos intrusivos que paralisavam seu raciocínio. A cada encontro, novos problemas eram propostos, novos acertos eram celebrados e, gradualmente, novas rotas neurais iam sendo pavimentadas. Como ensina Kandel et al. (2014, p. 1274), “conexões neurais podem ser modificadas pela experiência”, mas essa modificação não é instantânea: a neuroplasticidade exige repetição e tempo para que as conexões sejam fortalecidas, conforme demonstrado por estudos sobre consolidação da memória procedural (Kandel et al., 2014). A prática repetida de uma habilidade promove modificações no balanço excitação-inibição das representações corticais, e essas modificações estão diretamente associadas à consolidação da memória ao longo do tempo (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

No caso desta aluna, a experiência repetida de acolhimento, sucesso e segurança foi, literalmente, reescrevendo a anatomia de seu cérebro. O estresse crônico, que antes reduzia a expressão do BDNF no hipocampo e comprometia a plasticidade sináptica (McEwen e Lasley, 2002), foi progressivamente substituído por experiências positivas que estimulam a neuroplasticidade adaptativa (Herculano-Houzel, 2005). Os antigos “atalhos” neurais de evitação e medo foram enfraquecidos, enquanto novas trilhas sinápticas associadas à confiança e à competência eram abertas e consolidadas – um processo que, como demonstra a literatura, exige estimulação repetida ao longo de múltiplas sessões para induzir a consolidação dos efeitos (Lent, 2010). A matemática, que antes disparava alarmes na amígdala, passou a ativar circuitos de recompensa e prazer.

“Conexões neurais podem ser modificadas pela experiência” (Kandel et al., 2014, p. 1274). O cérebro é plástico durante toda a vida. A superação de bloqueios é, literalmente, uma reestruturação física do cérebro. A experiência emocional não é um obstáculo à racionalidade, mas parte constitutiva da aprendizagem. Como propõe Damásio (2012), os marcadores somáticos orientam nossas escolhas cognitivas. No caso relatado, a exposição recorrente a situações negativas ativava a “via baixa do medo” de LeDoux (2011), acionando a amígdala antes de qualquer processamento consciente.

Essa ativação repetida do eixo HPA — a carga alostática — reduz a expressão do fator BDNF no hipocampo, comprometendo a plasticidade sináptica necessária para consolidar a memória (Ratey e Hagerman, 2012) e assim, o que aparentava ser “falta de capacidade” era um cérebro cujos recursos plásticos estavam sequestrados pelo estresse.

Como profissionais, devemos ter em mente que “mudanças induzidas pelo aprendizado em estruturas encefálicas contribuem para as bases biológicas da individualidade” (Kandel et al., 2014, p. 1293). Cada aluno tem uma história única; os bloqueios são

personais e exigem abordagens personalizadas. A intervenção adotada — ambiente seguro, leve e valorização do erro como essencial para a expansão da plasticidade — reduziu a carga alostática e permitiu a recuperação da neuroplasticidade.

“O aprendizado e a memória de hábitos requerem o estriado” (Kandel et al., 2014). Através da prática mediada por um marcador de relevância positivo, o esforço consciente do córtex pré-frontal foi transformado pelo estriado — componente dos núcleos da base, localizado profundamente no cérebro e principal estrutura responsável pela consolidação. Através da tentativa e erro, o estriado aprende quais ações levam a resultados desejados.

Inicialmente, as respostas são variáveis e os erros são frequentes (Lent, 2010). Com a prática, as respostas corretas são selecionadas e transformadas em hábitos; o erro, portanto, é parte essencial deste processo de seleção. A matemática, enfim, deixa de ser um estímulo ameaçador para se tornar um campo de conquista.

Com base nos casos analisados, embasados pela neurociência, podemos compreender que o que aparentava ser “falta de capacidade” era, na verdade, um cérebro cujos recursos plásticos estavam sequestrados por um sistema de estresse cronicamente ativado. É fundamental que tenhamos em mente, como profissionais, que “mudanças induzidas pelo aprendizado em estruturas encefálicas contribuem para as bases biológicas da individualidade” (Kandel et al., 2014, p. 1293). Isto é: cada aluno tem uma história única com a matemática; os bloqueios são pessoais e exigem abordagens personalizadas. Não existe uma “receita única” para superar dificuldades, mas, sem dúvida, a neurociência nos auxilia a desenvolver técnicas que melhor se enquadram na evolução de cada estudante.

A intervenção pedagógica adotada — ambiente seguro, leveza, oferta de múltiplos caminhos para aprender, respeito aos ritmos e estilos individuais, valorização das evoluções e o tratamento do erro como essencial para a expansão da plasticidade, e não como sinal de incapacidade — pode ser interpretada sob essa perspectiva como uma estratégia para reduzir a carga alostática e permitir a recuperação dos níveis de BDNF, viabilizando a neuroplasticidade necessária à aprendizagem matemática. Conforme defende Henry Wallon: “A formação psicológica dos professores não pode ficar limitada aos livros. Deve ter uma referência perpétua nas experiências pedagógicas que eles próprios podem pessoalmente realizar” (Wallon apud Almeida, 2007). Nesse sentido, a matemática deixa de ser percebida pelo estudante como um estímulo ameaçador, interrompendo as respostas emocionais e cognitivas típicas de situações de estresse prolongado.

## 6 DIAGNÓSTICO NA ESCOLA PÚBLICA: A VOZ DOS ALUNOS E DOS PROFESSORES

Este capítulo apresenta o percurso metodológico e os cenários onde a pesquisa criou corpo. A investigação se desdobra entre o diagnóstico da realidade escolar — pública e privada — e a intervenção prática no laboratório de ensino que é o Projeto Mathvital.

### 6.1 Análise quantitativa e qualitativa dos questionários

Esta pesquisa caracteriza-se por um desenho metodológico de natureza mista, articulando duas estratégias complementares: o diagnóstico (por meio de questionários e mapeamento de campo) e a intervenção (fundamentada na observação participante e nos relatos de prática).

Abaixo, os campos de atuação da pesquisa são sintetizados de acordo com suas abordagens e objetivos específicos:

**Quadro 5 – Panorama geral da pesquisa.**

Contexto	Abordagem	Instrumentos	Objetivo
<b>EEMTI Dona Maria Amélia Bezerra (rede pública)</b>	Quantitativa/ Qualitativa (diagnóstico)	Questionários para alunos do 1º ano do Ensino Médio e professores de Matemática (todos os níveis)	Mapear prevalência de sintomas de ansiedade matemática e percepções sobre a disciplina
<b>Projeto Mathvital</b>	Qualitativa (interventiva)	Observação participante, relatos espontâneos, análise documental	Acompanhar em profundidade o processo de aprendizagem matemática, considerando a regulação emocional e seus efeitos no desempenho escolar, bem como documentar possíveis transformações na relação do estudante com a disciplina

Fonte: laborado pela autora (2026).

A dimensão escolar pública desta pesquisa ocorreu na EEMTI Dona Maria Amélia Bezerra, instituição estadual de Ensino Médio em tempo integral localizada em Juazeiro do Norte - CE. A escolha desta instituição deu-se por critérios de conveniência e acesso, facilitado pela colaboração do Professor Jardel, docente da instituição e colega de mestrado, que ofereceu suporte logístico e institucional para a aplicação dos instrumentos. A sala escolhida do 1º ano A tinha 38 alunos presentes, e aparentemente uma boa relação

com o professor de matemática.

O contexto reflete o cenário da educação pública cearense: atende adolescentes que, em grande parte, enfrentam a Matemática como um obstáculo crítico, corroborando dados de larga escala como os do PISA 2022. Neste cenário, atuei exclusivamente como pesquisadora, aplicando questionários para diagnosticar as percepções de alunos e professores sobre a disciplina e as possíveis intervenções pedagógicas.

## 6.2 Contexto de Intervenção: Projeto Mathvital

Paralelamente aos diagnósticos escolares, a pesquisa desenvolveu sua vertente interventiva no **Projeto Mathvital**. Idealizado por mim, o projeto oferece atendimento individualizado a estudantes com dificuldades acentuadas em Matemática. O Mathvital configura-se como um “espaço acolhedor”, caracterizado por:

- **Atendimento Humanizado:** Ênfase na escuta ativa e na compreensão do anseio antes da introdução do algoritmo;
- **Significância e Raciocínio:** O foco não reside na memorização de fórmulas, mas na construção do raciocínio e no estímulo à percepção de que existem múltiplos caminhos para uma mesma resolução;
- **Gestão do Erro:** O erro é tratado como um mecanismo biológico de aprendizado e superação, não como evidência de incapacidade;
- **Acolhimento de Vulnerabilidades:** Um ambiente reservado onde o estudante pode expressar bloqueios emocionais sem o julgamento ou o constrangimento que podem ocorrer na sala de aula convencional.

Neste contexto, atuo como **professora-interventora**. Foi neste espaço de escuta privilegiada que emergiram os relatos de "marcadores somáticos" e ansiedade matemática aprofundados posteriormente, permitindo-me documentar como a regulação emocional é o pré-requisito biológico para a aprendizagem matemática.

## 6.3 Caracterização dos participantes

Participaram da pesquisa, nos diferentes contextos e com distintos papéis, os seguintes grupos:

**Quadro 6 – Participantes da pesquisa.**

<b>Contexto</b>	<b>Participantes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Perfil</b>
<b>EEMTI Dona Maria Amélia Bezerra</b>	Alunos do 1º ano do Ensino Médio	38	Adolescentes entre 14 e 18 anos
	Professores de Matemática	4	Docentes atuantes em todos os níveis do Ensino Médio
<b>Projeto Mathvital</b>	Alunos acompanhados longitudinalmente	48 (2 alunos citados nos relatos)	Estudantes com dificuldade em Matemática, provenientes das redes pública e particular

Fonte: laborado pela autora (2026).

