

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - UFMG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ICB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS**

Marconi de Oliveira Júnior

**EDUCAÇÃO PERSONALIZADA PARA ADULTOS:
Capacitação baseada em Neurociências e Tecnologias Digitais.**

Belo Horizonte
2025

Marconi de Oliveira Júnior

**EDUCAÇÃO PERSONALIZADA PARA ADULTOS:
Capacitação baseada em Neurociências e Tecnologias Digitais.**

Monografia de especialização apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Especialista em Neurociências.

Área de concentração: NEUROCIÊNCIAS,
EDUCAÇÃO E TECNOLOGIAS.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto
Gonçalves

Belo Horizonte
2025

043

Oliveira Júnior, Marconi de.

Educação personalizada para adultos: capacitação baseada em Neurociências e Tecnologias Digitais [manuscrito] / Marconi de Oliveira Júnior. – 2025.

91 f.: il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Gonçalves.

Monografia de especialização apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Especialista em Neurociências.

1. Neurociências. 2. Educação de adultos. 3. Inteligência Artificial. 4. Tecnologia digital. I. Gonçalves, Carlos Alberto. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 612.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ICB - COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS - SECRETARIA
ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DO ALUNO
MARCONI DE OLIVEIRA JUNIOR

Realizou-se, no dia 04 de fevereiro de 2025, às 16:00 horas, na sala J2 222 ICB da Universidade Federal de Minas Gerais, a 247ª defesa de monografia, intitulada *EDUCAÇÃO PERSONALIZADA PARA ADULTOS: Capacitação baseada em Neurociências e Tecnologias Digitais.*, apresentada por MARCONI DE OLIVEIRA JUNIOR, número de registro 2022692467, graduado no curso de ENGENHARIA ELÉTRICA, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em NEUROCIÊNCIAS BÁSICAS E APLICADAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. Carlos Alberto Gonçalves - Orientador (UFMG), Prof. Ricardo de Oliveira Duarte (UFMG), Profa. Joana D'Arc Assunção Nogueira de Oliveira (UFMG), Prof. Renato Cesar Cardoso (UFMG).

A Comissão considerou a monografia:

(X) Aprovada

() Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.
Belo Horizonte, 04 de fevereiro de 2025.

Nilda Lucas Laurindo - Secretária

Assinatura dos membros da banca examinadora:

Prof. Carlos Alberto Gonçalves (Doutor)

Prof. Ricardo de Oliveira Duarte (Doutor)

Profa. Joana D'Arc Assunção Nogueira de Oliveira (Mestre)

Prof. Renato Cesar Cardoso (Doutor)



Documento assinado eletronicamente por **Joana D Arc Assuncao Nogueira De Oliveira, Usuário Externo**, em 04/02/2025, às 19:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo de Oliveira Duarte, Professor do Magistério Superior**, em 04/02/2025, às 19:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alberto Goncalves, Membro de comissão**, em 06/02/2025, às 11:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renato Cesar Cardoso, Professor do Magistério Superior**, em 08/02/2025, às 19:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3929991** e o código CRC **B79EC854**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que estiveram ao meu lado durante a trajetória no Curso de Especialização em Neurociências e/ou desempenharam um papel importante na realização desta monografia.

Agradeço ao professor Dr. Carlos Alberto Gonçalves, que prontamente aceitou orientar um trabalho na fronteira do conhecimento entre Neurociências e Inteligência Artificial. Sua disposição em compartilhar ideias para explorar as propostas iniciais de projetos e, posteriormente, sua orientação na escolha, desenvolvimento e refinamento deste trabalho foram essenciais para sua concretização.

Aos Professores Dr. Renato César Cardoso, Dr. Ricardo de Oliveira Duarte e à Profa. Me. Joana D'Arc Assunção N. de Oliveira, pelo aceite do convite para compor a banca examinadora, contribuindo com uma visão multidisciplinar ao trabalho proposto.

À professora Dra. Paula Luciana Scalzo, por me acolher de forma tão generosa em sua disciplina de Neuroanatomia e por sua influência decisiva, que me levou a optar pelo Curso de Especialização em Neurociências.

À secretária do Programa de Pós-graduação em Neurociências, Nilda Lucas Laurindo, por sua constante disponibilidade e eficiência em auxiliar nas questões administrativas, sempre com muita cordialidade.

Às amigas que fiz ao longo do curso, que enriqueceram minha jornada com suas perspectivas e me ensinaram a importância de um ambiente diverso, onde as singularidades de cada pessoa se complementam.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio contínuo em cada etapa da minha vida.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, registro aqui meu sincero agradecimento.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”
Cora Coralina.

RESUMO

Este trabalho investiga a interseção entre neurociências, educação e tecnologias digitais com recorte em educação personalizada para adultos, explorando como agentes inteligentes podem atuar como tutores digitais no ensino andragógico. Fundamentado em princípios neurocientíficos como neurodesenvolvimento, neuroplasticidade, memória, funções executivas e regulação emocional, o estudo demonstra como esses conceitos podem ser integrados para potencializar a aprendizagem em adultos. A escolha do ensino personalizado como tema central parte da constatação de que abordagens educacionais tradicionais falham em atender às demandas contemporâneas, exigindo práticas adaptáveis e tecnológicas. A pesquisa adota uma metodologia composta por revisão narrativa da literatura sobre aplicação de conceitos das neurociências às práticas educacionais e uma revisão sobre os avanços em inteligência artificial e suas aplicações no aprendizado. Destacam-se as contribuições de tutores digitais baseados em IA e que consideram conceitos neurocientíficos no processo de ensino para o aprendizado adaptativo. Esses agentes são capazes de oferecer recomendações personalizadas, reforçar conteúdos em áreas de dificuldade e promover engajamento por meio de estratégias motivacionais intrínsecas e extrínsecas. A análise aponta que a colaboração entre educadores e agentes digitais permite um ensino híbrido eficaz, no qual o papel do professor se transforma de transmissor de conhecimento para mediador do processo de aprendizagem. Em termos de viabilidade prática, o trabalho apresenta propostas para o desenvolvimento de tutores digitais baseados em princípios neurocientíficos, abordando o impacto da IA na formação de competências cognitivas e socioemocionais. Embora o uso de agentes inteligentes traga benefícios, o trabalho também enfatiza os desafios associados à implementação desses sistemas. São abordadas questões como a dependência tecnológica, a possibilidade de desumanização do ensino e a necessidade de regulamentação ética para evitar desigualdades educacionais. Mesmo com essas limitações, conclui-se que a convergência entre neurociências, educação e tecnologias digitais representa um avanço significativo para a educação do século XXI.

Palavras-chave: neurociências, andragogia, inteligência artificial, tutores digitais, ensino personalizado.

ABSTRACT

This study investigates the intersection of neuroscience, education, and digital technologies, focusing on personalized education for adults and exploring how intelligent agents can act as digital tutors in andragogical teaching. Grounded in neuroscientific principles such as neurodevelopment, neuroplasticity, memory, executive functions, and emotional regulation, the research demonstrates how these concepts can be integrated to enhance adult learning. The choice of personalized education as the central theme arises from the observation that traditional educational approaches fail to meet contemporary demands, necessitating adaptable and technological practices. The methodology consists of a narrative literature review on the application of neuroscience concepts to educational practices and an analysis of advances in artificial intelligence and its applications in learning. The study highlights the contributions of AI-based digital tutors incorporating neuroscientific concepts to support adaptive learning processes. These agents provide personalized recommendations, reinforce content in areas of difficulty, and promote engagement through intrinsic and extrinsic motivational strategies. The analysis shows that collaboration between educators and digital agents enables effective hybrid teaching, transforming the teacher's role from knowledge transmitter to learning mediator. In practical terms, the study presents proposals for developing digital tutors based on neuroscientific principles, addressing the impact of AI on the development of cognitive and socio-emotional skills. While the use of intelligent agents offers clear benefits, the research also emphasizes challenges such as technological dependence, the risk of dehumanizing education, and the need for ethical regulation to prevent educational inequalities. Despite these limitations, the study concludes that the convergence of neuroscience, education, and digital technologies represents a significant advancement for 21st-century education.

Keywords: neuroscience, andragogy, artificial intelligence, digital tutors, personalized education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cinco grandes disciplinas das neurociências (Lent, 2010).....	12
Figura 2 – Organização das habilidades cognitivas (Gottfredson, 2006).	15
Figura 3 – Proposta de ensino renovado. Adaptado de Amaral e Guerra (2022).....	23
Figura 4 – Processo de aprendizagem. Adaptado de Amaral e Guerra (2022).....	24
Figura 5 – Dinâmica cerebral ao longo da vida (Bethlehem, et al., 2022).....	30
Figura 6 – Princípios da Andragogia propostos por Malcolm Knowles (1913–1997).	32
Figura 7 – Alterações na Taxonomia de Bloom. Adaptado de Krathwohl (2002).	36
Figura 8 – Domínios-chave de aprendizagem e habilidades (UNESCO, 2015).	37
Figura 9 – Estruturas transversais de ensino e ciências agógicas.	38
Figura 10 – Eixos temáticos da EBIA (MCTI, 2025).	39
Figura 11 – Robô e humano: estímulo de alegria (Chaminade, et al., 2010).	41
Figura 12 – Robôs e humanos: estímulos ativam a AON (Press, 2011).	42
Figura 13 – Agente virtual utilizado para induzir emoções (Numata, et al., 2020)....	42
Figura 14 – Neurociências e suas fronteiras: escopo do trabalho.....	49
Figura 15 – Princípios da neurociência em ação prática (Amaral & Guerra, 2022)...	53
Figura 16 – Como ensinar máquinas que irão ensinar seres humanos?	58
Figura 17 – GPT sem customização: tela inicial.....	61
Figura 18 – GPT sem customização: pergunta sobre memória.	62
Figura 19 – GPT sem customização: pergunta utilizando engenharia de prompt.	64
Figura 20 – GPT com customização: tela inicial.....	68
Figura 21 – GPT com customização: pergunta utilizando engenharia de prompt.	69
Figura 22 – Softwares, assistentes, agentes e IA: relações entre conceitos.....	85
Figura 23 – Large Language Models (Microsoft, 2024).	89
Figura 24 – Retrieval-Augmented Generation (Microsoft, 2024).	90
Figura 25 – Agentes de IA (Microsoft, 2024).	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – IA: categorias e definições. Adaptado de Russell e Norvig (2022).....	19
Tabela 2 – Abordagens de ensino da criança ao idoso (Andragogia Brasil, 2017). ..	29
Tabela 3 – Tutor digital: guia baseado nos princípios das neurociências.	52
Tabela 4 – Tutor digital: guia baseado nos princípios da Andragogia.	55
Tabela 5 – Tutor digital: guia baseado na Taxonomia de Bloom.....	56
Tabela 6 – Tutor digital: guia baseado no modelo SCAN.....	57
Tabela 7 – Tutor digital: implementação tecnológica.	59
Tabela 8 – Tutor digital: funcionalidades.....	60
Tabela 9 – Visão geral das propostas de trabalho.	84
Tabela 10 – Diferenças entre agentes e agentes de IA.	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Application Programming Interface
DELTA	Digital Empowerment for Lifelong Learning, Teaching, and Andragogy
EBIA	Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial
FAQ	Frequently Asked Questions
fMRI	functional Magnetic Resonance Imaging
<i>g</i>	Inteligência Geral
GPT	Generative Pre-Trained Transformers
GRALE	Global Report on Adult Learning and Education
IA	Inteligência Artificial
IEAT	Instituto de Estudos Avançados Transdisciplinares da UFMG
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
LLMs	Large Language Models
MAS	Multiagent Systems
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
NLP	Natural Language Processing
pubMED	Public Medical Literature Analysis & Retrieval System Online
QI	Quociente de inteligência
RAG	Retrieval-Augmented Generation
RALE	Recommendation on Adult Learning and Education
SCAN	Social Cognitive and Affective Neuroscience
TMI	Teoria das Múltiplas Inteligências
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UIL	UNESCO Institute for Lifelong Learning
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
XAI	Explainable Artificial Intelligence (Inteligência Artificial Explicável)

SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Breve histórico das neurociências.....	12
1.2	Neurociências e fronteiras do conhecimento	12
1.3	Inteligência: um diálogo à luz das Neurociências	13
1.4	Inteligência e Inteligência Artificial: um diálogo necessário.....	18
1.5	Identificação do problema e escolha do projeto de monografia	21
2	Revisão da literatura	23
2.1	Neurociências e Educação	23
2.2	Ciências agógicas e Andragogia.....	29
2.3	Neurociências e Inteligência Artificial.....	40
2.4	Tecnologias digitais e Inteligência Artificial na Educação	47
3	Objetivos.....	48
3.1	Objetivo Geral	48
3.2	Objetivos específicos	48
4	Materiais e métodos.....	49
4.1	Abordagem Metodológica	49
4.2	Revisão da Literatura	49
4.3	Análise e Desenvolvimento.....	50
4.4	Ferramentas e Recursos.....	51
4.5	Limitações Metodológicas.....	51
5	Resultados	52
6	Conclusão	73
	Referências	75
	APÊNDICE A. Análise das propostas iniciais de trabalho	80
	APÊNDICE B. Softwares, Assistentes, Agentes e IA: definições e relações.....	85
	APÊNDICE C. Evolução de LLMs a agentes de IA	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 Breve histórico das neurociências

A suspeita de que o encéfalo seria vital para a vida possui evidências desde a pré-história, e o interesse pelo seu estudo percorreu várias civilizações passando por escritos do Antigo Egito há 5 mil anos, da Grécia Antiga (~460 a.C.), do Império Romano (~100 d.C.) e da Renascença (~1500 d.C.) (Amaral & Guerra, 2022). Entretanto, foi a partir do século XIX que se aprendeu mais sobre as estruturas e o funcionamento do sistema nervoso do que em todos os períodos anteriores.

Por outro lado, o termo neurociências¹ é relativamente recente, tendo ganhado destaque apenas após a segunda metade do século XX (Dana Foundation, 2024). Conforme observado por Lent (2010), esse termo deve ser escrito no plural — ‘neurociências’ —, haja vista que engloba cinco grandes disciplinas (Figura 1). Um ponto de atenção levantado por Balon (2015) é a necessidade de evitar sua banalização ou má compreensão, pois, devido à sua característica multidisciplinar e interdisciplinar, o prefixo ‘neuro’ pode acabar sendo utilizado indiscriminadamente.

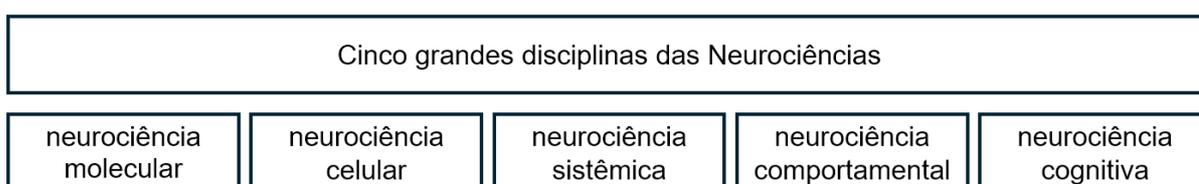


Figura 1 – Cinco grandes disciplinas das neurociências (Lent, 2010).

1.2 Neurociências e fronteiras do conhecimento

Feita esta breve análise fica evidente que o assunto cérebro-mente² sempre foi de interesse do ser humano e que as neurociências possuem um campo vasto de

¹ como disciplina cujo foco é o estudo do sistema nervoso, incluindo estruturas, funções e distúrbios.

² Com o avanço das neurociências entendeu-se melhor as divisões do encéfalo (cérebro, tronco-encefálico e cerebelo) e a mente como um produto das atividades eletroquímicas desse, descartando-se a dualidade cérebro-mente proposta por Descartes. Porém, para deixar a leitura fluida, considere o termo cérebro-mente como sendo uma unidade e englobando todas as estruturas do encéfalo.

atuação, muitas vezes na fronteira entre áreas. Como exemplo podemos destacar, mas não limitar, alguns domínios e aplicações:

- Neurociências e saúde: utilizar descobertas nas neurociências para evitar, minimizar, ou retardar doenças; utilizar dados fisiológicos e/ou comportamentais para atuar preventivamente de forma a melhorar a saúde e assegurar melhor qualidade de vida no futuro evitando atuações corretivas.
- Neurociências e psicologia: pode-se levantar questões sobre personalidade, características cognitivo-comportamentais, agentes estressores, sobrecarga e *burnout* nos ambientes de trabalho e educacional;
- Neurociências e educação: como a qualidade do sono, regulação emocional, capacidades cognitivas influenciam o processo de aprendizagem.
- Neurociências e engenharia: tem-se, por exemplo, rastreamento ocular, realidade virtual, neuroimagem, interface homem-máquina e processamento de sinais como neuroeletrofisiologia, neuromodulação e eletroencefalograma.
- Neurociências e tecnologias: considerando o excesso de informação, demanda por tomada de decisão, avanços na tecnologia, interrelação entre o mundo real e virtual, influência e impacto das redes sociais, dentre outros, surgem questões de como nos adaptar a tais demandas – biológica, mental e socialmente – e quais serão os benefícios e impactos no futuro próximo.

1.3 Inteligência: um diálogo à luz das Neurociências

Howard Gardner é um psicólogo e educador norte-americano reconhecido por sua contribuição na psicologia cognitiva e educacional. Professor na Universidade de Harvard e pesquisador sênior no Projeto Zero³, Gardner é conhecido por sua teoria das múltiplas inteligências (TMI), apresentada pela primeira vez em 1983 no livro *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*, traduzido como *Estruturas da Mente* (Project Zero, 2024).

³ Fundado em Harvard (1967), o Projeto Zero estuda e promove o desenvolvimento de potenciais humanos sob uma ótica interdisciplinar e práticas educacionais amplas. <https://pz.harvard.edu/>

Elaborada a partir da investigação, e organização de achados em pesquisa existentes, sobre como as pessoas aprendem e resolvem problemas de maneiras distintas, Gardner (1995) sugere que a inteligência não seja um conceito limitado à lógica e a linguística, como medido tradicionalmente nos testes de quociente de inteligência (QI), mas que considere várias outras formas⁴, igualmente importantes, que abrangem habilidades musicais, interpessoais, corporais e outras. Além disso, defende que sua teoria não busca substituir ou invalidar métodos tradicionais, mas oferecer um mapa amplo e funcional, busca ampliar o entendimento das capacidades humanas.

“A inteligência deveria ser definida como a capacidade de resolver problemas ou criar produtos que sejam valorizados em um ou mais contextos culturais.” - Howard Gardner

O livro *Inteligências Múltiplas: a teoria na prática* surgiu com o intuito de tangibilizar suas ideias e convidar educadores e pesquisadores a repensarem metodologias de ensino, currículos e sistemas de avaliação, de modo a refletir a diversidade humana e explorar as habilidades de cada indivíduo (Gardner, 1995).

Ressalta-se, todavia, que a TMI não possui validação científica. As críticas concentram-se principalmente na subjetividade de sua estrutura e na falta de evidências que sustentem suas proposições, conforme será apresentado a seguir.

Gottfredson (2006) questiona a validade da concepção de múltiplas inteligências destacando que habilidades humanas variadas não implicam necessariamente na existência de inteligências distintas. Ressalta ainda que Gardner não fornece testes objetivos para validar empiricamente sua teoria, tornando impossível demonstrar se essas inteligências são realmente distintas e independentes.

Psicóloga e professora emérita da Universidade de Delaware, reconhecida por seus estudos sobre inteligência, diferenças individuais e implicações socioeconômicas do quociente de inteligência (QI), Gottfredson conduziu pesquisas sobre o papel da

⁴ Inicialmente foram propostas 7 dimensões: lógico-matemática, linguística, espacial, musical, corporal-cinestésica, interpessoal e intrapessoal. Posteriormente foram incluídas mais duas dimensões: naturalista e existencial.

inteligência geral (g) na vida cotidiana, incluindo seu impacto no sucesso acadêmico, mercado de trabalho e desigualdades sociais (University of Delaware, 2025).

Baseando-se no modelo hierárquico de John B. Carroll (1993), o qual sugere uma organização das habilidades cognitivas em três níveis (Figura 2), Gottfredson (2006) diferencia habilidades e inteligência: habilidades são competências específicas e treináveis, enquanto a inteligência geral (g) é um fator abrangente e central que influencia todas essas habilidades.

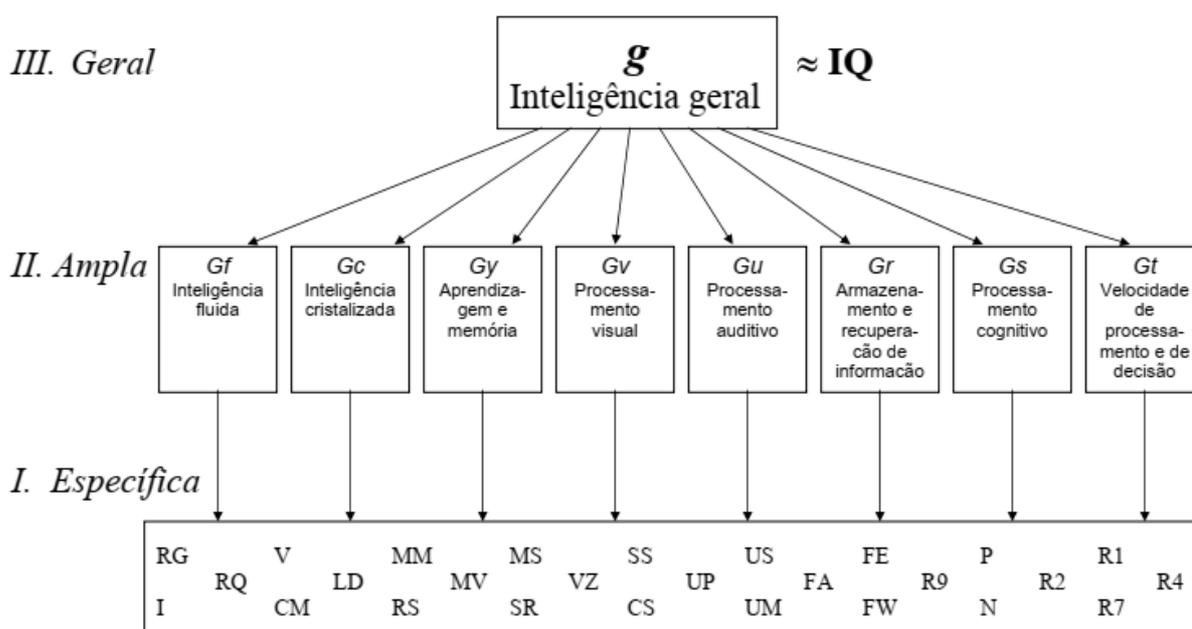


Figura 2 – Organização das habilidades cognitivas⁵ (Gottfredson, 2006).

De acordo com Gottfredson (2006), pessoas que obtêm bons resultados em um teste mental tendem a se sair bem em outros, o que sugere um fator cognitivo unificado (g). Embora existam clusters de habilidades (aptidão) que correlacionam entre si (formando categorias como habilidades verbais, espaciais ou de memória) eles continuam fortemente interligados, indicando que o fator g permanece dominante.

A autora enfatiza que o QI prediz o desempenho no trabalho, ascensão socioeconômica e escolaridade, mas não se correlaciona significativamente com felicidade, indicando que bem-estar subjetivo depende de outros fatores. De forma

⁵ Nível I: habilidades estreitas. Nível II: habilidades amplas. Nível III inteligência geral.

geral, g está mais ligado a comportamentos práticos e produtivos do que a reações emocionais. Testes de QI bem projetados conseguem estimar o fator g com alta precisão, pois os itens avaliados (raciocínio lógico, memória, habilidades verbais e espaciais...) possuem forte correlação com g (Gottfredson, 2006).

Outro estudo, com uma amostra de 200 participantes adultos, investigou a TMI testando cada uma das 8 inteligências propostas por Gardner⁶. De acordo com Visser, Ashton e Vernon (2006), o estudo resultou na seguinte conclusão:

- As inteligências propostas na teoria de Gardner são subdomínios da inteligência geral (g), ao invés de inteligências independentes.
- As habilidades lógico-matemática e espacial foram as que mais se correlacionaram com g . Habilidades musicais e cinestésicas mostraram baixa correlação com g , o que pode indicar que são menos cognitivas e mais dependentes de treinamento específico.
- Embora estudantes possuam perfis de habilidades individuais, a teoria de Gardner não acrescenta informações novas além do que já é explicado pelos modelos hierárquicos tradicionais de inteligência. Dessa forma, recomendam que TMI não deve ser utilizada como fundamento para o planejamento educacional.
- Mais pesquisas são necessárias para testar e refinar os instrumentos que avaliam as inteligências propostas por Gardner.

As principais críticas que refletem o ceticismo em relação à TMI, destacando seus limites teóricos e práticos como uma alternativa viável à inteligência geral (g), de acordo com Willingham (2006) e Waterhouse (2006), são:

- Validação empírica insuficiente: As evidências apresentadas por Gardner não oferecem suporte estatístico adequado e a TMI não apresenta testes experimentais sistemáticos que confirmem suas proposições.

⁶ Neste estudo a inteligência existencial não havia sido incluída como nova dimensão de inteligência.

