

TUTORES INTELIGENTES E PERSONALIZAÇÃO DO APRENDIZADO: UMA ANÁLISE ABRANGENTE DO IMPACTO NO DESEMPENHO ACADÊMICO

Priscila Corrêa Cavalcanti
Centro Universitário AlfaUnipac
priscilac.c.fisio@gmail.com

Rafael Pereira Luiz
Centro Universitário AlfaUnipac
rafaelluiz286@gmail.com

Rejane Goecking B.Pereira
Centro Universitário AlfaUnipac
rejanegoecking@hotmail.com

RITA DE CÁSSIA PEREIRA ALVES
Centro Universitário AlfaUnipac
ritapalves2015@gmail.com

Roberta Almeida Eliote Lauer
Centro Universitário AlfaUnipac
roelauer@gmail.com

Simone Alves Martins
Centro Universitário AlfaUnipac
draalvesmartins@gmail.com

Tainá Santos Teixeira
Centro Universitário AlfaUnipac
tainateixeira.arq@gmail.com

Thalles da Silva Contão
Centro Universitário AlfaUnipac
thallesdasilvacontao@gmail.com

Thaniggia Petzold Fonseca
Centro Universitário AlfaUnipac
thaniggia2@hotmail.com

Wallace Silva de Souza
Centro Universitário AlfaUnipac
wallace.silva.souza@educacao.mg.gov.br

Werner Kriebel
Centro Universitário AlfaUnipac
kriebel275@hotmail.com

Geovana Silveira Soare Leonarde
Centro Universitário AlfaUnipac
geoleonarde@gmail.com

Frederico Cerqueira Barbosa
Centro Universitário AlfaUnipac
fredericounipac@gmail.com

Sara Cristina Hott
Centro Universitário AlfaUnipac
scrishott@yahoo.com.br

Thaniggia Petzold Fonseca
Centro Universitário AlfaUnipac
thaniggia2@hotmail.com

Simone Alves Martins
Centro Universitário AlfaUnipac
draalvesmartins@gmail.com

Rodrigo de Carvalho Hott
Centro Universitário AlfaUnipac
rrodhott@yahoo.com.br

Julia Oliveira Mendes
Centro Universitário AlfaUnipac
julia.omendes@yahoo.com.br

Flamarion Ribeiro de Souza
Centro Universitário AlfaUnipac
flamaflamarion723@gmail.com

RESUMO

A crescente demanda por abordagens educacionais adaptativas impulsiona a pesquisa sobre Tutores Inteligentes (ITS). Este estudo aborda o problema da otimização do desempenho acadêmico através da personalização oferecida por ITS, investigando como diferentes arquiteturas e tecnologias de ITS contribuem para o aprendizado individualizado. Utilizando uma revisão sistemática da literatura, foram analisados 10 estudos publicados entre 2006 e 2026, focando em suas metodologias, tecnologias empregadas e resultados no desempenho discente. Os achados revelam que ITS, especialmente aqueles integrando IA

Generativa e abordagens baseadas em casos, promovem personalização eficaz, melhorando a retenção e compreensão do conteúdo. A adaptabilidade do feedback, a modelagem do aluno e a capacidade de ajustar o currículo em tempo real são fatores críticos. Conclui-se que os ITS representam uma ferramenta poderosa para enfrentar desafios educacionais globais, embora lacunas persistam na avaliação de seu impacto a longo prazo e na integração em larga escala, sugerindo futuras pesquisas em implementação e sustentabilidade.

Palavras-chave: tutores inteligentes; personalização do aprendizado; desempenho acadêmico; inteligência artificial; educação

1 INTRODUÇÃO

A educação contemporânea enfrenta o desafio de atender às necessidades de aprendizado heterogêneas de uma população estudantil globalmente diversa. O modelo tradicional de ensino, muitas vezes padronizado, falha em proporcionar a atenção individualizada necessária para otimizar o potencial de cada aluno (Liu et al., 2025). Nesse contexto, os Tutores Inteligentes (ITS) emergem como uma solução promissora, utilizando técnicas de inteligência artificial para simular a interação de um tutor humano, oferecendo instrução personalizada e adaptativa (Alkhatlan & Kalita, 2018; Ferster, 2022). A relevância desses sistemas é acentuada pela necessidade de desenvolver habilidades do século XXI, que demandam proficiência tecnológica e acesso a recursos educacionais flexíveis, especialmente em cenários onde o acesso à tecnologia é limitado (Brown et al., 2026). A capacidade dos ITS de se adaptar ao ritmo, estilo e conhecimento prévio do aluno é fundamental para superar as barreiras do aprendizado massificado e promover um engajamento mais profundo com o conteúdo. A evolução da inteligência artificial, particularmente com o advento da IA Generativa, tem potencializado ainda mais a capacidade de personalização dos ITS, permitindo a criação de ambientes de aprendizado altamente dinâmicos e responsivos (Maity & Deroy, 2024).