Os dois relatos detalhados nas Seções 5.5 e 5.6 referem-se a alunas atendidas no Mathvital, espaço onde foi possível o acompanhamento longitudinal e a escuta aprofundada. Os dados dos questionários, por sua vez, abrangem os contextos escolar público e particular, permitindo uma visão panorâmica do fenômeno e a comparação entre realidades.

#### **6.4 Instrumentos de pesquisa**

Para mensurar as variáveis emocionais dos estudantes, optou-se pela utilização de uma escala Likert de frequência, estruturada em cinco pontos (variando de “nunca” a “sempre”). Proposta originalmente por Likert (1932), esta metodologia consolidou-se nas ciências sociais por oferecer um modelo psicométrico robusto para quantificar constructos subjetivos. Diferentemente de escalas dicotômicas, a escala Likert permite captar gradações de intensidade, o que a torna particularmente adequada para investigar fenômenos complexos, como a ansiedade matemática, que se manifesta em espectros variáveis de reatividade.

Esta ferramenta permite a conversão de percepções qualitativas em dados passíveis de análise estatística e pedagógica, conferindo objetividade ao relato da experiência subjetiva do aluno. Visando o rigor científico, a estruturação dos questionários baseou-se em instrumentos de medição validados, disponíveis em repositórios especializados como a base APA PsycTests – mantida pela American Psychological Association –, que reúne instrumentos de avaliação psicológica amplamente utilizados em pesquisas internacionais. A consulta a esse tipo de fonte assegura que a investigação dos marcadores emocionais esteja alinhada a protocolos psicométricos reconhecidos internacionalmente pela comunidade acadêmica.

**Quadro 7 – Descrição dos instrumentos.**

<b>INSTRUMENTO</b>	<b>CONTEXTO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>OBJETIVO</b>
<b>QUESTIONÁRIO PARA ALUNOS</b>	Escola pública	5 questões fechadas (escala Likert) e 2 abertas (Apêndice A)	Mapear sintomas de ansiedade, percepção sobre professores e autoeficácia
<b>QUESTIONÁRIO PARA PROFESSORES</b>	Escola pública	Questões sobre identificação de ansiedade, práticas pedagógicas e formação (Apêndice B)	Investigar percepção docente e necessidades formativas
<b>RELATOS ESPONTÂNEOS</b>	Mathvital	Narrativas de alunos e familiares	Compreender a dimensão subjetiva da ansiedade matemática e correlacionar ao desempenho escolar

Fonte: laborado pela autora (2026).

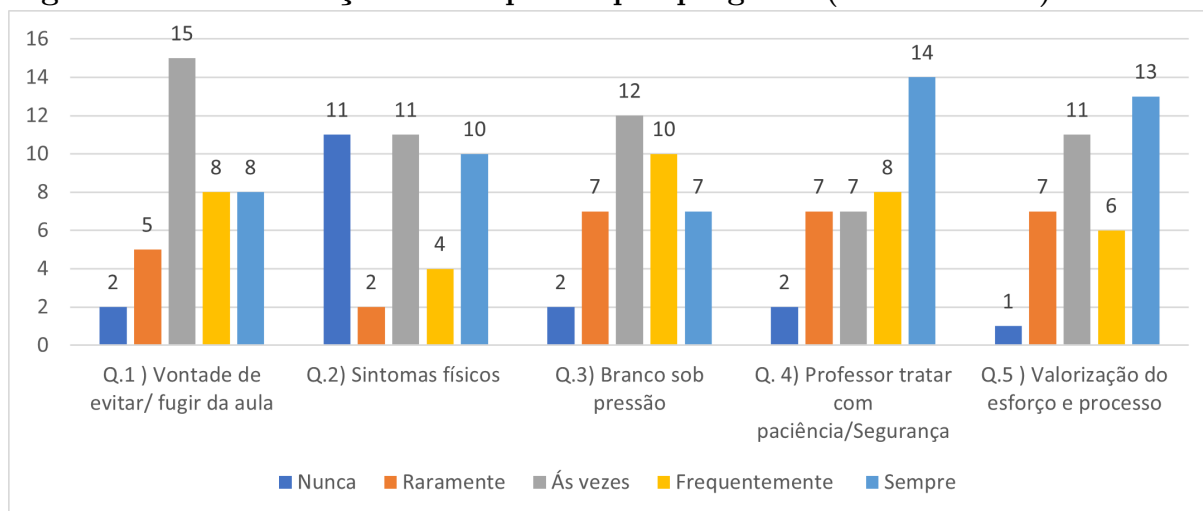
Os questionários foram analisados com base na literatura revisada nos capítulos anteriores, como por exemplo, sintomas de ansiedade (Ashcraft, 2002) e relação professor-aluno (Wallon, 2007).

*Nota: Os instrumentos na íntegra encontram-se nos Apêndices A (alunos) e B (professores).*

## **6.5 Análise dos questionários: diagnóstico da ansiedade matemática na escola pública**

A análise quantitativa dos dados coletados com os 38 alunos do 1º ano do Ensino Médio revela uma intersecção crítica entre o estado emocional e a prontidão cognitiva para o aprendizado da matemática. A Figura 32 apresenta a distribuição das respostas para as cinco questões investigadas, considerando a escala Likert de frequência (Nunca, Raramente, Às Vezes, Frequentemente, Sempre).

Figura 32 – Distribuição das respostas por pergunta (Escala Likert) - Discente



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A Tabela 2 sintetiza os valores absolutos correspondentes ao gráfico:

Tabela 2 – Comparativo Numérico e Estrutural.

Questão analisada	Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
1. VONTADE DE EVITAR/FUGIR DA AULA	2	5	15	8	8
2. SINTOMAS FÍSICOS (CORAÇÃO, SUOR)	11	2	11	4	10
3. “BRANCO” SOB PRESSÃO	2	7	12	10	7
4. PROFESSOR TRATA COM PACIÊNCIA/SEGURANÇA	2	7	7	8	14
5. VALORIZAÇÃO DO ESFORÇO E PROCESSO	1	7	11	6	13

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A fundamentação analítica dos dados expostos na Figura 32 e na Tabela 2 permite uma interpretação profunda dos mecanismos neurobiológicos que regem o aprendizado matemático na amostra investigada. A seguir, detalha-se essa correlação com base na literatura que sustenta esta dissertação.

Os resultados indicam que a vontade de evitar a aula de matemática (Questão 1) apresenta seu ápice na categoria “Às Vezes” (39,5%), com 15 alunos relatando essa tendência. Ao observarmos o espectro de maior recorrência, somando-se as respostas “Frequentemente” e “Sempre”, constatamos que **42,1% da turma** convive com o desejo de esquiva de forma crônica. Sob a ótica de Damásio (2012), essa inclinação é a manifestação de um **marcador somático de valência negativa**, que sinaliza um estado de ameaça e

transforma o ambiente de aprendizagem em um estímulo aversivo.

Paradoxalmente, os sintomas físicos viscerais (Questão 2), como taquicardia e sudorese, apresentam-se de forma heterogênea: 28,9% dos alunos (11) afirmam “Nunca” senti-los, enquanto 26,3% (10) relatam senti-los “Sempre”. Essa disparidade sugere que a ansiedade matemática não se restringe apenas à somatização visível, mas pode se manifestar como uma **resistência cognitiva silenciosa**, que, embora menos ruidosa fisicamente, é igualmente paralisante para o raciocínio.

Um dos achados mais significativos reside na Questão 3, na qual a maioria dos estudantes (58%, somando-se “Às Vezes” e “Frequentemente”) reporta episódios de “branco” sob pressão. Conforme discutido por Davidson e McEwen (2012), o estresse ativa a amígdala, o que resulta na inibição funcional do córtex pré-frontal e do hipocampo. Esse fenômeno neurobiológico elucidada por que alunos com domínio técnico fracassam em avaliações: a carga emocional negativa satura a memória de trabalho, impedindo o acesso ao raciocínio lógico.

Em contrapartida aos índices de ansiedade, a percepção sobre a mediação docente é amplamente positiva. Uma parcela expressiva (36,8% – 14 alunos) declarou que o professor “**Sempre**” exerce paciência e transmite segurança (Questão 4). Ademais, 34,2% (13 alunos) reconhecem a valorização do esforço e do processo de resolução em detrimento exclusivo do resultado final (Questão 5).

Essa segurança ambiental é o pilar para a **neuroplasticidade**. Segundo Lent (2023), o acolhimento reduz a reatividade da amígdala, reconduzindo o sistema nervoso à **homeostase**. Ao priorizar o processo, o professor auxilia no “silenciamento” de pensamentos intrusivos, liberando recursos cognitivos para que o erro deixe de ser um gatilho de dor e torne-se uma oportunidade de reestruturação sináptica.

Esse fenômeno ajuda a explicar por que estudantes que demonstram domínio conceitual durante atividades regulares apresentam queda significativa de desempenho em situações avaliativas.