- Subjetividade na fundamentação: Gardner utiliza critérios subjetivos para definir e categorizar as inteligências, em contraste com os modelos tradicionais, baseados em métricas quantificáveis como o QI.
- Independência das inteligências: A proposta de que as inteligências funcionam de forma independente carece de comprovação. Na prática, capacidades como as lógico-matemática e linguística frequentemente se inter-relacionam, sugerindo uma interdependência que a TMI não explica suficientemente.
- Lacunas culturais e contextuais: Embora Gardner reconheça a influência da cultura no desenvolvimento das inteligências, a TMI não explora adequadamente como fatores sociais e culturais moldam o avanço de habilidades específicas, o que limita sua aplicabilidade em contextos diversos.
- Falta um modelo mecanicista: A teoria é descritiva⁷ e não detalha os processos neurológicos e cognitivos que explicam como as inteligências operam e interagem. Essa ausência de abordagem mecanicista⁸ reduz a previsibilidade científica e a capacidade da TMI de gerar novos avanços no campo cognitivo.
- Propostas de avaliação incompletas: Gardner sugere métodos alternativos de avaliação, como entrevistas e atividades práticas, mas não fornece diretrizes suficientemente detalhadas para replicação em sistemas educacionais amplos, o que inviabiliza a implementação da TMI em larga escala.
- Generalidade e falta de aplicabilidade prática: A TMI é criticada por ser conceitualmente ampla, sem oferecer orientações concretas para transformar práticas educacionais de forma sustentável.
- Ausência de uma função executiva central: A TMI rejeita a existência de uma inteligência geral (*g*) ou função central coordenadora, mas não esclarece como as inteligências interagem de forma eficaz em situações complexas. Essa lacuna gera questionamentos sobre a viabilidade da teoria como alternativa aos modelos tradicionais de inteligência.

⁷ A abordagem descritiva identifica, classifica e organiza os diferentes tipos de inteligência com base em características observáveis e contextuais, mas não detalha os processos cognitivos ou neurológicos associados sobre como as inteligências se combinam para resolver problemas complexos ou se expressam em comportamentos específicos.

⁸ A abordagem mecanicista foca em explicar os mecanismos por trás de um fenômeno. Neste caso, como diferentes tipos de inteligência seriam processadas no cérebro, suas interações mútuas e como seriam influenciadas por fatores biológicos, sociais ou culturais.

Com um intervalo de 40 anos desde a publicação de *Frames of mind: A theory of multiple intelligences*, e 30 anos de *Multiple intelligences: The theory in practice*, Gardner (2020) mantém seu posicionamento da necessidade de se explorar habilidades individuais, mas reconhece limitações da TMI a qual:

- Não considera diferentes culturas.
- Enfatiza exclusivamente em processos cognitivos, desconsiderando aspectos sociais, emocionais e de personalidade.
- Capta uma ideia geral para não especialistas, mas que não é suficientemente detalhada do ponto de vista neurocientífico.
- Concentrou-se em habilidades distribuídas na média populacional, sem dar ênfase a pessoas com talentos excepcionais ou déficits cognitivos.

Desta forma, Gottfredson (2006), Visser, Ashton e Vernon (2006), Willingham (2006) e Waterhouse (2023) reforçam que as neurociências reconhecem uma única inteligência geral (*g*) a qual pode ser estimada através de testes de QI e que predomina sobre as diversas habilidades do indivíduo.

1.4 Inteligência e Inteligência Artificial: um diálogo necessário

Dando continuidade na exploração do que venha a ser inteligência e como se pode medi-la, Ertel (2017) entende que:

“Uma força particular da inteligência humana é a adaptabilidade. Somos capazes de nos ajustar a várias condições ambientais e de mudar nosso comportamento de acordo com o aprendizado.”

Embora o ser humano seja adaptável, historicamente talvez nunca se tenha exigido uma velocidade de adaptação do cérebro-mente tão acentuada bem como a interação do indivíduo com as tecnologias. Vários questionamentos sobre o assunto ainda estão em aberto e alguns foram pauta do Seminário de Inteligência e Inteligência Artificial promovido pelo Instituto de Estudos Avançados Transdisciplinares (IEAT) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG):

“A 4ª edição do Intercontinental Academia (ICA) explorou as complementaridades entre a inteligência artificial e a ciência neuro/cognitiva e os enormes desafios e oportunidades que elas levantam para a humanidade (...). Avanços decisivos foram feitos durante as últimas décadas na análise da atividade cerebral e das suas contrapartes comportamentais, bem como nas ciências do processamento de informação. (...)” (UFMG IEAT, 2022).

Mas, por qual motivo abordar o tema inteligência? Porque a base da inteligência artificial (IA) utiliza o conceito de inteligência humana, a consciência, o pensamento e a ação. Isso faz com que categorias para definir IA surjam (Tabela 1), nas quais a IA poderia pensar, ou agir, como seres humanos ou de forma racional.

Tabela 1 – IA: categorias e definições. Adaptado de Russell e Norvig (2022).

IA	como seres humanos	racionalmente
Pensando	“(...) fazer os computadores pensarem (...) máquinas com mentes, no sentido total e literal” (Haugeland, 1985). • “Automatização de atividades que associamos ao pensamento humano” (Bellman, 1978).	“estudo das faculdades mentais pelo uso de modelos computacionais” (Charniak e McDermott, 1985) • “estudo das computações que tornam possível perceber, raciocinar e agir” (Winston, 1992).
Agindo	“(...) criar máquinas que executam funções que exigem inteligência” (Kurzweil, 1990). • “(...) como os computadores podem fazer tarefas que hoje são melhor desempenhadas pelas pessoas” (Rich e Knight, 1991).	“(...) estudo do projeto de agentes inteligentes” (Poole et al., 1998). • “AI está relacionada a um desempenho inteligente de artefatos” (Nilsson, 1998).

Ertel (2017) menciona que John McCarthy, um dos pioneiros da inteligência artificial, definiu o termo em 1955 da seguinte forma: “O objetivo da IA é desenvolver máquinas que se comportem como se fossem inteligentes”. Na Enciclopédia Britânica, encontra-se a definição: “IA é a capacidade de computadores digitais ou robôs controlados por computador de resolver problemas que normalmente estão associados às capacidades de processamento intelectual superior dos humanos.” Segundo Ertel (2017) a questão é resolvida pela seguinte definição:

“Inteligência Artificial é o estudo de como fazer com que os computadores realizem tarefas nas quais, no momento, as pessoas são melhores.” - Elaine Rich:

Ao explorar o tema Brynjolfsson e McAfee (2014), Hendler e Mulvehill (2016) e Salgues (2018) analisam evolução humana até os dias atuais, considerando a realidade histórica e possíveis mudanças na humanidade, sem adentrar em questões técnicas e de implementação da IA.

Russell e Norvig (2022) seguem o modelo de agente inteligente como estrutura unificadora e Ertel (2017) adota um posicionamento mais geral com organização orientada por tópicos independentes. Cobrindo desde conceitos básicos até tópicos avançados, ao adotar uma abordagem técnica e situar-se no presente eles mostram o estado atual que a IA se encontra.

Há ainda abordagens mais filosóficas como Barrat (2015) e Tegmark (2020), com viés especulativo, que tentam prever como será a relação entre os seres humanos, a sociedade e as IAs no futuro próximo, a superação da inteligência humana pela inteligência artificial ou a capacidade das máquinas possuírem consciência.

Outro ponto que merece atenção é a relação entre o que é real e o que é virtual, conforme pode ser observado nos extratos adaptados de Russell e Norvig (2022).

- (1) “Pode-se imaginar algum tempo futuro em que essas conversas com as máquinas serão comuns, e se tornará costume não fazer nenhuma distinção linguística entre pensamento real e artificial. Uma transição semelhante ocorreu nos anos após 1848, quando a ureia foi sintetizada pela primeira vez por Frederick Wöhler. (...) muitos pensavam que não poderia existir nenhum processo que convertesse compostos químicos inorgânicos em matéria orgânica. Uma vez realizada a síntese, os químicos concordaram que a ureia artificial era ureia porque tinha todas as propriedades físicas corretas. (...) Com relação ao pensamento ainda não atingimos nosso 1848, e há aqueles que acreditem que o pensamento artificial, não importa o quão impressionante, nunca será real. Por exemplo, o filósofo John Searle (1980) argumenta que: ‘Ninguém supõe que uma simulação de computador de uma tempestade nos deixará molhados (...) então, por que alguém em seu juízo perfeito iria supor que uma simulação de computador de processos mentais realmente teria processos mentais?’”

- (2) “Alan Turing achava que não temos como saber se outros seres humanos realmente ‘pensam’ da mesma forma que nós, já que não podemos ver o que se passa dentro da mente de outra pessoa. Então, ele sugeriu que, em vez de debater se as máquinas realmente pensam, deveríamos ser ‘cortesês’ e considerar que, se elas agirem como se pensassem, então podemos tratá-las como pensadoras. Com o tempo, se as máquinas forem suficientemente sofisticadas, essa distinção entre pensamento real e simulado poderá desaparecer.”

Em algum nível, a mente humana não é capaz de distinguir o que venha a ser real ou artificial e, mesmo que consiga fazer tal distinção, ambientes virtuais⁹ são capazes de influenciar a (neuro)fisiologia, pensamentos e comportamentos.

1.5 Identificação do problema e escolha do projeto de monografia

Para o desenvolvimento deste trabalho optou-se pelas disciplinas¹⁰ de maior abstração dentro das neurociências, assim a neurociência molecular e neurociência celular não farão parte do escopo. Pretendeu-se, então, fazer uma revisão dos achados das neurociências e como relacioná-los de forma prática, no que diz respeito ao ser humano como ser biopsicossocial, considerando as neurociências sistêmica (cérebro), cognitiva (mente) e comportamental (adaptação).

A motivação surgiu da reflexão sobre como o ser humano irá se adaptar às relações e ambientes cada vez mais influenciados por avanços tecnológicos, por exemplo: conectividade digital, virtualização, automação e inteligência artificial. Essas mudanças tendem a aumentar, constante e gradativamente, as exigências sobre nossas capacidades cognitivo-comportamentais, como regulação emocional, flexibilidade cognitiva e tomadas de decisão em cenários de incerteza, para lidar com as novas demandas e complexidades que se apresentarão no futuro próximo. Algumas referências que corroboram com esta motivação são: Krabbe et al. (2017), LeMoult e Gotlib (2019), Cathomas et al. (2019), Martins-Klein, Alves, e Chiew (2020), Thompson (2021), Hickey et al. (2021) e UFMG IEAT (2022).

⁹ Como exemplo tem-se realidade aumentada, realidade virtual, deepfake, e assistentes virtuais.

¹⁰ Vide Figura 1 – Cinco grandes disciplinas das neurociências .

Nesse contexto, identificou-se a oportunidade de investigar as competências essenciais ao ser humano para lidar com essas mudanças e como as tecnologias emergentes, especialmente a inteligência artificial, podem complementar e expandir tais capacidades. Após considerar três possíveis projetos¹¹ decidiu-se explorar a aplicabilidade da IA no ensino personalizado para adultos, buscando integrar princípios das neurociências e da andragogia em sistemas de aprendizado adaptativo.

A escolha metodológica fundamentou-se na categorização entre pesquisas descritivas e exploratórias conforme descrito em Portney (2020). O trabalho propõe três frentes principais: (1) uma revisão narrativa sobre processos de ensino à luz das neurociências; (2) uma análise das tecnologias atuais com potencial para construção de agentes de ensino personalizados; e (3) uma pesquisa de desenvolvimento para criar um protótipo funcional de agente de ensino utilizando IA. A abordagem interdisciplinar proposta reflete o alinhamento entre avanços tecnológicos e as necessidades educacionais contemporâneas, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de soluções personalizadas e eficazes no ensino de adultos.

¹¹ Vide APÊNDICE A.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Neurociências e Educação

Composto pelos termos ex (“trazer para fora”, “externalizar”) e ducere (“guiar”, “conduzir”), o verbo latino educare refere-se ao ato de transformar as potencialidades do indivíduo (aquilo que está em potência) em ato (realidade). Em outras palavras, trata-se de orientá-lo no desenvolvimento de suas capacidades, na aquisição de conhecimentos e habilidades. O substantivo educação representa o processo sistemático e contínuo de desenvolvimento do ser humano (Martins, 2005).

Segundo Amaral e Guerra (2022) o descompasso entre o modelo educacional, ainda preso a métodos tradicionais e alheio às descobertas neurocientíficas, e as demandas da sociedade contemporânea acarreta custos econômicos e sociais elevados. A integração das neurociências com os avanços tecnológicos tem o potencial de transformar as abordagens educacionais no século XXI, mas enfrenta desafios, como a necessidade de uma linguagem mediadora entre neurocientistas e educadores para viabilizar a aplicação dessas descobertas no contexto escolar. A Figura 3 ilustra a proposta para renovação do ensino a fim de aumentar a eficiência na aprendizagem.

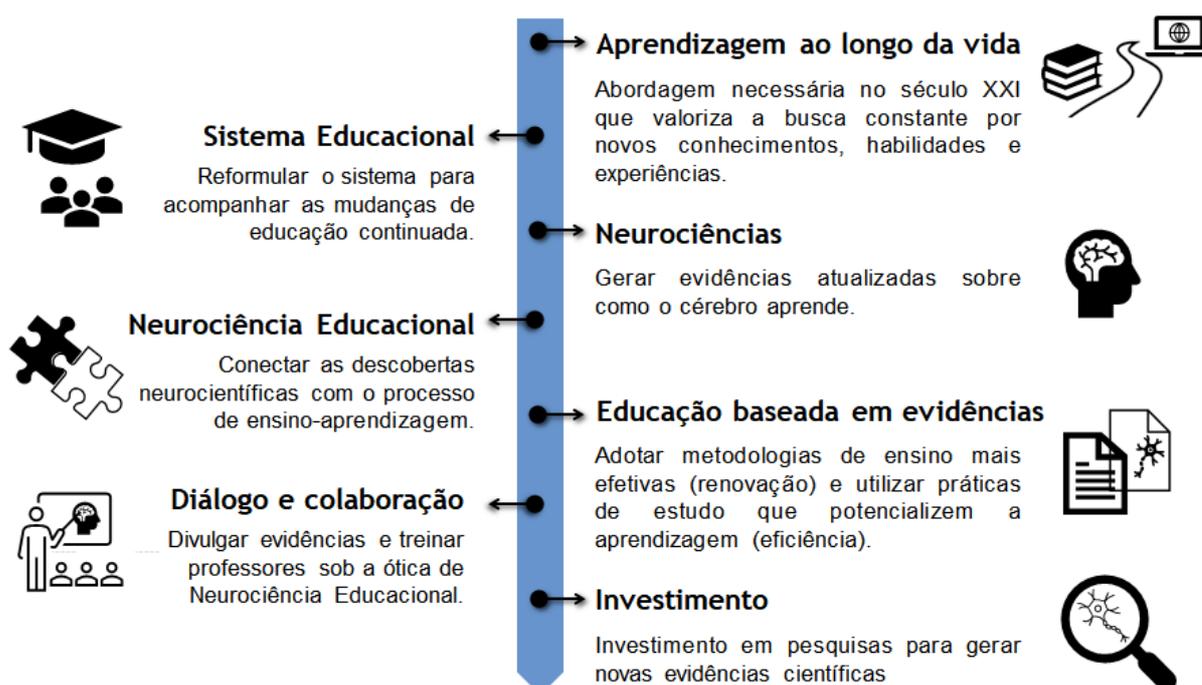


Figura 3 – Proposta de ensino renovado. Adaptado de Amaral e Guerra (2022).

O trabalho conduzido por Amaral e Guerra (2022) resultou na análise de 840 estudos conduzidos em 51 países cujo foco principal foi identificar descobertas relevantes das neurociências que pudessem ser aplicadas ao campo educacional, traduzindo as evidências em práticas eficazes. Isso inclui o desenvolvimento de estratégias de ensino baseadas na ciência do aprendizado e alinhadas com as demandas do século XXI, como o aprendizado contínuo e a personalização do ensino. A Figura 4 e os tópicos seguintes exploram as funções mentais e etapas do processo de aprendizagem conforme levantado em Amaral e Guerra (2022).



Figura 4 – Processo de aprendizagem. Adaptado de Amaral e Guerra (2022).

O ser humano nasce com um cérebro imaturo, mas com elevado potencial de desenvolvimento, exigindo interações intensas com o ambiente e outras pessoas para formar, ajustar e fortalecer conexões sinápticas ao longo do tempo. Esse processo envolve diversas funções mentais e regiões cerebrais interconectadas para criar memórias e habilidades, iniciando com estímulos ambientais processados pelos

sentidos e transformados em informações significativas pelo cérebro. A atenção atua como filtro de estímulos relevantes, permitindo foco e engajamento, enquanto as funções executivas, localizadas no córtex pré-frontal, são responsáveis pelo planejamento, organização e adaptação. Emoção e motivação também desempenham um papel crucial, ativando áreas cerebrais que atribuem valor aos estímulos e incentivam o engajamento no aprendizado.

Estímulos

O cérebro processa informações por meio de áreas cerebrais específicas, como os lobos parietal, temporal e occipital, que interpretam estímulos sensoriais e os integram em experiências significativas. Essas áreas primárias, secundárias e terciárias são responsáveis por transformar percepções básicas em entendimentos complexos, como associar a visão de uma maçã ao conceito de fruta comestível. Além disso, o cérebro social, incluindo sistemas como os neurônios-espelho, desempenha um papel crucial na aprendizagem por meio da interação social e da imitação, permitindo que compreendamos emoções, intenções e comportamentos de outras pessoas.

Atenção

A atenção é uma habilidade cognitiva que permite ao cérebro filtrar estímulos relevantes e descartar o que não é necessário. A atenção reflexa, associada ao SARA¹², é ativada por estímulos inesperados e de alta intensidade ao passo que a atenção voluntária, mediada pelo córtex parietal e giro do cíngulo, sustenta o foco consciente necessário para tarefa prolongada e complexa. A ideia de realizar muitas tarefas ao mesmo tempo¹³ é refutada no sentido que a alternância constante entre atividades compromete a precisão e aumenta o tempo necessário para a conclusão de tarefas, subutilizando os mecanismos de atenção seletiva e sustentada.

Emoção

As emoções modelam como estímulos são percebidos e processados pelo cérebro, atribuindo valor com base em experiências anteriores, influenciando decisões e ações futuras em busca de satisfação. A motivação emerge como força propulsora, acionada pela antecipação de recompensas que podem ser intrínsecas, como o prazer de

¹² Sistema Ativador Reticular Ascendente – SARA.

¹³ Embora a ideia de multitarefa seja amplamente difundida ela não possui respaldo nas neurociências.

aprender, ou extrínsecas, como o reconhecimento. Essa dinâmica é coordenada pelo córtex pré-frontal, que regula estratégias cognitivas e comportamentais, garantindo adaptabilidade e eficácia. As neurociências demonstram que experiências emocionalmente significativas são mais facilmente codificadas e recuperadas. Ambientes que fomentam segurança emocional e proporcionam desafios positivos são essenciais para ativar redes neurais relacionadas à memória e atenção, otimizando a retenção e aplicação do conhecimento. Entretanto, emoções negativas, como ansiedade, podem comprometer essas funções, reduzindo a eficácia cognitiva.

Motivação

A motivação impulsiona os indivíduos a agirem em direção a metas ou necessidades, sendo moldada por fatores biológicos, cognitivos, emocionais e sociais. Ela incorpora elementos mais amplos, como a avaliação de objetivos, a regulação emocional e a tomada de decisão, envolvendo estruturas cerebrais como o córtex pré-frontal e o sistema límbico. Esses elementos permitem que os indivíduos ajustem suas ações de acordo com contextos variáveis e experiências passadas, transcendendo a gratificação imediata para alcançar objetivos mais complexos e de longo prazo.

Ela pode ser dividida em intrínseca e extrínseca. A motivação intrínseca é impulsionada pelo prazer ou satisfação inerente à realização de uma tarefa, como aprender por interesse pessoal. Nesse caso, o sistema de recompensa é ativado pelo próprio comportamento, sem a necessidade de recompensas externas. Por outro lado, a motivação extrínseca surge de estímulos externos, como dinheiro, reconhecimento ou prêmios. Aqui, o sistema de recompensa é ativado pelas expectativas de resultados, importante para ações direcionadas a recompensas externas.

O sistema de recompensa fornece a base biológica para a motivação ao avaliar estímulos no ambiente e determinar sua relevância para a sobrevivência ou bem-estar. Esses mecanismos não apenas geram prazer, mas também impulsionam a motivação necessária para buscar ou evitar determinados estímulos.

Em situações que envolvem sacrifícios ou planejamento de longo prazo, como estudar para um concurso, o córtex pré-frontal desempenha um papel fundamental. Essa região do cérebro integra informações emocionais e contextuais, permitindo a

avaliação de consequências futuras e o controle de impulsos. Nesse sentido, a motivação permite que indivíduos busquem objetivos complexos e realizem escolhas mesmo na ausência de recompensas imediatas.

Funções Executivas

Mediadas primariamente pelo córtex pré-frontal, cuja maturação se estende até a idade adulta, as funções executivas representam um conjunto de habilidades cognitivas fundamentais para o controle comportamental, adaptação às demandas ambientais, tomada de decisões, manutenção de relações e enfrentamento de adversidades. No contexto do aprendizado, as funções executivas interagem com a atenção e a memória para priorizar estímulos relevantes e consolidar informações em registros duradouros, modulados por redes neurais como as de controle executivo e saliência, que equilibram motivação e alocação de recursos cognitivos.

Memória

A memória, elemento essencial para a aprendizagem, é formada por meio de registros de experiências relevantes que são codificados em diferentes regiões cerebrais. Esse processo depende de estímulos repetidos e significativos, que facilitam a reorganização sináptica e a consolidação das representações mentais.

A memória é um processo neurobiológico dinâmico, mediado pela capacidade do cérebro de se reorganizar e redefinir as sinapses, conectando novos conhecimentos a conceitos previamente estabelecidos, promovendo uma compreensão mais profunda e integrada. Essa reorganização viabiliza a codificação, consolidação e recuperação de informações, transformando experiências em registros que moldam o comportamento e orientam a adaptação a novos contextos. Como resultado destes processos, os engramas representam as bases fisiológicas da memória, formadas por padrões específicos de atividade neural distribuídos em múltiplas regiões cerebrais.

Estruturada em diferentes tipos, a memória de curto prazo armazena informações temporárias que podem ser descartadas ou transferidas para a memória de longo prazo, um sistema mais estável mediado pelo hipocampo que desempenha um papel central na formação de engramas, atuando como um integrador que facilita a organização e consolidação das informações.

A memória pode ainda ser categorizada em explícita e implícita. A memória explícita, associada ao hipocampo e ao córtex pré-frontal, envolve a recordação consciente de fatos e eventos e depende de processos ativos, como a repetição e a associação, para sua eficácia. Já a memória implícita, mediada por estruturas como o cerebelo e os núcleos da base, é responsável por habilidades motoras e hábitos automáticos, sendo menos suscetível ao esquecimento.

Neuroplasticidade

A neuroplasticidade¹⁴ refere-se à capacidade do sistema nervoso de adaptar, reorganizar e modificar suas conexões em resposta a estímulos internos (pensamentos, emoções) e externos (experiências e ambientes), além de eventos como aprendizado, memória e lesões.

Fundamental para o aprendizado, ela é o mecanismo que permite ao cérebro reorganizar conexões e criar sinapses em resposta ao aprendizado e à experiência, possibilitando que novas competências sejam adquiridas e incorporadas.

Ao serem consolidados, as informações geradas por estímulos e eventos são armazenadas na memória de longo prazo, permitindo que habilidades e conhecimentos se tornem duradouros. Por outro lado, a ausência de práticas ou de estímulos levam ao enfraquecimento de conexões neurais, destacando a importância do ambiente e do engajamento contínuo no processo educacional.

¹⁴ Neuroplasticidade ou plasticidade neural

2.2 Ciências agógicas e Andragogia

O substantivo *scientia* (“conhecimento” ou “saber”), proveniente do latim, significa um campo de conhecimento sistematizado, baseado em métodos e observações. O verbo *agogé*, proveniente do grego, significa “guiar ou “conduzir”, sendo equivalente ao verbo latino *educare*. Conforme mostrado na Tabela 2, as ciências agógicas exploram como abordagens educacionais podem ser adaptadas considerando diferentes contextos e fases da vida, que vão desde a criança ao idoso (Andragogia Brasil, 2017).

Tabela 2 – Abordagens de ensino da criança ao idoso (Andragogia Brasil, 2017).

paidós (criança)	+ agogé (orientar) =	pedagogia
hebe ¹⁵ (jovem)		hebegogia
andrós (adulto)		andragogia
gerón (idoso)		gerontagogia

As neurociências suportam as ciências agógicas ao demonstrar que o aprendizado é influenciado pela neurobiologia (estímulos, atenção, modulação emocional, motivação, funções executivas, neuroplasticidade, memória e integração de novos conhecimentos às experiências acumuladas) e esta, por sua vez, apresenta uma dinâmica ao longo da vida conforme pode ser observado na Figura 5. Compreendê-la é essencial para a formulação de estratégias de ensino adaptativas. O crescimento e declínio das estruturas do cérebro, o volume total, matéria branca, matéria cinzenta, espessura cortical média e área de superfície total são fatores que influenciam diretamente as capacidades cognitivas, a plasticidade cerebral e adaptabilidade.

