

# NOTA TÉCNICA

Nº.1/2025

ISBN: 978-65-01-30387-1

**CRL**



9 786501 303871

## UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

### REITORA

Profa. Dra. Marcia Cristina Bernardes Barbosa

### VICE-REITOR

Prof. Dr. Pedro Costa

### DIREÇÃO DO CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO

Prof. Dr. Marcus Vinicius de Azevedo Basso

### COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

Prof. Dr. Dante Augusto Couto Barone

### ORGANIZAÇÃO

Profa. Dra. Rosa Maria Vicari

### AUTORES

Andrio dos Santos Pinto; Arthur Marques de Oliveira; Fábio Lorenzi da Silva; Graziela Bergonsi Tussi; Manuela Vasconcellos Thomas; Marcela Cristina da Rocha; Marcelo Luiz Pereira; Maria Luiza Recena Menezes; Priscila Castioni Isele; Roberto da Silva Araujo; Roger Gonçalves Urdangarin; Rosa Maria Vicari.

### COMO CITAR ESTE DOCUMENTO

Vicari, R. (Org.). Nota Técnica 01 - Sistemas Tutores Inteligentes. Pinto, A.; Oliveira, A.; Silva, F.; Tussi, G.; Thomas, M.; Rocha, M.; Pereira, M.; Menezes, M.; Araujo, R.; Urdangarin, R.; Vicari, R. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação (CINTED), Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE), 2025. ISBN 978-65-01-30387-1. Disponível em: <http://www.ppgie.ufrgs.br/notas-tecnicas>.

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Nota técnica n°.1 /2025 [livro eletrônico] :  
sistemas tutores inteligentes / organização  
Rosa Maria Vicari. -- 1. ed. -- Porto Alegre,  
RS : Ed. dos Autores, 2025.  
PDF

Vários autores.  
Bibliografia.  
ISBN 978-65-01-30387-1

1. Computação - Estudo e ensino 2. Inteligência  
artificial I. Vicari, Rosa Maria.

25-248564

CDD-004.07

#### Índices para catálogo sistemático:

1. Ciência da computação : Estudo e ensino 004.07

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

Este documento é licenciado sob a licença



## Sistemas Tutores Inteligentes

Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) são *softwares* concebidos para auxiliar a aprendizagem, exigindo uma profunda compreensão das diversas dimensões envolvidas nos processos de ensino e aprendizagem. Em essência, um STI proporciona um ambiente de aprendizagem onde um estudante aprende um determinado assunto com a ajuda do ambiente criado no computador. O aspecto principal de um STI é a personalização, ou seja, ele adapta a experiência da aprendizagem para a necessidade individual de cada estudante, além de identificar as dificuldades e oferecer feedback imediato contribuindo para o aprimoramento dos resultados de aprendizagem. (Tiwari, 2023; Centro de Inovação para a Educação Brasileira, 2024; Shimasaki *et al.*, 2023)

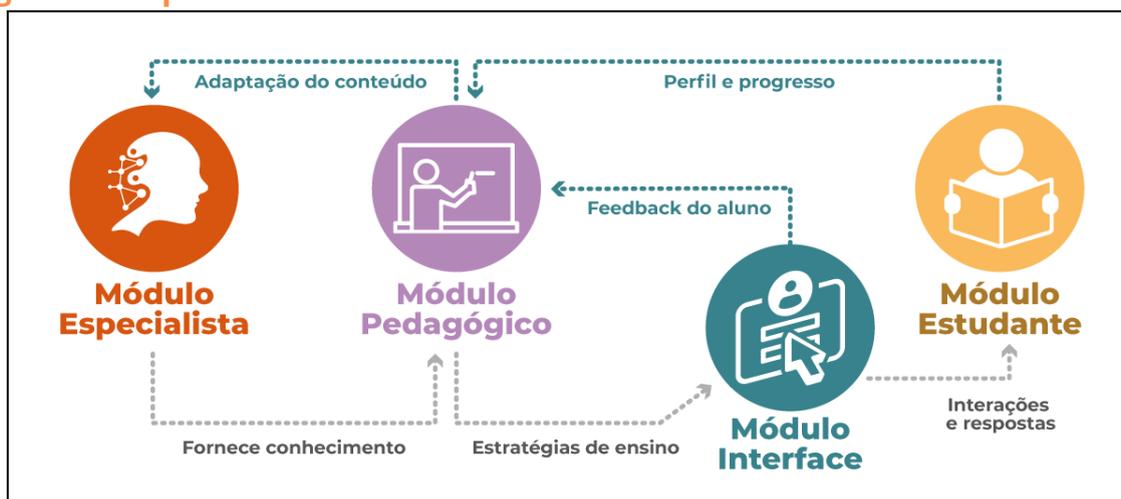
Os STIs costumam ser implementados usando agentes<sup>1</sup> (uma forma de engenharia de *software* para programar sistemas de Inteligência Artificial). Os agentes se coordenam entre si através da comunicação. Essa tecnologia possibilita a autonomia para cada componente do STI, facilitando a utilização de diferentes formas de representação do conhecimento e de raciocínio.

Contudo, os STIs também podem ser desenvolvidos utilizando técnicas tradicionais de engenharia de *software*. Neste caso, as componentes podem variar conforme a necessidade para a sua implementação. A Figura 1 mostra a arquitetura de um STI tradicional, composta por quatro módulos principais.

---

<sup>1</sup> Conforme De acordo com Frigo et al. (2004), um agente em Sistemas Tutores Inteligentes (STI) é definido como um sistema computacional inserido em um ambiente específico, com capacidade de agir de maneira autônoma e flexível para alcançar objetivos educacionais, como a personalização do ensino e o acompanhamento do progresso dos alunos. Além disso, Giraffa e Viccari (1999) enfatizam que esses agentes podem ser modelados para desempenhar papéis como tutores ou estudantes, incorporando estados mentais, tais como crenças, desejos e intenções, com o objetivo de adaptar estratégias pedagógicas e melhorar a interação no ambiente educacional.

**Figura 1 - Arquitetura tradicional dos STIs**



Fonte: elaborado pelos autores com base em Lima Júnior e Silva (2022).

Tradicionalmente, os STIs possuem quatro módulos na sua arquitetura: 1) **Módulo Especialista**: é o tema que o tutor irá abordar com o aluno e contém o conhecimento da área de ensino. Esse conteúdo, até o surgimento dos grandes modelos de linguagem, será fornecido por um ou mais especialistas na área. Segundo Lima Júnior e Silva (2022, p. 624) esse módulo é “responsável por selecionar e organizar o conteúdo a ser ensinado pelo STI e contém o material instrucional, os mecanismos de geração de exemplos, a formulação de diagnósticos e os processos de simulação”. Em outras palavras, ele simula o papel de um professor; 2) **Módulo Estudante**: coleta e analisa informações sobre o estudante, como seu conhecimento prévio, informações afetivas, estilo de aprendizagem e desempenho. Esta componente é a alma de um STI, por permitir a adaptação personalizada. É composto de três fases: modelagem, que envolve o entendimento do comportamento do estudante no seu entorno; intervenção, que identifica as falhas para poderem ser feitas as correções; e avaliação, que valida o modelo e faz os ajustes necessários. (Lima Júnior e Silva, 2022); 3) **Módulo Pedagógico**: define as estratégias e as táticas pedagógicas para serem utilizadas durante as interações com o aluno e, decide como o conteúdo será apresentado, com base nas informações dos módulos do especialista e do estudante. Para Pichler (2005, p. 48), “as decisões são sobre qual informação apresentar ao estudante, quando e como apresentá-la”; e 4) **Módulo de Interface**: Responsável pela comunicação entre o sistema e o usuário. Esse módulo coleta todo o tipo de informação sobre como

decorre a sessão com o estudante. A interface pode ser o teclado, mas pode conter qualquer forma de comunicação possível de ser tratada computacionalmente (fala, escrita, movimentos, etc.). Uma interface bem projetada facilita a interação e torna o aprendizado mais eficaz. Pinscher (2005) defende que a interface deve ser projetada para o usuário ter facilidade, pois o mesmo precisará aprender a utilizar o sistema, além de aprender os conteúdos das lições.