De modo geral, os dados evidenciam que a ansiedade matemática se manifesta na turma investigada de maneira multifacetada, envolvendo dimensões comportamentais, fisiológicas e cognitivas. Embora parte significativa dos estudantes apresente episódios de esquiva e bloqueio cognitivo em situações de pressão, a percepção positiva da mediação docente emerge como um fator protetivo relevante. Esse resultado reforça a perspectiva de que o ambiente emocional da sala de aula exerce influência direta sobre os processos

de aprendizagem, confirmando a indissociabilidade entre emoção e cognição discutida ao longo desta dissertação.

## 6.6 Perspectivas discentes: o professor como marcador de relevância

Enquanto os dados quantitativos revelam a estatística da ansiedade, os relatos qualitativos das questões 6 e 7 oferecem a face humana e biológica do fenômeno. Sob a ótica de Damásio (2012), o cérebro utiliza “marcadores somáticos” para etiquetar experiências como benéficas ou ameaçadoras. Na prática docente, o professor atua como o principal agente indutor desses marcadores (marcador de relevância).

**Quadro 8 – Análise da questão Questão 6 (marcadores de relevância POSITIVOS).**

<b>CATEGORIA</b>	<b>EXEMPLOS DE FALAS</b>	<b>CONEXÃO TEÓRICA</b>
<b>PACIÊNCIA</b>	“paciente e explicava até aprender”, “calma, cobrava mas reclamava pouco”, “paciente para repetir”	Regulação emocional – redução da reatividade amigdalariana (Lent, 2023)
<b>DIDÁTICA CLARA</b>	“sabiam equilibrar o aprendizado”, “explica detalhadamente”, “simplificar a matéria”, “explica passo a passo”	Acesso à memória de trabalho – liberação de recursos cognitivos (Eysenck e Calvo, 1992)
<b>BOM HUMOR /ALEGRIA</b>	“divertida, boas explicações”, “carismático, ensinava com empolgação”, “alegres e divertidos”, “bem-humorado”	Ativação do sistema de recompensa – dopamina (Lent, 2010)
<b>CONEXÃO COM O COTIDIANO</b>	“metodologia de associação com cotidiano”, “capacidade para dar exemplos malucos para você entender”	Criação de sentido – engajamento do sistema SEEKING (Panksepp, 1998)
<b>RESPEITO AO PROCESSO INDIVIDUAL</b>	“respeitar o processo de cada aluno”, “busca entender a ótica do aluno”, “se lembrar do aluno maneira que ele processa”	Personalização do ensino – marcador de relevância positivo (conceito próprio)
<b>AULAS DINÂMICAS</b>	“aulas mais prática do que teoria”, “aulas dinâmicas”, “interagem com a gente”	Engajamento atencional – ativação cortical

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Quadro 9 – Análise da questão Questão 7: (marcadores de relevância NEGATIVOS).

CATEGORIA	EXEMPLOS DE FALAS	CONEXÃO TEÓRICA
<b>RIGIDEZ/ AUTORITA- RISMO</b>	“muito rígido”, “grita”, “colocava muitos castigos”	Ativação da amígdala – via baixa do medo (LeDoux, 2011)
<b>EXPOSIÇÃO/ CONSTRAN- GIMENTO</b>	“gosta de expor os alunos”, “fazer com que o aluno sinta vergonha de tirar dúvidas”	Marcador somático de valência negativa – associação da matemática à dor social (Damásio, 2012)
<b>FALTA DE DI- DÁTICA</b>	“inteligentes mas não sabe explicar”, “explicação muito rápida”, “explica como se a gente já tivesse visto o conteúdo”	Sobrecarga da memória de trabalho – impossibilidade de processamento
<b>PRESSÃO PSI- COLÓGICA</b>	“fazia pressão psicológica”, “cobrava mais do que explicava”	Ativação do eixo HPA – cortisol – carga alostática (McEwen e Lasley, 2003)
<b>COMPARA- ÇÕES ENTRE ALUNOS</b>	“fazia muitas comparações entre os alunos”	Gatilho de estresse social – ativação da amígdala
<b>FAVORITISMO</b>	“favoritismo, sem empatia”	Insegurança – imprevisibilidade do ambiente
<b>FALA NEGA- TIVA</b>	“falava palavras negativas aos alunos”	Marcador de relevância negativo – associação da matemática à humilhação

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

As questões abertas funcionam como um contraponto indispensável. A paciência emerge como a virtude mais citada, atuando como um regulador externo da reatividade amigdalariana. Segundo Lent (2023), o ambiente acolhedor permite que o sistema nervoso atinja a homeostase, transformando o erro de um gatilho de dor em uma oportunidade de reestruturação sináptica.

Quando convidados a descrever as características dos professores com os quais mais aprenderam, os alunos foram unânimes em destacar aspectos **relacionais e emocionais** tanto quanto a qualidade técnica da explicação.

Os alunos associam o aprendizado efetivo a professores descritos como “pacientes”, “brincalhões” e “atenciosos”. Esses adjetivos não descrevem apenas traços de personalidade, mas sim **estratégias de regulação emocional**.

**A “Segurança” como Pré-requisito:** Falas como “*paciente para repetir*”, “*não expõe os alunos*” e “*ajudava na explicação*” indicam um ambiente onde a **amígdala** não é hiperativada. Segundo Lent (2023), quando o medo da exposição é removido, o sistema nervoso atinge a **homeostase**, permitindo que a neuroplasticidade ocorra.

**A Dopamina do Engajamento:** Relatos sobre “*exemplos malucos para você entender*” e “*ensinar com empolgação*” sugerem a criação de marcadores de valência positiva. Essa empolgação do docente funciona como um sinalizador de que aquele conteúdo é vital, facilitando a atenção e a consolidação da memória.

A **paciência** emerge como a virtude mais citada: “*paciente e explicava até aprender*”, “*calma, cobrava mas reclamava pouco*”, “*paciente para repetir*”. Esta paciência, longe de ser mero traço de personalidade, atua como **regulador externo da reatividade amigdalariana**. Como discute Lent (2023), um ambiente acolhedor reduz a atividade da amígdala, permitindo que o córtex pré-frontal – sede do raciocínio lógico – retome sua função. O professor paciente, ao não punir o erro nem apressar a resposta, “silencia os pensamentos intrusivos” e libera a memória de trabalho para a aprendizagem efetiva.

O **bom humor e a alegria** também são recorrentes: “*divertida, boas explicações*”, “*carismático, ensinava com empolgação*”, “*alegres e divertidos*”. Sob a ótica da neurociência afetiva, essa postura docente ativa o **sistema de recompensa dos alunos**, liberando dopamina e associando a matemática a experiências de prazer e não de ameaça (Lent, 2010; Panksepp, 1998). Um aluno resume de forma notável: “*um professor que busca entender a ótica do aluno e consegue se lembrar do aluno na maneira que ele processa o que é explicado*” – uma descrição perfeita do que denominamos, nesta dissertação, “**HD externo**”: o professor que “empresta” sua capacidade de organização e regulação para um cérebro ainda em maturação.

A **conexão com o cotidiano** aparece como estratégia didática valorizada: “*metodologia de associação com cotidiano*”, “*capacidade para dar exemplos malucos para você entender*”. Esta prática cria sentido, engajando o sistema de busca (SEEKING) descrito por Panksepp (1998) e transformando a matemática de abstração vazia em ferramenta de compreensão do mundo.

Por fim, o **respeito ao processo individual** é apontado como diferencial: “*respeitar o processo de cada aluno*”, “*busca entender a ótica do aluno*”. Esta postura reconhece que cada cérebro tem sua própria história de plasticidade (Kandel et al., 2014) e que a aprendizagem não ocorre no vácuo, mas na intersecção entre a biologia única do aluno e a mediação do professor.

Em contraste, as descrições dos professores com os quais os alunos tiveram mais dificuldade revelam um repertório de práticas que **ativam os circuitos de defesa do cérebro** e consolidam marcadores de relevância negativos.

Em contrapartida, a Questão 7 revela como a postura docente pode se tornar um gatilho de **estresse tóxico**. O professor, neste cenário, atua como um marcador de ameaça.

**Ameaça Social e "Sequestro" Emocional:** Descrições sobre professores que “*gostam de expor os alunos*”, “*fazem pressão psicológica*” e “*fazem o aluno sentir vergonha de tirar dúvidas*” são evidências claras de estímulos que bloqueiam o **córtex pré-frontal**. Como apontado por Davidson e McEwen (2012), o estresse social é um dos inibidores mais potentes do raciocínio lógico-matemático.

**O “Método de Tortura”:** O uso de termos fortes pelos alunos, como “*método de tortura*” e “*linguagem muito formal que não dá para entender*”, mostra que a rigidez excessiva transforma a matemática em um objeto de dor. Nesses casos, a carga emocional negativa satura a **memória de trabalho**, resultando no “branco” mencionado na Questão 3.

A **rigidez e o autoritarismo** são frequentemente citados: “*muito rígido*”, “*grita*”, “*colocava muitos castigos*”. Estas atitudes, do ponto de vista neurobiológico, acionam a **via baixa do medo** descrita por LeDoux (2011): a amígdala detecta uma ameaça (o professor, a sala de aula) e dispara respostas autonômicas antes mesmo que o córtex processe conscientemente a situação. O aluno não “escolhe” ter medo; seu cérebro reage automaticamente.

A **exposição e o constrangimento público** surgem como práticas particularmente danosas: “*gosta de expor os alunos*”, “*fazer com que o aluno sinta vergonha de tirar dúvidas*”. Damásio (2012) explica que experiências emocionais negativas criam **marcadores somáticos** que associam determinados contextos a sensações corporais de mal-estar. A vergonha, neste caso, transforma a matemática em um gatilho de dor social, ativando os mesmos circuitos neurais envolvidos na experiência de dor física.