Nos primeiros anos de vida, o sistema nervoso é sensível a estímulos externos, como a aprendizagem de linguagem ou habilidades motoras. A formação de sinapses atinge um pico, mas também ocorre a eliminação de conexões redundantes, conhecida como poda sináptica, otimizando a eficiência cerebral (Amaral & Guerra, 2022).

Na infância, a pedagogia deve explorar o crescimento acelerado da matéria cinzenta, que atinge seu pico em 5,9 anos (Bethlehem, et al., 2022), juntamente com a diferenciação inicial da matéria branca. Este período é marcado pela plasticidade

¹⁵ Hebe, deusa grega da juventude

sináptica, com rápidas conexões neurais sendo formadas e refinadas. O aprendizado sensorial e motor é prioritário, pois áreas sensoriais primárias amadurecem primeiro, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento cognitivo subsequente. A estimulação cognitiva nesta fase deve incluir atividades que promovam a interação sensorial, motor e emocional, alinhadas ao rápido desenvolvimento da área cortical.

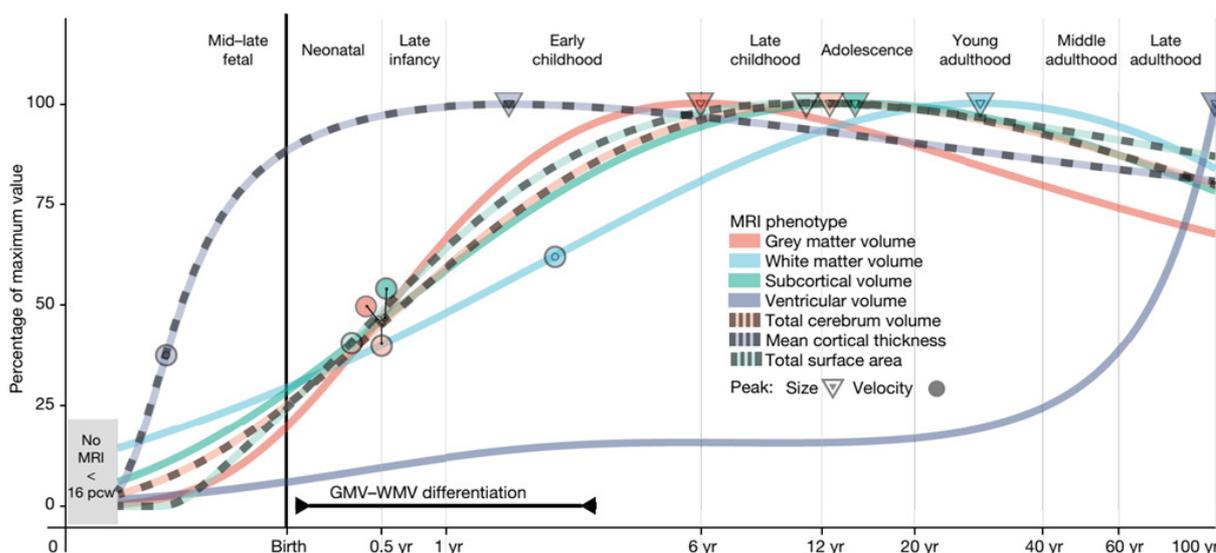


Figura 5 – Dinâmica cerebral ao longo da vida (Bethlehem, et al., 2022).

Durante a adolescência, a hebegogia deve considerar a maturação das áreas associativas, incluindo o córtex pré-frontal, que continua se desenvolvendo até os 25 anos. Este período é caracterizado por mudanças estruturais significativas, como o aumento do volume de matéria branca, que atinge seu pico por volta dos 28,7 anos (Bethlehem, et al., 2022), refletindo a mielinização progressiva. As estratégias educacionais devem priorizar habilidades de pensamento crítico, resolução de problemas e autorregulação, explorando a plasticidade elevada, mas reconhecendo a vulnerabilidade emocional e cognitiva associada à poda sináptica.

Para os adultos, a andragogia deve valorizar a estabilização das estruturas cerebrais e aproveitar as características cognitivas específicas que, embora apresentem redução da plasticidade em comparação à infância e adolescência, apresentam alta eficiência neural. Essa eficiência permite que o aprendizado seja conectado à experiência e ao raciocínio analítico, com destaque para a memória de longo prazo. O ensino deve ser prático, centrado em problemas e relevante para os contextos

pessoal e profissional, reconhecendo a motivação intrínseca como o principal motor do aprendizado nesta fase.

Na velhice, a gerontagogia deve considerar o declínio gradual do volume de matéria cinzenta e branca e o aumento do volume ventricular, que reflete processos de atrofia cerebral. Apesar disso, a plasticidade neural ainda pode ser promovida por meio de estímulos cognitivos e sociais que retardem o declínio funcional. Estratégias educacionais para idosos devem incluir atividades que fortaleçam a memória operacional e a conectividade neural, aproveitando experiências acumuladas e promovendo interações sociais para mitigar os efeitos do envelhecimento cerebral.

Andragogia

Considerando o trabalho de Bethlehem et al. (2022) e a Figura 5, entre os 25 e 60 anos, o cérebro humano atinge uma fase de relativa estabilização estrutural, marcada pela eficiência das redes neurais e pelo pico do volume de matéria branca, que é sustentado até os 50 anos antes de iniciar um declínio gradual. Durante este período, a plasticidade neural é reduzida em comparação à infância e adolescência, mas ainda é suficiente para permitir aprendizado significativo, especialmente quando associado a experiências prévias. A matéria cinzenta já passou por declínios leves, e as funções cognitivas superiores, como memória semântica e raciocínio lógico, tendem a ser altamente desenvolvidas. Além disso, o córtex pré-frontal, responsável por habilidades de planejamento e controle inibitório, opera de forma otimizada, embora com leve declínio após os 40 anos.

Para Bellan (2018), o adulto é um indivíduo cuja definição transcende a idade cronológica, sendo moldado por suas vivências, responsabilidades e contextos de vida. Variando entre aqueles que assumem responsabilidades precoces e os que permanecem em dependência familiar, como a "geração canguru". Ao invés de utilizar anos de vida como referência, ela o define a partir de certas características. O adulto:

- é a pessoa madura o suficiente para assumir responsabilidades por seus atos.
- tem consciência de suas ações e toma decisões responsáveis em sua vida.
- toma decisões e age a partir dos resultados de experiências vividas.

- direciona o aprendizado para os seus interesses, suas motivações internas.
- aprender para resolver problemas e desafios.

De acordo com Bellan (2018) e o site Andragogia brasil (2017), a andragogia tem como pilares as contribuições de Alexander Kapp e Malcolm Knowles, cujas ideias moldaram práticas educacionais centradas no adulto como protagonista de seu aprendizado. Kapp introduziu o termo em Ideias Educacionais de Platão (1833), destacando que a educação de adultos difere da pedagogia infantil ao valorizar vivências e autonomia. Inspirado por Platão, via o aprendizado como um diálogo contínuo e propôs que o educador atuasse como facilitador, promovendo a reflexão e o desenvolvimento moral e prático. Sua abordagem foi marginalizada até ser revitalizada no século XX por Malcolm Knowles, reconhecido como o 'pai da andragogia'. Knowles sistematizou o conceito em cinco princípios fundamentais: autonomia, experiência prévia, prontidão para aprender, orientação ao problema, motivação para aprender (Figura 6). Ele demonstrou que adultos aprendem melhor quando percebem a relevância prática do que estudam.

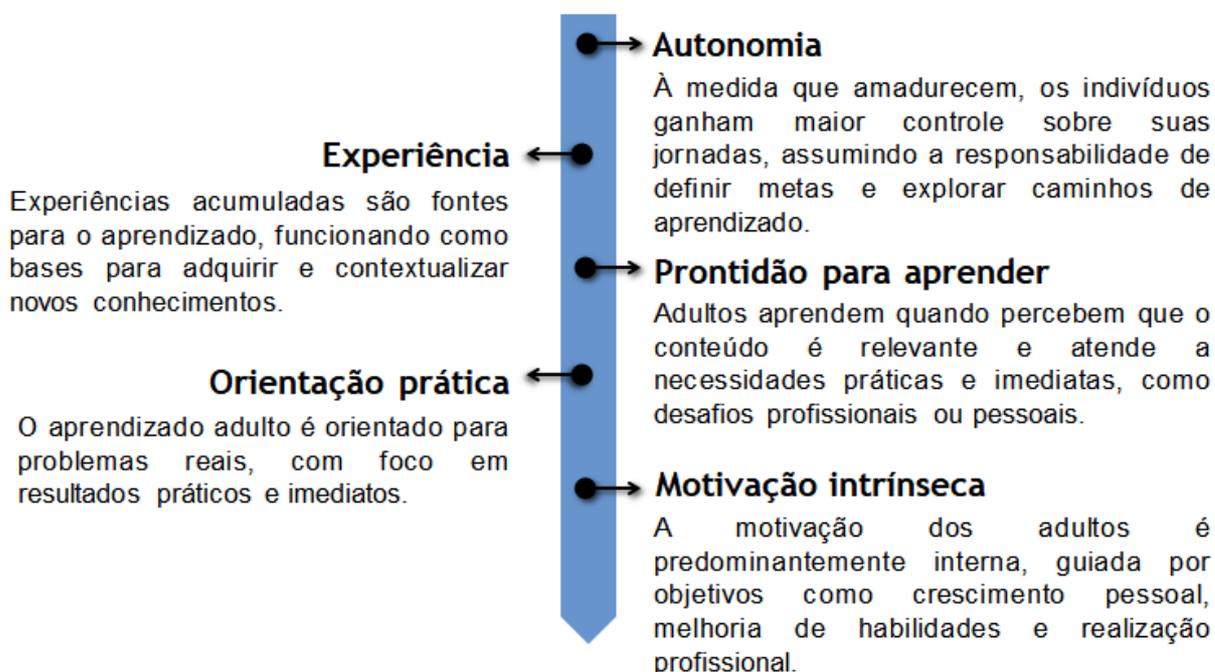


Figura 6 – Princípios da Andragogia propostos por Malcolm Knowles (1913–1997).

A andragogia deve explorar as características específicas desta faixa etária, considerando tanto a eficiência das redes neurais quanto a necessidade de

estratégias educacionais práticas e relevantes. O ensino deve ser centrado em problemas reais e aplicáveis ao contexto de vida e trabalho, valorizando a autonomia do aprendiz, que tende a ser motivado por objetivos intrínsecos e pela aplicação do conhecimento. Métodos que promovam aprendizado autodirigido, uso de exemplos concretos e integração de novas informações às redes neurais já estabelecidas mostram-se pertinentes. Além disso, é importante considerar a variabilidade individual, dado que fatores como saúde geral, nível de estresse e engajamento cognitivo afetam o desempenho. Tal abordagem não apenas respeitam os limites, mas exploram as capacidades e aproveitam o potencial de aprendizado nesta fase da vida.

Para Bellan (2018), o papel do educador na prática andragógica é fundamental para assegurar um processo de ensino eficaz e significativo. Ele deve ir além do modelo tradicional de transmissor de conhecimento, assumindo a função de facilitador e promovendo um aprendizado ativo e colaborativo, inspirado pelo interesse, curiosidade e aplicação prática. A andragogia posiciona o educador como coconstrutor do aprendizado, transformando o ensino em um diálogo que valorize as experiências prévias dos alunos, fomente reflexões e responda questionamentos de forma construtiva. A comunicação é um dos maiores desafios e responsabilidades, exigindo empatia e adaptação às necessidades dos aprendizes. Para ser eficaz, o educador deve alinhar pensamentos, emoções e sentidos de forma clara, criando conexões interpessoais que incentivem autonomia e engajamento. Contudo, o domínio do conteúdo, embora necessário, não é suficiente; muitos educadores enfrentam essa tarefa sem formação adequada, evidenciando a necessidade de desenvolver competências específicas. Boa vontade, isoladamente, não basta; é indispensável uma preparação contínua que combine métodos e técnicas apropriados, assegurando que o aprendizado seja relevante, prático e transformador.

A taxonomia de Bloom (1956) apresenta três domínios para o planejamento educacional: cognitivo, afetivo e psicomotor. Cada um destes domínios divide-se em níveis que dependem dos anteriores e dá suporte aos níveis seguintes. Segundo Bellan (2018), no processo de aprendizagem espera-se resultados nos três domínios dado que ele envolve o pensar, sentir e agir. Por isso, durante o planejamento, o educador deve desenvolver objetivos para cada nível.

O domínio cognitivo promove o desenvolvimento de habilidades como lembrar, compreender e avaliar informações, com destaque para resolução de problemas. Seus 6 (seis) níveis estão organizados por ordem daqueles que requerem habilidades intelectuais menos estruturadas para os que requerem habilidades mais estruturadas.

- 1º. Conhecimento: Identificar e evocar informação
- 2º. Compreensão: Organizar e selecionar fatos e ideias
- 3º. Aplicação: Usar fatos, regras, princípios
- 4º. Análise: Separar algo (o todo) em partes
- 5º. Síntese: Combinar ideias para formar um novo conjunto
- 6º. Avaliação: Desenvolver opiniões, julgamentos, decisões

O domínio afetivo foca em atitudes, valores e emoções. Também organizados por complexidade dos processos mentais os 5 (cinco) níveis são:

- 1º. Recepção: Prestar atenção
- 2º. Resposta: Participar, responder a estímulos, apresentar ideias, questionar
- 3º. Avaliação: Seguir regras
- 4º. Organização: Criar sistema de valores, atribuir prioridades, resolver conflitos
- 5º. Internalização: Adotar e praticar um sistema de valores

O domínio psicomotor prioriza habilidades físicas as auxiliam na aquisição de novos conhecimentos a partir dos movimentos do corpo, da manipulação de objetos e dos sentidos corporais. Seus 5 (cinco) níveis hierárquicos são:

- 1º. Percepção: Tornar consciente o mundo externo através dos sentidos¹⁶
- 2º. Predisposição: Preparar física, mental e emocionalmente para a atividade
- 3º. Resposta guiada: Agir conforme orientação do professor
- 4º. Resposta mecânica: Tornar automáticas as ações após adquirir o hábito
- 5º. Naturalização: Realizar ações de modo eficiente e autônomo

¹⁶ visão, tato, olfato, paladar e audição

Uma revisão da taxonomia, realizada por Anderson e Krathwohl (2001), modificou o domínio cognitivo da versão original de Bloom (1956), mantendo inalteradas as taxonomias dos domínios afetivo e psicomotor. O objetivo da revisão foi aprimorar a estrutura tornando a taxonomia mais acessível e aplicável no planejamento de ensino, avaliação e aprendizagem, facilitando a formulação de objetivos educacionais.

Na versão original, "Conhecimento" (1º nível do domínio cognitivo) englobava tanto o conteúdo a ser aprendido quanto a ação necessária para adquiri-lo. A revisão substituiu "Conhecimento" por "Lembrar", tornando-o um processo cognitivo, e expandiu a dimensão do conhecimento para quatro tipos:

- Factual: envolve dados e terminologias fundamentais;
- Conceitual: trata das relações entre conceitos e princípios;
- Procedimental: estratégias e métodos para a resolução de problemas;
- Metacognitivo: consciência sobre a própria cognição.

Além disso, foram feitas mudanças terminológicas para alinhar a taxonomia à linguagem usada por professores, substituindo "Compreensão" por "Entender" e "Síntese" por "Criar", com esta última sendo reposicionada como a habilidade cognitiva mais complexa, superando "Avaliação".

Desta forma, o domínio cognitivo foi reorganizado da seguinte forma:

- 1º. Lembrar: Memorizar e reconhecer informações
- 2º. Entender: Compreender o significado das informações
- 3º. Aplicar: Utilizar o conhecimento em novas situações
- 4º. Analisar: Dividir a informação em partes e compreender suas relações
- 5º. Avaliar: Julgar baseado em critérios
- 6º. Criar: Sintetizar informações para gerar algo novo

A Figura 7 ilustra as modificações realizadas por Anderson e Krathwohl (2001) no domínio cognitivo em relação à primeira versão da taxonomia de Bloom (1956).

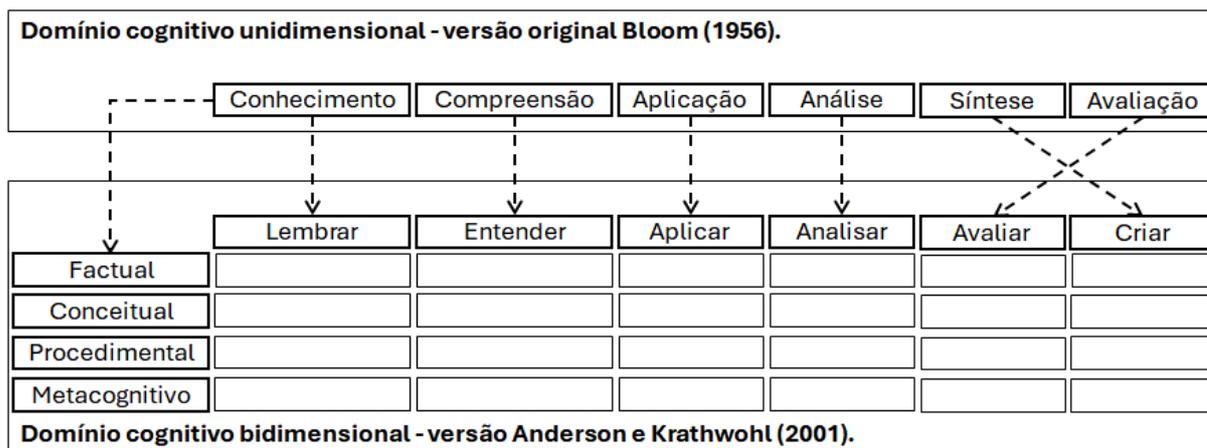


Figura 7 – Alterações na Taxonomia de Bloom. Adaptado de Krathwohl (2002).

Conforme reforçado por Bellan (2018), a aplicabilidade da andragogia vai além da sala de aula, indo desde contextos acadêmicos até ambientes corporativos. A autora menciona que universidades, instituições e empresas têm explorado os modelos andragógicos com resultados satisfatórios. No ambiente corporativo, a andragogia se manifesta em workshops, mentoring e programas de upskilling¹⁷ e reskilling¹⁸, alinhando competências individuais aos objetivos estratégicos da organização.

Destacada pela UNESCO¹⁹ (2025) como um pilar essencial do aprendizado ao longo da vida, a educação de adultos ganha relevância por meio de iniciativas globais, conferências e publicações. A organização reforça a importância de estratégias inclusivas e adaptáveis para atender às necessidades de adultos em diferentes contextos socioeconômicos e culturais. A *Recomendação sobre Aprendizagem e Educação de Adultos*²⁰, aprovada em 2015, define três domínios-chave de aprendizagem e habilidades, e descreve cinco áreas transversais de ação (Figura 8). Tal documento recomenda que o Instituto da UNESCO para a Aprendizagem ao Longo da Vida²¹ monitore o progresso por meio do *Relatório Global sobre Aprendizagem e Educação de Adultos*²², desenvolva indicadores consensuais e

¹⁷ Aprimoramento de competências existentes, com o objetivo de atualizar e expandir o domínio técnico ou teórico em áreas relacionadas à função atual do profissional.

¹⁸ processo de ensinar aos trabalhadores habilidades completamente novas para que possam desempenhar funções diferentes das que ocupam atualmente.

¹⁹ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO.

²⁰ Recommendation on Adult Learning and Education – RALE.

²¹ UNESCO Institute for Lifelong Learning – UIL.

²² Global Report on Adult Learning and Education – GRALE.

melhore os mecanismos de coleta internacional de dados sobre a aprendizagem e a educação de adultos.

Domínios-chave de aprendizagem e habilidades				
		Alfabetização e habilidades básicas	Educação contínua e habilidades profissionais	Educação liberal, popular e comunitária e habilidades cidadãos
Áreas transversais de ação	Política pública			
	Governança			
	Financiamento			
	Participação, inclusão e equidade			
	Qualidade			

Figura 8 – Domínios-chave de aprendizagem e habilidades (UNESCO, 2015).

O mundo contemporâneo, caracterizado por constantes transformações tecnológicas, culturais e sociais, demanda um aprendizado personalizado e contínuo (Amaral & Guerra, 2022). Em paralelo, mudanças ao longo da vida afetam motivações e preferências de aprendizado, exigindo metodologias educacionais flexíveis e adaptáveis ao contexto. O professor, antes visto como transmissor de conhecimento, agora atua como mediador, responsável por validar informações e criar ambientes propícios à construção do conhecimento suportado por tecnologias digitais, como agentes de IA, que complementam seu papel, oferecendo personalização e suporte, mas sem substituir habilidades humanas como empatia e percepção das necessidades emocionais dos alunos. Dito isso, estruturas transversais complementares às abordagens de ensino adotadas para cada fase da vida tornam-se necessárias (Figura 9).

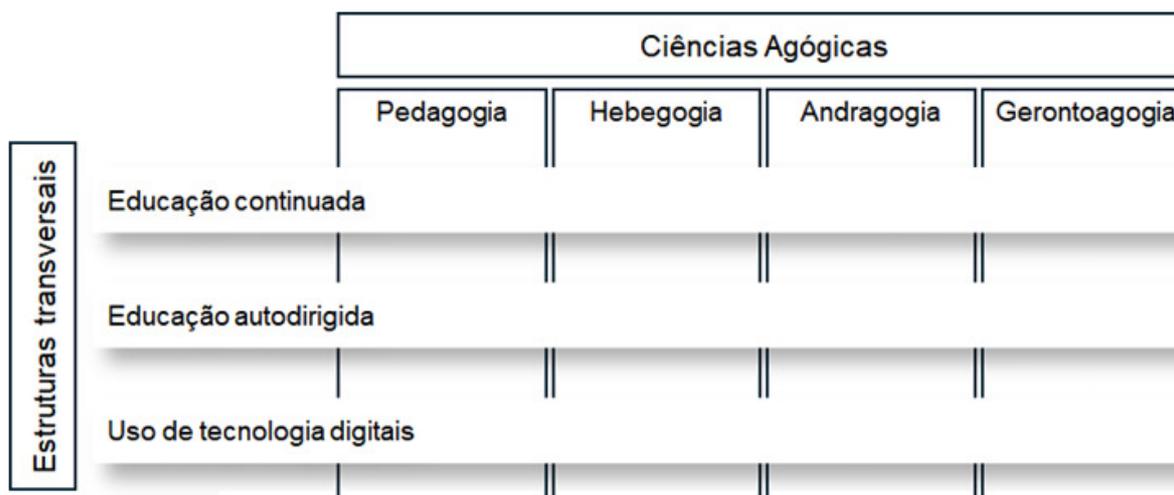


Figura 9 – Estruturas transversais de ensino e ciências agógicas.

A educação continuada²³ abrange diversas atividades como cursos de especialização, certificações, oficinas, treinamentos corporativos e aprendizado autodirigido, promovendo o desenvolvimento de competências sociais, culturais e tecnológicas. Seu objetivo é proporcionar oportunidades de aprendizado contínuo, permitindo atualização e aperfeiçoamento ao longo da vida. Ela coloca o foco no aprendiz e sua jornada de aquisição de conhecimento e habilidades em diferentes momentos e contextos. Esse processo é conduzido pela motivação do indivíduo com a mediação de um educador ou sem ele, determinando neste caso, a educação autodirigida²⁴. Nesta abordagem o aprendiz determina o conteúdo, os métodos e os objetivos do aprendizado, assumindo controle sobre seu próprio processo educativo.

O uso de tecnologias digitais e ambientes virtuais no processo de ensino provem a personalização, interatividade, acesso a conteúdo diversos, possibilitam a escolha de quando e onde estudar e fortalecem competências digitais. Essa abordagem suporta metodologias e tecnologias como ensino híbrido, gamificação, aprendizagem por projetos, trabalhos colaborativos e incentivo ao pensamento crítico, plataformas de aprendizado online, realidade virtual, realidade aumentada e agentes de IA.

De acordo com Pscheidt (2024), a utilização de IA não substitui os professores, mas complementa suas práticas, oferecendo insights baseados em dados e possibilitando um acompanhamento mais detalhado do progresso dos alunos. O impacto vai além

²³ Ou Lifelong Learning no contexto além do profissional, como pessoal, social e cultural.

²⁴ Heutá ("próprio" ou "si mesmo") + Agogé (orientar) = Heutagogia, ou aprendizado autodirigido.

de facilitar o aprendizado, transformando a experiência educacional ao torná-la mais inclusiva, acessível e conectada às demandas do século XXI. Contudo, desafios como desigualdade de acesso à tecnologia e a necessidade de capacitação docente devem ser enfrentados para garantir que a IA seja implementada de forma ética e estrategicamente alinhada aos objetivos pedagógicos.