Esses sistemas representam uma tentativa de replicar aspectos do ensino individualizado em larga escala, sendo aplicáveis em diferentes contextos educacionais. Os STIs modernos são mais do que simples 'máquinas de aprendizado', eles são baseados em teorias cognitivas da educação e buscam entender a singularidade do educando, oferecendo assistência personalizada com base em métodos eficazes de aprendizagem e ensino. Embora os STIs tenham recebido ampla atenção em contextos educacionais nos Estados Unidos e na Europa, há uma escassez de literatura sobre sua implementação na América Latina. No entanto, estudos demonstram o potencial dos STIs em contextos educativos, e destacam sua capacidade de personalizar a educação e empoderar os educadores para refinarem suas metodologias.

Os STIs se baseiam em uma variedade de teorias educacionais, buscando integrar os avanços em ambientes inteligentes de aprendizagem com pesquisas em neurociência, psicologia da educação e psicologia cognitiva. Isso se reflete na busca por padrões e mecanismos universais de aprendizado, permitindo que os sistemas educacionais se adaptem à forma como o cérebro humano processa informações. Entretanto, é crucial lembrar que os STIs não se limitam a uma única teoria, mas buscam integrar princípios de diferentes abordagens para criar sistemas de aprendizado mais eficazes. A escolha das teorias que embasam um STI depende de diversos fatores, incluindo o domínio de conhecimento, o público-alvo e os objetivos de aprendizagem.

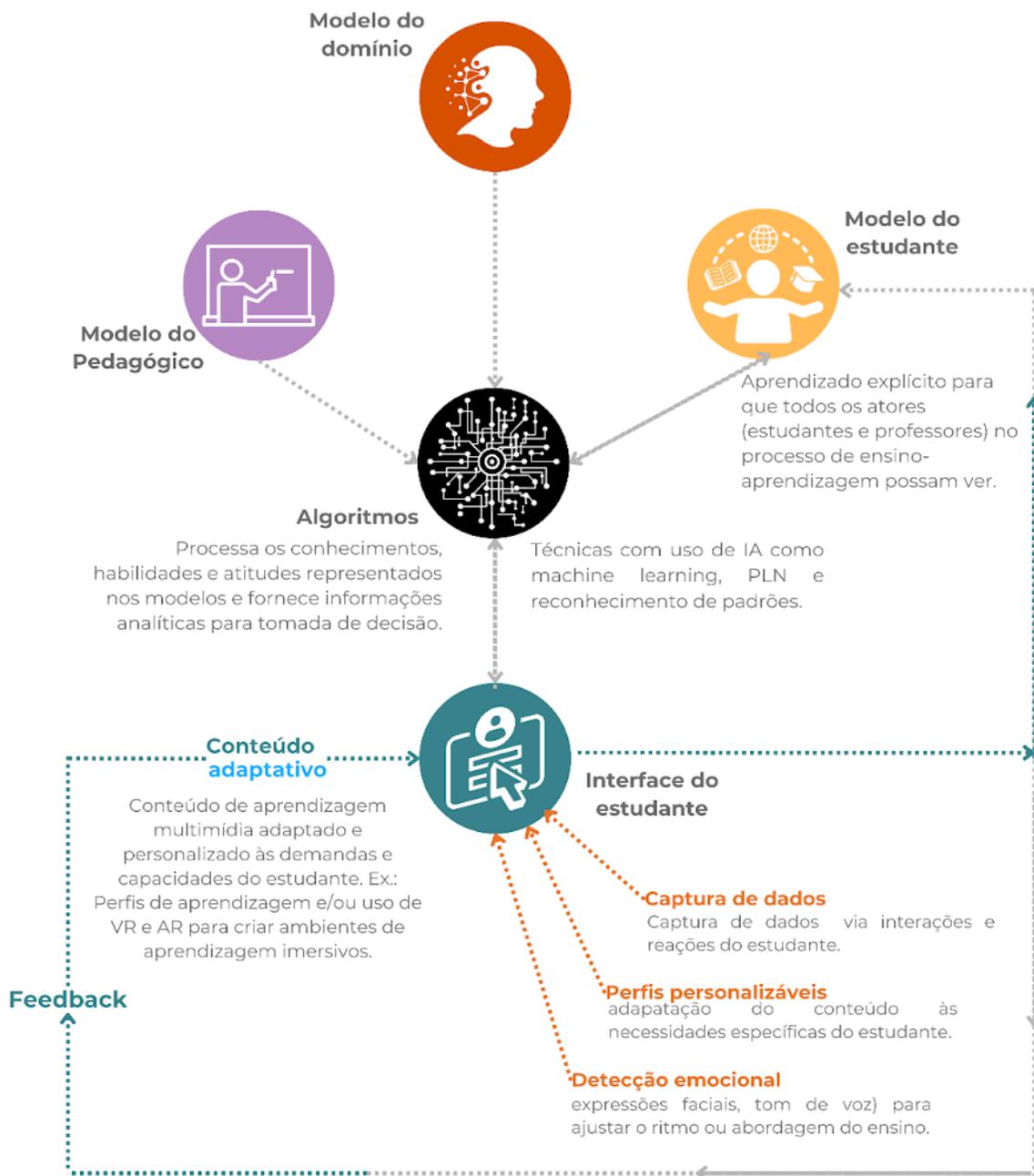
Na Figura 2 é apresentada uma proposta de atualização na área de sistemas educacionais inteligentes, alinhando-se com os princípios fundamentais de adaptabilidade e personalização no processo de ensino-aprendizagem. A nova arquitetura é composta por cinco módulos principais interconectados: 1) **Modelo do Domínio**: representa a base de conhecimento do sistema, contendo os conteúdos e conceitos a serem ensinados. Este módulo é fundamental para

garantir a qualidade pedagógica do sistema; 2) **Modelo do Estudante:** armazena informações sobre o aprendiz, incluindo seu perfil, preferências e histórico de aprendizagem. Este componente permite a personalização efetiva do ensino; 3) **Modelo Pedagógico:** gerencia as estratégias de ensino e como o conteúdo será apresentado, incorporando teorias educacionais e métodos didáticos; 4) **Algoritmos:** processa os conhecimentos, habilidades e atitudes representados nos modelos e fornece informações analíticas para tomada de decisão e 5) **Interface do Estudante:** representa o ponto de interação entre o sistema e o usuário, com características inovadoras como: conteúdo adaptativo multimídia, captura de dados das interações, perfis personalizáveis e detecção emocional por meio de expressões faciais e voz.