A **falta de didática** é descrita com precisão: “*inteligente mas não sabe explicar*”, “*explicação muito rápida*”, “*explica como se a gente já tivesse visto o conteúdo*”. Esta prática sobrecarrega a **memória de trabalho** (Eysenck e Calvo, 1992), pois o aluno precisa despender recursos cognitivos para tentar acompanhar um fluxo de informações que não consegue processar, gerando frustração e ativação do estresse.

A **pressão psicológica e as comparações** entre alunos são apontadas como fontes de sofrimento: “*fazia pressão psicológica*”, “*cobrava mais do que explicava*”, “*fazia muitas comparações entre os alunos*”. Estas práticas ativam o **eixo HPA**, liberando

cortisol de forma crônica e instalando o que McEwen e Lasley (2002) denominou **carga alostática** – o desgaste acumulado no organismo pela exposição prolongada ao estresse.

Particularmente reveladora é a fala de um aluno sobre professores que “*passam o conteúdo da prova e cobram outro na prova*”. Esta percepção de **injustiça e imprevisibilidade** é um potente gerador de estresse, pois o cérebro não consegue estabelecer padrões de segurança, mantendo-se perpetuamente em estado de alerta.

### *Síntese: Dois lados da mesma folha*

A comparação entre as respostas das Questões 6 e 7 revela um padrão consistente: os professores que marcam positivamente são aqueles que **regulam, acolhem e respeitam o tempo do aluno**; os que marcam negativamente são aqueles que **ameaçam, pressionam e humilham**.

Sob a ótica do **marcador de relevância** proposto nesta dissertação, podemos afirmar que:

**Quadro 10 – Síntese: Dois lados da mesma folha.**

<b>Postura docente</b>	<b>Efeito neurobiológico</b>	<b>Marcador resultante</b>
<i>Paciência, acolhimento, bom humor</i>	Redução da reatividade amigdalariana, ativação do sistema de recompensa	<b>Positivo</b> – matemática como desafio possível
<i>Rigidez, pressão, exposição</i>	Ativação da amígdala, liberação de cortisol, inibição do CPF	<b>Negativo</b> – matemática como ameaça

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Como sintetiza um aluno ao descrever o perfil do professor ideal: “**um professor que não usa métodos de tortura**”. A escolha desse termo não é aleatória; ela reflete, na linguagem cotidiana e visceral do estudante, as sequelas de uma educação tradicional engessada, o que a neurociência descreve como a **ativação crônica dos circuitos de defesa**.

Estes achados qualitativos corroboram e aprofundam os dados quantitativos apresentados, evidenciando que a dimensão relacional do ensino não é um acessório pedagógico, mas uma **condição neurobiológica de possibilidade** para a aprendizagem. Os dados aqui expostos dialogam diretamente com as evidências do PISA 2022, do TIMSS 2023 e de pesquisas recentes da Fundação Itaú, que apontam o impacto do clima escolar e da ansiedade no desempenho em larga escala.

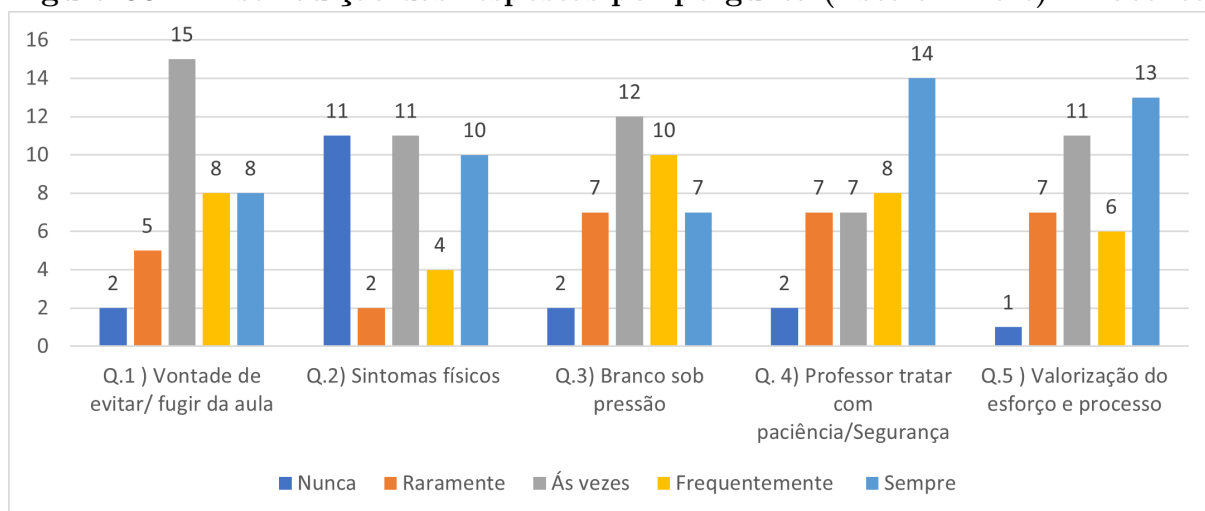
Em última análise, os relatos coletados ratificam a premissa central desta dissertação: o docente de matemática não atua meramente na transmissão de conteúdos quantitativos, mas exerce o papel fundamental de **gestor dos estados emocionais** que viabilizam ou obstruem o acesso do discente ao conhecimento.

O Produto Educacional desenvolvido — composto pelo Fanzine — visa, precisamente, instrumentalizar o professor para que ele atue de forma consciente como um **marcador de relevância positivo** na trajetória acadêmica do estudante. Ao promover a regulação emocional no ambiente de sala de aula, busca-se converter o cenário de estresse e bloqueio em um espaço de **segurança neurobiológica**, condição essencial para a efetiva consolidação da aprendizagem matemática.

## 6.7 Perspectivas docentes

Nesta etapa da pesquisa, participaram 4 professores de matemática da EEMTI Dona Maria Amélia Bezerra. A Figura 33 ilustra graficamente a distribuição das respostas docentes, permitindo visualizar a predominância de percepções positivas quanto ao potencial da neurociência como ferramenta de apoio à prática pedagógica, com destaque para a unanimidade na Questão 4. (o questionário é composto por 4 questões de múltipla escolha na escala Linkert e uma pergunta aberta), esta em Apêndice B.

**Figura 33 – Distribuição das respostas por pergunta (Escala Likert) - Docente.**



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

### 6.7.1 Análise dos Resultados Quantitativos

A Tabela 3 sintetiza os dados coletados, evidenciando o cenário da percepção docente sobre os processos emocionais em sala de aula.

**Tabela 3 – Comparativo Numérico e Estrutural.**

Questão analisada	Nunca	Raramente	Às vezes	Frequentemente	Sempre
1. IDENTIFICAÇÃO DE SINAIS FÍSICOS DE ANSIEDADE (TENSÃO, TREMORES)?	0	0	2	2	0
2. USO DO RECONHECIMENTO DE PEQUENOS AVANÇOS (DOPAMINA)?	0	1	2	1	0
3. A PRÁTICA ENCORAJA VER O ERRO COMO OPORTUNIDADE DE APRENDIZADO?	0	0	2	1	1
4. COMO O CONHECIMENTO SOBRE NEUROCIÊNCIA PODE AJUDAR SUA PRÁTICA?	0	0	0	0	4

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A análise dos dados revela que os docentes possuem uma sensibilidade aguçada para identificar o estresse dos alunos (Questão 1), com 100% dos professores variando essa percepção entre “Às Vezes” (50%) e “Frequentemente” (50%). Isso significa que o ambiente de ameaça e alerta relatado pelos estudantes na seção anterior é visível e reconhecido pelos professores – o que confere validade ecológica aos achados.

No entanto, observa-se uma oportunidade significativa de intervenção no que se refere à ativação do sistema de recompensa. Enquanto a literatura (Lent, 2010; Panksepp, 1998) destaca a importância da dopamina – liberada em situações de reconhecimento e pequenas conquistas – para a consolidação da memória, o uso sistemático do reconhecimento de pequenos avanços (Questão 2) ainda oscila consideravelmente na prática desses docentes. Este cenário ajuda a compreender por que, na questão aberta (Q5), um professor optou por não responder e outro declarou “não sei” – indicadores da necessidade de formação continuada na interface entre neurociência e educação matemática.

A unanimidade na Questão 4 (“Sempre”) é o dado mais robusto deste diagnóstico: ela ratifica a prontidão do corpo docente em receber instrumentalização teórica e prática sobre a interface entre neurociência e educação matemática. Este resultado valida diretamente a proposta do Produto Educacional desenvolvido nesta dissertação – o fanzine *Divertidamaths* –, demonstrando que há um terreno fértil para a implementação

de estratégias que convertam a sala de aula em um ambiente de segurança neurobiológica e engajamento cognitivo.

A Questão 5 – “De que forma o conhecimento sobre como as emoções atuam no cérebro (neurociência) poderia ajudar você a melhorar sua prática de ensino?” – por seu caráter subjetivo, foi analisada qualitativamente, revelando diferentes níveis de apropriação do tema pelo corpo docente.

Das respostas coletadas, observou-se que metade dos participantes demonstrou incerteza ou ausência de resposta: um professor declarou “não sei”, enquanto outro optou por não responder. Este dado é particularmente relevante, pois sugere uma abertura latente para a reavaliação da prática e evidencia um espaço fértil para a formação continuada. É nesse cenário que o produto educacional proposto – o Divertidamaths – encontra sua maior aplicabilidade, ao traduzir conceitos neurocientíficos complexos para a educação matemática de forma acessível, clara e lúdica.