Em 2023, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação iniciou a revisão da Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (EBIA), originalmente lançada em 2021 (MCTI, 2025). Para tanto, a estratégia estabelece nove eixos temáticos, caracterizados como os pilares do documento. (Figura 10) A atualização visa alinhar eixos, metas e ações às prioridades nacionais, incorporando avanços globais e promovendo o uso ético e responsável da inteligência artificial. A ministra Luciana Santos destacou a importância da IA para o desenvolvimento industrial e tecnológico do Brasil, com foco na soberania tecnológica e competitividade internacional.

Iniciado pelo Instituto da UNESCO para a Aprendizagem ao Longo da Vida em colaboração com a Universidade Aberta de Xangai, o quadro DELTA²⁵ é um modelo de referência, com conclusão prevista para 2025, que mapeia e define as competências digitais necessárias para educadores de adultos, capacitando-os a integrar tecnologias digitais em suas práticas de ensino e a oferecer uma educação mais eficaz, inovadora e alinhada às demandas contemporâneas (UNESCO, 2024).

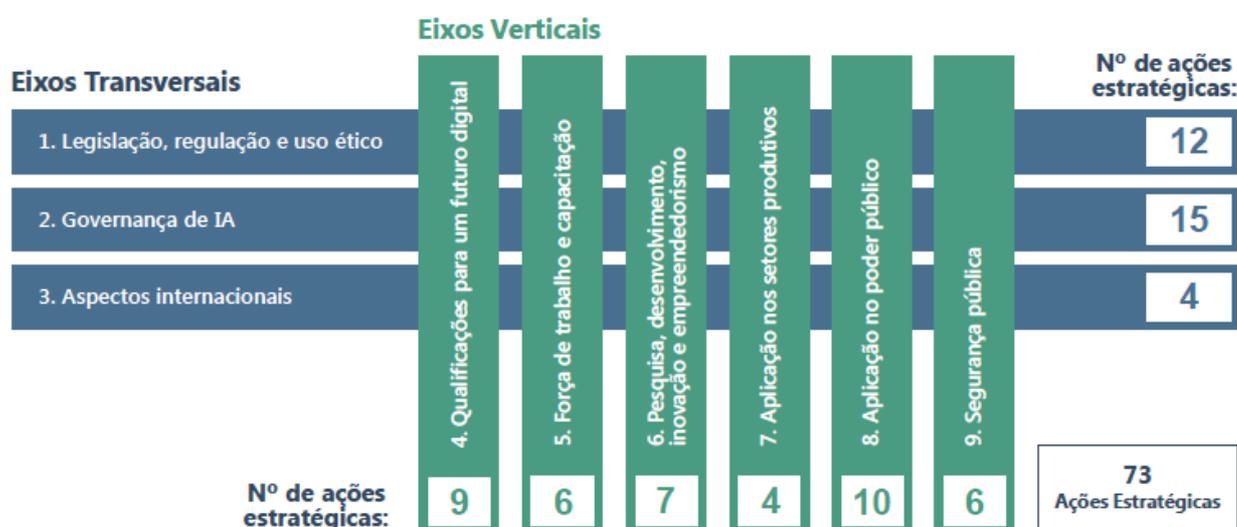


Figura 10 – Eixos temáticos da EBIA (MCTI, 2025).

²⁵ Digital Empowerment for Lifelong Learning, Teaching, and Andragogy – DELTA.

2.3 Neurociências e Inteligência Artificial

A simbiose entre Neurociências e Inteligência Artificial impulsiona tanto o estudo do sistema nervoso quanto o desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes.

Redes neurais artificiais simulam a estrutura dos neurônios biológicos para processar informações de forma semelhante ao cérebro. Modelos *deep learning* replicam o processamento hierárquico e temporal do cérebro, reconhecendo padrões visuais e linguísticos. Conceitos como plasticidade neural inspiram sistemas de aprendizado adaptativo, onde a IA ajusta seu comportamento de maneira incremental. Estudos de percepção e tomada de decisão orientam o desenvolvimento de algoritmos de aprendizado por reforço, aplicados a agentes autônomos em ambientes dinâmicos. Tecnologias como os transformers refletem mecanismos de atenção seletiva, priorizando informações relevantes em grandes volumes de dados.

Por sua vez, algoritmos de aprendizado de máquina viabilizam a análise de dados complexos como imagens de ressonância magnética funcional (functional Magnetic Resonance Imaging - fMRI), permitindo modelar processos cognitivos, como percepção e memória, e gerando hipóteses sobre o comportamento cerebral. A IA também facilita a decodificação de sinais neurais para interfaces cérebro-máquina e próteses neurais, possibilitando a comunicação entre o cérebro e dispositivos externos, trazendo autonomia a pessoas com limitações motoras. Simulações cerebrais, realizadas com auxílio da neuro computação, replicam circuitos neurais complexos, viabilizando experimentos que seriam impraticáveis fisicamente. Além disso, a IA desempenha papel essencial no diagnóstico e tratamento de distúrbios neurológicos, identificando padrões em dados para a detecção precoce de doenças como Alzheimer e contribuindo para terapias personalizadas.

Antropomorfização

Derivada do grego, *anthropos* ("homem") e *morphé* ("forma"), a antropomorfização é entendida como a atribuição de características humanas - como traços, comportamentos, pensamento, motivações, emoções - a entidades não humanas - como objetos, animais, robôs e, agora, à IA. Tal tendência merece cuidado para não

gerar comparações equivocadas com os complexos processos bioquímicos, cognitivos e comportamentais do ser humano, os quais lhe conferem consciência, autonomia e imprevisibilidade. Ao passo que robôs, sistemas ciber-físicos e de inteligência artificial operam baseado em algoritmos e não possuem consciência. Embora úteis, eficazes e cada vez mais realistas, são ferramentas e, como ferramentas, são projetados para determinadas tarefas, possuem limitações e podem apresentar erros caso sejam utilizadas inadvertidamente.

Antes das inteligências artificiais terem avançado no que diz respeito à imersão e a naturalidade das interações, o trabalho de Chaminade et al. (2010) revelou que a aparência e o comportamento humanóides ativam regiões cerebrais envolvidas na percepção de emoções (Figura 11). Contudo, a resposta cerebral a estímulos artificiais foi menos intensa do que a direcionada a humanos, sugerindo uma ressonância emocional mais fraca, mas ainda presente, especialmente quando a atenção é direcionada para as emoções expressas pelos agentes artificiais.



Figura 11 – Robô e humano: estímulo de alegria (Chaminade, et al., 2010).

No trabalho de Press (2011), em interações com agentes humanóides, observou-se a ativação da rede AON²⁶ sugerindo que a percepção de movimentos humanizados recruta redes neurais associadas à previsão e compreensão de ações humanas mesmo quando o agente observado é uma máquina.

²⁶ Action Observation Network – AON.

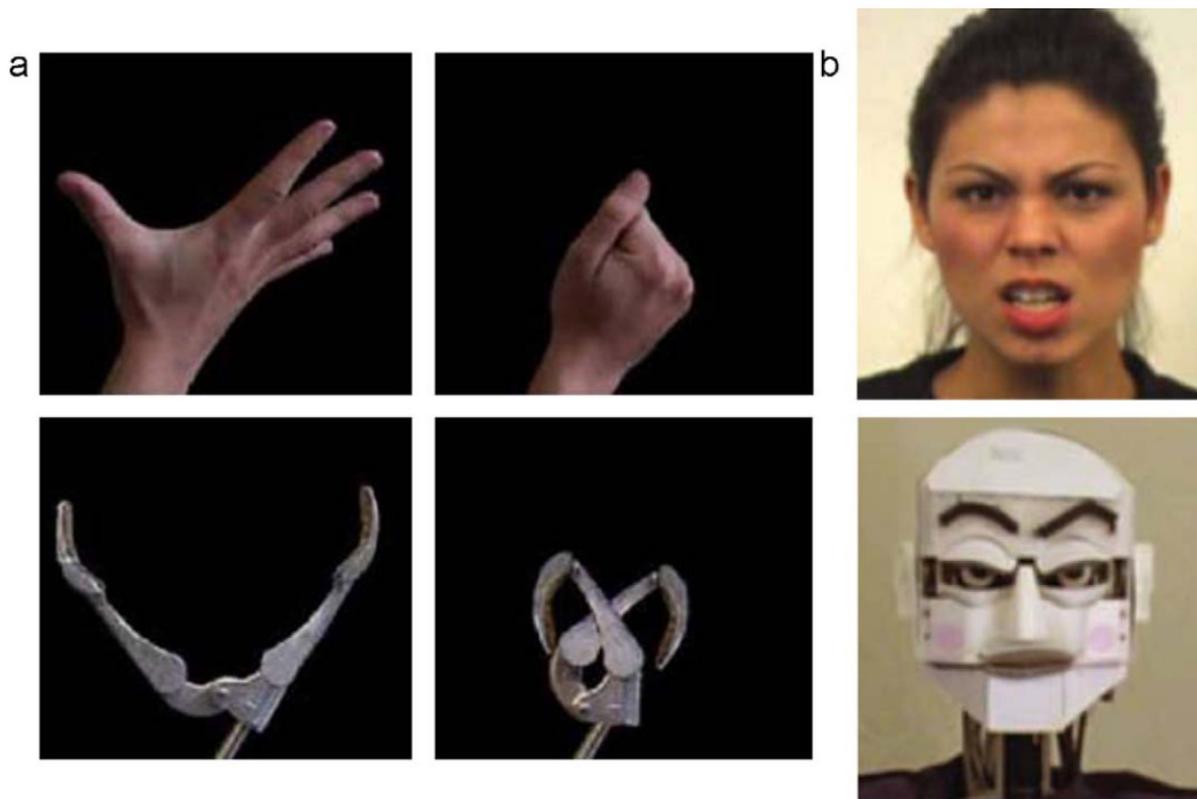


Figura 12 – Robôs e humanos: estímulos ativam a AON (Press, 2011).

Em um estudo mais recente, Numata et al. (2020) demonstrou que agentes virtuais capazes de imitar expressões induzem emoções em participantes, mesmo quando sabem que o agente é apenas um programa de computador. Essa imitação ativa regiões cerebrais como o córtex pré-frontal medial, associado à antropomorfização, e o precúneo, ligado à percepção de contingência, sugerindo processamento social e cognitivo semelhante ao direcionado a humanos. Tarefas complexas, como interações afetivas e expressões imitativas, reforçam essa ilusão, criando expectativas irreais quanto à capacidade de tomada de perspectiva ou compreensão emocional dessas máquinas (Zhao & Malle, 2022) (Ye, et al., 2023).

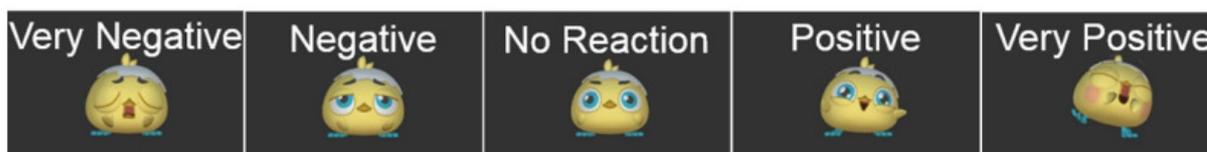


Figura 13 – Agente virtual utilizado para induzir emoções (Numata, et al., 2020).

No contexto das próteses robóticas, Pino et al. (2020) mostrou que a antropomorfização pode promover o *embodiment*²⁷ através da integração multissensorial, envolvendo a representação somatossensorial.

No decorrer dos anos, nota-se uma evolução na compreensão da antropomorfização, especialmente em função do desenvolvimento das inteligências artificiais e dos robôs sociais. Estudos mais antigos focaram principalmente na percepção de movimentos robóticos e na ativação limitada do sistema motor diante de estímulos mecânicos, ressaltando a necessidade de familiaridade sensório-motora para intensificar a resposta do AON. Já pesquisas atuais, que exploram agentes virtuais e humanoides interativos, sugerem que o avanço na expressividade emocional e nas características humanizadas dessas entidades potencializa a antropomorfização, fortalecendo a aceitação e o vínculo emocional com essas tecnologias. Assim, a trajetória temporal evidencia que a antropomorfização evoluiu de um conceito focado em movimentos e aparências para um fenômeno mais complexo com as tecnologias mais realistas e imersivas.

Neurociência social, cognitiva e afetiva

Conforme Wiltshire e Fiore (2014), a neurociência social, cognitiva e afetiva (SCAN)²⁸ surgiu no início dos anos 2000 como um campo interdisciplinar voltado para investigar os fundamentos neurais de processos sociais, emocionais e cognitivos em interações humanas, como empatia, teoria da mente e regulação emocional, utilizando técnicas como neuroimagem funcional e eletroencefalografia. Inicialmente, as pesquisas focavam na exploração dos fundamentos desses processos e contavam com aplicações práticas limitadas em áreas como interação humano-robô, educação e saúde mental. Embora ainda emergente em 2014, demonstrava ser promissora, especialmente quando combinada a outras áreas, contribuindo para o design de tecnologias alinhadas às complexidades das interações humanas.

Um conjunto de questões foram apresentadas por Wiltshire e Fiore (2014) as quais buscavam integrar a SCAN a três domínios:

²⁷ Percepção de que a prótese é parte do corpo.

²⁸ Social Cognitive and Affective Neuroscience – SCAN.

- aprendizado e treinamento.
- interação humano-robô.
- desempenho em equipes.

Essas questões foram organizadas em categorias relacionadas a:

- emoção.
- teoria da mente.
- ação conjunta.

Na dimensão emocional, exploram-se os correlatos neurais de estados como frustração e engajamento, o uso de sensores para detectar esses estados em tempo real e a aplicação de tais dados para adaptar experiências educacionais e interações com robôs.

Na teoria da mente, o foco está na compreensão de como mudanças nos estados mentais afetam o aprendizado, na modelagem de mecanismos sociais em robôs para interpretar sinais sociais e no desenvolvimento de sistemas tutorais capazes de responder aos estados mentais dos aprendizes.

Em ação conjunta, investiga-se como representações compartilhadas entre humanos e sistemas podem melhorar a coordenação em tarefas colaborativas e como sistemas tutorais e robôs podem facilitar ações planejadas ou emergentes.

Essas iniciativas se alinham ao objetivo de projetar sistemas mais adaptativos, responsivos e colaborativos. Adicionalmente, o uso de SCAN para avaliar estados mentais em equipes busca otimizar o desempenho coletivo por meio da identificação de padrões emocionais, modelagem de intenções e implementação de feedback em tempo real.

Os autores argumentam que SCAN tem ampla aplicabilidade interdisciplinar, especialmente devido à natureza social intrínseca dos sistemas humano-máquina,

que envolvem grupos, metas compartilhadas e interações sociais. Além disso, propõe colaboração entre pesquisadores e desenvolvedores tecnológicos para abordar lacunas na compreensão de estados cognitivos e emocionais humanos.

Conforme pode ser observado nos trabalhos de Numata et al. (2020), Pino et al. (2020), Zhao e Malle (2022) e Ye et al. (2023), a SCAN evoluiu significativamente na última década. Essa trajetória reflete a capacidade do campo de integrar neurociência, psicologia social e tecnologia, criando soluções adaptativas e inovadoras para as complexidades das interações humanas.

Inteligência Artificial

Reconhecida como um ramo das Ciências da Computação, a Inteligência Artificial é um campo interdisciplinar que faz interface com diversas áreas do conhecimento. Seu objetivo central é desenvolver sistemas que simulam a inteligência humana (capacidade de pensar, aprender, inferir e se adaptar). Para isso, busca inspiração nas neurociências, teoria da mente²⁹, linguística³⁰ e estatística³¹, por exemplo.

Além de evidenciar que a IA transcende as fronteiras das Ciências da Computação, é importante diferenciá-la de um software tradicional³². Enquanto este resolve problemas de maneira determinística, seguindo regras pré-programadas, a IA incorpora a capacidade de aprendizado e adaptação a partir de dados e experiências. Sistemas de IA identificam padrões, tomam decisões e evoluem continuamente sem intervenção direta, resolvendo problemas de maneira probabilística. Além disso, agentes inteligentes representam uma aplicação prática e avançada da IA. Esses agentes combinam percepção, aprendizado e autonomia operacional, atuando proativamente em ambientes dinâmicos e reagindo às mudanças em tempo real.

Agentes Inteligentes encontram-se no contexto de aplicação e autonomia. São sistemas que incorporam IA, mas com foco específico em atuar autonomamente

²⁹ Busca entender como os seres humanos percebem e preveem estados mentais de outros indivíduos.

³⁰ Busca desenvolver algoritmos capazes de compreender, processar e gerar linguagem humana.

³¹ Fundamentos estatísticos e matemáticos que fornecem as estruturas para algoritmos.

³² Vide APÊNDICE B.

dentro de um ambiente, percebendo-o, processando informações e tomando ações para alcançar objetivos definidos. A principal característica dos agentes é a capacidade de interagir com o ambiente, tomar decisões pró-ativas e reagir a mudanças, muitas vezes em tempo real.

Enquanto a IA é uma área de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que fornecem inteligência simulada, os agentes representam uma aplicação prática e funcional desta inteligência, com graus variados de autonomia e interação. Por exemplo, um agente inteligente pode utilizar IA para tomar decisões em um sistema multiagente, onde interage com outros agentes e ambientes, diferentemente de um sistema puramente algorítmico. Em resumo, o software tradicional é determinístico e rígido, a IA é adaptativa e capaz de aprendizado, enquanto os agentes utilizam a IA para agir autonomamente, proativamente e em interação contínua com o ambiente.

2.4 Tecnologias digitais e Inteligência Artificial na Educação

Tecnologias digitais e IA são capazes de transformar a educação ao personalizar o ritmo e objetivos de aprendizado, ao promover interatividade e engajamento, ao identificar dificuldades e oferecer recursos específicos promovendo oportunidades e inclusão, e ao automatizar tarefas administrativas. Na prática, tem-se *chatbots* para suporte 24 h em Stanford, plataformas adaptativas que ajustam lições ao ritmo do aluno na Finlândia e ferramentas para eliminar vieses em avaliações automatizadas na China (Pscheidt, 2024).

No aprendizado ao longo da vida, cria oportunidades para adultos desenvolverem novas habilidades. Desvincula o aprendizado de estruturas formais, oferecendo flexibilidade e acessibilidade que tornam a educação mais abrangente. No ensino remoto, facilita a autonomia dos estudantes e promove abordagens mais dinâmicas. Sua aplicação permite a exploração de conceitos complexos, favorecendo uma compreensão aprofundada de diversos temas. Aliados à gamificação e *storytelling*, tutores digitais criam conexão e engajamento além de promoverem a criatividade e colaboração, tornando o aprendizado mais significativo. Na aprendizagem baseada em projetos apoia o desenvolvimento da autonomia, enquanto a aprendizagem colaborativa incentiva troca de ideias e resolução de problemas em grupo. Na resolução de problemas complexos promove discussões e oferece orientações personalizadas. Simulações viabilizam a prática em ambientes controlados. Por fim, a IA facilita a análise de múltiplas perspectivas, enriquecendo debates e ajudando os estudantes a desenvolverem soluções diferenciadas.

Contudo, conforme Amaral e Guerra (2022) e Pscheidt (2024), seu uso requer supervisão para garantir a validade das informações, evitar vieses e estimular o pensamento crítico. A combinação entre IA e orientação humana é essencial para que essas ferramentas sirvam como complemento das práticas educacionais. A preparação de educadores inclui treinamentos específicos, garantindo que dominem as ferramentas e aproveitem seu potencial para otimizar processos e personalizar a aprendizagem. Ressalta-se, portanto, a necessidade de validar continuamente as estratégias de ensino empregadas, equilibrando inovação tecnológica com práticas educacionais respaldadas nas neurociências.

3 OBJETIVOS

O sistema educacional enfrenta a necessidade de se renovar e adaptar às demandas sociais, caracterizadas por constante evolução, complexidade das relações humanas, velocidade das transformações tecnológicas e a crescente exigência por personalização no ensino. Nesse contexto, a integração de abordagens como a andragogia, fundamentada na autonomia e experiência prática dos adultos, e as tecnologias baseadas em inteligência artificial, surge como uma oportunidade para transformar a maneira como o aprendizado é concebido, implementado e avaliado, tornando-o mais relevante, adaptativo e eficaz.

3.1 Objetivo Geral

Investigar a aplicabilidade de Tutores Digitais no ensino personalizado para adultos, explorando como a integração entre neurociências, andragogia e tecnologias pode aprimorar os processos de ensino-aprendizagem, capacitação e avaliação.

3.2 Objetivos específicos

1. Analisar os fundamentos das neurociências e da andragogia que sustentam a personalização do ensino para adultos, considerando pilares como autonomia do aprendiz, relevância prática do conteúdo e motivação intrínseca.
2. Investigar de que forma Tutores Digitais podem atuar como facilitadores no processo de ensino-aprendizagem, promovendo experiências personalizadas e atendendo às necessidades específicas de aprendizes adultos em contextos educacionais formais e corporativos.
3. Desenvolver um guia para a concepção de sistemas educacionais baseados em Tutores Digitais, fundamentado nos princípios das neurociências e da andragogia.
4. Propor um modelo conceitual de Tutor Digital que integre aspectos teóricos e práticos investigados, oferecendo uma visão sobre o papel tecnologias digitais no suporte ao aprendizado contínuo e adaptativo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Abordagem Metodológica

Com uma abordagem descritiva e exploratória, com foco na revisão narrativa e no desenvolvimento de um protótipo, este estudo visa explorar soluções aplicáveis ao ensino personalizado de adultos a partir das neurociências, andragogia e inteligência artificial. Por meio de uma análise interdisciplinar, buscou-se combinar achados provenientes dessas áreas, destacando suas intersecções e contribuições no processo de ensino-aprendizagem.

Dentro das neurociências, este trabalho aborda as perspectivas sistêmica, cognitiva e comportamental, explorando como o cérebro processa informações e adapta-se ao aprendizado ao longo da vida. Na área educacional, utilizam-se as ciências agógicas para compreender as especificidades do ensino de adultos, com ênfase no ensino personalizado e na educação a distância (EAD). Por fim, o campo da tecnologia concentra-se no uso de modelos de linguagem de larga escala (Large Language Models - LLMs) e agentes de IA para criar ferramentas que atendam às demandas de ensino adaptativo e individualizado. A Figura 14 ilustra essas conexões entre neurociências, educação e tecnologia, representando a base metodológica do estudo.

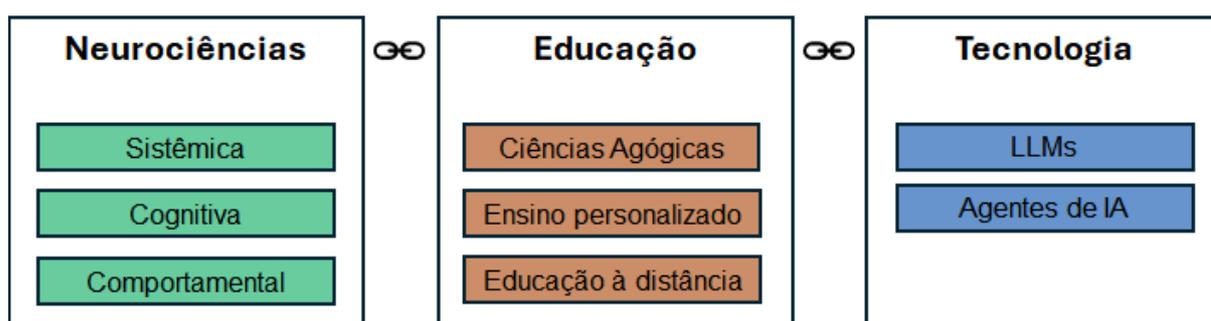


Figura 14 – Neurociências e suas fronteiras: escopo do trabalho.

4.2 Revisão da Literatura

Tendo em vista que o trabalho está na interface entre neurociências, educação e tecnologias a pesquisa dividiu-se em duas frentes: uma revisão sobre neurociências

e educação, com foco em andragogia, e um estudo sobre as possibilidades atuais em utilizar tecnologias digitais no ensino personalizado.

As buscas foram realizadas nas plataformas pubMED³³ e IEEE³⁴.

Para revisão da literatura sobre neurociências e educação, os termos utilizados foram: Neurociências; Emoções; Memória; Funções Executivas; Educação; Andragogia; Metodologias de ensino; Instrução; Aprendizagem

Para revisão da literatura sobre tecnologias digitais no ensino personalizado, os termos utilizados foram: Large Language Model (LLM); Chat GPT³⁵; Natural Language Processing (NLP)³⁶; Machine Learning; Agentes AI; Treinamento; Ensino; Interatividade; Interdisciplinaridade; Educação; Instrução; Aprendizagem.

4.3 Análise e Desenvolvimento

Como resultado das análises foi proposto um guia para a construção de um tutor digital, o qual considera fatores como neurodesenvolvimento, personalidade, motivação, experiência prévia e prontidão para aprender, fundamentais para o ensino de adultos. O modelo tem como objetivo alinhar os princípios de andragogia e neurociências, utilizando inteligência artificial para personalização do aprendizado e fornecimento de feedback adaptativo.