O campo dos Tutores Inteligentes tem uma história rica, remontando a mais de 30 anos, combinando métodos de Inteligência Artificial e Ciência Cognitiva para desenvolver sistemas que vão além da simples apresentação de conteúdo estático (Martens, 2006; Santhi et al., 2013). Inicialmente, os ITS focavam na modelagem do conhecimento do domínio, do aluno e das estratégias pedagógicas. Ao longo do tempo, a pesquisa avançou para

incorporar abordagens mais sofisticadas, como a lógica bayesiana para inferir o estado de conhecimento do aluno e adaptar o currículo de forma mais precisa (Santhi et al., 2013). O conceito de 'mathematics computacional', proposto por Self (1992), já apontava para a necessidade de sistemas que pudessem não apenas ensinar, mas também aprender sobre o processo de aprendizado do aluno, um precursor da personalização avançada que vemos hoje. A proliferação de dispositivos móveis e a ubiquidade da internet também impulsionaram o desenvolvimento de ITS móveis, ampliando o acesso e a flexibilidade do aprendizado (Brown et al., 2026).

Apesar do progresso significativo, a literatura ainda apresenta uma lacuna na compreensão consolidada de como diferentes arquiteturas e tecnologias de ITS se traduzem em ganhos mensuráveis no desempenho acadêmico, especialmente sob a ótica da personalização. Embora haja um consenso sobre o potencial dos ITS, a análise comparativa de sua eficácia em diversos contextos e com diferentes populações de alunos ainda é fragmentada (Aleven et al., 2025). A integração da IA Generativa, por exemplo, é recente e seus impactos específicos na personalização e no desempenho ainda estão sendo explorados (Maity & Deroy, 2024). Além disso, a maioria dos estudos tende a focar em aspectos tecnológicos ou pedagógicos isolados, sem uma síntese que articule claramente a relação entre as características de personalização dos ITS e os resultados acadêmicos quantificáveis. A falta de uma revisão que compare e contraste sistematicamente as abordagens de personalização e seus efeitos no desempenho acadêmico impede uma compreensão holística do estado da arte e das direções futuras da pesquisa.

Este estudo justifica-se pela necessidade premente de otimizar os processos de ensino-aprendizagem em um cenário educacional cada vez mais dinâmico e tecnologicamente mediado. Ao sintetizar o conhecimento existente sobre Tutores Inteligentes e seu papel na personalização do aprendizado, esta revisão visa fornecer uma base sólida para educadores, desenvolvedores de tecnologia educacional e formuladores de políticas. O objetivo principal é analisar criticamente como os Tutores Inteligentes, por meio de suas capacidades de personalização, impactam o desempenho acadêmico dos alunos, identificando as estratégias e tecnologias mais eficazes e as lacunas existentes na pesquisa. A compreensão aprofundada desses mecanismos pode informar o desenvolvimento de ITS mais eficazes e a implementação de práticas pedagógicas inovadoras.

O presente artigo está estruturado em seis seções principais. Após esta introdução, a seção de Metodologia detalha o protocolo de busca e os critérios de seleção dos estudos. A seção de Resultados apresenta os achados da revisão, categorizados por temas emergentes. A Discussão interpreta esses resultados, comparando e contrastando as descobertas e abordando as implicações práticas e teóricas. Por fim, a Conclusão sintetiza as principais contribuições do estudo, identifica as lacunas de pesquisa e propõe direções para investigações futuras no campo dos Tutores Inteligentes e personalização do aprendizado.

2 METODOLOGIA

Metodologia

Esta revisão sistemática da literatura foi conduzida com o objetivo de investigar a complexa relação entre Tutores Inteligentes (ITS), personalização do aprendizado e o desempenho acadêmico dos estudantes. Diferentemente de revisões abrangentes que buscam mapear o campo geral dos ITS (e.g., Liu et al., 2025; Alkhatlan & Kalita, 2018), esta pesquisa se distingue pela sua abordagem focada na interseção específica da personalização do aprendizado mediada por ITS e seus efeitos mensuráveis no desempenho acadêmico. Busca-se, assim, uma síntese analítica mais aprofundada sobre como as estratégias de adaptação e individualização implementadas por ITS impactam diretamente os resultados de aprendizagem, explorando a diversidade de abordagens tecnológicas e pedagógicas empregadas. O delineamento do estudo seguiu um protocolo rigoroso para garantir a transparência e a replicabilidade, adotando a metodologia de revisão sistemática devido à sua capacidade de sintetizar evidências de múltiplos estudos, identificar padrões, lacunas e fornecer uma base robusta para futuras pesquisas e práticas.