O diferencial desta nova arquitetura está no uso intensivo de Inteligência Artificial (IA), através de algoritmos que processam os conhecimentos e fornecem informações analíticas para tomada de decisão. O uso de técnicas de IA como *Machine Learning*, PLN (Processamento de Linguagem Natural) e reconhecimento de padrões permite uma adaptação mais precisa às necessidades individuais dos estudantes.

O sistema implementa um ciclo de feedback contínuo, onde as interações do estudante são constantemente monitoradas e analisadas para ajustar o conteúdo e as estratégias de ensino. A integração de tecnologias de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) para criar ambientes de aprendizagem imersivos, além da capacidade de detectar estados emocionais dos estudantes para ajustar o ritmo ou abordagem do ensino, permite uma experiência personalizada e adaptativa. O fluxo de dados entre os módulos é gerenciado por pipelines de IA em tempo real, possibilitando o aperfeiçoamento contínuo do sistema por meio do aprendizado explícito, onde tanto os estudantes quanto os professores podem acompanhar e compreender o processo de ensino-aprendizagem. Isso permite uma avaliação contínua e iterativa do processo, possibilitando ajustes precisos e o acompanhamento do progresso individual.

**Figura 2 - Proposta de atualização da Arquitetura dos STIs**



**Conexões entre os Modelos**

**Fluxo de Dados:** Dados do estudante (modelo do estudante) influenciam o que é ensinado (modelo do domínio) e como é ensinado (modelo de tutoria). O modelo de tutoria ajusta a interface para garantir maior engajamento. **Integração por IA:** Os módulos comunicam-se em tempo real por meio de pipelines de inteligência artificial. O aprendizado contínuo permite que o sistema se aperfeiçoe à medida que mais dados são coletados.

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

A IA generativa tem um grande potencial para os STIs, pois vem sendo utilizada como substituto ao especialista. Ou seja, ela entra com o conteúdo. Além

disso, se usa na interface pode gerar uma experiência de aprendizado personalizada pois seu modelo já é socrático por natureza. Isto é, a adaptação ao nível cognitivo do aluno acontece de acordo com o quanto o prompt for elaborado, ou não. A comunicação mais natural e contextualizada da IA generativa, como o GPT-4 usado no ChatGPT, pode tornar a interação dos STIs mais natural e semelhante à humana, o que poderá refletir no engajamento dos alunos, tornando o aprendizado mais agradável. A capacidade dos *Large Language Models* (LLMs) de gerar texto de forma dinâmica permite a criação de diálogos complexos e personalizados, adaptando-se ao contexto individual do aluno (Jaques, 2023).

Como dito, a IA generativa, também, traz a possibilidade de adaptar o conteúdo educacional em tempo real, com base no desempenho, nas necessidades e no estilo de aprendizagem do aluno, pois podem gerar diferentes versões de um conteúdo (texto, imagens, áudios), ajustando o nível de dificuldade, o formato de apresentação e até mesmo o contexto do problema.

A IA generativa também pode ser utilizada como interface com o aluno, pois a comunicação será em linguagem natural. Isso facilita para que os alunos dialoguem com o STI e também recebam feedback em linguagem natural.

Ainda, se o modelo do aluno possuir a capacidade de interpretar o conteúdo das sentenças escritas pelo aluno, o STI poderá analisar o raciocínio do aluno, identificar erros conceituais, detectar o estado emocional e com estas informações, fornecer explicações personalizadas, bem como ofertar suporte socioemocional. Um feedback com base em todos estes aspectos será mais eficaz e personalizado, indo além das simples correções das respostas. Contudo, apesar do grande potencial, a integração da IA generativa em STIs, esta integração apresenta desafios próprios da IA generativa, tais como:

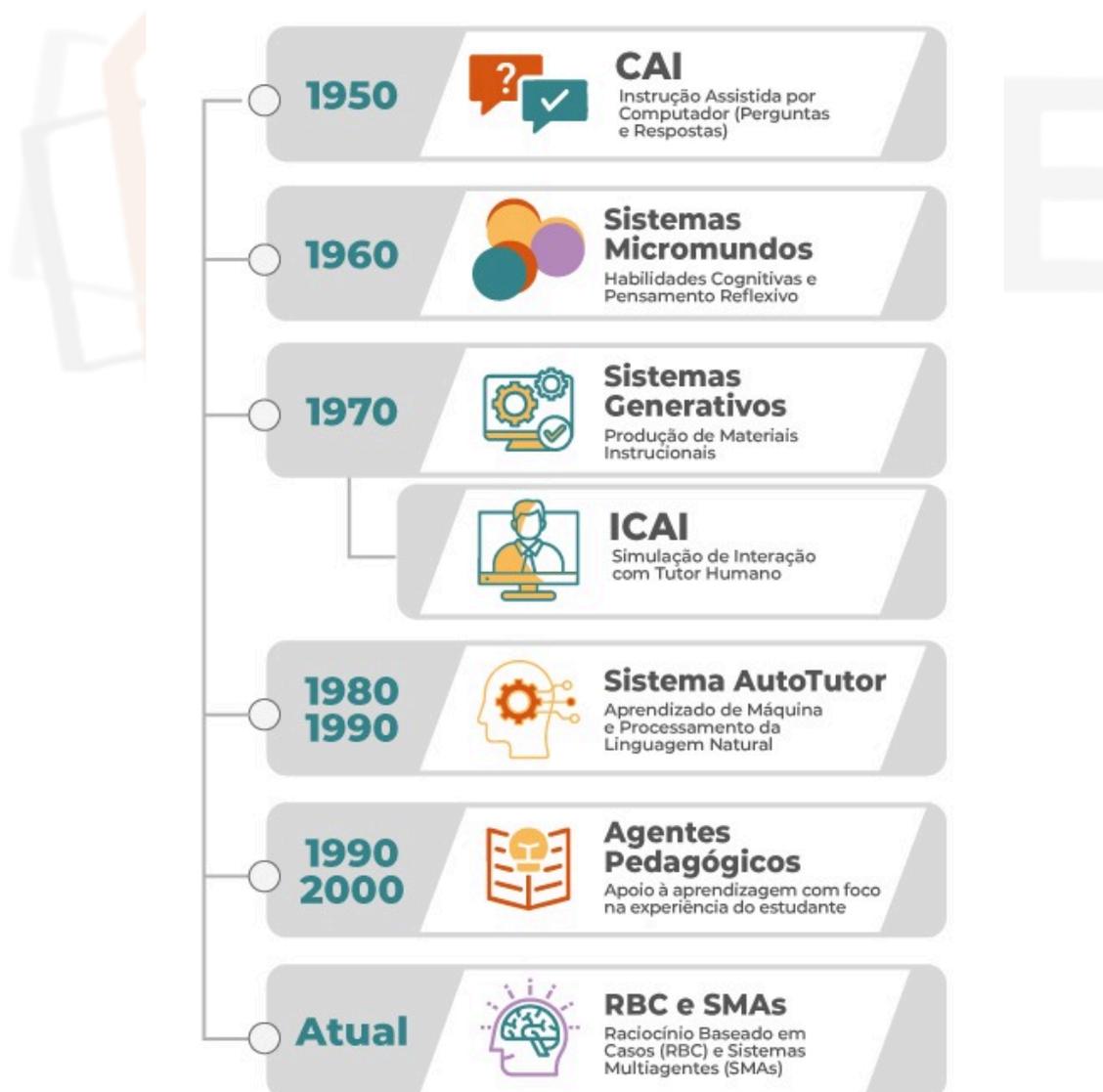
- **Confiabilidade e precisão:** garantir que a IA generativa produza conteúdo preciso, confiável e alinhado com os objetivos de aprendizagem.
- **Viés e ética:** é importante evitar vieses no conteúdo gerado pela IA, garantindo que ele seja inclusivo e respeitoso para todos os alunos e diversidade sociocultural.