Para isso, buscou-se fazer uma análise transversal nos três domínios (Figura 14): Primeiramente, compreendendo a neurobiologia e o desenvolvimento ao longo da vida. Em seguida, uma análise dos achados de metodologias andragógicas que podem ser sustentadas por evidências neurocientíficas. Na sequência explorou-se o estado atual das tecnologias e como elas se relacionam com o ser humano no sentido de auxiliá-lo e expandir suas capacidades. Por fim, as ideias principais da orientação andragógica foram cruzadas com as possibilidades tecnológicas atuais para conceber

³³ Public Medical Literature Analysis & Retrieval System Online – pubMED.

³⁴ Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE.

³⁵ Generative Pre-Trained Transformers – GPT.

³⁶ Natural Language Processing – NLP.

um protótipo de tutor de ensino virtual com recorte de um tema dentro das neurociências.

4.4 Ferramentas e Recursos

- Simulações e frameworks de IA para validação do protótipo.

4.5 Limitações Metodológicas

Reconhece-se que esta pesquisa possui limitações inerentes ao seu caráter interdisciplinar e exploratório. O tempo disponível precisou ser distribuído entre três frentes³⁷ o que compromete a profundidade das análises em cada área. Além disso, o desenvolvimento do protótipo ficou restrito a um modelo conceitual, sem a realização de testes práticos extensivos ou validações em contextos reais de ensino. Dada a complexidade da interface entre esses campos do conhecimento, estudos futuros serão necessários para aprofundar as análises e validar as propostas apresentadas, assegurando maior robustez e aplicabilidade prática das contribuições apresentadas.

³⁷ Neurociências, educação e inteligência artificial. (Figura 14)

5 RESULTADOS

A partir da sugestão de Amaral e Guerra (2022) em transformar os 12 princípios das neurociências em 48 itens de ação prática para educação (Figura 15) foram selecionados aqueles que pudessem ser utilizados na implementação do Tutor Digital e o resultado é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Tutor digital: guia baseado nos princípios das neurociências.

Princípios das Neurociências	Funcionalidades para o Tutor Digital
Engajamento e senso de progresso	Os agentes devem criar estímulos e traçar objetivos de aprendizagem que façam sentido e que sejam desafiadores. Durante o processo, o agente deve avaliar o grau de motivação, sinalizar o progresso tanto quanto possibilitar a autoavaliação pelo estudante, estimular o engajamento e imaginação ao propor a aplicação prática do conhecimento.
Ambiente e Acesso à informação	Agentes de IA que interajam em tempo real com o estudante, chatbots que ofereçam suporte 24x7 e criam um banco de dúvidas (FAQ) em tempo real. Ao ensinar, os agentes de IA podem ampliar o acesso à informação mostrando um grande escopo que estimule a interdisciplinaridade. Podem aperfeiçoar o ensino com resumos e mapas mentais ao final de cada resposta.
Personalização	Avaliar o perfil, os interesses, o nível de conhecimento prévio em determinada habilidade, acompanhar o desenvolvimento ao longo do tempo e ajustar o ensino considerando tanto o conteúdo quanto a forma (nível de profundidade e linguagem). Pode ainda auxiliar o que estudar e como priorizar as etapas.
Treinamento	Alfabetização digital de professores e estudantes quanto às possibilidades, riscos e questões éticas.
Socialização	Um problema pode ser dividido em partes menores e cada indivíduo contribui com uma parcela da solução. Ao final, as partes são integradas para solucionar o problema original, promovendo assim a aprendizagem colaborativa.
Atenção e foco	Algoritmos que equilibram o tempo de exposição teórico e as pausas.
Emoção	Análise de sentimentos para interagir de forma personalizada com cada estudante bem como avaliar frustração durante o processo de aprendizagem.

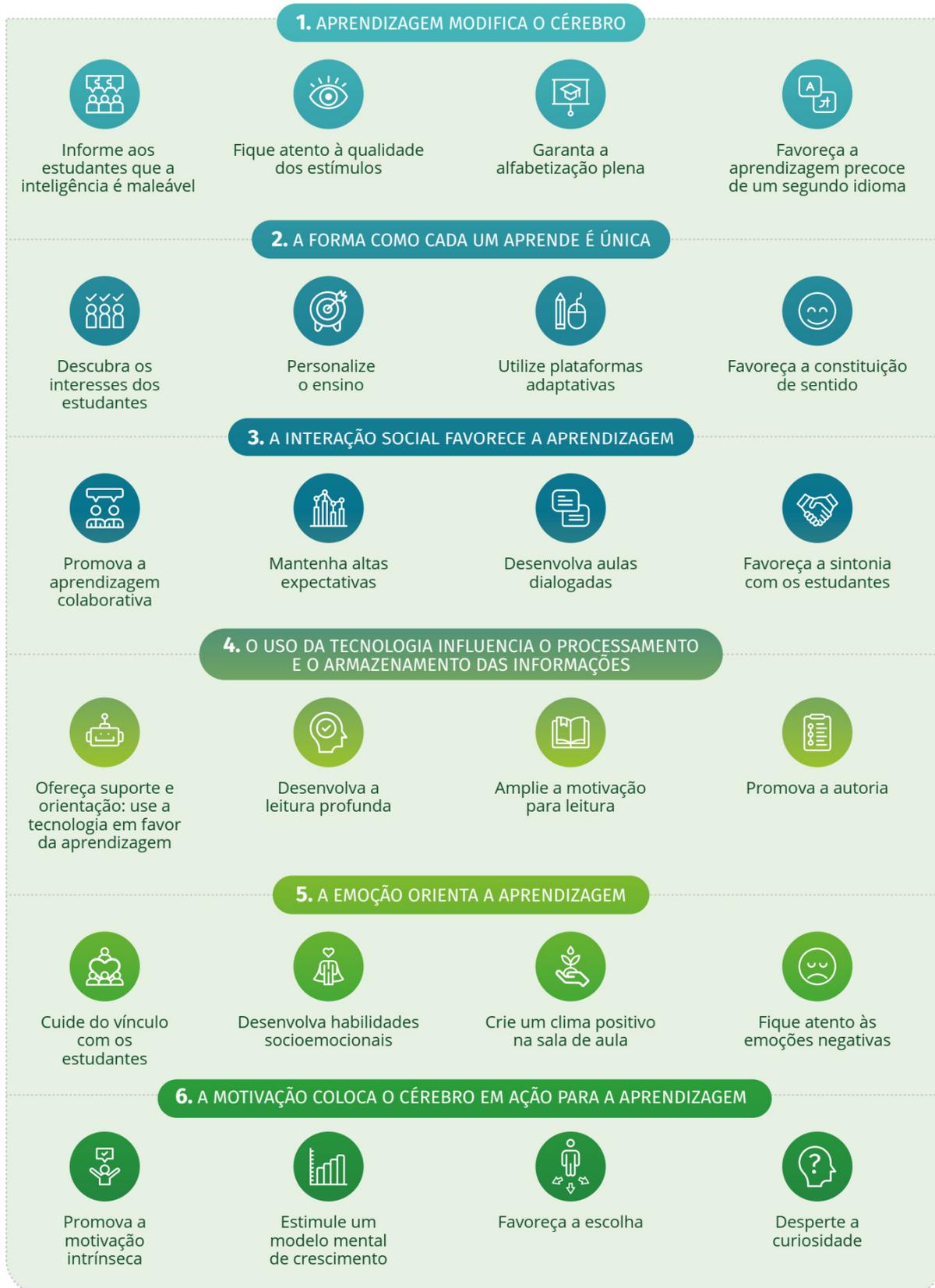


Figura 15 – Princípios da neurociência em ação prática (Amaral & Guerra, 2022).

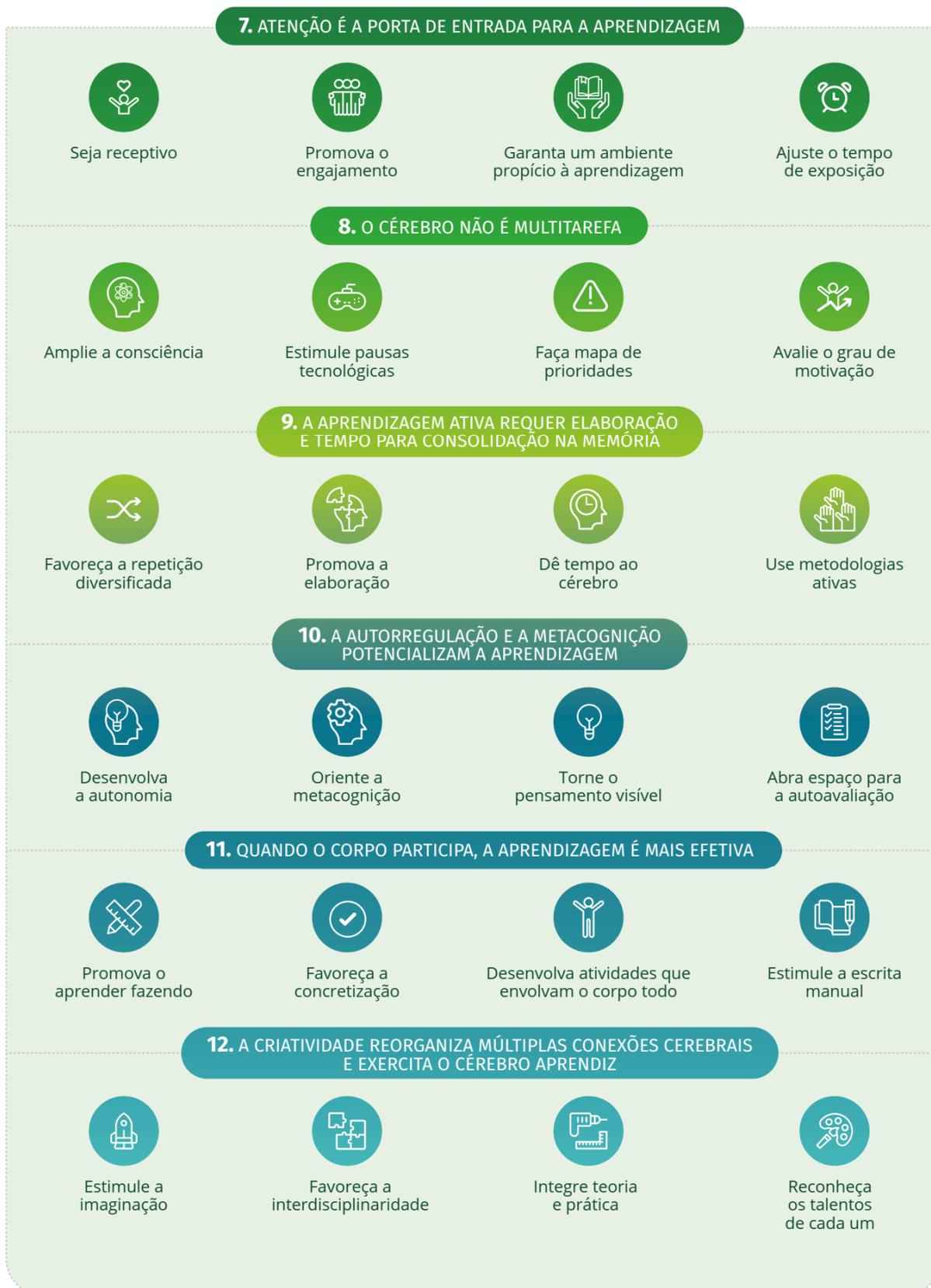


Figura 15 – Princípios da neurociência em ação prática (Amaral & Guerra, 2022) – continuação.

Nas ciências agógicas, cada abordagem possui diferentes objetivos, tanto do lado de quem ensina quanto do lado do quem aprende, os quais orientam a utilização de

métodos e técnicas específicas considerando diferentes contextos e as etapas do neurodesenvolvimento que vão desde a criança até o idoso. A partir dos princípios da andragogia (Figura 6) foram levantadas quais características poderiam ser consideradas na construção do Tutor Digital e o resultado foi compilado na Tabela 4.

Tabela 4 – Tutor digital: guia baseado nos princípios da Andragogia.

Princípios da Andragogia	Funcionalidades para o Tutor Digital
Autonomia	Adaptação de métodos e ferramentas como mapas conceituais e projetos autodirigidos. A repetição espaçada permite que o aprendiz escolha os conteúdos e intervalos de revisão com base em suas necessidades e ritmo de aprendizado.
Experiência	Conectar experiências anteriores a novos conhecimentos facilitando a integração de informações. Estudos de caso, <i>role-playing</i> e simulação de cenários permitem a aplicação de experiências passadas no aprendizado.
Prontidão para aprender	Contextualização e relevância prática promovem motivação e engajamento. Analisar o perfil do aprendiz e identificar lacunas de conhecimento, sugerindo conteúdos alinhados às demandas pessoais ou profissionais. A repetição espaçada reforça a retenção ajudando a consolidar conteúdos que são percebidos como relevantes.
Orientação ao problema	O adulto é mais receptivo a conteúdos percebidos como relevantes e aplicáveis. Simulações, estudos de caso e aprendizado baseado em problemas permitem simular a realidade em um ambiente controlado.
Motivação intrínseca	O sistema de recompensa é alimentado por atividades significativas e desafios progressivos. Engajamento emocional reforça a motivação para aprender, retenção e aplicação do conhecimento. Gamificação e feedback contínuo fornecidos mantêm a motivação, estabelecendo recompensas para conquistas e progresso no aprendizado. A repetição espaçada pode reforçar a percepção de progresso e eficácia no aprendizado o que alimenta a motivação intrínseca, já que o aprendiz percebe resultados em sua jornada educacional.

A taxonomia de Bloom (1956) e a revisão proposta por Anderson & Krathwohl (2001) também foram utilizadas como guia para levantar as funcionalidades que poderiam ser consideradas na construção do Tutor Digital (Tabela 5). Como cada etapa da taxonomia depende das etapas anteriores, a gamificação é uma abordagem interessante a ser considerada a fim de ilustrar a progressão no processo de aprendizagem.

Tabela 5 – Tutor digital: guia baseado na Taxonomia de Bloom.

Cognitivo	Funcionalidades para o Tutor Digital
1º nível: Lembrar	Ajudar a organizar conteúdos e criar flashcards para facilitar a memorização.
2º nível: Entender	Oferecer explicações detalhadas, utilizar linguagem simples, conectar conceitos, auxiliar na construção de significados.
3º nível: Aplicar	Propor exercícios contextualizados e simular cenários para aplicação de princípios em situações práticas.
4º nível: Analisar	Auxiliar a identificar padrões, categorizar informações e explorar relações.
5º nível: Avaliar	Auxiliar na simulação de decisões críticas e fornecem feedback em debates, incentivando julgamentos baseados em critérios claros.
6º nível: Criar	Apoiam a criação de projetos, brainstorms colaborativos e a escrita criativa, combinando ideias para formar novos conjuntos.
Afetivo	Funcionalidades para o Tutor Digital
1º nível: Recepção	Enviam notificações personalizadas e ajustam conteúdo baseados nos interesses e histórico de aprendizagem dos alunos.
2º nível: Resposta	Aumentar o engajamento ao estimular respostas em simulações e questionários.
3º nível: Avaliação	Simulações éticas ajudam os alunos a refletirem sobre dilemas morais e tomarem decisões embasadas.
4º nível: Organização	Incentivam alunos a priorizarem tarefas e desenvolverem metas.
5º nível: Internalização	Monitoram progresso em projetos, ajudam a incorporar valores em comportamentos cotidianos.
Psicomotor	Funcionalidades para o Tutor Digital
1º nível: Percepção	Simulações ajudam na exploração sensorial, conectando visão, tato e audição.
2º nível: Predisposição	Jogos preparam alunos para tarefas práticas ao simular cenários reais.
3º nível: Resposta guiada	Tutoriais guiam alunos em tarefas com feedback em tempo real.
4º nível: Resposta mecânica	Simulações repetitivas ajudam a automatizar ações por meio da prática.
5º nível: Naturalização	Treinamentos imersivos ajudam alcançar autonomia em tarefas específicas.

Por fim, a partir do trabalho de Wiltshire e Fiore (2014), levantou-se quais particularidades do modelo SCAN agregariam nas funcionalidades para o Tutor Digital (Tabela 6). A solução deve ir além de abordagens puramente cognitivas, integração

de processos emocionais e sociais às metodologias educacionais. Para isso, pode-se considerar o uso de mecanismos como "neurônios-espelho" e a detecção de sinais sociais, como expressões faciais, para criar entidades que sejam percebidas como colegas de equipe e que sejam capazes de manter uma comunicação bidirecional fluida. Funcionalidades que ajustem respostas com base em sinais cognitivos ou emocionais podem ser consideradas para criar tutores responsivos.

Tabela 6 – Tutor digital: guia baseado no modelo SCAN.

SCAN	Funcionalidades para o Tutor Digital
Social	Incorporar sinais sociais, como gestos e expressões faciais, para tornar as interações mais naturais; utilizar representações compartilhadas para criar ambiente de aprendizado colaborativo; em contextos corporativos ou colaborativos podem fornecer feedback sobre a interação e colaboração entre os participantes.;
Cognitiva	Identificar e manter um equilíbrio entre desafios e momentos de fluxo durante o aprendizado.; Identificar padrões de aprendizado e fornecer suporte em tempo real.; No desempenho de equipes, contribuir para o alinhamento coletivo utilizando métricas como sincronia neural para monitorar e melhorar a coordenação e engajamento em tarefas.; Avançar a tecnologia em áreas como cognição aumentada, um campo que visa expandir capacidades cognitivas humanas, como memória, atenção, aprendizado, tomada de decisão e criatividade, visando aprimorar o desempenho em tarefas complexas e facilitar a interpretação de grandes volumes de informações.; Avançar a tecnologia em áreas como neurociência operacional, um campo que aplica princípios das neurociências para otimizar o desempenho individual e coletivo em ambientes reais, combinando abordagens teóricas e práticas. Com foco no desempenho humano, investiga estados neurofisiológicos como atenção, estresse e carga mental, analisando como esses fatores influenciam a execução de atividades operacionais ou tarefas críticas. Exemplos incluem avaliação de sobrecarga mental, criação de ambientes simulados para treinamento, avaliação do impacto do estresse.
Afetiva	Detectar e responder a estados emocionais, como frustração ou engajamento, sugerindo pausas, atividades alternativas ou revisões possibilitando, assim, a adaptação de conteúdos e abordagens.

Inicialmente foi levantada a questão de como ensinar seres humanos, a qual foi respondida com base nas neurociências e processos educacionais e cujo resultado foi compilado da Tabela 3 à Tabela 6. Uma vez entendido este processo, levantou-se outra questão: como ensinar máquinas que irão ensinar seres humanos?³⁸ Para responder essa pergunta explorou-se as tecnologias disponíveis e as possibilidades de se desenvolver o Tutor Digital considerando os processos de ensino baseados nas neurociências. A Figura 16 ilustra as etapas percorridas neste trabalho e a seção subsequente é uma proposta para a criação do Tutor Digital.

³⁸ Tutores Digitais

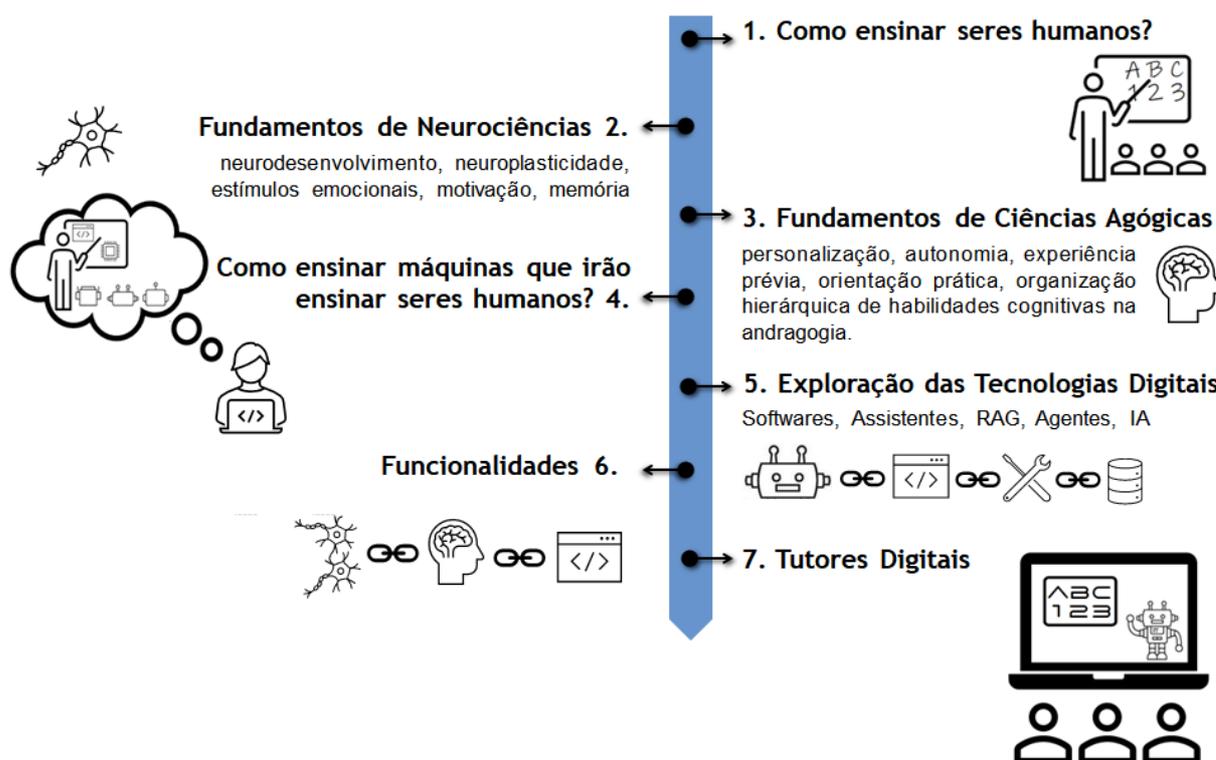


Figura 16 – Como ensinar máquinas que irão ensinar seres humanos?

Proposta para desenvolvimento de tutores digitais no ensino personalizado

A análise dos conteúdos apresentados da Tabela 3 à Tabela 6 serviu de base para o desenvolvimento das funcionalidades de tutores capazes de integrar neurociências, andragogia e tecnologias digitais. Eles devem ser projetados para alinhar princípios como neuroplasticidade, atenção, motivação e memória às necessidades educacionais, traduzindo-os em funcionalidades práticas.

A personalização deve ser orientada de acordo com a evolução cognitiva do aluno, bem como seus padrões comportamentais e emocionais, garantindo uma experiência de aprendizado dinâmica e responsiva. Além de personalizar o ensino, esses tutores devem possibilitar a criação de ambientes colaborativos, aproveitando tecnologias digitais para promover o aprendizado em grupo e a interação social.

Os três níveis de abstração apresentados a seguir servem de guia para a construção do Tutor Digital, indo do nível teórico ao nível de implementação.

Nível 1: Fundamentos

- Neurociências: neuroplasticidade, estímulos emocionais, motivação, memória.
- Andragogia: personalização, autonomia, orientação prática.

Nível 2: Funcionalidades

- Personalização: ajuste de conteúdo e ritmo.
- Engajamento: reconhecimento de emoções, interação e responsividade.
- Adaptação: progressão hierárquica de tarefas.

Nível 3: Implementação Tecnológica

- Base tecnológica
- Nível de personalização e adaptação

A Tabela 7 apresenta três níveis possíveis de implementação tecnológica, com recursos básicos, intermediários e avançados³⁹.

Tabela 7 – Tutor digital: implementação tecnológica.

	Tecnologia	Personalização e Adaptação
Básica	Assistente de IA	Estático. Respostas baseadas em informações disponíveis
Intermediária	RAG	Detecção de padrões e funções interativas iniciais. Modificação baseada em dados externos e feedback do usuário.
Avançada	Agentes de IA	Responsivo. Integrado a múltiplas entradas de informação.

A Tabela 8 considera as funcionalidades necessárias em cada nível de implementação. A implementação básica é estática sem feedback nem personalização. Suas funcionalidades seriam prompts simples, divisão de possibilidades, ajustes em tempo real, detecção de padrões de aprendizado, e algumas funcionalidades colaborativas ou interativas. Suas funcionalidades seriam introdução de RAG⁴⁰, dashboards, perguntas frequentes (FAQ)⁴¹ dinâmicos, personalização inicial com base interações e adaptabilidade para maior engajamento. A implementação avançada agregaria monitoramento emocional, aprendizado adaptativo contínuo e integração multimodal (áudio, vídeo, sensores). Suas funcionalidades seriam agentes de IA, análises multimodais (expressões faciais, estados emocionais profundos), aprendizado contínuo e ambientes colaborativos.

³⁹ Para maior compreensão vide APÊNDICE C.

⁴⁰ Retrieval-Augmented Generation – RAG.

⁴¹ Frequently Asked Questions – FAQ.