Em contrapartida, os demais relatos indicam percepções aguçadas sobre a potência da temática:

- **Desmistificação do Saber:** Um docente afirmou que a neurociência é fundamental para “desmistificar a matemática”, o que sugere uma compreensão prévia de que o bloqueio com a disciplina muitas vezes possui raízes emocionais e biológicas, e não apenas cognitivas.
- **Ferramenta de Diagnóstico e Estratégia:** Outra professora destacou que esse conhecimento “auxilia na atenção e observação das possíveis necessidades e especificidades do aluno e, assim, estabelecer estratégias para suprir as deficiências”.

Esta última fala deixa claro que a neurociência é percebida como uma ferramenta pedagógica estratégica, capaz de refinar o olhar do professor para a individualidade biológica do estudante – o que Kandel et al. (2014, p. 1293) descrevem como “bases biológicas da individualidade”. O reconhecimento de que as emoções modulam a atenção e a aprendizagem reforça a tese central desta pesquisa: o professor, ao compreender o funcionamento cerebral, deixa de ser apenas um instrutor de algoritmos para tornar-se um arquiteto de ambientes de segurança neurobiológica

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação partiu de uma inquietação que é, simultaneamente, pessoal e profissional: o que realmente acontece no cérebro de um estudante quando ele “trava” diante da matemática? Ao concluir esta jornada investigativa, retorno ao ponto de partida com uma resposta clara e neurocientificamente embasada: **o bloqueio matemático não é incapacidade**. Ele é a expressão de um cérebro que, diante de estímulos percebidos como ameaçadores, ativa circuitos de defesa que sequestram a memória de trabalho e inibem o acesso ao raciocínio lógico.

A pesquisa demonstrou que a ansiedade matemática não é um fenômeno abstrato ou uma “desculpa” de alunos desinteressados. Ela tem bases neurobiológicas concretas, envolvendo a ativação da amígdala e a instalação da **carga alostática** — o desgaste acumulado pela exposição prolongada ao estresse (McEwen, 1998). Os dados do PISA 2022 e da Fundação Itaú (2024) deixam de ser meras estatísticas para se tornarem a face visível de um fenômeno que compromete a aprendizagem e limita trajetórias de vida.

Os diagnósticos realizados na EEMTI Dona Maria Amélia Bezerra corroboram esse cenário: os alunos que relatam “branco” ou desejo de esquiva não são incapazes; são cérebros cujos recursos plásticos estão “sequestrados”. Como aponta LeDoux (2011), a amígdala desses estudantes dispara pela “via baixa do medo” antes mesmo que o córtex pré-frontal possa processar a situação.

No entanto, o Projeto Mathvital revelou o caminho da superação. A transformação da aluna que “chorava e tinha pesadelos” em alguém “confiante e segura” não é mágica: é neuroplasticidade em ação. É a experiência repetida de acolhimento e abordagem matemática acessível auxiliando a reescrever a anatomia cerebral, fortalecendo as vias corticais sobre as respostas automáticas do medo.

A principal contribuição deste trabalho reside na proposição do **professor como marcador de relevância**. Inspirado na teoria dos marcadores somáticos, esse conceito revela que o docente não apenas transmite conteúdos, mas atribui valor emocional à experiência de aprender. Quando o educador escolhe o acolhimento e a valorização do erro, ele atua diretamente na química cerebral do estudante, permitindo a recuperação dos níveis de **BDNF** — o “fertilizante” neuronal — e viabilizando a aprendizagem significativa.

Do ponto de vista da formação docente, este estudo defende a necessidade da “alfabetização neurocientífica”. O produto educacional desenvolvido, o fanzine *Divertida-*

*maths*, nasce do desejo de traduzir a complexidade do cérebro para a linguagem da escola, ensinando que o erro é o momento exato em que o cérebro se expande.

Pessoalmente, esta pesquisa modificou a minha própria anatomia cerebral e minha forma de enxergar o mundo. Literalmente vivi a pesquisa e pretendo seguir estudando. Acredito que só podemos oferecer o que transbordamos. Que busquemos nos capacitar e reconhecer que o nosso saber é um grão de areia diante da imensidão do desconhecido, transbordando conhecimento e, sobretudo, empatia.

Encerro com a convicção de que ser professora de matemática exige o reconhecimento de que tocamos almas humanas antes de ensinarmos funções. Ensinar matemática é ensinar o aluno a não ter medo de pensar. E, quando um aluno perguntar “para que estudar matemática?”, poderemos responder: porque exercitar o raciocínio matemático modifica a anatomia do seu cérebro, tornando-o mais ágil para solucionar problemas de diversas naturezas, inclusive os próprios. Assim como o músico cresce com o treino, o cérebro floresce com a matemática. Que cada professor sintá-se encorajado a ser o “marcador positivo” que transforma, para além do desempenho acadêmico, a história de vida de seus alunos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. R. d.; MAHONEY, A. A. *Afetividade e aprendizagem: contribuições de Henri Wallon*. São Paulo: Edições Loyola, 2007.
- ALVES, C. N. O passado no presente: a história da educação na formação do educador. In: FAVERO, O. (Ed.). *A educação nas LDBs: antecedentes e perspectivas*. Niterói: EdUFF, 1996. p. 1–13. Disponível em: <<https://books.scielo.org/id/hcrqt/pdf/alves-9788572490191-20.pdf>>.
- ASHCRAFT, M. H. Math anxiety: personal, educational, and cognitive consequences. *Current Directions in Psychological Science*, v. 11, n. 5, p. 181–185, 2002.
- AZEVEDO, K. P. M. d. et al. The effects of exercise on bdnf levels in adolescents: a systematic review with meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 17, p. 6056, ago. 2020. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32825341/>>.
- BBC News Brasil. *PISA 2022: 7 em cada 10 alunos do Brasil têm baixo desempenho em matemática*. 2023. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/articles/cv2zx819rg4o>>.
- BBC News Brasil. *O que acontece no cérebro quando ouvimos opiniões diferentes - e como treinar nossa capacidade de escuta*. 2026. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/articles/crm83ke7d4ro>>.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- BEER, G. D. *Embryos and Ancestors*. Oxford: Clarendon Press, 1930.
- BERNARDES, J. *BDNF: Benefícios para o Cérebro*. 2023. Dr. Jonas Bernardes – Neurologista. Disponível em: <<https://drjonasbernardes.com.br/bdnf/>>.
- BRASIL. *Divulgados os resultados do PISA 2022*. Brasília, DF: [s.n.], 2023. MEC. Disponível em: <<https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2023/dezembro/divulgados-os-resultados-do-pisa-2022>>.
- BRASIL. *TIMSS 2023: Relatório Nacional Preliminar*. Brasília, DF: [s.n.], 2024. Inep. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/timms>>.
- BRASIL. *Levantamento Nacional do SINASE - 2024*. Brasília: Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania; Universidade de Brasília, 2025. Disponível em: <[https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/crianca-e-adolescente/Levantamento\\_Nacional\\_SINASE\\_2024.pdf](https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/crianca-e-adolescente/Levantamento_Nacional_SINASE_2024.pdf)>.
- BRUCE, J.; SHATTÉ, A.; PERLMAN, A. *Estresse: como lidar com as emoções que tiram você do sério*. Rio de Janeiro: Sextante, 2017.
- CAMPOS, A. M. A. d. Ansiedade matemática: Fatores cognitivos e afetivos. *Revista Psicopedagogia*, v. 39, n. 119, p. 248–259, 2022. Disponível em: <[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84862022000200007](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862022000200007)>.

- CURILLA, R. A. T.; CARMO, J. d. S. Efetividade de intervenções para redução da ansiedade matemática. *Revista Psicopedagogia*, v. 40, n. 121, p. 46–65, 2023.
- DAMÁSIO, A. R. *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.
- DAVIDSON, R. J.; MCEWEN, B. S. Social influences on neuroplasticity: Stress and interventions to promote well-being. *Nature Neuroscience*, v. 15, n. 5, p. 689–695, 2012. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3491815/>>.
- EKMAN, P. *A Linguagem das Emoções*. São Paulo: Lua de Papel, 2011.
- EYSENCK, M. W.; CALVO, M. G. Anxiety and performance: the processing efficiency theory. *Cognition and Emotion*, v. 6, n. 3-4, p. 409–434, 1992.
- Fundação Itaú. *Percepções sobre a matemática na comunidade escolar*. São Paulo: [s.n.], 2024. Fundação Itaú. Disponível em: <<https://www.fundacaoitau.org.br/observatorio/biblioteca/percepcoes-sobre-a-matematica-na-comunidade-escolar>>.
- GOULD, S. J. *Ontogeny and Phylogeny*. Cambridge: Harvard University Press, 1977.
- GRANT, A. *Inside Out: Disney film based on science of facial expressions*. 2015. The Christian Science Monitor. Disponível em: <<https://www.csmonitor.com/Science/2015/0618/Inside-Out-Disney-film-based-on-science-of-facial-expressions>>.
- HAECKEL, E. *[Obra original]*. 1875. Citado indiretamente por Gould, 1977.
- HAMANN, S. Mapping discrete and dimensional emotions onto the brain: controversies and consensus. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 16, n. 9, p. 458–466, 2012.
- HEMBREE, R. The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, Reston, v. 21, n. 1, p. 33–46, jan. 1990.
- HERCULANO-HOUZEL, S. *O Cérebro Adolescente: A neurociência da transformação da criança em adulto*. Rio de Janeiro: Zahar, 2005.
- Institute of Medicine. *Educating the Student Body: Taking Physical Activity and Physical Education to School*. Washington, DC: The National Academies Press, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK201501/>>.
- Instituto de Psiquiatria do Paraná. *Cortisol: será mesmo o vilão da saúde mental?* Curitiba: [s.n.], 2022. Disponível em: <<https://institutodepsiquiatriapr.com.br/blog/cortisol-sera-mesmo-o-vilao-da-saude-mental/>>.
- Instituto Reúna. *O que é ansiedade matemática e como ela pode ser combatida?* São Paulo: [s.n.], 2024. Instituto Reúna. Disponível em: <<https://o.institutoreuna.org.br/o-que-e-ansiedade-matematica-e-como-ela-pode-ser-combatida/>>.
- Integra Edus. *Educação em saúde*. 2023. YouTube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/@integraeduseducacaoemsaude>>.
- International Dyslexia Association. *Working Memory: The Engine for Learning*. 2020. IDA. Disponível em: <<https://dyslexiaida.org/working-memory-the-engine-for-learning/>>.
- KANDEL, E. R. et al. *Princípios de neurociências*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