- Papel do professor: a IA generativa não substitui o professor, mas, sim, complementa e fortalece seu papel no processo de ensino-aprendizagem. Da mesma forma, os STIs não substituem os professores.

## Linha do Tempo dos STIs

Lima Júnior e Silva (2022) apresentam ainda um breve histórico da evolução dos STIs ao longo das décadas, buscando aprimorar sua capacidade de adaptar o ensino aos perfis de aprendizagem dos usuários, conforme mostra a Figura 3:

**Figura 3 - Linha do Tempo dos STIs**



Fonte: elaborado pelos autores com base em Lima Júnior e Silva (2022).

Tendo em vista a imagem acima, é possível dividir esses acontecimentos da seguinte maneira: 1) **Década de 1950**: Surgiram os programas de Instrução Assistida por Computador (CAI), baseados em aspectos comportamentais da aprendizagem. Eram sistemas simples que se limitavam a apresentar perguntas e respostas pré-definidas, sem considerar as individualidades dos alunos. Eram sistemas focados no professor e essencialmente instrucionais; 2) **Década de 1960**: Surgiram os sistemas Micromundos, inspirados nos estudos de Jean Piaget sobre o desenvolvimento da aprendizagem. Esses sistemas permitiam aos usuários desenvolver habilidades cognitivas e pensamento reflexivo, indo além das simples atividades instrucionais; 3) **Década de 1970**: Surgiram os sistemas generativos, capazes de produzir material instrucional automaticamente. No entanto, esses sistemas não conseguiam explicar aos alunos como um problema era resolvido, pois se baseavam em algoritmos que não refletiam o processo de ensino humano; 4) **Final da década de 1970**: Com o desenvolvimento da IA e da Psicologia Cognitiva, surgiram os sistemas de Instrução Inteligente Assistida por Computador (ICAI). Esses sistemas conseguem adaptar e recriar as informações apresentadas aos alunos, utilizando técnicas de IA para simular a interação com um tutor humano; 5) **1980 a 1990**: Os STIs começaram a usar técnicas de IA como aprendizado de máquina e processamento de linguagem natural. O sistema "AutoTutor" foi desenvolvido em 1985 para ensinar física e foi um dos primeiros STI a usar técnicas de IA (Graesser e Person, 1994); 6) **Final da década de 1990, início dos anos 2000**: A partir do avanço das tecnologias de IA, surgiram os Agentes Pedagógicos. Esses agentes objetivam apoiar a aprendizagem dos estudantes e, para isso, interagem com os mesmos utilizando diferentes papéis e estratégias. Dessa forma, proporcionam um aprimoramento nas experiências de aprendizagem dos estudantes, além de promoverem motivação e engajamento nos ambientes de aprendizagem e 7) **Atualmente**: Mais recentemente, a pesquisa em STIs tem se concentrado na criação de sistemas ainda mais personalizados e adaptativos. Lamy *et al.* (2024) apresentam um projeto de STI que exemplifica essa tendência, utilizando Raciocínio Baseado em Casos (RBC) e Sistemas Multiagentes (SMAs) para alcançar esse objetivo. RBC e SMA podem ser vistos como precursores ou abordagens complementares aos LLMs e Aprendizado de Máquina na busca por

personalização. RBC traz a ideia de usar casos anteriores para resolver novos problemas, semelhante à maneira como os LLMs aprendem com grandes conjuntos de dados. Já o SMA pode ser visto como um precursor dos sistemas de diálogo baseados em LLMs. A arquitetura do STI proposto contempla inclusive um Módulo de *Machine Learning* para melhorar o desempenho do sistema ao longo do tempo.

## **Eficácia dos STIs**

Os STIs apresentam ser uma das soluções mais promissoras para melhorar a eficácia do ensino, especialmente no contexto da aprendizagem personalizada. Estes sistemas combinam algoritmos avançados de IA com teorias educacionais, fornecendo suporte adaptativo e resultados significativos no desempenho acadêmico dos alunos. Décadas de investigações confirmam o impacto positivo dos STIs em diversos contextos educacionais e geográficos, variando desde as séries primárias do ensino fundamental até o ensino superior, passando pela formação profissional.

## **Impactos Positivos e Estudos Relevantes**

Uma meta-análise conduzida por Kulik e Fletcher (2016) avaliou a eficácia dos STIs com base em 50 estudos controlados, os quais incluíram pesquisas experimentais e quasi-experimentais realizadas ao longo de três décadas e em diversos contextos educacionais e geográficos. A partir da meta-análise, os autores demonstraram o impacto positivo em relação ao desempenho acadêmico dos estudantes quando estes utilizaram STI para apoiar suas atividades de estudo, mostrando um aumento médio de 0,66 desvios-padrão nas pontuações dos testes, equivalente a um progresso percentual de 50% para 75%. Em 92% dos estudos, os estudantes que utilizaram STI obtiveram resultados superiores aos do grupo de controle, com 78% dos ganhos excedendo 0,25 desvios-padrão, valor considerado educacionalmente significativo pelo *What Works Clearinghouse*<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> O What Works Clearinghouse (WWC) é uma iniciativa do Institute of Education Sciences (IES), vinculado ao Departamento de Educação dos Estados Unidos, estabelecida em 2002. O trabalho do WWC é gerido por uma equipe de funcionários do IES e realizado sob um conjunto de contratos firmados com várias empresas

No entanto, a eficácia variou amplamente dependendo de características específicas dos estudos, como tipo de teste utilizado, configuração experimental, nível educacional e disciplina avaliada. A maioria das intervenções ocorreu em disciplinas de matemática e ciências. Aproximadamente 60% dos estudos foram realizados nos Estados Unidos, enquanto os demais se distribuíram por países da Europa, Ásia e Oceania. Os estudos variaram em duração, desde sessões curtas de até 30 minutos até intervenções extensas que se estenderam ao longo de três semestres. Em relação ao nível de ensino, os estudos abrangeram desde o ensino fundamental até a educação superior e treinamento militar, com destaque para os impactos observados em contextos pós-secundários.

O método de análise estatística utilizado na meta-análise seguiu as diretrizes clássicas de Glass, McGaw e Smith (1981), com adaptações para assegurar maior precisão e robustez dos resultados. O cálculo do tamanho do efeito foi obtido com base na diferença entre as médias ajustadas dos grupos experimental e controle, dividida pelo desvio-padrão da amostra. Para reduzir a influência de estudos com valores extremos, os autores aplicaram uma técnica de *Winsorization*<sup>3</sup>, substituindo valores além do percentual de 95% por limites ajustados.

Os autores identificaram um elemento crítico que foi a natureza dos testes utilizados para medir os ganhos de aprendizagem. Ou seja, os testes que foram localmente desenvolvidos, alinhados diretamente com os conteúdos trabalhados pelos STIs, apresentaram maiores ganhos (0,73 desvios-padrão), na comparação com os testes padronizados, que resultaram em ganhos mais modestos (0,42 desvios-padrão). Além disso, a robustez metodológica dos estudos considerados na meta-análise foi um fator determinante. Estudos que empregaram grupos de controle mais rigorosos (por exemplo, ensino convencional em vez de ausência de instrução) reportaram ganhos menores, porém mais confiáveis, indicando que a escolha de metodologias de controle impacta significativamente as conclusões.