Tabela 8 – Tutor digital: funcionalidades⁴²

Categoria	Funcionalidade	Bsc.	Int.	Avd.
Implementação tecnológica	Aprendizagem passiva via prompts simples	✓		
	Aprendizagem via prompts customizados	✓		
	Interface de texto simples	✓		
	Interface interativa e multimodal		✓	✓
	RAG para buscas dinâmicas		✓	✓
	Integração com fontes externas		✓	✓
	Agentes de IA com aprendizado contínuo			✓
	Database com conteúdo de ensino próprio		✓	✓
	Database de informações do aluno para personalização do ensino		✓	✓
Ensino	Dividir conteúdos em blocos curtos	✓	✓	✓
	Exibir resumos antes de novas lições	✓	✓	✓
	Automatizar revisões periódicas	✓	✓	✓
	Ajustes em tempo real de conteúdo		✓	✓
	Ajustar ritmo e profundidade de ensino conforme erros e acertos		✓	✓
	Avaliar conhecimento prévio e ajustar conteúdo	✓	✓	✓
	Avaliar motivações intrínsecas e ajustar conteúdo		✓	✓
	Avaliar experiências prévias e incluí-las no contexto	✓	✓	✓
	Integrar ferramentas para alcançar níveis avançados		✓	✓
Progressão de Tarefas e Avaliação	Gerar exercícios de análise e síntese	✓	✓	✓
	Gerar tarefas baseadas em problemas reais e atuais	✓	✓	✓
	Adicionar quizzes interativos ao conteúdo	✓	✓	✓
	Ajustar dificuldade das tarefas conforme desempenho		✓	✓
	Formular problemas baseados nos objetivos do aluno	✓	✓	✓
	Formular problemas baseados em experiências prévias do aluno	✓	✓	✓
Feedback e Suporte	Feedback em tempo real baseado nas respostas	✓	✓	✓
	Feedback em tempo real baseado nas interações		✓	✓
	Dashboard com progresso de níveis		✓	✓
	Alimentar FAQ em tempo real		✓	✓
	Retroalimentar o FAQ para ajustar o conteúdo em tempo real		✓	✓
Motivação e Engajamento	Oferecer recompensas digitais por progresso	✓	✓	✓
	Usar gamificação para engajamento	✓	✓	✓
	Interação com usuário com base em padrões de engajamento		✓	✓
	Integrar narrativas emocionais ao conteúdo		✓	✓
	Criar cenários emocionalmente envolventes		✓	✓
	Realizar "check-ins" emocionais		✓	✓
	Análise de estados emocionais através de texto		✓	✓
	Análise de estados emocionais através de expressões faciais			✓
	Ajustar interação com usuário com base nos estados emocionais		✓	✓
	Criar mensagens motivacionais simples	✓	✓	✓
	Criar mensagens motivacionais personalizadas		✓	✓
Criar ambientes colaborativos para interação social		✓	✓	

⁴² Conforme nível de implementação e recursos básicos (bsc), intermediários (int) e avançados (avd).

Resultados obtidos com testes preliminares

A fim de explorar na prática as possibilidades de customização de um Tutor Virtual foram realizados alguns testes utilizando o ChatGPT. O tema escolhido para interagir com a ferramenta foi 'memória'⁴³.

A Figura 17 mostra a tela inicial do ChatGPT-4o mini⁴⁴ sem customização. Perceba que a pergunta "Como posso ajudar?" é vaga.



Figura 17 – GPT sem customização: tela inicial.

Um usuário padrão talvez iniciasse a conversa com:

| *quero saber sobre memória*

A resposta parece completa, mas o usuário leigo não teria condições de julgá-la em relação a sua veracidade nem em relação a sua abrangência (Figura 18).

⁴³ Outro tema de qualquer área poderia ter sido escolhido. Optou-se pelo tema 'memória' para manter o escopo dentro das neurociências e por ela ser um dos pilares no processo de aprendizagem.

⁴⁴ O "ChatGPT-4o Mini" será referido como "GPT" nas análises desta sessão, a fim de facilitar a leitura.



Figura 18 – GPT sem customização: pergunta sobre memória.

Transcrição da resposta (Figura 18)

Memória é a capacidade do cérebro de armazenar, recuperar e utilizar informações. Ela é fundamental para o aprendizado, raciocínio e para o funcionamento do nosso dia a dia. A memória humana é complexa e envolve diferentes processos e sistemas. Vamos explorar um pouco sobre isso.

Tipos de Memória

1. Memória Sensorial:

Função: Registra informações rapidamente através dos sentidos (visão, audição, tato, etc.) por um breve período de tempo.

Duração: Apenas alguns milissegundos a segundos.

Exemplo: Lembrar brevemente do que você viu ao virar a cabeça.

2. Memória de Curto Prazo (ou Memória de Trabalho):

Função: Armazena informações temporárias que estão ativamente em uso.

Duração: Minutos ou segundos, com capacidade limitada (geralmente 7 itens ou informações).

Exemplo: Lembrar de um número de telefone até conseguir discá-lo.

3. Memória de Longo Prazo:

Função: Armazena informações por longos períodos, de horas a toda a vida.

Duração: Indefinida, mas pode ser afetada por fatores como envelhecimento ou lesões cerebrais.

Exemplo: Lembrar de eventos importantes da infância ou do conteúdo aprendido para um exame.

Processos da Memória

- **Codificação:** A transformação de informações sensoriais em uma forma que o cérebro pode armazenar.
- **Armazenamento:** O processo de manter as informações codificadas em nossas redes neurais.
- **Recuperação:** O processo de acessar ou "buscar" essas informações quando necessário.

Como a Memória Funciona?

- **Neurociência da Memória:** A memória está relacionada ao funcionamento do cérebro, especialmente áreas como o hipocampo (para memória de curto e longo prazo) e o córtex cerebral (para armazenamento de informações de longo prazo). A formação de novas memórias envolve a plasticidade neural, que é a capacidade do cérebro de modificar suas conexões em resposta a novas experiências.
- **Esquecer:** O esquecimento pode ocorrer por diversos motivos, como falha na codificação, problemas na recuperação ou até o enfraquecimento das conexões neurais.

Fatores que Influenciam a Memória

- **Idade:** Com o tempo, as habilidades de memória podem diminuir, especialmente para a memória de curto prazo.
- **Sono:** O sono tem um papel fundamental na consolidação das memórias, especialmente durante o sono REM.
- **Emoções:** Memórias associadas a emoções intensas tendem a ser mais vívidas e duradouras.
- **Estresse:** Pode prejudicar a memória, dificultando a codificação e recuperação das informações.
- **Alimentação e Exercício:** Fatores como uma dieta saudável e a prática regular de exercícios físicos podem beneficiar a memória e a saúde cerebral.

Distúrbios de Memória

- **Amnésia:** Perda parcial ou total da memória, geralmente causada por danos cerebrais.
- **Demência:** Um declínio nas funções cognitivas, incluindo a memória, associado a doenças como Alzheimer.
- **Déficits de memória de curto prazo:** Problemas em reter ou manipular informações temporárias, como em algumas condições de lesão cerebral ou transtornos psicológicos.

A memória humana é um campo fascinante que envolve a interação de fatores biológicos, psicológicos e ambientais. Ela não é uma estrutura rígida, mas sim um processo dinâmico que pode ser influenciado por diversos aspectos da nossa vida. Se precisar de mais detalhes sobre algum aspecto específico da memória, fique à vontade para perguntar!

A fim de explorar a ferramenta a pergunta foi mais elaborada, seguindo o conceito de engenharia de prompt⁴⁵, mas ainda sem nenhuma personalização do Chat GPT.

Contexto: Tenho uma formação em engenharia, portanto minha base de conhecimento é nas ciências exatas. Dito isso, não tenho conhecimento algum sobre ciências biológicas nem neurociências. Mas gostaria de aprender sobre memória.

Prompt: Me explique tudo sobre memória.

Com este pequeno ajuste a resposta melhorou consideravelmente (Figura 19). Houve inclusão das definições de memória explícita, episódica, semântica e implícita. e de conceitos como dopamina, plasticidade e distorções na memória. Os processos de codificação, armazenamento, recuperação e esquecimento foram mais detalhados.

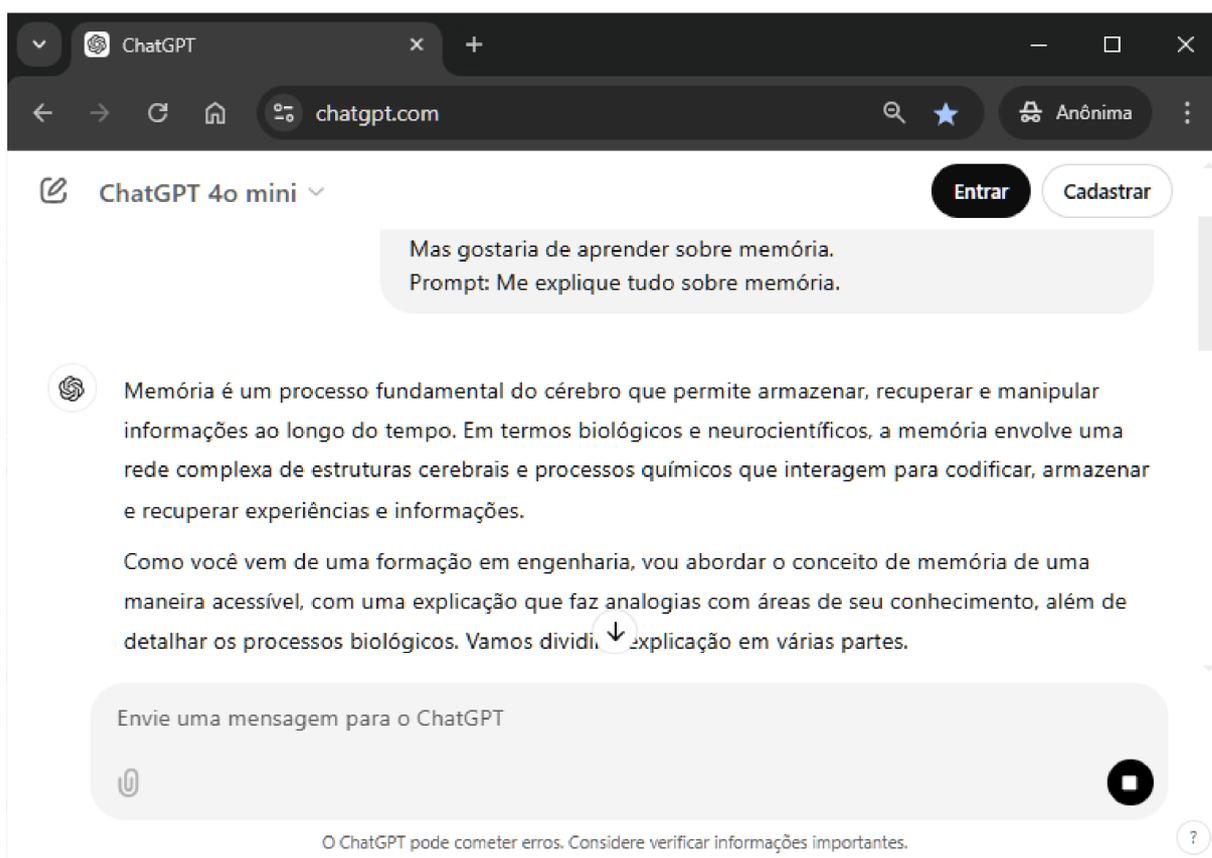


Figura 19 – GPT sem customização: pergunta utilizando engenharia de prompt.

⁴⁵ Prática de otimizar instruções para guiar LLMs a gerar respostas relevantes.

Transcrição da resposta (Figura 19)

Memória é um processo fundamental do cérebro que permite armazenar, recuperar e manipular informações ao longo do tempo. Em termos biológicos e neurocientíficos, a memória envolve uma rede complexa de estruturas cerebrais e processos químicos que interagem para codificar, armazenar e recuperar experiências e informações.

Como você vem de uma formação em engenharia, vou abordar o conceito de memória de uma maneira acessível, com uma explicação que faz analogias com áreas de seu conhecimento, além de detalhar os processos biológicos. Vamos dividir a explicação em várias partes.

1. O que é Memória?

Memória é a capacidade de adquirir, armazenar e recordar informações. Ela pode ser comparada a um sistema de armazenamento de dados em um computador, onde os dados são codificados, armazenados em um meio (como um disco rígido ou memória RAM) e depois recuperados quando necessários. No cérebro, as "informações" podem ser desde habilidades motoras, até lembranças de eventos específicos.

2. Tipos de Memória

Existem diferentes formas de memória, que podem ser categorizadas de acordo com o tempo e a natureza da informação. Aqui estão algumas das principais:

- Memória Sensória: Processa informações sensoriais (visão, audição, tato, etc.) por um curto período (frações de segundo até alguns segundos). Um exemplo é a imagem visual de algo que você acabou de ver, que permanece brevemente em sua mente.
- Memória de Curto Prazo (ou Memória de Trabalho): Tem capacidade limitada e retém informações por alguns segundos a minutos. Um exemplo seria o número de telefone que você decora temporariamente enquanto o digita.
- Memória de Longo Prazo: Armazena informações de forma mais permanente e pode durar dias, anos ou até uma vida inteira. Isso inclui habilidades motoras (como andar de bicicleta) e eventos significativos (como o primeiro dia de aula).

Dentro da memória de longo prazo, ainda há subdivisões:

- Memória Explícita (ou declarativa): Relacionada a fatos e eventos que você pode conscientemente recordar. Ela é subdividida em:
 - Memória Episódica: Relacionada a eventos específicos, como uma festa de aniversário que você lembra.
 - Memória Semântica: Relacionada a conhecimentos gerais, como o nome de um país ou o conceito de "gravidade".
- Memória Implícita (ou não declarativa): Refere-se a habilidades e hábitos que você não precisa conscientemente pensar para realizar, como tocar piano ou dirigir.

3. Como a Memória Funciona?

A formação e recuperação da memória no cérebro envolvem várias etapas, como veremos a seguir. Imagine que você está criando e acessando arquivos em um computador. O cérebro segue um processo similar:

a) Codificação

A codificação é o processo de transformar uma informação sensorial em um formato que o cérebro pode armazenar. Para que algo seja lembrado, o cérebro precisa converter a informação recebida em uma representação neural, ou seja, em padrões de atividade elétrica e química.

- Sinapses: A codificação ocorre nas sinapses, que são as conexões entre os neurônios (células do cérebro). Quando um neurônio recebe um sinal elétrico de outro neurônio, ele transmite esse sinal através de uma sinapse. A atividade nas sinapses fortalece as conexões neurais, o que facilita o armazenamento da informação.

b) Armazenamento

O armazenamento envolve a manutenção da informação ao longo do tempo. O cérebro usa diferentes regiões para armazenar diferentes tipos de informação. Um conceito importante aqui é a plasticidade sináptica, que é a habilidade das sinapses de se fortalecerem ou enfraquecerem com base na atividade. Esse processo é a base da memória de longo prazo.

- Hipocampo: Esta estrutura cerebral é crucial na formação de novas memórias explícitas. O hipocampo codifica novas informações e as transfere para o córtex cerebral (onde as memórias de longo prazo ficam armazenadas).
- Córtex Pré-frontal: Está associado ao controle da memória de curto prazo e à tomada de decisões. Ele também tem papel importante na manipulação de informações enquanto você as mantém na mente.

c) Recuperação

A recuperação é o processo de acessar as informações armazenadas. A recuperação de memória pode ser automática (como ao lembrar de um nome) ou deliberada (como quando você tenta se lembrar de uma lista de itens).

- Reconhecimento vs. Recordação: Existem diferentes formas de recuperar informações. O reconhecimento ocorre quando você é apresentado a algo familiar e o reconhece (por exemplo, ver uma pessoa e lembrar quem ela é). Já a recordação é mais ativa, quando você tenta acessar a memória sem pistas externas.

d) Esquecimento

O esquecimento pode ocorrer por várias razões. Pode ser devido à interferência (outras memórias competindo com a memória original) ou à decadência (quando a memória se enfraquece ao longo do tempo). Além disso, o cérebro pode não recuperar as memórias por falta de pistas adequadas ou por danos a regiões cerebrais responsáveis pela memória.

4. Neurociência da Memória

- Neurotransmissores: Os neurotransmissores são substâncias químicas que transmitem sinais entre os neurônios. Por exemplo, a dopamina está envolvida no reforço de memórias, e o glutamato é fundamental na codificação da memória.
- Plasticidade Neural: A capacidade do cérebro de reconfigurar suas conexões sinápticas é chamada de neuroplasticidade. Quando você aprende algo novo, as conexões entre os neurônios podem se fortalecer ou se modificar para criar uma nova memória.

- **Consolidação:** Após a codificação, a memória precisa passar por um processo de consolidação, onde as novas memórias se estabilizam e se integram com as memórias existentes. Esse processo pode ocorrer enquanto você dorme.

5. Fatores que Afetam a Memória

A memória não é um processo imune a influências externas. Vários fatores podem afetar a memória:

- **Idade:** A memória tende a diminuir com a idade, especialmente a memória de curto prazo e a velocidade de recuperação.
- **Estresse:** O estresse pode afetar negativamente a memória, dificultando a codificação e a recuperação de informações.
- **Sono:** O sono é crucial para a consolidação da memória. Estudos mostram que a privação de sono pode prejudicar a capacidade de formar novas memórias.
- **Alimentação e exercício:** A nutrição e o exercício físico também têm um impacto na memória. Por exemplo, o exercício pode melhorar a neuroplasticidade e a memória, enquanto uma dieta rica em nutrientes essenciais, como ômega-3, pode beneficiar a função cognitiva.

6. Distorções e Efeitos da Memória

A memória não é perfeita. Ela pode ser distorcida por diversos fatores, incluindo:

- **Memórias falsas:** Às vezes, as pessoas podem criar memórias que não ocorreram ou distorcer memórias reais. Isso é conhecido como "memória falsa" e pode ser influenciado por fatores externos, como sugestões de outras pessoas.
- **Efeito de repetição:** A repetição de informações pode fortalecer a memória, mas também pode criar confusão ou mistura de eventos similares.

7. Transtornos da Memória

Existem várias condições médicas que afetam a memória, como:

- **Amnésia:** Perda de memória, que pode ser causada por lesões cerebrais ou doenças neurológicas. A amnésia pode ser anterógrada (dificuldade em formar novas memórias) ou retrógrada (dificuldade em recordar memórias passadas).
- **Doença de Alzheimer:** Uma condição neurodegenerativa que afeta as funções cognitivas, incluindo a memória, levando à perda gradual das lembranças e habilidades.

Conclusão

A memória é um processo complexo e multifacetado que envolve diferentes estruturas cerebrais e processos bioquímicos. Ela é essencial para aprender, interagir e até mesmo para nossa identidade pessoal. Embora muitos detalhes da memória ainda sejam objeto de pesquisa, já sabemos que ela é fundamental para a experiência humana e pode ser influenciada por fatores biológicos, psicológicos e ambientais.

Para melhorar ainda mais a interação foi criado um Chat GPT personalizado que trata

exclusivamente sobre o assunto memória. Este GPT foi abastecido com informações⁴⁶ sobre memória e posteriormente recebeu instruções de como deveria interagir com o usuário. Diferentemente da pergunta vaga “Como posso ajudar?” apresentada pelo GPT sem customização (Figura 17) o GPT customizado possui quebra-gelos os quais orientam o início da conversa (Figura 20) para um aprendiz leigo.

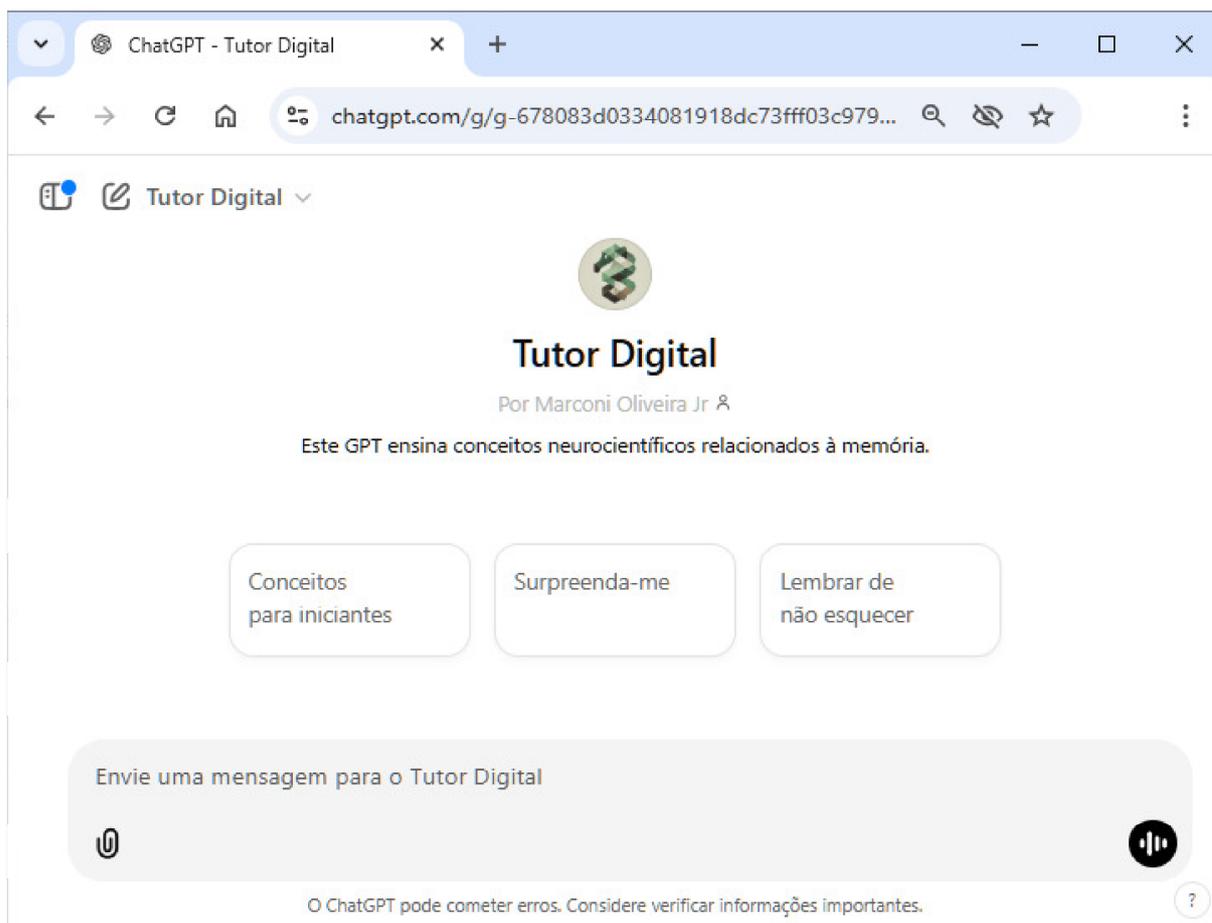


Figura 20 – GPT com customização: tela inicial.

Na sequência foi utilizada a mesma pergunta realizada para o ChatGPT sem customização (Figura 19) a fim de comparar as respostas. O resultado é mostrado na Figura 20. Observe que a resposta cita a teoria Hebbiana e estágios do sono, na conclusão utiliza de metáfora para facilitar o entendimento do assunto aproximando-se da realidade do aprendiz (que no prompt citou que possui formação em engenharia)

⁴⁶ A curadoria das informações que abastecem o Tutor Digital é responsabilidade “novo professor” ou do treinador, no caso de ambientes corporativos, pois são eles que detém o conhecimento. Em um nível mais avançado, agentes de IA poderiam buscar artigos atualizados em plataformas confiáveis a fim de manter a base de conhecimento sempre atualizada. Neste caso outro papel do professor/treinador seria validar todo conhecimento filtrado pelo agente de IA.

fazendo uma comparação da memória biológica com memórias de sistemas digitais. Finalizou ainda com um mapa mental e um desafio para estimular a consolidação do conceito e aplicação prática.