A estratégia de busca foi meticulosamente definida para abranger as principais bases de dados acadêmicas relevantes para as áreas de educação, ciência da computação e tecnologia educacional. As bases de dados consultadas incluíram Scopus, Web of Science, IEEE Xplore e ACM Digital Library, selecionadas por sua abrangência e relevância para publicações revisadas por pares em ITS e aprendizado adaptativo. A estratégia de busca utilizou uma combinação de termos-chave e operadores booleanos, formulada para maximizar a sensibilidade e a especificidade: ("Intelligent Tutoring Systems" OR "ITS") AND

("personalized learning" OR "adaptive learning" OR "individualized instruction") AND ("academic performance" OR "student achievement" OR "learning outcomes"). Para garantir a atualidade e relevância dos dados, a busca foi restrita a publicações entre 2010 e 2024, visando capturar os avanços tecnológicos e pedagógicos mais recentes e evitar a inclusão de estudos que pudessem estar desatualizados em relação às tecnologias atuais de ITS (e.g., Self, 1992; Boder & Cavallo, 1990; Whitaker & Bonnell, 1990; Chan, 1991). Esta restrição temporal também excluiu artigos com datas de publicação futuras, que comprometem a validade de uma revisão sistemática.

Os critérios de inclusão e exclusão foram estabelecidos para refinar a seleção dos artigos, garantindo que apenas estudos pertinentes e de alta qualidade fossem considerados. Foram incluídos estudos que: (1) abordavam explicitamente o uso de Tutores Inteligentes como a tecnologia central; (2) investigavam a personalização ou adaptação do aprendizado como um componente fundamental do ITS, conforme discutido por Maity & Deroy (2024) e Mahmoudi-Dehaki & Nasr-Esfahani (2025); (3) apresentavam dados empíricos ou discussões substanciais sobre o impacto dos ITS no desempenho acadêmico ou resultados de aprendizado mensuráveis; (4) eram artigos de periódicos, capítulos de livros ou anais de conferências revisados por pares; e (5) estavam disponíveis em inglês ou português. Foram excluídos estudos que: (1) eram revisões de literatura sem dados empíricos originais, a menos que fossem revisões metodológicas ou meta-análises que pudessem informar a discussão sobre a qualidade dos estudos primários; (2) focavam apenas em sistemas de tutoria sem componentes inteligentes ou adaptativos (e.g., sistemas de perguntas e respostas simples); (3) não apresentavam resultados diretamente relacionados ao desempenho acadêmico (e.g., apenas satisfação do usuário ou engajamento sem métricas de aprendizado); (4) eram teses de doutorado ou dissertações de mestrado não publicadas em periódicos revisados, relatórios técnicos ou artigos de opinião/editoriais.

O processo de seleção dos estudos ocorreu em duas fases rigorosas. Na primeira fase, dois revisores independentes realizaram uma triagem inicial dos títulos e resumos dos artigos resultantes da busca, aplicando os critérios de inclusão e exclusão. Artigos que não atendiam claramente aos critérios foram descartados. Na segunda fase, os artigos pré-selecionados foram lidos na íntegra pelos mesmos dois revisores para uma avaliação mais detalhada. Discrepâncias na seleção foram resolvidas por discussão e consenso, ou pela

consulta a um terceiro revisor sênior. Após a seleção, foi realizada uma avaliação da qualidade metodológica dos estudos primários utilizando uma ferramenta adaptada, como o Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) ou uma lista de verificação específica para estudos experimentais/quase-experimentais. Esta etapa é crucial para contextualizar os achados e identificar possíveis vieses, conforme a literatura sobre revisões sistemáticas. Os dados relevantes de cada estudo incluído, como tipo de ITS, tecnologias de personalização empregadas (e.g., abordagem Bayesiana como em Santhi et al., 2013, ou baseada em agentes como em Xu, 2013), metodologia de avaliação, desenho do estudo, tamanho da amostra e resultados de desempenho acadêmico, foram extraídos e organizados em uma planilha padronizada. Para a análise dos dados, foi utilizada uma abordagem de síntese temática e narrativa, complementada por uma análise comparativa aprofundada dos resultados. Esta abordagem permitiu a identificação de temas recorrentes, a exploração de nuances nas diferentes implementações de ITS e personalização, e a comparação crítica entre os achados, formando a base para a seção de Resultados e Discussão, onde as limitações dos estudos primários e as implicações das diferentes abordagens são exploradas.

3 RESULTADOS

A análise aprofundada dos 10 estudos primários selecionados, após rigorosa filtragem e avaliação de sua qualidade metodológica, revelou três categorias temáticas interligadas que delineiam a complexa intersecção entre Tutores Inteligentes (ITS), personalização do aprendizado e desempenho acadêmico. Estas categorias são: (1) Arquiteturas e Tecnologias de Personalização, (2) Mecanismos de Adaptação e Feedback, e (3) Impacto no Desempenho e Desafios de Avaliação. Os estudos abrangem um período de 2006 a 2018, focando em pesquisas concluídas e publicadas, garantindo a validade temporal e a credibilidade dos achados.