Estudos mais recentes reforçam esses achados e expandem o entendimento sobre os STIs. Baillifard *et al.* (2023) conduziram experimentos em um curso de

---

líderes, especializadas em educação, metodologia de pesquisa e disseminação de pesquisas educacionais, incluindo Abt Associates, American Institutes for Research, Development Services Group, Inc. e Mathematica. (Tradução literal) disponível em: <https://ies.ed.gov/ncee/wwc/FWW>.

<sup>3</sup> A **Winsorização** é uma técnica estatística usada para tratar valores extremos (outliers) em um conjunto de dados. Em vez de simplesmente remover esses valores, ela os ajusta, substituindo-os por valores menos extremos, mas que ainda fazem parte da distribuição original. O objetivo principal é reduzir o impacto distorcido que os outliers podem ter em análises estatísticas, mantendo a integridade dos dados. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/mathematics/winsorization>

neurociência, demonstrando uma melhoria média de 15 pontos percentuais nas notas dos estudantes que utilizaram um tutor de IA com aprendizado adaptativo, em comparação com o ensino tradicional. Esse sistema ajustou as atividades conforme o nível de dificuldade ideal, proporcionando maior inclusão e eficácia, especialmente para alunos com dificuldades iniciais.

Por sua vez, Thomas *et al.* (2023) investigaram o impacto de tutores híbridos (STIs aliados a tutores humanos) em escolas de ensino fundamental. A abordagem aumentou significativamente o engajamento e melhorou o desempenho acadêmico, especialmente entre estudantes com maiores dificuldades. Esse modelo híbrido não apenas ofereceu suporte acadêmico, mas também criou um ambiente mais motivador e acolhedor.

Em contrapartida, Ma, Martins e Lopes (2024) analisaram um tutor de IA em um curso introdutório de programação, que fornecia respostas em tempo real e sugestões personalizadas. Os resultados indicaram maior eficiência na resolução de problemas, além de maior confiança e autonomia dos estudantes, que relataram um ambiente mais seguro para experimentar e aprender com os erros.

### **Fatores Críticos e Desafios na Implementação**

Apesar dos benefícios evidentes, os estudos apontam fatores críticos que modulam a eficácia dos STIs. Kulik *et al.* (2016) destacaram que os testes alinhados aos conteúdos trabalhados pelos sistemas apresentaram ganhos superiores (0,73 desvios-padrão) em relação aos testes padronizados (0,42 desvios-padrão). Além disso, a robustez metodológica dos estudos influenciou os resultados, com grupos de controle mais rigorosos reportando ganhos menores, mas mais confiáveis. Outro ponto relevante foi a análise de casos extremos, como o DARPA Digital Tutor, que obteve ganhos excepcionais (até 3,18 desvios-padrão) devido à alta personalização e design instrucional de qualidade.

Os desafios de implementação incluem a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada, treinamento de educadores e design pedagógico que equilibre o uso de tecnologia com interações humanas. Além disso, a heterogeneidade nos desenhos experimentais e a qualidade variável da

implementação foram apontadas como limitações metodológicas, com estudos de curta duração tendendo a reportar maiores efeitos, possivelmente devido a condições controladas.

## **Benefícios Ampliados e Implicações Finais**

Além de melhorar o desempenho acadêmico, os STIs promovem motivação intrínseca e autoconfiança, personalizando atividades segundo a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) dos estudantes e incorporando elementos como gamificação e feedback instantâneo. Esses fatores tornam os STIs ferramentas poderosas para engajar os estudantes e mantê-los focados no aprendizado.

Os avanços contínuos em IA, como algoritmos de aprendizado profundo e processamento de linguagem natural, têm potencial para superar as barreiras existentes e ampliar a eficácia dos STIs. Quando bem implementados, esses sistemas podem transformar a educação, tornando-a mais inclusiva, eficiente e adaptada às necessidades individuais dos aprendizes.

Os STIs emergem como uma solução robusta para enfrentar os desafios da educação contemporânea. A análise de estudos ao longo de décadas e os avanços recentes demonstram o potencial dos STIs para oferecer aprendizado personalizado, aumentar o engajamento e promover resultados acadêmicos aprimorados. À medida que novas tecnologias continuam a emergir, o papel dos STIs como ferramentas educacionais revolucionárias permanece inquestionável, com o desafio constante de equilibrar rigor metodológico, design pedagógico e adaptação contextual.

## **Arquiteturas Atuais**

Lamya *et al.* (2024) apresentam para o sistema tutor inteligente proposto em seu projeto uma arquitetura multiagente que usa RBC (Raciocínio Baseado em

Casos) para personalizar atividades pedagógicas com base no perfil do aluno. Os principais agentes envolvidos são:

- **Base de Conhecimento:** contém informações sobre atividades pedagógicas, perfis de alunos e casos semelhantes.
- **Agente de Perfil do Aluno:** coleta informações sobre o aluno, como conhecimento prévio, preferências de aprendizagem, estilo de aprendizagem e experiência de desempenho.
- **Agente Recomendação:** usa RBC para oferecer tarefas pedagógicas personalizadas ao aluno.
- **Agente de Avaliação:** monitora continuamente o desempenho do aluno e usa essas informações para atualizar o perfil do aluno, avaliar o desempenho e personalizar as recomendações de atividades pedagógicas.
- **Agente de Adaptação:** monitora as interações do aluno com o STI em tempo real e ajusta os elementos do ambiente de aprendizagem, como a dificuldade da tarefa, o tempo de resposta e a apresentação das informações.
- **Módulo de *Machine Learning*:** usa algoritmos de *machine learning* para melhorar o desempenho do sistema ao longo do tempo.
- **Interface do Aluno:** interface por meio da qual o aluno interage com o STI.
- **Aluno:** indivíduo que se conecta e interage com o sistema.

### **Linhas Pedagógicas Utilizadas**

Os STIs podem ser implementados baseando-se em diversas linhas pedagógicas. Na sequência, são apresentadas as linhas pedagógicas relevantes para a presente nota técnica.

### **Zona de Desenvolvimento Proximal**

A Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)<sup>4</sup> foi proposta por Lev Vygotsky (1978) e é considerada um dos conceitos mais imponentes em psicologia do desenvolvimento e nas teorias educacionais. A ZDP contribui para podermos definir a distância que existe entre o que os alunos podem construir sozinhos e o que podem desenvolver com a ajuda de um mentor ou de uma ferramenta apropriada. Nos STIs, este conceito é extremamente utilizado com o intuito de personificar a aprendizagem e promover o progresso contínuo do sujeito, sem que ele se sinta ansioso ou desinteressado.

O STI utiliza a ZDP como base para o desenvolvimento de algoritmos que ajustam o conteúdo e o nível de dificuldade das tarefas instrucionais para garantir que os alunos sejam consistentemente desafiados em uma competência específica. Esta abordagem é particularmente importante em situações em que as salas de aula tradicionais não conseguem satisfazer as necessidades individuais de todos os alunos, conforme ilustrado por Koedinger e Corbett (2006), que destacam a eficácia dos tutores cognitivos ao implementar conceitos como a ZDP para personalização em larga escala.