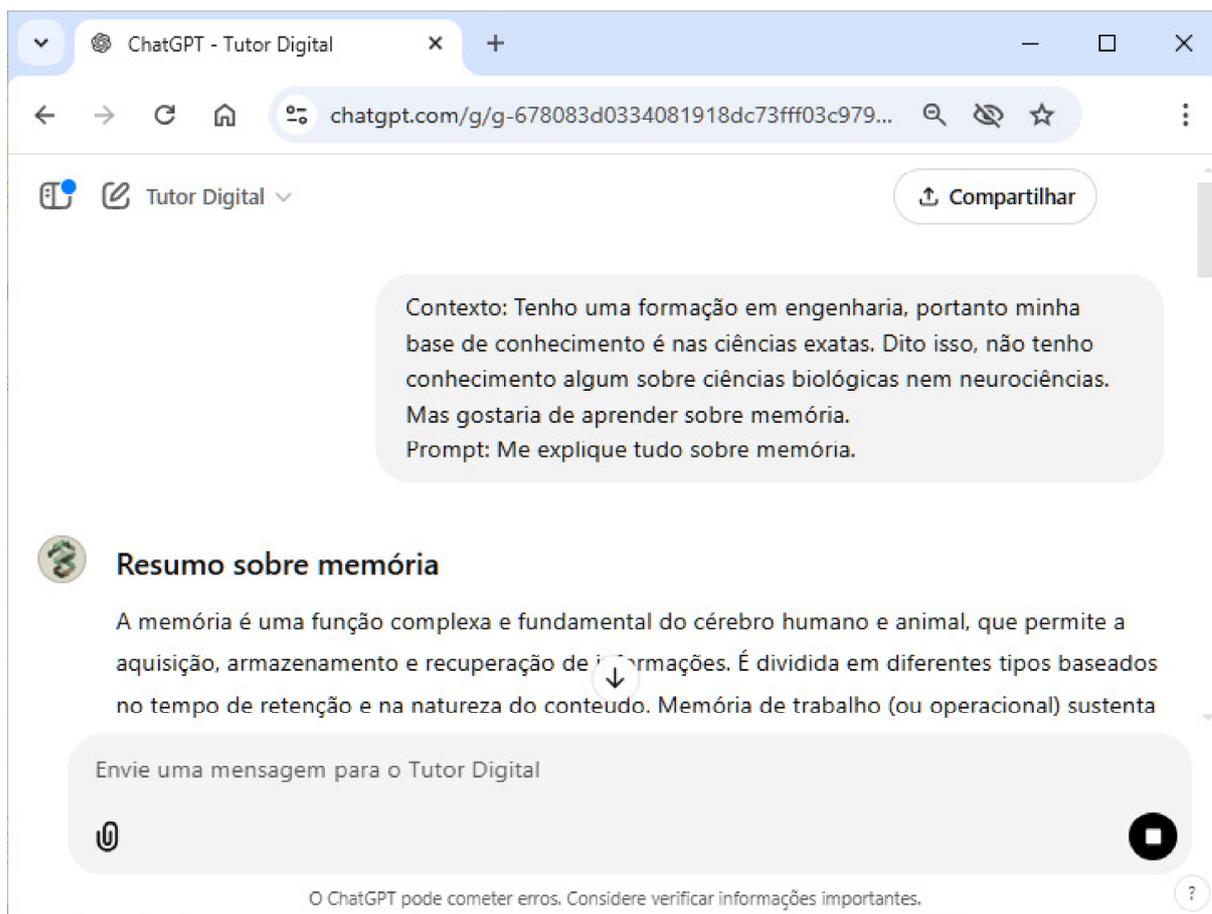


Figura 21 – GPT com customização: pergunta utilizando engenharia de prompt.

Transcrição da resposta (Figura 21)

Resumo sobre memória

A memória é uma função complexa e fundamental do cérebro humano e animal, que permite a aquisição, armazenamento e recuperação de informações. É dividida em diferentes tipos baseados no tempo de retenção e na natureza do conteúdo. Memória de trabalho (ou operacional) sustenta informações temporárias para tarefas imediatas. A memória de curto prazo armazena informações por horas, enquanto a memória de longo prazo as retém por anos, dependendo do hipocampo para consolidação. Também há memória declarativa (explícita, como fatos e eventos) e não declarativa (implícita, como habilidades motoras). Estruturas cerebrais como o hipocampo, a amígdala e o córtex pré-frontal desempenham papéis fundamentais, e o processo de consolidação é influenciado por emoções e repetição. Além disso, o sono e a prática repetida são críticos para transformar memórias frágeis em duradouras

Explicação detalhada

- Definições e Processos:

A memória é composta por processos: aquisição (aprendizagem), retenção e evocação (lembrança). Durante a retenção, informações são consolidadas em memórias estáveis.

Diferentes tipos de memórias incluem:

Memória de trabalho: usada para tarefas imediatas, depende do córtex pré-frontal.

Memória de curto prazo: retém informações por horas e envolve mecanismos simples.

Memória de longo prazo: dura anos, depende do hipocampo para armazenar informações no córtex.

- Neurobiologia:

Hipocampo: crucial para consolidar memórias de curto prazo em longo prazo.

Amígdala: modula memórias emocionais, associando experiências a emoções.

Córtex pré-frontal: seleciona informações relevantes para retenção e uso.

- Teoria Hebbiana:

Afirma que "neurônios que disparam juntos, conectam-se". Esse princípio explica como conexões sinápticas são fortalecidas pela repetição, essencial para aprendizagem e memória

- Importância do sono:

O sono REM e NREM consolida memórias ao reorganizar traços neurais e facilitar retenção.

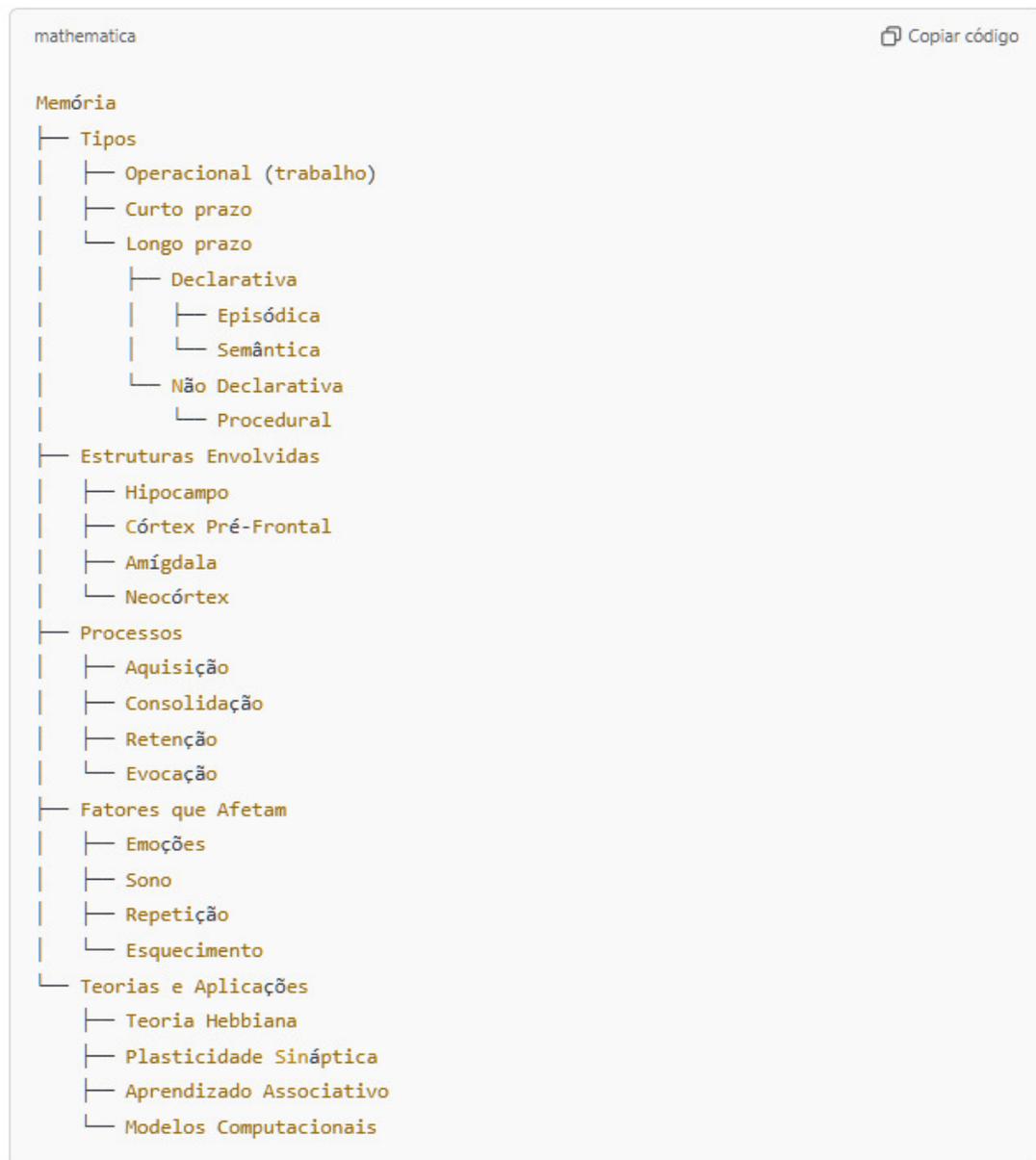
- Plasticidade sináptica e esquecimento:

A memória depende de plasticidade sináptica para adaptação às experiências. O esquecimento é essencial para priorizar informações relevantes.

Conclusão

Para engenheiros, o conceito de memória pode ser comparado a sistemas de armazenamento de dados. Enquanto dispositivos eletrônicos armazenam bits, o cérebro utiliza redes neurais e sinapses para codificar informações. A prática repetida pode ser vista como a regravação de dados em discos rígidos, consolidando informações. O processo de aprendizado contínuo pode ser associado à atualização de algoritmos em sistemas computacionais.

Mapa Mental



Desafio

Pense em como a memória pode ser útil na criação de sistemas de inteligência artificial em sua área de atuação. Como engenheiro, quais princípios biológicos da memória você acredita que poderiam ser aplicados na melhoria de algoritmos de aprendizado de máquina ou otimização de processos?

Ao clicar no quebra-gelos “Surpreenda-me” o GPT cria uma narrativa com palavras-chave relacionadas à memória escolhidas aleatoriamente. Ao criar uma narrativa os conceitos são mais fáceis de entender além de conseguir tangenciar a parte emocional saindo da parte puramente teórica e cognitiva. A narrativa criada aleatoriamente é apresentada a seguir.

Transcrição da narrativa ao clicar no quebra-gelos "Surpreenda-me"

Em uma pequena vila nos confins de um vale cercado por montanhas, vivia Sofia, uma jovem conhecida por sua memória impecável. Desde criança, Sofia demonstrava um talento especial para recordar detalhes que a maioria das pessoas esquecia. Certa vez, ela encontrou um diário antigo pertencente ao avô, que continha histórias de uma planta misteriosa chamada "Flor da Consolidação". Diziam que essa flor tinha propriedades mágicas que ajudavam a fortalecer a memória e que sua essência estava conectada à emoção.

Decidida a encontrar a flor, Sofia iniciou sua jornada. Em meio à floresta densa, ela encontrou uma bifurcação no caminho. Sem hesitar, escolheu o caminho que sentia ser o correto, guiada pelo que ela chamava de "mapa emocional". Após dias de caminhada, finalmente avistou a flor, que crescia ao lado de um rio cristalino. Ao tocá-la, memórias de sua infância invadiram sua mente. Era como se o hipocampo, a parte do cérebro que arquivava suas lembranças, tivesse recebido uma descarga de energia.

No entanto, a emoção foi tão intensa que Sofia sentiu lágrimas correrem pelo rosto. Nesse momento, percebeu que a amígdala, responsável por processar emoções, desempenhava um papel essencial na força das suas memórias. Ela compreendeu que suas lembranças mais vivas estavam associadas a momentos em que sua mente e coração estavam profundamente conectados.

Sofia levou a flor para sua vila e começou a compartilhar suas descobertas. Criou um jardim comunitário onde as pessoas poderiam experimentar o poder da memória e da emoção. Com o tempo, ela viu como as memórias das pessoas eram como redes interligadas, constantemente moldadas pela plasticidade do cérebro. Assim como uma planta cresce com cuidados, as memórias florescem quando cultivadas com propósito e atenção.

As palavras-chave usadas foram: **hipocampo, plasticidade, consolidação, emoção e amígdala.**

Agora, um desafio: pensando na sua área de atuação, como você poderia usar a interação entre memória e emoção para criar experiências de aprendizado ou de trabalho mais impactantes?

6 CONCLUSÃO

A convergência entre neurociências e educação revela uma necessidade para inovações no processo de ensino-aprendizagem. Este trabalho explorou como avanços na compreensão do cérebro e da mente podem ser aplicados para potencializar o aprendizado humano. Os princípios neurocientíficos fundamentam a construção de processos e ambientes educacionais que respeitem as especificidades individuais, promovendo estratégias que integram emoção, motivação e atenção, essenciais para a retenção e aplicação do conhecimento.

No contexto das ciências agógicas, a andragogia reconhece o adulto como protagonista de seu aprendizado, valorizando sua autonomia, experiências prévias, motivação intrínseca além de respeitar as fases do desenvolvimento cognitivo e emocional. Estratégias centradas em problemas reais, aplicabilidade prática e relevância pessoal tornam o processo educativo mais significativo, criando um ambiente que incentiva a autorregulação e a aprendizagem ao longo da vida. Nesse contexto, o papel do educador evolui para o de mediador, facilitador e coconstrutor do conhecimento, reforçando a necessidade de métodos que combinem teoria e prática de maneira equilibrada.

As tecnologias digitais emergem como ferramentas indispensáveis na construção de modelos de ensino adaptativos e interativos. Plataformas digitais, realidade aumentada e inteligência artificial oferecem oportunidades sem precedentes para a personalização do ensino, permitindo que cada indivíduo tenha acesso a conteúdos e métodos ajustados às suas necessidades. No entanto, ressalta-se a importância em se considerar os desafios associados a essas tecnologias, como desigualdades no acesso, questões éticas sobre privacidade e a dependência tecnológica. Apesar dessas limitações, a capacidade das tecnologias digitais de facilitar a personalização, promover a interatividade e ampliar o alcance das práticas educacionais é inegável. Para que esses benefícios sejam plenamente realizados, é essencial que políticas públicas e iniciativas educacionais sejam alinhadas aos princípios da equidade e inclusão, garantindo que todos os aprendizes possam se beneficiar de tais avanços.

A interação entre inteligência humana e inteligência artificial representa outro pilar crucial para a transformação da educação. Este estudo destacou como as capacidades cognitivas humanas, como criatividade, empatia e pensamento crítico, podem ser complementadas por sistemas baseados em IA, que fornecem análise de dados, personalização e suporte pedagógico. No entanto, a distinção entre essas inteligências é fundamental: enquanto a inteligência humana é multifacetada e impulsionada por emoções e experiências, a inteligência artificial atua como uma ferramenta programada para executar tarefas específicas. A complementaridade entre essas duas formas de inteligência oferece um potencial significativo para redesenhar paradigmas educacionais, promovendo a colaboração entre humanos e máquinas de maneira ética e produtiva.

Por fim, a aplicação de tecnologias como tutores digitais no ensino de adultos mostra-se como uma solução viável e transformadora para os desafios educacionais contemporâneos. Esses agentes inteligentes não apenas adaptam conteúdos e métodos às necessidades individuais, mas também promovem maior engajamento e motivação entre os aprendizes. Ao incorporar conceitos neurocientíficos em seu design, os tutores digitais se tornam ferramentas robustas para o desenvolvimento de competências cognitivas e socioemocionais. Este trabalho conclui que a integração entre neurociências, educação e tecnologias digitais possibilita a criação de um modelo de ensino personalizado, ético e mais eficaz em comparação ao processo de ensino-aprendizagem padrão, sendo capaz de atender às demandas da educação no século XXI.

Reitera-se aqui que o papel transformador das tecnologias não sejam substitutas, mas complementos às competências humanas.

A propósito, o que é Ser Humano?

REFERÊNCIAS

- Amaral, A. L., & Guerra, L. B. (2022). *Neurociência e educação: olhando para o futuro da aprendizagem*. Brasília, DF: SESI.
- Anderson, L., & Krathwohl, D. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Andragogia Brasil. (2017). *Ciências Agógicas: As Ciências da educação*. Acesso em 09 de dez. de 2024, disponível em Andragogia Brasil: andragogiabrasil.com.br/ciencias-agogicas
- Balon, R. (2015). Neuroscience(s): What is in the name? *Annals of Clinical Psychiatry*, 27(4), pp. 233-234. Acesso em 04 de nov. de 2024, disponível em <https://www.aacp.com/article/abstract/neuroscience-s-what-is-in-the-name/>
- Barrat, J. (2015). *Our Final Invention: Artificial Intelligence and the End of the Human Era*. New York: Thomas Dunne Books.
- Bellan, Z. (2018). *Andragogia em ação : como ensinar adultos sem se tornar maçante* (6 ed.). SP: Z3 Editora.
- Bethlehem, R., Seidlitz, J., White, S., Vogel, J., Anderson, K., Adamson, C., . . . Alexander-Bloch, A. (2022). Brain charts for the human lifespan. *Nature*, 604, pp. 525-533. doi:10.1038/s41586-022-04554-y
- Bloom, B. S., Engelhart, M., Furst, E., Hill, W., Krathwohl, D., Anderson, G., . . . Watt, R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals*. New York: David McKay.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W. W. Norton & Company.
- Canamero, L. (2021). Embodied Robot Models for Interdisciplinary Emotion Research. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 12(2), pp. 340-351. doi:10.1109/TAFFC.2019.2908162
- Cathomas, F., Murrough, J. W., Nestler, E. J., Han, M.-H., & Russo, S. J. (2019). Neurobiology of Resilience: Interface Between Mind and Body. *Biological Psychiatry*, 86(6), pp. 410-420. doi:10.1016/j.biopsych.2019.04.011
- Chaminade, T., Zecca, M., Blakemore, S.-J., Takanishi, A., Frith, C., Micera, S., . . . Umiltà, M. (2010). Brain Response to a Humanoid Robot in Areas Implicated in

- the Perception of Human Emotional Gestures. *PLoS ONE*, 5(7). doi:10.1371/journal.pone.0011577
- Dana Foundation. (2024). *Key Neuroscience and Society Terms*. Acesso em 04 de set. de 2024, disponível em Dana Foundation: dana.org/glossary/#N
- Ertel, W. (2017). *Introduction to Artificial Intelligence* (2 ed.). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-319-58487-4
- Gardner, H. (1995). *Inteligências Múltiplas: a teoria na prática*. Porto Alegre: Artmed.
- Gardner, H. (2020). Of human potential: A 40-year saga. *Journal for the Education of the Gifted*, 43(1), pp. 12-28. doi:10.1177/0162353219894406
- Gottfredson, L. S. (2006). Social Consequences of Group Differences in Cognitive Ability. *School of Education University of Delaware*. Acesso em 11 de fev. de 2025, disponível em udel.edu/educ/gottfredson/reprints
- Hendler, J., & Mulvehill, A. (2016). *Social Machines: The Coming Collision of Artificial Intelligence, Social Networking, and Humanity*. Apress.
- Hickey, B., Chalmers, T., Newton, P., Lin, C.-T., Sibbritt, D., McLachlan, C., . . . Lal, S. (2021). Smart Devices and Wearable Technologies to Detect and Monitor Mental Health Conditions and Stress: A Systematic Review. *Sensors*, 21(10), p. 3461. doi:10.3390/s21103461
- Khan, N., Nauman, M., Almadhor, A., Akhtar, N., Alghuried, A., & Alhudhaif, A. (2024). Guaranteeing Correctness in Black-Box Machine Learning: A Fusion of Explainable AI and Formal Methods for Healthcare Decision-Making. *IEEE Access*, 12, pp. 90299-90316. doi:10.1109/ACCESS.2024.3420415
- Krabbe, D., Ellbin, S., Nilsson, M., Jonsdottir, I., & Samuelsson, H. (2017). Executive function and attention in patients with stress-related exhaustion: perceived fatigue and effect of distraction. *Stress*, 20(4), pp. 333-340. doi:10.1080/10253890.2017.1336533
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), pp. 212-218. doi:10.1207/s15430421tip4104_2
- Latimer, B., Bergin, D., Guntu, V., Schulz, D., & Nair, S. (2019). Integrating Model-Based Approaches into a Neuroscience Curriculum – An Interdisciplinary Neuroscience Course in Engineering. *IEEE Transactions on Education*, 62(1), pp. 48-56. doi:10.1109/te.2018.2859411
- LeMoult, J., & H. Gotlib, I. (2019). Depression: A cognitive perspective. *Clinical Psychology Review*, 69, pp. 51-56. doi:10.1016/j.cpr.2018.06.008

- Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? conceitos fundamentais de neurociências* (2 ed.). Rio de Janeiro: Atheneu.
- Martins, E. S. (2005). A etimologia de alguns vocábulos referentes à educação. *Olhares & Trilhas, Ano VI, n. 6*, pp. 31-36.
- Martins-Klein, B., Alves, L., & Chiew, K. (2020). Proactive Versus Reactive Emotion Regulation: A Dual-Mechanisms Perspective. *Emotion, 20*(1). doi:10.1037/emo0000664
- MCTI. (2025). *Inteligência Artificial – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação*. Acesso em 07 de jan. de 2025, disponível em gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/inteligencia-artificial
- Microsoft. (2024). *O que são sistemas compostos de IA e agentes de IA? – Azure Databricks | Microsoft Learn*. Acesso em 12 de nov. de 2024, disponível em learn.microsoft.com/pt-br/azure/databricks/generative-ai/agent-framework/ai-agents
- Numata, T., Sato, H., Asa, Y., Koike, T., Miyata, K., Nakagawa, E., . . . Sadato, N. (2020). Achieving affective human–virtual agent communication by enabling virtual agents to imitate positive expressions. *Scientific Reports, 10*(1), p. 5977. doi:10.1038/s41598-020-62870-7
- Pino, G. D., Romano, D., Spaccasassi, C., Mioli, A., D’Alonzo, M., Sacchetti, R., . . . Maravita, A. (2020). Sensory- and Action-Oriented Embodiment of Neurally-Interfaced Robotic Hand Prostheses. *Frontiers in Neuroscience, 14*, p. 389. doi:10.3389/fnins.2020.00389
- Portney, L. (2020). *Foundations of clinical research: applications to evidence-based* (4 ed.). Philadelphia: F.A.Davis.
- Press, C. (2011). Action observation and robotic agents - Learning and anthropomorphism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 35*(6), pp. 1410-1418. doi:10.1016/j.neubiorev.2011.03.004
- Project Zero. (2024). *Howard Gardner | Project Zero - Harvard Graduate School of Education*. Acesso em 10 de dez. de 2024, disponível em pz.harvard.edu/who-we-are/people/howard-gardner
- Pscheidt, A. (2024). *Inteligência artificial na sala de aula: como a tecnologia está revolucionando a educação*. São Paulo: Matrix.
- Russell, S., & Norvig, P. (2022). *Inteligência Artificial - Uma Abordagem Moderna* (4 ed.). Rio de Janeiro: GEN LTC.

- Salgues, B. (2018). *Society 5.0: Industry of the Future, Technologies, Methods and Tools*. Hoboken London: Wiley ISTE.
- Subramaniam, S., Akay, M., Anastasio, M. A., Bailey, V., Boas, D., Bonato, P., . . . Miller, M. I. (2024). Grand Challenges at the Interface of Engineering and Medicine. *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, 5, pp. 1-13. doi:10.1109/OJEMB.2024.3351717
- Tegmark, M., & Rissatti, P. (2020). *Vida 3.0: O ser humano na era da inteligência artificial* (1 ed.). São Paulo: Benvirá.
- Thompson, J. A. (2021). Forms of explanation and understanding for neuroscience and artificial intelligence. *Journal of Neurophysiology*, 126(6), pp. 1860-1874. doi:10.1152/jn.00195.2021
- UFMG CAC. (2024). *Transparência e o uso responsável e ético de ferramentas de Inteligência Artificial nas atividades de ensino, pesquisa e extensão*. Acesso em 12 de nov. de 2024, disponível em ufmg.br/comunicacao/noticias/ufmg-propoe-transparencia-e-uso-etico-da-ia-nas0-atividades-academicas
- UFMG CNE. (2024). *UFMG discutiu IA e tecnologias durante reunião do Conselho Nacional de Educação em BH*. Acesso em 12 de nov. de 2024, disponível em ufmg.br/comunicacao/noticias/ufmg-discutiu-ia-e-tecnologias-na-reuniao-ordinaria-do-conselho-nacional-de-educacao-em-belo-horizonte
- UFMG Congresso. (2019). *Inteligência artificial pode levar prazer ao aprendizado*. Acesso em 12 de nov. de 2024, disponível em 4º Congresso de Inovação e Metodologias de Ensino Superior: ufmg.br/comunicacao/noticias/inteligencia-artificial-pode-levar-prazer-ao-aprendizado-diz-nivio-ziviani
- UFMG Dedd. (2024). *Seminário debate papel da Inteligência Artificial Generativa no ensino*. Acesso em 12 de nov. de 2024, disponível em ufmg.br/comunicacao/noticias/seminario-debate-papel-da-inteligencia-artificial-generativa-no-ensino
- UFMG IEAT. (2022). *4ª Intercontinental Academia: Inteligência e Inteligência Artificial*. Belo Horizonte, Brasil. Acesso em 04 de nov. de 2024, disponível em ufmg.br/ieat/eventos/4a-intercontinental-academia/
- UNESCO. (2015). *Recomendação sobre aprendizagem e educação de adultos*. Acesso em 07 de jan. de 2025, disponível em unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245179

- UNESCO. (2024). *Strengthening Digital Competencies of Adult Educators | Institute for Lifelong Learning*. Acesso em 07 de jan. de 2025, disponível em uil.unesco.org/en/strengthening-digital-competencies-adult-educators
- UNESCO. (2025). *UNESCO recommendation | Institute for Lifelong Learning*. Acesso em 07 de jan. de 2025, disponível em uil.unesco.org/en/adult-education/unesco-recommendation
- University of Delaware. (2025). *Welcome to the Homepage of Linda S. Gottfredson*. Acesso em 11 de fev. de 2025, disponível em udel.edu/educ/gottfredson
- Visser, B., Ashton, M., & Vernon, P. (2006). Beyond g: Putting Multiple Intelligences Theory to the Test. *Intelligence*, 34(5), pp. 487-502. doi:10.1016/j.intell.2006.02.004
- Waterhouse, L. (2006). Multiple Intelligences, the Mozart Effect, and Emotional Intelligence: A Critical Review. *Educational Psychologist*, 41(4), pp. 207-225. doi:10.1207/s15326985ep4104_1
- Waterhouse, L. (2023). Why multiple intelligences theory is a neuromyth. *Frontiers in Psychology*, 14:1217288. doi:10.3389/fpsyg.2023.1217288
- Willingham, D. (2006). *Reframing the Mind*. Acesso em 11 de fev, de 2025, disponível em Education Next: educationnext.org/reframing-the-mind/
- Wiltshire, T., & Fiore, S. (2014). Social Cognitive and Affective Neuroscience in Human–Machine Systems: A Roadmap for Improving Training, Human–Robot Interaction, and Team Performance. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 44(6), pp. 779-787. doi:10.1109/THMS.2014.2343996
- Ye, T., Minato, T., Sakai, K., Sumioka, H., Hamilton, A., & Ishiguro, H. (2023). Human-like interactions prompt people to take a robot's perspective. *Frontiers in Psychology*, 14:1190620. doi:10.3389/fpsyg.2023.1190620
- Younis, H., Eisa, T., Nasser, M., Sahib, T., Noor, A., Alyasiri, O., . . . Younis, H. (2024). A Systematic Review and Meta-Analysis of Artificial Intelligence Tools in Medicine and Healthcare: Applications, Considerations, Limitations, Motivation and Challenges. *Diagnostics*, 14, p. 109. doi:10.3390/diagnostics14010109
- Zhao, X., & Malle, B. (2022). Spontaneous perspective taking toward robots - The unique impact of humanlike appearance. *Cognition*, 224, p. 105076. doi:10.1016/j.cognition.2022.105076

APÊNDICE A. Análise das propostas iniciais de trabalho

Após buscas no IEEE e pubMED os artigos foram agrupados considerando cada uma das três propostas e posteriormente foi feita uma análise geral. O resultado será apresentado a seguir bem como a motivação da escolha do projeto de monografia.⁴⁷

Proposta I: Uso de LLMs para avaliar imagens de fMRI.