- LEDOUX, J. *O cérebro emocional: os misteriosos alicerces da vida emocional*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2011.
- LENT, R. *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2010.
- LENT, R. Neuroplasticidade e educação: o papel das emoções no aprendizado. *Estudos de Psicologia (Campinas)*, v. 40, p. e230007, 2023. Disponível em: <[https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84862023000100007](https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862023000100007)>.
- LEVITT, P. *InBrief: The Science of Early Childhood Development*. 2009. Center on the Developing Child at Harvard University. Disponível em: <<https://developingchild.harvard.edu>>.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, New York, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932.
- MCEWEN, B. S. Brain on stress: how the social environment gets under the skin. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, v. 109, n. supplement\_2, p. 17180–17185, 2012. Disponível em: <<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1121254109>>.
- MCEWEN, B. S.; LASLEY, E. N. *The end of stress as we know it*. Washington, DC: Joseph Henry Press, 2002.
- MCEWEN, B. S.; LASLEY, E. N. *O fim do estresse como nós o conhecemos*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2003.
- MOBBS, D. *Neurociência afetiva*. s.d. Massachusetts Institute of Technology (MIT). Acesso em: 17 fev. 2026. Disponível em: <<https://oecs.mit.edu/pub/qwrz95aw/release/1>>.
- MORAIS, E. A. d. *Neurociência das emoções*. Curitiba: InterSaberes, 2016. (Série Panoramas da Psicopedagogia Dialógica).
- MORI, L. *Matemática: a epidemia de ansiedade com a matéria no Brasil e no mundo revelada por estudo da OCDE*. São Paulo: [s.n.], 2024. BBC News Brasil.
- MOURA-SILVA, M. G.; NETO, J. B. T.; GONÇALVES, T. O. Bases neurais da ansiedade matemática: implicações para o processo de ensino-aprendizagem. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, v. 34, n. 66, 2020. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/2912/291265339014/html/>>.
- NASSAR, A. H. et al. Stress as a professional and personal life style: a study of family physicians in Jordan. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, v. 3, n. 4, p. 336–340, oct/dec 2014. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4286362/>>.
- OCDE. *PISA 2022 Results (Volume V): Learning Strategies and Attitudes for Life*. Paris: OCDE Publishing, 2024.
- OLIVEIRA, L. F.; SANTOS, J. C. C. *O cérebro e as emoções: a Neurociência das Relações Humanas*. Brasília: Viva Editora, 2021.
- PANKSEPP, J. *Neurociência Afetiva: Os Fundamentos das Emoções Humanas e Animais*. [Cidade da Editora]: [Nome da Editora], 1998.

RATEY, J. J.; HAGERMAN, E. *Corpo ativo, mente desperta: a nova ciência do exercício e do cérebro*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2012. Ratey e Hagerman (2012).

RIBEIRO, T. A.; CARMO, J. d. S. Estratégias de redução da ansiedade matemática: uma revisão sistemática da literatura. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, v. 38, 2024.

SAPOLSKY, R. M. *Por que as zebras não têm úlceras*. São Paulo: Francis, 2007. V.

SENNA, S. R. C. M.; DESSEN, M. A. Contribuições das teorias do desenvolvimento humano para a concepção contemporânea da adolescência. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, Brasília, v. 28, n. 1, p. 101–108, jan/mar 2012.

SILVA, R. A. M. S.; VIÑAS, S. P. *Neurociência e emoções*. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2021. E-book.

SOUSA, R. *Estudo liga nota baixa a pouco sono*. Brasil: [s.n.], 2006. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/brasil/fc1704200617.htm>>.

Superinteressante. *Por que algumas crianças sofrem mais com matemática? Estudo aponta diferenças no cérebro*. 2026. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/por-que-algumas-criancas-sofrem-mais-com-matematica-estudo-aponta-diferencas-no-cerebro/>>.

Tabuada Online. *Macete para tabuada do 9!* 2012. Disponível em: <<https://tabuadaonline.blogspot.com/2012/02/macete-tabuada-de-09.html>>.

Todos Pela Educação. *Anuário Brasileiro da Educação Básica 2025: Capítulo 4 – Ensino Médio*. São Paulo: [s.n.], 2025. Todos Pela Educação. Disponível em: <<https://anuario.todospelaeducacao.org.br/2025/capitulo-4-ensino-medio.html>>.

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. *What is Mathematics Anxiety?* 2024. Disponível em: <<https://www.cne.psychol.cam.ac.uk/what-is-mathematics-anxiety>>.

UOL. *PISA 2022: 7 em cada 10 alunos do Brasil têm baixo desempenho em matemática*. 2023. Notícias UOL. Disponível em: <[linkdouol]>.

VARELLA, D.; TELLES, L. *Memória e excesso de estímulos (DrauzioCast #152)*. 2021. Portal Drauzio Varella. Podcast. Disponível em: <<https://drauziovarella.uol.com.br/podcasts/drauziocast/memoria-e-excesso-de-estimulos/>>.

VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e linguagem*. eBooksBrasil, 2008. Versão eBook. Disponível em: <<http://www.jahr.org>>.

WALKER, M. *Por que nós dormimos: a nova ciência do sono e do sonho*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2018.

WALLON, H. *A evolução psicológica da criança*. Lisboa: Edições 70, 2007. Original publicado em 1941.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – Questionário para alunos

## Questionário para Alunos

1) **Quando a aula de Matemática vai começar, eu sinto uma vontade de evitar ou fugir da atividade.**

Nunca     Raramente     Às Vezes     Frequentemente     Sempre

2) **Meu coração acelera, minhas mãos suam ou sinto o estômago embrulhar quando tenho que resolver um problema difícil ou fazer uma prova de Matemática.**

Nunca     Raramente     Às Vezes     Frequentemente     Sempre

3) **Mesmo sabendo a matéria, eu dou o "branco" e não consigo pensar quando me sinto pressionado em Matemática.**

Nunca     Raramente     Às Vezes     Frequentemente     Sempre

4) **Sinto que meu professor de Matemática me trata com paciência e me faz sentir seguro para pedir ajuda.**

Nunca     Raramente     Às Vezes     Frequentemente     Sempre

5) **Meu professor costuma valorizar o esforço e o processo de resolução, e não apenas o resultado final.**

Nunca     Raramente     Às Vezes     Frequentemente     Sempre

6) **Descreva as características dos professores de matemática com os quais você mais aprendeu, como eram as aulas?**

---

---

7) **Descreva as características dos professores de matemática com os quais vc teve mais dificuldades na disciplina:**

Este questionário será utilizado no **desenvolvimento** de uma dissertação do **Mestrado Profissional em Matemática (PROFMAT - URCA)**. Agradeço a colaboração.

## APÊNDICE B – Questionário para professores

## Questionário para Professores de Matemática

- 1) **Eu consigo identificar sinais físicos de ansiedade (como tensão, tremores, ou irritabilidade) nos meus alunos durante as atividades de Matemática.**  
( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Às Vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre
- 2) **Eu utilizo o reconhecimento de pequenos avanços dos alunos (e não apenas o acerto final) para mantê-los motivados (Dopamina).**  
( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Às Vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre
- 3) **Utilizo o reconhecimento de pequenos avanços dos alunos (e não apenas o acerto final) para mantê-los motivados.**  
( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Às Vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre
- 4) **Minha prática pedagógica encoraja os alunos a verem o erro como uma oportunidade de aprendizado (não como um fracasso).**  
( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Às Vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre
- 5) **De que forma o conhecimento sobre como as emoções atuam no cérebro (neurociência) poderia ajudar você a melhorar sua prática de ensino?**

---

---

---

Este questionário será utilizado no **desenvolvimento** de uma dissertação do **Mestrado Profissional em Matemática (PROFMAT - URCA)**. Agradeço a colaboração.