## Integração da ZDP com Tecnologias Modernas

Recentes avanços em IA e aprendizado de máquina estão auxiliando os STIs a expandirem aplicações da ZDP. Modelos como o *KidLearn*, disponível em Clément *et al.* (2024), utilizam algoritmos adaptativos como os *multi-armed bandits* para selecionar atividades que potencializam o progresso da aprendizagem dentro da ZDP. Esses algoritmos acompanham o desempenho dos alunos em tempo real e ajustam as atividades com base no progresso individual, criando uma aprendizagem adaptativa que reflete as necessidades e habilidades de cada aluno.

Além disso, a ZDP está sendo incluída em métodos baseados na teoria do *Flow* de Csikszentmihalyi (2008).<sup>5</sup> Esses métodos garantem que os alunos permaneçam engajados, oferecendo desafios que combinam habilidades e

4 Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) é um conceito central na teoria sociocultural de Lev Vygotsky, um dos principais psicólogos do desenvolvimento. Ela descreve a distância entre o que um indivíduo já é capaz de fazer sozinho e o que ele pode realizar com a ajuda de um outro indivíduo mais experiente, como um professor, um tutor ou um colega mais avançado.

5 A teoria do *Flow*, desenvolvida pelo psicólogo Mihaly Csikszentmihalyi, descreve um estado mental caracterizado por uma imersão completa e prazerosa em uma atividade. Quando em estado de fluxo, o indivíduo experimenta uma sensação de energia, foco total e distorção do tempo, perdendo a noção de si mesmo e do ambiente ao redor.

desafios, promovendo imersão e motivação. Esta combinação é muito eficaz para a atenção a longo prazo, como demonstraram experiências recentes trazidas por Clément *et al.* (2024).

### **Motivação Intrínseca e Autodeterminação**

A ZDP não apenas facilita o progresso do aprendizado, mas também está internamente ligada à motivação intrínseca, um elemento essencial para a eficácia de qualquer sistema de ensino. Estudos baseados na Teoria da Autodeterminação proposta por Deci e Ryan (1985) demonstram que a autonomia e a competência percebida são fatores cruciais para aumentar a motivação. Nesse sentido, os STIs que utilizam a ZDP para propor desafios adequados também promovem uma experiência de aprendizado que incentiva a autonomia do aluno, permitindo que ele explore e supere dificuldades com suporte adequado.

Sistemas como o Zona de Desenvolvimento Proximal e Sucesso Empírico (ZPDES) ilustram como a ZDP pode ser operacionalizada em ambientes educacionais digitais. O ZPDES utiliza um modelo de personalização em que atividades são selecionadas com base no progresso de aprendizagem do aluno, conforme descrito por Clément *et al.* (2024). Este modelo não apenas melhora os resultados acadêmicos, mas também gera uma experiência mais motivadora e satisfatória para os estudantes, destacando o papel crucial da ZDP como uma ponte entre o potencial do aluno e o aprendizado efetivo.

### **Limitações e o Futuro da ZDP nos STIs**

Embora a ZDP seja amplamente aplicada, sua implementação em STIs não se isenta de desafios. Estudos, como os realizados por Clément *et al.* (2024), apontam que o impacto motivacional da ZDP pode variar dependendo de fatores como o design do sistema e a capacidade do aluno de exercer autonomia. Quando combinada com elementos de gamificação, como escolhas personalizadas, a ZDP pode intensificar a motivação intrínseca, mas também pode se tornar uma distração em currículos mal estruturados.

O futuro dos STIs com base na ZDP está na integração de tecnologias mais avançadas, como a Inteligência Artificial Explicável, que podem dar feedback em tempo real tanto para alunos, quanto para educadores. Além disso, o uso de STIs em contextos diversos, incluindo necessidades especiais e ambientes multiculturais, oferece oportunidades para expandir ainda mais o alcance da ZDP e sua aplicabilidade.

A ZDP permanece um conceito central na concepção de STIs, proporcionando uma estrutura teórica sólida para personalização e adaptabilidade. Sua integração com tecnologias modernas, como aprendizado de máquina e gamificação, tem demonstrado impacto significativo no desempenho e na motivação dos alunos. No entanto, avanços futuros devem se concentrar em superar as limitações existentes e explorar novas maneiras de maximizar o potencial da ZDP em diferentes contextos educacionais.

### **Modelo Sócrático**

O modelo sócrático de ensino se baseia em perguntas. O professor analisa a pergunta do aluno buscando perceber o estado cognitivo do aluno sobre determinado assunto. A resposta é formulada de acordo com o nível cognitivo da pergunta. Se uma pergunta vem bem elaborada e mostrando que o aluno conhece o assunto e quer aprofundar este conhecimento, a resposta do professor irá acompanhar a pergunta. No trabalho de Yang *et al.* (2024), o sistema tutor inteligente chamado *PyTutor* utiliza como linha pedagógica a teoria da aprendizagem neoconstrutivista de Vygotsky<sup>6</sup>. O sistema *PyTutor* utiliza a IA generativa para gerar dicas adaptadas no nível de compreensão atual do aluno, facilitando sua aprendizagem de forma personalizada. O objetivo geral do *PyTutor* baseia-se na decomposição de problemas complexos em partes menores e mais gerenciáveis, as quais são adaptadas às diferentes atividades e conceitos de programação da linguagem Python.

---

<sup>6</sup> A teoria da aprendizagem neoconstrutivista de Lev Vygotsky enfatiza o papel fundamental da interação social no desenvolvimento cognitivo. Segundo Vygotsky, o aprendizado não ocorre de forma isolada, mas sim em um contexto cultural e social, mediado pela linguagem e pelas relações interpessoais. A aprendizagem ocorre através da interação com pessoas mais conhecedoras, que atuam como mediadores, auxiliando o indivíduo a construir seus próprios conhecimentos, destacando a importância do papel do professor como mediador nesse processo, oferecendo desafios e apoio adequados para que os alunos avancem em sua aprendizagem.

A abordagem pedagógica do sistema trabalha em três níveis de dicas. O primeiro é o pseudocódigo, o qual fornece uma descrição narrativa e lógica do processo de resolução do problema, sem utilizar a sintaxe específica da linguagem de programação. O pseudocódigo ajuda o aluno a compreender a lógica subjacente ao problema, promovendo o pensamento algorítmico antes de tratar diretamente com a sintaxe da linguagem.

Caso o estudante necessite de mais informações para elaborar sua solução para o problema, uma nova dica poderá ser solicitada. Neste segundo nível, a dica é um código parcialmente preenchido chamado de *cloze code*, onde partes-chave do código são escondidas por lacunas que o aluno deverá preencher para completar o código que resolve a questão. No entanto, se o *cloze code* não conseguir auxiliar o aluno, o *PyTutor* fornece a terceira e última dica, que apresenta um código básico completo. Desta forma, após as três dicas serem utilizadas pelo estudante, subentende-se que este compreendeu uma forma básica de resolver a questão.

O trabalho de Peronaglio *et al.* (2023) propõe um modelo para automatizar a adaptação de conteúdo e promover uma aprendizagem personalizada e individualizada. Assim, considerando que os estudantes possuem formas diversificadas de construir os seus conhecimentos, o estudo baseia-se nos estilos de aprendizagem propostos por Kolb (1976) para, a partir de uma entrada única, produzir um novo conteúdo adaptado e conforme as especificidades de cada estilo. Para isso, propõe um modelo que atuará diretamente no Componente Pedagógico, afinal, se trata do componente central da arquitetura e é responsável pela produção e manipulação das informações.