Utilizar LLMs, para avaliar imagens de ressonância magnética a fim de capturar possíveis anomalias cerebrais. Área de concentração: Neurociências Clínicas

Pergunta de pesquisa: É possível utilizar LLMs para a avaliação de imagens fMRI? Qual a precisão diagnóstica e a utilidade clínica desses modelos em comparação com diagnósticos tradicionais realizados por neurologistas?

Etapas realizadas: 1. Revisão sobre o uso de LLMs e outras ferramentas de IA na análise de imagens de fMRI e diagnóstico neurológico. 2. Avaliação da aplicabilidade e impactos do uso de LLMs na prática clínica, incluindo eficiência e precisão no diagnóstico. 3. Levantamento de bancos de imagens para treinar e validar o modelo.

Bancos de dados de imagens de fMRI: Os repositórios⁴⁸ a seguir foram levantados durante a análise de visibilidade da proposta.

- cancerimagingarchive.net: Imagens de ressonância magnética e tomografia computadorizada para várias condições, incluindo tumores.
- openneuro.org: Conjuntos de dados de neuroimagem.
- nitrc.org: Dados de neuroimagem, ferramentas e recursos para pesquisa.
- humanconnectome.org: Dados neurológicos e imagens sobre a conectividade estrutural e funcional do cérebro humano.
- brain-development.org/ixi-dataset: Dados de ressonância magnética de sujeitos normais que pode ser usado como referência em estudos neurológicos.
- adni.loni.usc.edu: Dados de neuroimagem para estudar a doença de Alzheimer.

⁴⁷ Um resumo das três propostas está apresentado na Tabela 9.

⁴⁸ Bancos de dados públicos e anonimizados, rotulados para treinamento da machine learning supervisionada, não havendo necessidade de aprovação do comitê de ética para validação do modelo.

- med.upenn.edu/sbia/brats2020/data.html: Imagens de ressonância magnética de tumores com segmentações anotadas.
- fcon_1000.projects.nitrc.org: Dados de fMRI em repouso de diversos centros de pesquisa ao redor do mundo, utilizados para estudos de conectividade funcional.
- ukbiobank.ac.uk: Dados de fMRI, saúde e genética.

Conclusão: Durante os estudos percebeu-se algumas limitações para aplicação das LLMs na análise de imagens, a saber: 1. Modelos de linguagem são treinados em grandes volumes de dados textuais e projetados para gerar texto, responder perguntas, traduzir linguagens e outras tarefas relacionadas ao processamento de linguagem natural. No que tange a análise de imagens eles apresentam limitações significativas. Dito isso, o recomendado é utilizar modelos de visão computacional para análise de imagens. 2. Gradualmente a inteligência artificial (IA) vem sendo implementada na área médica com aplicações em políticas públicas, pesquisas científicas e cuidado do paciente, entretanto alguns pontos de discussão ainda estão em aberto, a saber: risco de geração de informações imprecisas e/ou não fidedignas; responsabilização pela tomada de decisões a partir de recomendações geradas por IA; regulamentação e desenvolvimento dos algoritmos em conformidade com diretrizes médicas bem como treinamento do profissional médico; elucidação dos processos opacos de tomada de decisão inerentes a sistemas complexos de aprendizado de máquina de caixa preta⁴⁹ (Younis, et al., 2024) (Khan, et al., 2024). Considerando as barreiras atuais para aplicação na prática clínica bem como a complexidade em desenvolver um modelo para análise de imagens de fMRI, demandando um conhecimento técnico mais aprofundado em *deep learning*, este projeto foi descartado. Ressalta-se que, na possibilidade deste projeto ser desenvolvido futuramente, o termo LLM no título "Uso de LLMs para avaliar imagens de fMRI" deverá ser alterado dependendo da abordagem que for utilizada, por exemplo: "Uso de modelos de visão computacional na avaliação de imagens de fMRI" pois trata-se de análise de imagens e não processamento de linguagem natural.

⁴⁹ "A Inteligência Artificial Explicável (Explainable Artificial Intelligence - XAI) tem atraído atenção considerável da comunidade de pesquisa, concentrando-se principalmente na elucidação dos processos opacos de tomada de decisão inerente a sistemas complexos de aprendizado de máquina, como redes neurais profundas. Este aumento no interesse origina-se da adoção generalizada de modelos de caixa preta, particularmente em domínios críticos como saúde e detecção de fraudes, destacando a necessidade premente de compreender e validar a sua tomada de decisão mecanismos rigorosamente." (Khan, et al., 2024).

Proposta II: Simulação da propagação de sinais no sistema nervoso.

Modelar a circuitaria cerebral através de diagramas de blocos⁵⁰, utilizando o software Matlab/Simulink, incluindo regiões encefálicas, neurotransmissores e hormônios, como a informação se propaga através do sistema nervoso, tempos de atraso, sentidos, emoção, tomada de decisão e memória, por exemplo. Área de concentração: Neurociências, Educação e Neuromarketing

Pergunta de pesquisa: Como diagramas criados em Matlab/Simulink podem ser utilizados para modelar a circuitaria cerebral, propagação de informações no sistema nervoso e seus mecanismos, como emoções e tomada de decisão, e qual sua eficácia no ensino de neurociências e aplicações em estratégias de neuromarketing?

Etapa realizada: Revisão da literatura sobre utilização de diagramas de blocos no ensino de neurociências e neuromarketing.

Conclusão: A interface considerando sistemas de healthcare, wearables e neuroengenharia é mais bem documentada na literatura em relação à interdisciplinariedade entre engenharia e neurociências do ponto de vista pedagógico e ensino (Latimer, Bergin, Guntu, Schulz, & Nair, 2019) (Subramaniam, et al., 2024) (Canamero, 2021). A abordagem para ensino de neurociências utilizando modelos de simulação da circuitaria cerebral parece não ter sido muito explorada até o momento, o que faz deste um assunto possivelmente inovador. Porém, entendeu-se durante as análises que o material gerado por este projeto poderá servir de insumo para o projeto que trata do uso de inteligência artificial no processo de ensino e será detalhado no tópico a seguir. Dito isso, ele foi descartado na intenção de utilizá-lo futura e concomitantemente com o próximo projeto proposto.

⁵⁰ *model based approach; building blocks; diagramas eletrônicos.*

Proposta III: Uso de IA no processo de ensino personalizado.

Realizar uma revisão narrativa das metodologias de ensino validadas pelas neurociências bem como avaliar a utilização de plataformas e ferramentas e IA no ensino personalizado. Área de concentração: Neurociências, Educação e Tecnologias.

Pergunta de pesquisa: "Como plataformas e ferramentas de Inteligência Artificial podem ser configuradas para atuar como tutores de ensino personalizados, adaptando conteúdo e linguagem com base na personalidade e no nível de conhecimento prévio dos aprendizes e quais são os impactos dessa abordagem na eficácia do aprendizado em comparação com métodos tradicionais de ensino?"

Etapas realizadas: 1. Revisão da literatura a fim de identificar estudos que abordam o uso de LLMs em contextos educacionais, incluindo personalização do ensino e adaptação de conteúdo. 2. Estudos iniciais sobre LLMs, Chat GPT e agentes de IA.

Conclusão: Este projeto foi escolhido para o desenvolvimento da monografia tendo em vista sua aplicabilidade em salas de aula e treinamentos corporativos bem como sua relevância, conforme pode ser observado em várias frentes que a UFMG tem participado como o 4^o Congresso de Inovação e Metodologias de Ensino Superior – UFMG Congresso (2019), Seminário de Inteligência e Inteligência Artificial – UFMG IEAT (2022), e discussões sobre o uso de ferramentas de Inteligência Artificial nas atividades de ensino, pesquisa e extensão – UFMG CAC (2024), UFMG CNE (2024) e UFMG Deed (2024).

Tabela 9 – Visão geral das propostas de trabalho.

Tema	Pergunta de Pesquisa	Etapas	Resultados
Proposta I: Uso de LLMs para avaliar imagens de fMRI	É possível utilizar Modelos de Linguagem de Grande Escala para a avaliação de imagens de fMRI? Qual a precisão diagnóstica e a utilidade clínica desses modelos em comparação com diagnósticos tradicionais realizados por neurologistas?	1. Revisão da literatura sobre o uso de LLMs e outras ferramentas de IA na análise de imagens de fMRI e diagnóstico neurológico. 2. Avaliação da aplicabilidade e impactos do uso de LLMs na prática clínica, incluindo eficiência e precisão no diagnóstico. 3. Levantamento de bancos de imagens públicas para treinar e validar o modelo.	1. LLMs apresentam limitações significativas na análise direta de imagens, o recomendado é utilizar modelos adaptados para visão computacional. 2. A utilização de IA possui pontos de discussão ainda em aberto: informações imprecisas e/ou não fidedignas; responsabilização pela tomada de decisões; regulamentação e desenvolvimento dos algoritmos em conformidade com diretrizes médicas; elucidação dos processos opacos de tomada de decisão inerentes a sistemas complexos de aprendizado de máquina de caixa preta.
Proposta II: Simulação da propagação de sinais no sistema nervoso.	Como diagramas podem ser utilizados para modelar a circuitaria cerebral, propagação de informações no sistema nervoso e seus mecanismos, e qual sua eficácia no ensino de neurociências e aplicações em estratégias de neuromarketing?	1. Revisão da literatura sobre utilização de diagramas de blocos no ensino de neurociências e neuromarketing.	1. Poucos artigos abordam a interdisciplinariedade entre engenharia e neurociências do ponto de vista de ensino. 2. O material gerado por este projeto poderá servir de insumo para o projeto de tutores no processo de ensino.
Proposta III: Uso de IA no processo de ensino personalizado.	Como plataformas e ferramentas de IA podem ser configuradas para atuar como tutores de ensino personalizados, adaptando conteúdo e linguagem com base na personalidade e no nível de conhecimento prévio dos aprendizes e quais os impactos dessa abordagem na eficácia do aprendizado em comparação com métodos tradicionais de ensino?	1. Revisão da literatura a fim de identificar estudos que abordam o uso de LLMs em contextos educacionais, incluindo personalização do ensino e adaptação de conteúdo. 2. Estudos iniciais sobre LLMs, Chat GPT e agentes de IA.	1. O foco inicial do projeto passou de apenas avaliar LLMs para um escopo mais amplo utilizando agentes de IA. 2. Após escolha deste projeto como sendo o tema para a monografia uma nova revisão da literatura, mais específica e aprofundada, foi realizada considerando os temas de ensino, neurociências e agentes de IA.

APÊNDICE B. Softwares, Assistentes, Agentes e IA: definições e relações

Os conceitos e as relações dos termos mostrados na Figura 22 serão apresentados em ordem de complexidade progressiva. Contudo, ressalta-se que alguns destes conceitos estão inter-relacionados, como exemplo: um modelo de linguagem em larga escala (LLM) pode estar associado ou não a um agente, assim como um agente pode ou não utilizar IA.

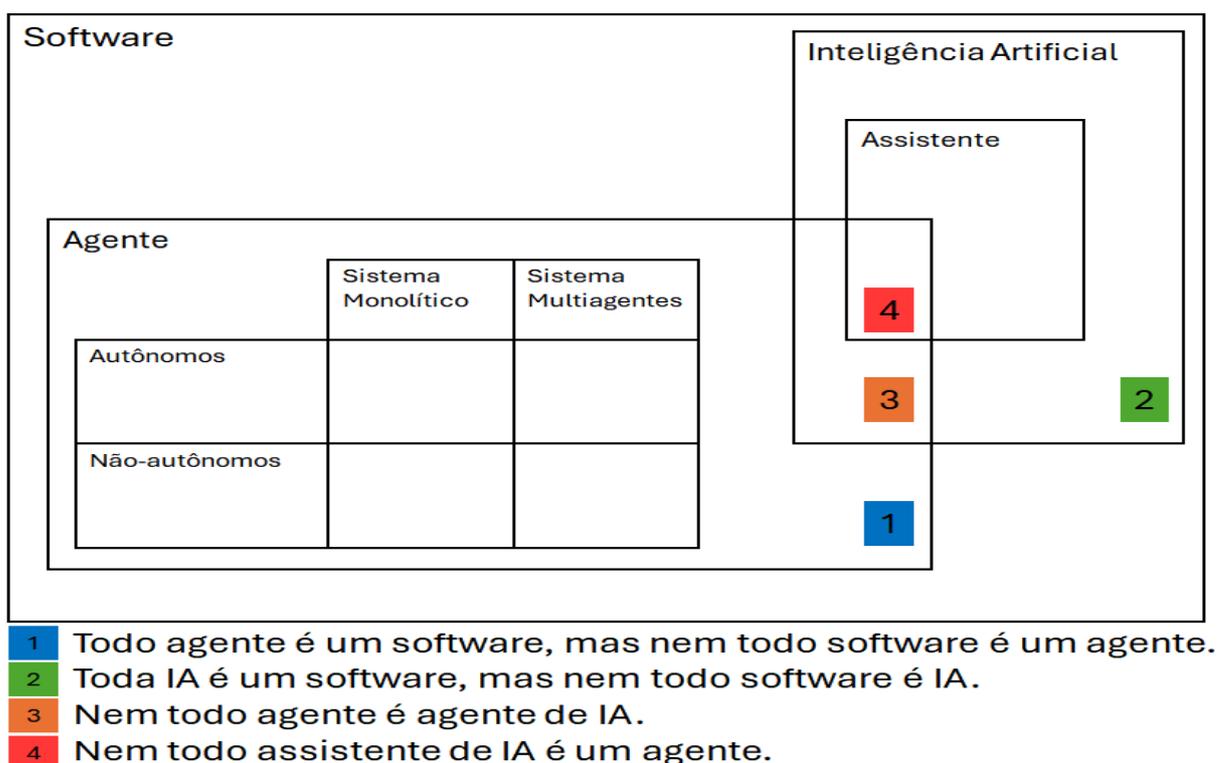


Figura 22 – Softwares, assistentes, agentes e IA: relações entre conceitos.

1. Softwares

Softwares são programas projetados para executar tarefas específicas de forma previsível, podendo variar de operações simples a funções complexas em grandes sistemas, mas sem a capacidade de tomar decisões ou adaptar-se autonomamente às mudanças no ambiente. Exemplos incluem jogos, planilhas eletrônicas, editores de texto e imagem. A partir deste conceito, emergem diferentes formas de organização e operação, entre as quais se destacam os agentes. Por isso, diz-se que: todo agente é um software, mas nem todo software é um agente.

2. Agentes

Agentes são projetados para atuar em um ambiente, percebendo informações, processando-as e tomando decisões para realizar ações orientadas por objetivos específicos. Enquanto softwares são ferramentas úteis para executar tarefas bem definidas e controladas, os agentes são utilizados em ambientes complexos e dinâmicos. Suas características incluem:

- Pró-atividade: agir para atingir metas
- Reatividade: responder a mudanças no ambiente
- Autonomia: operar sem intervenção direta⁵¹.

Existe uma diferença entre os termos "agente" e "agente de inteligência artificial (IA)". Embora ambos compartilhem a ideia de entidades capazes de perceber o ambiente, processar informações e realizar ações, o "agente de IA" agrega características adicionais associadas ao uso de técnicas de inteligência artificial, ampliando suas capacidades em relação a agentes computacionais genéricos. Portanto, o termo "agente" é mais genérico e pode incluir sistemas simples e reativos, enquanto "agente de IA" refere-se a uma subclasse avançada que incorpora inteligência artificial para maior flexibilidade e autonomia. Por isso, diz-se que: todo agente de IA é um agente, mas nem todo agente é um agente de IA.

3. Agentes de IA

Um agente de IA utiliza técnicas de inteligência artificial para melhorar sua capacidade de percepção, raciocínio, decisão e aprendizado. Isso significa que ele pode lidar com ambientes mais complexos e dinâmicos, adaptando-se a mudanças imprevisíveis ou aprendendo novos padrões com base nos dados coletados. Suas principais características incluem:

- Aprendizado: Utiliza aprendizado de máquina ou outras técnicas de IA para melhorar suas decisões ao longo do tempo.
- Raciocínio: Aplica métodos baseados em lógica, heurísticas ou redes neurais para resolver problemas não triviais.

⁵¹ Embora existam agentes não-autônomos conforme ilustrado na Figura 22.

- Planejamento: Cria estratégias de ação baseadas em objetivos de longo prazo, mesmo em cenários incertos.
- Interação Avançada: Comunica-se de forma mais complexa com humanos ou outros sistemas, como assistentes virtuais que compreendem linguagem natural.

Uma visão geral das diferenças entre agentes e agentes de IA considerando o ambiente e a capacidade de aprendizado é mostrada na Tabela 10. Por isso, diz-se que: nem todo agente é agente de IA.

Tabela 10 – Diferenças entre agentes e agentes de IA.

	Ambiente	Aprendizado
Agentes	Simplem, controlados.	Regras/algoritmos fixos, não aprendem.
Agentes de IA	Complexos, dinâmicos, imprevisíveis.	Aprendem com dados e experiências

4. Agentes autônomos e agentes não-autônomos

Agentes autônomos são projetados para operar de forma independente, tomando decisões e executando ações sem a necessidade de intervenção humana ou outros sistemas. Possuem a capacidade de perceber o ambiente em que estão inseridos, processar as informações e reagir conforme objetivos previamente definidos. Quando suportada por IA, essa autonomia permite aprendizado, raciocínio e planejamento.

Agentes não-autônomos são sistemas que dependem de comandos externos ou de interações constantes para operar. São projetados para executar tarefas específicas e bem definidas, geralmente em ambientes controlados. Esses agentes seguem instruções predefinidas ou recebem input contínuo de usuários ou sistemas centrais. A principal característica desses agentes é a previsibilidade e a confiabilidade em tarefas repetitivas, mas eles carecem da flexibilidade e da adaptabilidade encontradas nos agentes autônomos.

Agentes autônomos são ideais para situações complexas ou onde a interação humana direta é limitada, como em exploração espacial, vigilância remota e ambientes não estruturados. Em contrapartida, agentes não-autônomos são preferidos em

aplicações com maior necessidade de controle, como em processos industriais ou tarefas onde o risco associado à autonomia é elevado.

5. Sistemas monolíticos (ou centralizados) e sistemas multiagentes

Sistemas monolíticos baseiam-se em uma arquitetura única que centraliza o controle e a tomada de decisão. Nesses sistemas, a execução de tarefas depende de uma única entidade ou de um conjunto limitado de processos coordenados.

Sistemas Multiagentes (Multiagent Systems - MAS) são arquiteturas compostas por múltiplos agentes autônomos que interagem em um ambiente compartilhado para alcançar objetivos comuns ou independentes. Esses agentes são capazes de perceber o ambiente, processar informações, tomar decisões e comunicar-se com outros agentes. A principal característica desta arquitetura é a descentralização, onde as decisões não dependem de uma entidade central, mas sim da cooperação e coordenação entre agentes.

6. Assistente de IA

São responsivos aos comandos do usuário, auxiliando em tarefas específicas como responder dúvidas, definir lembretes ou controlar dispositivos. Por exemplo, o Chat GPT não é um agente, mas um modelo baseado em processamento de linguagem natural (NLP) que possui as seguintes características:

- Reatividade às entradas fornecidas pelo usuário (prompt): responde ao input sem autonomia para iniciar tarefas por conta própria.
- Ausência de ferramentas externas: gera o output com base em seu treinamento, sem interação com fontes externas específicas⁵².
- Não itera nem refina as respostas: responde baseado em previsão probabilística.
- Não coordena tarefas com outros sistemas ou agentes: é um componente isolado, focado em processamento de linguagem.

⁵² Bancos de dados, por exemplo.

APÊNDICE C. Evolução de LLMs a agentes de IA

Modelos de linguagem em larga escala (Figura 23), como o Chat GPT, são projetados para realizar tarefas de processamento de linguagem natural (NLP), como geração de texto, respostas a perguntas, resumos e análise de informações. Esses modelos são passivos⁵³, sem autonomia para agir ou interagir com o ambiente de forma independente, e não possuem memória.

O mecanismo de atenção destes modelos permite identificar relações entre palavras e frases, ajustando o processamento com base em probabilidades derivadas de grandes volumes de dados. Ao invés de utilizar estados ou transições fixas, sua arquitetura calcula relevâncias entre elementos textuais por meio de um mecanismo de atenção global, o qual permite prever o próximo token em uma sequência textual com base nas entradas, ajustando o processamento de acordo com o contexto.

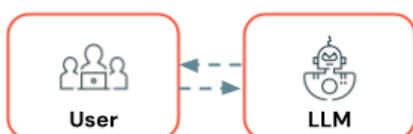


Figura 23 – Large Language Models (Microsoft, 2024).

Ao integrar as LLMs a uma cadeia de ferramentas obtém-se o RAG⁵⁴ (Figura 24), uma solução que conecta modelos de linguagem a mecanismos de recuperação de informações. Ela pode ser vista como uma abordagem que utiliza LLMs integradas a uma cadeia de ferramentas para melhorar a geração de respostas, combinando a capacidade de processamento das LLMs com o acesso a dados externos, como bases de conhecimento específicas.

Cada etapa da RAG funciona como uma ferramenta especializada que colabora para a entrega da resposta final. Por exemplo: LLM sem RAG: O modelo gera respostas com base apenas no conhecimento pré-treinado. LLM com RAG: O modelo é enriquecido por dados externos fornecidos pela cadeia de ferramentas, permitindo respostas mais precisas e atualizadas. No pipeline de operação as etapas são:

⁵³ Respondem somente a partir de comandos externos do usuário ou API (prompts).

⁵⁴ Geração Aumentada por Recuperação (Retrieval-Augmented Generation - RAG)

1. Consulta: O usuário faz uma pergunta ou solicita uma tarefa.
2. Recuperação: A ferramenta busca os dados em uma base específica.
3. Processamento: A informação complementar é enviada à LLM.
4. Resposta: A LLM utiliza os dados recebidos para refinar e gerar a resposta.

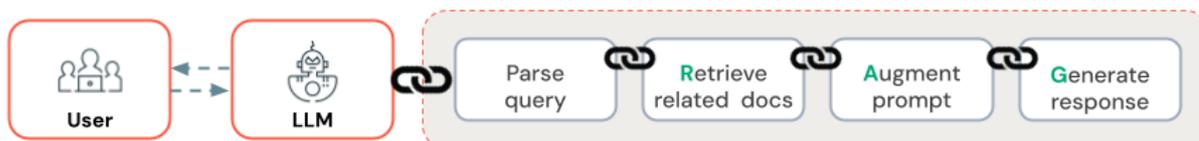


Figura 24 – Retrieval-Augmented Generation (Microsoft, 2024).

Agentes de inteligência artificial (IA) são uma evolução do RAG (Figura 25), combinando a capacidade de recuperação de informações com autonomia e planejamento, permitindo que o sistema opere de forma independente e resolva problemas complexos sem intervenção contínua do usuário. Enquanto o RAG responde de maneira enriquecida, o agente de IA vai além ao:

- Planejar: Dividir tarefas complexas em subtarefas e decidir quais ferramentas ou ações executar.
- Executar: Realizar ações autonomamente como consultar APIs, rodar códigos, decidir baseado em contexto.
- Aprender: Adaptar-se ou melhorar o desempenho com base em feedback ou resultados das ações passadas.



Figura 25 – Agentes de IA (Microsoft, 2024).