## Questionário para Professores de Matemática

- 6) **Eu consigo identificar sinais físicos de ansiedade (como tensão, tremores, ou irritabilidade) nos meus alunos durante as atividades de Matemática.**  
( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Às Vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre
- 7) **Eu utilizo o reconhecimento de pequenos avanços dos alunos (e não apenas o acerto final) para mantê-los motivados (Dopamina).**  
( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Às Vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre
- 8) **Utilizo o reconhecimento de pequenos avanços dos alunos (e não apenas o acerto final) para mantê-los motivados.**  
( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Às Vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre
- 9) **Minha prática pedagógica encoraja os alunos a verem o erro como uma oportunidade de aprendizado (não como um fracasso).**  
( ) Nunca ( ) Raramente ( ) Às Vezes ( ) Frequentemente ( ) Sempre
- 10) **De que forma o conhecimento sobre como as emoções atuam no cérebro (neurociência) poderia ajudar você a melhorar sua prática de ensino?**

---

---

---

Este questionário será utilizado no **desenvolvimento** de uma dissertação do **Mestrado Profissional em Matemática (PROFMAT - URCA)**. Agradeço a colaboração.

## APÊNDICE C – Fanzine Divertidamaths (produto educacional)

A Origem e a Essência do Fanzine Os fanzines — ou simplesmente zines — surgiram nos Estados Unidos no início do século XX. O primeiro registro histórico data de maio de 1930, quando Ray Palmer publicou *The Comet* para o Science Correspondence Club, dedicando-se à ficção científica. Etimologicamente, o termo nasce da fusão das palavras inglesas *fanatic* (fã) e *magazine* (revista), definindo uma publicação artesanal, autoral e independente (Andrade; Senna, 2015).

Mais do que um formato, o fanzine é um “dispositivo pedagógico” que rompe com a rigidez dos manuais convencionais. Ele se apresenta como uma ferramenta orgânica para a abordagem de temas científicos complexos (Vasconcelos et al., 2023), como a neurociência aplicada à educação proposta nesta dissertação.

### Por que um Fanzine no PROFMAT?

A escolha do formato para o **DivertidaMath** foi uma decisão estratégica. Em um programa que visa o impacto real na escola pública, o fanzine se destaca por sua **acessibilidade** e **baixo custo**, permitindo uma circulação democrática do conhecimento. Além disso, sua **linguagem** e **liberdade gráfica** removem o peso do formalismo, tornando o saber neurocientífico palpável e convidativo ao professor.

### Inspiração e Fundamentação Científica

O fanzine acolhe a subjetividade e a expressão de sentimentos, medos e frustrações — elementos centrais no bloqueio emocional em matemática. A inspiração para o **DivertidaMath** veio do longa-metragem *Divertida Mente 2*, que retrata o dilema de uma adolescente entre as emoções primárias e as que emergem nessa fase, como a ansiedade e a inveja.

Para fundamentar essa transposição didática, o produto buscou suporte em obras de peso científico:

- **Joseph LeDoux (2021) e António Damásio:** Para compreender o “cérebro emocional” e os marcadores somáticos. No fanzine, esse conceito é tratado didaticamente como **marcador de relevância**, enfatizando que a emoção dita o que o cérebro deve ou não priorizar;
- **Eysenck e Calvo:** Com a Teoria da Eficiência de Processamento (TEP), explicando como a ansiedade consome os recursos limitados da memória de trabalho;

- **Jaak Panksepp e Bruce McEwen:** Para abordar a Neurociência Afetiva e os conceitos de **alostase** (estresse em equilíbrio) e **carga alostática** (estresse crônico prejudicial);
- **Kandel, Lent e Herculano-Houzel:** Para aprofundar na densa neurobiologia e nas particularidades do cérebro adolescente.

### A Personificação das Emoções

Com base nessa literatura, foram criados personagens que representam as emoções que bloqueiam a aprendizagem: **Medomath** (medo), **Apressadinho** (ansiedade), **Zeroência** (apatia/raiva), **Nunquero** (tristeza/frustração) e **Zulivre** (nojo/desgosto). No extremo oposto, o fanzine apresenta as forças que auxiliam a neuroplasticidade: **Ambição** (determinação/raiva canalizada) e **Radiante** (alegria/recompensa). Como ilustrado abaixo:



O equilíbrio é regido pelo estado **Pleníssima** (calma/segurança/alostase), mediado por uma amígdala regulada — o ambiente ideal para a consolidação da aprendizagem. Ao tornar o invisível visível, o conflito interno torna-se manejável para o aluno e para o professor.

### Coerência entre Conteúdo e Forma

Existe uma relação entre a teoria ensinada e o meio utilizado:

- O Conteúdo: Ensina a regulação do estresse para liberar o Córtex Pré-Frontal;

- A Forma: Por sua natureza artesanal e acolhedora, o fanzine já inicia esse processo de regulação no leitor. Ele não apenas diz que é preciso reduzir a ansiedade; ele promove essa redução através de sua própria materialidade, ativando o **sistema PLAY** (brincar) de Jaak Panksepp e o prazer da descoberta (**sistema SEEKING**).

De forma geral, o *Divertidamath* é um fanzine com formato de folheto (verso e anverso subdividido em 6 regiões) que apresenta, de forma ilustrada e didática, conceitos fundamentais da neurociência aplicada à aprendizagem matemática. O produto aborda a neurobiologia do bloqueio emocional em matemática, explicando o funcionamento do córtex pré-frontal, da amígdala, da memória de trabalho e do eixo HPA (estresse), e posiciona o professor como um “regulador externo” capaz de transformar a relação do aluno com a disciplina.

### O Professor como Marcador de Relevância Positivo

O **DivertidaMath** enfatiza uma lição fundamental: o cérebro consolida aquilo que a emoção valida, priorizando informações que possuem uma assinatura emocional significativa. Nesse contexto, o professor deixa de ser apenas um instrutor de fórmulas para se tornar o **marcador de relevância positivo** do aluno.

Ao oferecer um ambiente seguro e acolhedor, o docente sinaliza à amígdala do estudante que a matemática não é uma ameaça, mas um campo de possibilidades. Esse acolhimento atua como um regulador externo que “baixa o alarme” emocional, permitindo que os recursos cognitivos fluam para o Córtex Pré-Frontal (CPF).

Segundo a perspectiva de **LeDoux**, o bloqueio ocorre pela predominância da “**via baixa**” (**reativa**): um circuito ultrarrápido onde o estímulo vai direto do tálamo para a amígdala, travando o CPF antes mesmo que o aluno possa pensar. A estratégia do fanzine é estimular a “**via alta**” (**consciente**): nela, o estímulo passa pelo **tálamo sensorial**, é processado detalhadamente pelo **córtex** e só então chega à amígdala de forma consciente e regulada. Isso permite que o aluno analise o desafio matemático com discernimento, em vez de apenas reagir ao medo.

Assim, o fanzine deixa de ser apenas um informativo para se tornar uma experiência de cuidado e estratégia pedagógica. O professor, ao validar o erro e incentivar a curiosidade (**sistema SEEKING**), abre as portas biológicas para a **neuroplasticidade** e para um aprendizado mútuo. O vínculo humano, portanto, atua como o substrato biológico que precede a compreensão da equação.

# O Sequestro Emocional: Por que o Cérebro “Trava” na Matemática?



Quando um aluno com bloqueio vê um problema matemático que considera difícil, o cérebro dele não vê números; ele vê uma ameaça à sobrevivência, como se estivesse diante de um predador.

## 1. O Córtex Pré-Frontal (CPF): O Maestro em Construção

Localizado na região da testa, é o “centro de controle” do cérebro. **Funções:** Raciocínio lógico, tomada de decisão, controle de impulsos e funções executivas.

**Atenção, Professor:** Nos seus alunos, essa área ainda está “sob reforma” (em desenvolvimento até os 25/30 anos). Se o aluno sente que está diante de uma ameaça óbvia, importante ou em uma situação estressante, o CPF é o primeiro a “sair do ar”.

## 2. A Amígdala: O Alarme de Incêndio

Ligada ao sistema emocional é de sobrevivência. Na adolescência, ela é hiper-reativa.

**O Sequestro:** Quando o aluno sente uma ameaça, a amígdala dispara e “desliga” o Córtex Pré-Frontal (CPF). O sentimento de incapacidade abaixa o CPF, elevando o medo da matemática e reduzindo a autoestima sobre o cálculo.

## 3. Memória de Trabalho: O “Rascunho” Mental

É onde guardamos informações temporariamente para resolver um problema. A memória de trabalho está intimamente ligada ao Córtex Pré-Frontal (CPF), mas ela funciona através de uma rede de comunicação entre diferentes áreas do cérebro.

# O Sequestro Emocional: +

## o Professor, o Limite e o Coquetel do Estresse

### O Limite

A memória de trabalho é **limitada**. Quando o aluno está ansioso, surgem os “ruidos” (pensamentos intrusivos) como:

“Eu não vou conseguir”

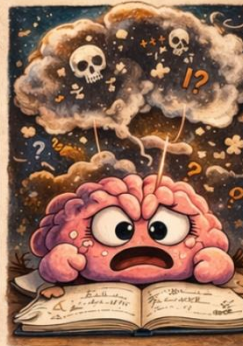
“Vou passar vergonha”



### Resultado

Esses pensamentos ocupam o espaço que deveria ser dos números. Não sobra “espaço” para aprender.

É a Teoria da **Eficiência**: o esforço vai para o medo, não para o conteúdo.



### 4. O Eixo HPA e o Coquetel do Estresse

Ao sinal da amígdala, o sistema **Hipotálamo-Pituitária-Adrenal (HPA)** entra em ação, liberando um banho químico no corpo:

**Cortisol e Adrenalina:** Preparam para o “Lutar ou Fugir”.

**Sintomas Visíveis:** O aluno apresenta taquicardia, sudorese (mãos geladas), náuseas e até “branco” total. O sistema nervoso simpático está no comando, e nesse estado, ninguém aprende frações.