Na pesquisa de Favero *et al.* (2024), os autores incorporaram a IA generativa em um *chatbot* educacional desenvolvido para alinhar princípios pedagógicos na promoção do pensamento crítico. O modelo pedagógico socrático consiste na proposição de questões que guiam os estudantes em direção à solução de um problema que se situa além de sua zona proximal de desenvolvimento (ZDP).

Favero *et al.* (2024) definiram o questionamento socrático como princípio de *design* para seu *chatbot* a fim de guiar estudantes no processo de aprendizagem, preenchendo uma lacuna identificada na literatura na qual se busca alterar o foco

de provedor de respostas para um formulador de questões. Com isso, seria possível sustentar o desenvolvimento do pensamento crítico e a reflexão profunda do aluno. Sua abordagem baseou-se em agentes tutores utilizando modelos de linguagem abertos (LLMs) para a geração de diálogos socráticos. O modelo de linguagem utilizado foi o *Llama2 Instruct* com 7 e 13 bilhões de parâmetros. As duas versões do modelo *Llama*, permitiram a execução do *chatbot* socrático com recursos computacionais limitados.

Para especializar o modelo de linguagem aberto, foi utilizada a técnica de refinamento de parâmetros: *Low-Rank Adaptation (LoRA)* e *Quantized Low-Rank Adaptation (QLoRA)*. Estas técnicas oferecem uma forma de adaptar efetivamente o modelo de linguagem para as tarefas específicas sem a necessidade de treiná-lo novamente ou alterar completamente o modelo pré-treinado. Por exemplo, o *LoRA* foca em permitir modificar um pequeno número de parâmetros adicionais que atuam sobre os pesos do modelo fundamental pré-treinado.

Segundo os autores, esta abordagem mostra-se vantajosa devido à sua eficiência na redução de passos adicionais introduzidos. O *QLoRA* foi utilizado para reduzir a precisão dos números que representam os pesos dos parâmetros para 4-bits, buscando utilizar menos memória e recursos do computador.

Por fim, Favero *et al.* (2024) concluem que o *chatbot* socrático proposto traz implicações positivas para a educação, em particular no contexto da aprendizagem online e dos STIs.

## **Perspectivas Futuras**

Apesar dos avanços, os STIs ainda enfrentam desafios para alcançar a personalização ideal do ensino. A pesquisa continua buscando aprimorar os STIs, tornando-os mais adaptáveis e eficazes. Uma das áreas de pesquisa promissoras é a aplicação do conceito de educação personalizada, que visa atender às necessidades individuais de cada aluno, considerando seus interesses e estilo de aprendizagem (Lima Júnior e Silva, 2022).

Novas tecnologias, como LLMs utilizados pelo chatGPT e seu modelo GPT-4, também estão sendo exploradas para aprimorar a personalização dos STIs. Yadav

*et al.* (2023) realizaram experimentos com a ferramenta e afirmam que os LLMs podem ser usados para contextualizar problemas conforme os interesses dos alunos, tornando o aprendizado mais envolvente e eficaz. O estudo explorou, por exemplo, o uso do GPT-4 para contextualizar problemas em uma plataforma de autoria de conteúdos chamada CTAT (*Cognitive Tutor Authoring Tools*). A plataforma CTAT visa aumentar a eficiência da criação de conteúdos por meio de uma abordagem baseada em exemplos. Nessa abordagem, o autor demonstra comportamentos corretos e incorretos na resolução de problemas, que são registrados pela ferramenta. O CTAT tem como objetivo apoiar uma ampla gama de usuários como professores, desenvolvedores de cursos on-line e pesquisadores da área de ciências da aprendizagem interessados em usar STIs como veículo para condução de experimentos em aprendizagem na área da matemática.

Neste contexto, os pesquisadores utilizaram *prompt engineering* para instruir o GPT-4 a adaptar os problemas construídos a partir do CTAT a diferentes interesses, tais como *videogames*, *TikTok* e *NBA*. Os resultados mostraram que o GPT-4 conseguiu gerar contextualizações significativas, mantendo a dificuldade original dos problemas e sem adicionar detalhes desnecessários.

Concluíram os autores que a integração de LLMs em STIs tem grande potencial para personalizar a aprendizagem em escala, adaptando o conteúdo aos interesses de cada aluno. No entanto, é importante ressaltar que a tecnologia continua em desenvolvimento e enfrenta limitações, como a dificuldade em lidar com problemas geométricos complexos.

A IA aprende com dados. Sendo assim, muitas pesquisas apontam na direção de se obter mais dados que possibilitem a personalização dos sistemas de IA, dentre eles os de educação. Nessa linha, as mudanças que as pesquisas atuais apontam para um futuro próximo se relacionam, mais uma vez, com a interface. A IA atua em duas modalidades principais:

- 1) **Interfaces que aumentam o cérebro:** são utilizadas há muito tempo (lentes aumentam a capacidade de visão), estão presentes no dia a dia na forma de equipamentos vestíveis (RV, por exemplo). Esses equipamentos vestíveis estão inaugurando um ecossistema entre *software*, *hardware* e biológico. Quando conectados à internet, o

ecossistema se torna mais interessante ainda. Já existem aplicações educacionais baseadas em EEG (Eletroencefalograma), uma forma de se obter dados diretamente do cérebro, para auxiliar os estudantes a manterem o foco no estudo<sup>7</sup>, embora o seu uso possa ser questionável. Estes equipamentos vestíveis têm a forma de tiaras e os melhores resultados da área são esperados para 2040.

2) **Arquiteturas que imitam o cérebro** também vêm recebendo influência dos modelos da Neurociência. As redes neurais profundas surgiram dos estudos de (Rumelhart, Hinton, Williams, 1986). Elas se caracterizam por possuírem muitas camadas de processamento. Elas impulsionaram o aprendizado profundo, o qual é uma forma de se fazer aprendizado de máquina. No *deep learning*, as máquinas aprendem repetindo o fracasso e o sucesso com base em muitos dados<sup>8</sup>. No que se refere aos modelos do *software*, existe uma proposta de arquitetura de programação de agentes, a *Agent Zero* (um modelo baseado na neurociência cognitiva), que representa estados afetivos e cognitivos através de uma arquitetura deliberativa. Os melhores resultados são esperados para 2050. Arquiteturas de IA que imitam e aumentam o cérebro são linhas de pesquisa que prometem mudar a forma como se desenvolve sistemas computacionais de IA e também a comunicação humano-IA.

3) **Percepção sensorial** individual e social: é uma área que está iniciando a sua utilização na IA. Esta linha é baseada nos sentidos e deu origem ao termo “máquinas sencientes”<sup>9</sup>. Grande parte destas pesquisas se relaciona à robótica. A visão robótica é a área que está mais desenvolvida, já com várias aplicações comerciais, tanto na robótica como nos STIs para, por exemplo, certificação dos estudantes. Na sequência vem a audição, atualmente temos aplicativos de assistentes pessoais (*bots*) que atendem a comandos de voz e, também, geram voz. Mais embrionárias encontram-se as

7 <https://youtu.be/JMLsHI8aV0g> e <https://neuralink.com/>

8 Para melhor localizar estas tecnologias, pense na seguinte estrutura: área do conhecimento: Inteligência Artificial; uma aplicação da IA: aprendizado de máquina; algumas formas de se fazer aprendizado de máquina: deep learning ou aprendizado profundo.

9 Senciencia: seres que percebem pelos sentidos e que recebem impressões

pesquisas com 'pele artificial', para o tato. Esta 'pele' vem sendo usada para revestir os dedos de braços robóticos<sup>10</sup>. Roupas para jogos recreativos também conseguem proporcionar a sensação do toque. As pesquisas com o olfato se encontram, ainda, no nível de trabalhos acadêmicos<sup>11</sup> e o gosto vem se desenvolvendo de forma independente dos demais, com tipos diferentes de aplicações, como em König e Thongpull (2015). A percepção sensorial tem ainda um longo caminho. Os melhores resultados esperados são previstos para 2050. Para que a maioria destes sentidos atinjam o nível social, são esperados resultados para 2060.

O avanço na área da percepção (captura de dados) leva ao conceito de scienciência em máquinas, que se baseiam na possibilidade de criar sistemas artificiais capazes de "sentir". Este tipo de entrada de dados a partir dos sentidos pode transformar a arquitetura e a capacidade dos STIs.

## Referências Bibliográficas

BAILLIFARD, A. GABELLA, M.; LAVENEX, P. B.; MARTARELLI, C. S. **Implementing Learning Principles with a Personal AI Tutor: A Case Study.** *arXiv*, 2309.13060, 2023.

CENTRO DE INOVAÇÃO PARA A EDUCAÇÃO BRASILEIRA. CIEB: **Notas Técnicas #21 Inteligência artificial na educação básica: novas aplicações e tendências para o futuro.** São Paulo: CIEB, 2024.

CLÉMENT, B.; SAUZÉON, H.; ROY, D.; OUDEYER, P. **Improved Performances and Motivation in Intelligent Tutoring Systems: Combining Machine Learning and Learning Choice.** *arXiv*:2402.01669v1, 2024.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Flow: The Psychology of Optimal Experience.** Los Angeles, EUA: Harper Perennial Modern Classics, 2008.

DECI, E. L.; RYAN, R. M. **Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior.** New York, EUA: Springer Science+Business Media, 1985.

---

<sup>10</sup> Saiba mais sobre essa iniciativa em: <https://canaltech.com.br/robotica/nova-pele-artificial-promete-dar-mais-pegada-ao-robos-215718/>. Acesso em 24 dez. 2024.

<sup>11</sup> Um dos pesquisadores mais promissores nesta área é Guanyu Robert Yang, pesquisador do MIT e McGovern Institute for Brain Research, e Columbia University.

FAVERO, L.; PÉREZ-ORTIZ, J. A.; KÄSER, T.; OLIVER, N. **Enhancing Critical Thinking in Education by means of a Socratic Chatbot.** *arXiv preprint arXiv:2409.05511*, 2024.

FRIGO, L.; POZZEBON, E.; BITTENCOURT, G. **O papel dos agentes inteligentes nos sistemas tutores inteligentes.** In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, São Paulo. Anais. São Paulo: WCETE, 2004.

GIRAFFA, L.; VICCARI, R. **Estratégias de ensino em sistemas tutores inteligentes modelados através da tecnologia de agentes.** Revista Brasileira de Informática na Educação, v. 5, p. 9-18, 1999. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/23095/000101592.pdf>. Acesso em 28 dez de 2024.

GLASS, G. V.; MCGAW, B.; SMITH, M. L. **Meta-Analysis in Social Research.** New York, EUA: SAGE Publications, Inc. 1981.

GRAESSER, A. C.; PERSON, N. K. **Question asking during tutoring.** American Educational Research Journal, 31(1): p. 104-137, 1994 .

JAQUES, P. A. **Da teoria à prática em sala de aula: experiências e insights de uma pesquisadora em Inteligência Artificial aplicada à educação.** Tecnologias, sociedade e conhecimento, v. 10, n. 2, 2023.

KOEDINGER, K. R.; CORBETT, A. **Cognitive Tutors: Technology Bringing Learning Sciences to the Classroom.** In: Sawyer, Robert Keith (Ed.), The Cambridge Handbook of The Learning Sciences. 1st ed. New York, EUA: Cambridge University Press. Chapter 5, 2006.

KOLB, D. A. **Management and the learning process.** California management review, 18(3). p. 21-31, 1976.

KÖNIG, A.; THONGPULL, K. **Lab-on-spoon - a 3-D integrated hand-held multi-sensor system for low-cost food quality, safety, and processing monitoring in assisted-living systems.** Engineering, Environmental Science, 2015.

KULIK, J. A.; FLETCHER, J. D. **Effectiveness of intelligent tutoring systems: a meta-analytic review.** Review of educational research 86.1: p. 42-78, 2016.

LAMYA, A.; IKRAM, C.; MAHA, K.; MOHAMED, K. **Design of an Intelligent Tutor System for the Personalization of Learning Activities Using Case-Based Reasoning and Multi-Agent System.** International Journal of Computing and Digital Systems. p. 459-469, 2024.

LIMA JÚNIOR, A. B. de; SILVA, L. T. G. **Os sistemas tutores inteligentes e a adaptação do ensino aos perfis de aprendizagem do usuário.** ETD - Educação Temática Digital, Campinas, SP, v. 24, n. 3, p. 618-632, 2022.

MA, I.; MARTINS, A. K.; LOPES, C. V. **Integrating AI Tutors in a Programming Course.** *arXiv:2407.15718*, 2024.

PERONAGLIO, F. F.; MANACERO, A.; BALDASSIN, A. J.; SANTOS, M. S. dos; LOBATO, R. S.; SPOLON, R.; CAVENAGHI, M. A. **Adaptação automática de conteúdo aplicada em ambiente interativo com aprendizagem individualizada.** *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 31, p. 255-270, 2023.

PICHLER, E. **Metodologia de ensino/ aprendizagem de conceitos de probabilidade e estatística através de um sistema tutor inteligente.** 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

RUMELHART, D.E.; HINTON, G.E; WILLIAMS, R. J. **Learning representations by back-propagating errors.** *Nature*, 323, 533-536, 1986.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach** 4<sup>th</sup> US ed, Pearson, ISBN: 9781292401133, p. 1136, 2021.

SHIMASAKI, R.; FERNANDES, F. N.; CASTELLANI, A. M; PRADO, M. E. B. B. **Uso de Inteligência Artificial em Sistemas de Tutores Inteligentes.** *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas* 24.4, 507-512, 2023.

THOMAS, D. R.; LIN, J.; GATZ, E.; GURUNG, A.; GUPTA, S.; NORBERG, K.; FANCSALI, S. E.; ALEVEN, V.; BRANSTETTER, L.; BRUNSKILL, E.; KOEDINGER, K. R. **Improving Student Learning with Hybrid Human-AI Tutoring: A Three-Study Quasi-Experimental Investigation.** *arXiv*, 2312.11274, 2023.

TIWARI, R. **The Integration of AI and Machine Learning in Education and its Potential to Personalize and Improve Student Learning Experiences.** *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management (IJSREM)*. ISSN: 2582-3930, v. 7, n. 2, 2023.

VYGOTSKY, L. S. **Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes.** Harvard University Press, 1978.

YADAV, G.; TSENG, Y-J.; NI, X. **Contextualizing problems to student interests at scale in intelligent tutoring system using large language models.** *arXiv preprint arXiv:2306.00190*, 2023.

YANG, A. C. M.; LIN, J-Y.; LIN, C-Y.; OGATA, H. **Enhancing python learning with PyTutor: Efficacy of a ChatGPT-Based intelligent tutoring system in programming education.** *Computers and Education: Artificial Intelligence* 7: 100309, 2024.