## O Professor: Seu papel no “Sequestro”

No auge do sequestro emocional, o cérebro do aluno foca em sobreviver, não em calcular. Nessa hora, sua missão não é ensinar a fórmula, mas ser um **Regulador Externo**. Sua reação ao bloqueio do aluno define qual sistema será ativado:

**Acolher para Desbloquear:** Ao oferecer segurança, você “baixa o alarme” da Amígdala. Isso permite que o sangue e a glicose voltem para o **Córtex Pré-Frontal**, religando o raciocínio.

**Marcador de Relevância (Antônio Damásio):** O cérebro “etiqueta” experiências. Se você acolhe, cria um **Marcador Somático Positivo**, trocando o medo pela confiança. A matemática pode deixar de ser “ameaça” e vira “superação”.

**Sistema SEEKING (Jaak Panksepp):** É o motor da Curiosidade. Quando o ambiente é seguro, a Dopamina ativa a busca pela solução.

**Sistema PLAY (Jaak Panksepp):** O lado lúdico e social. O “brincar” com os conceitos reduz o estresse e abre as portas para a **Neuroplasticidade** (a capacidade do cérebro de se remodelar e aprender).



Nesta edição do DivertidaMath, propomos um olhar atento ao papel dos sentimentos no ambiente escolar.

Compreendemos que cada emoção — inclusive as mais desafiadoras — desempenha uma função biológica e pedagógica essencial. O objetivo não é silenciá-las, mas identificar a “chave” correta para transformar o estado emocional em um facilitador dos processos cognitivos.

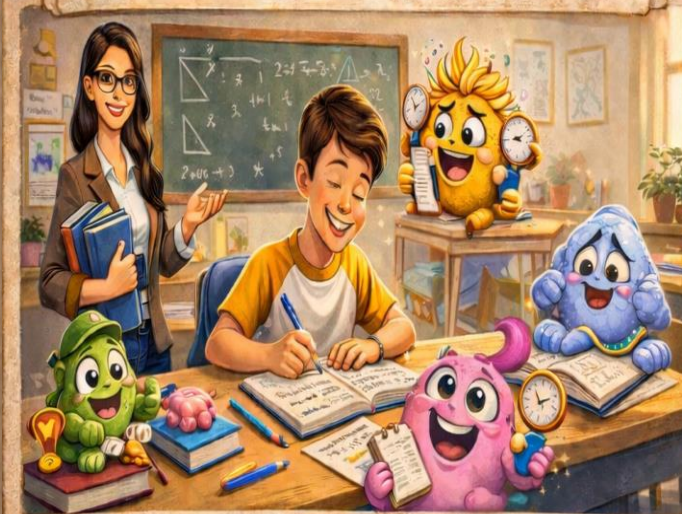
**Base Científica:** Kandel et al., Roberto Lent, Herculano-Houzel, LeDoux, Eysenck & Calvo, Jaak Panksepp, Paul Ekman, Antônio Damásio e Bruce McEwen.



Universidade Regional do Cariri - URCA

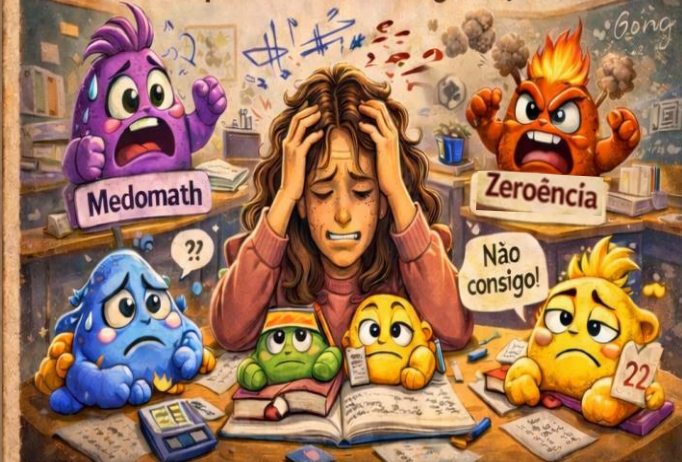
# DivertidaMath

Como você pode ser o marcador de relevância na vida de seu aluno.



## ANSIEDADE MATEMÁTICA

× Bloqueio × Medo × Desorganização








**BLOQUEIO MATEMÁTICO NÃO É INCAPACIDADE. PRODUTO EDUCACIONAL**

Desenvolvido por **Ma. Maria Vital**  
Sob orientação do **Dr. Paulo César**

URCA – PROFMAT

URCA · PROFMAT






#	PERSONAGEM / INSPIRAÇÃO / EMOÇÃO	O QUE O ALUNO DIZ / SENTE	O QUE ACONTECE NO CÉREBRO	AUTOR / OBRA / CONCEITO	PROFESSOR COMO MARCADOR DE RELEVÂNCIA (POSITIVO)
1	<b>MEDOMATH</b> Emoção básica: MEDO 	"Vai cair na prova?" "Não sei fazer isso. Me dá um branco."	A amígdala detecta ameaça antes do córtex. A "via baixa" ignora a análise consciente.	<b>Joseph LeDoux</b> <i>O Cérebro Emocional</i> – via baixa do medo, amígdala como detector de ameaças.	Oferecer segurança. Repetir sem pressa. Mostrar que o erro faz parte do processo de aprendizagem.
2	<b>APRESSADINHO</b> Emoção: ANSIEDADE 	"Não consigo pensar direito, parece que minha cabeça trava."	A ansiedade consome a memória de trabalho. O conteúdo está lá, mas o acesso está bloqueado.	<b>Eysenck &amp; Calvo</b> Teoria da Eficiência de Processamento (TEP) – ansiedade consome memória de trabalho.	Oferecer tempo. Desvincular a avaliação da velocidade. Valorizar o processo, não apenas o resultado.
3	<b>ZEROÊNCIA</b> Emoção: APATIA 	"Pra que vou usar isso? Nunca vou aprender."	Sistema SEEKING inibido por estresse crônico. O aluno perde a motivação para explorar.	<b>Jaak Panksepp</b> <i>Neurociência Afetiva</i> – Sistema SEEKING inibido.	Contextualizar. Criar sentido. Ativar a curiosidade com múltiplos caminhos e conexões com o cotidiano.
4	<b>NUNQUERO</b> Emoção: TRISTEZA / FRUSTRAÇÃO 	"Não vou conseguir mesmo. Não nasci pra isso."	Crenças negativas ativam circuitos de dor física. O córtex pré-frontal é inibido.	<b>Antônio Damásio</b> <i>O Erro de Descartes</i> – marcadores somáticos negativos.	Celebrar pequenos avanços. Usar o acerto para liberar dopamina e reconectar o cérebro.
5	<b>ZULIVRE</b> Paul Ekman / Emoção: NOJO / DESGOSTO 	"Quero nem ver, tenho pavor a isso."	Ativação da ínsula (região do desgosto) cria barreira visceral. O cérebro rejeita o conteúdo com algo repulsivo.	<b>Paul Ekman</b> Emoções básicas – o nojo como uma das 6 emoções universais; ativação da ínsula.	<b>Não forçar.</b> Primeiro, desarmar a aversão. Usar metáforas, leveza, jogos, paródias e contextos que tomem a matemática palpável.



## À NEUROPLASTICIDADE

## DAS EMOÇÕES QUE BLOQUEIAM



#	PERSONAGEM / INSPIRAÇÃO / EMOÇÃO	O QUE O ALUNO DIZ / SENTE	O QUE ACONTECE NO CÉREBRO	AUTOR / OBRA / CONCEITO	PROFESSOR COMO MARCADOR DE RELEVÂNCIA (POSITIVO)
6	<b>PLENÍSSIMA</b> Estado: CALMA / SEGURANÇA / ALOSTASE 	Alívio, segurança e acolhimento.	Ambiente seguro reduz a atividade da amígdala e libera o córtex pré-frontal. A carga alostática reduz-se. O corpo registra um marcador somático positivo.	<b>Bruce McEwen</b> <i>Alostase</i> – redução da carga alostática <b>Antônio Damásio</b> Marcador somático positivo.	Validar o progresso. Criar um ambiente previsível, acolhedor e sem punição. Mostrar ao aluno que ele é capaz. Ser o regulador externo que ajuda o cérebro a encontrar equilíbrio. Ele é a prova viva de que a neuroplasticidade funciona.
7	<b>AMBICÃO</b> Emoção: DETERMINAÇÃO / RAIVA CANALIZADA 	"Quero aprender mais. Como posso resolver diferente?"	Sistema de busca (SEEKING) plenamente ativado. Dopamina flui e o aluno sente prazer no desafio.	<b>Jaak Panksepp</b> <i>Neurociência Afetiva</i> – Sistema SEEKING e sistema RAGE canalizados positivamente.	Desafiar. Oferecer problemas que exijam criatividade e novos horizontes. Propor dinâmicas que movimentem corpo e mente. Estimular a autonomia e a busca por soluções diferentes.
8	<b>RADIANTE</b> (Amarelo) Emoção: ALEGRIA / RECOMPENSA 	"Consegui! Entendi!"	O "brilho nos olhos" é a dopamina em ação. A matemática agora está associada ao prazer.	<b>Jaak Panksepp</b> <i>Neurociência Afetiva</i> – Sistema PLAY e sistema SEEKING – prazer da descoberta.	Celebrar e reforçar. Mostrar ao aluno o quanto ele evoluiu para consolidar o hábito. Fazer da alegria da descoberta um reforçador positivo.