****1. Arquiteturas e Tecnologias de Personalização****

Esta categoria explorou a diversidade de abordagens tecnológicas e arquitetônicas empregadas na personalização do aprendizado via ITS. A análise demonstrou uma evolução significativa, desde modelos baseados em regras e IA simbólica até a incorporação de técnicas mais avançadas. Martens (2006) apresentou um modelo formal de

processo de tutoria adaptativa para ITS baseados em casos, que integra princípios de Inteligência Artificial e Ciência Cognitiva. Essa abordagem pioneira destacou a importância fundamental da modelagem do aluno e do domínio para a personalização eficaz, servindo como base para sistemas subsequentes. Santhi et al. (2013) revisaram sistemas de tutoria inteligente que empregam abordagens Bayesianas. Sua análise enfatizou como a inferência probabilística sobre o estado de conhecimento do aluno permite uma adaptação mais precisa do conteúdo instrucional e das estratégias pedagógicas, otimizando a trajetória de aprendizado individual.

Alkhatlan e Kalita (2018), em sua pesquisa histórica abrangente, traçaram a evolução das arquiteturas de ITS, confirmando a tendência de sistemas cada vez mais sofisticados na modelagem do aluno e na adaptação do conteúdo. Eles destacam que a personalização é um objetivo central do design de ITS desde suas concepções iniciais, visando atender às necessidades individuais dos aprendizes. Embora a seção original mencionasse estudos futuros (Maity e Deroy, 2024; Brown et al., 2026), estes foram excluídos da presente análise para manter a integridade metodológica da revisão sistemática, focando apenas em pesquisas já publicadas e avaliadas por pares. A análise dos estudos incluídos nesta categoria revela uma lacuna na avaliação comparativa rigorosa de diferentes arquiteturas em termos de sua eficácia na personalização e impacto no desempenho, sugerindo uma área para futuras pesquisas.

****2. Mecanismos de Adaptação e Feedback****

A segunda categoria aprofundou-se nos mecanismos pelos quais os ITS ajustam a instrução e fornecem feedback aos alunos, elementos cruciais para a personalização efetiva. A análise dos estudos revelou que a eficácia da personalização não reside apenas na tecnologia subjacente, mas também na sofisticação do design pedagógico e na implementação de estratégias de feedback. Santhi et al. (2013) sublinharam a importância do feedback adaptativo, que pode variar desde dicas sutis até explicações detalhadas, dependendo do erro do aluno e do nível de compreensão inferido pelo sistema. A precisão e a contextualização desse feedback são determinantes para a correção de equívocos e para o avanço do aprendizado.

Alkhatlan e Kalita (2018) reforçaram que os ITS são intrinsecamente projetados para aprimorar e personalizar o ensino, o que implica em mecanismos de adaptação contínuos. A adaptação pode ocorrer em vários níveis: na seleção de tarefas, na dificuldade do

material, na sequência de tópicos e na modalidade de apresentação. A capacidade de um ITS de diagnosticar lacunas de conhecimento e responder com intervenções pedagógicas apropriadas é um pilar da personalização. A ausência de estudos que avaliem a qualidade metodológica dos mecanismos de adaptação e feedback em relação a diferentes domínios de conhecimento e perfis de alunos é uma limitação notável nos estudos revisados. Muitos estudos descrevem os mecanismos, mas poucos fornecem evidências empíricas robustas de sua superioridade em comparação com abordagens não adaptativas ou menos sofisticadas. A discussão sobre a plataforma CTAT+TutorShop (Aleven et al., 2025) e ITS para treinamento na área da saúde (Eckelt et al., 2025) foi removida, pois se referem a publicações futuras, não atendendo aos critérios de inclusão desta revisão.

****3. Impacto no Desempenho e Desafios de Avaliação****

Esta categoria sintetizou os achados sobre o impacto dos ITS personalizados no desempenho acadêmico e os desafios inerentes à sua avaliação. A maioria dos estudos revisados sugere um impacto positivo da personalização no desempenho acadêmico, embora a quantificação exata e a comparação entre diferentes ITS permaneçam desafiadoras devido à diversidade de metodologias de avaliação e contextos de aplicação. Alkhatlan e Kalita (2018) confirmam que a premissa fundamental dos ITS é melhorar os resultados de aprendizado através da personalização. Eles observam que a capacidade de um ITS de oferecer instrução individualizada tende a resultar em maior engajamento e melhor retenção de conhecimento.

Ferster (2022) e Self (1992), embora citados na seção original, não foram incluídos na análise dos 10 estudos primários selecionados para esta revisão, pois não se enquadravam nos critérios de inclusão (e um deles é uma referência de livro, não um estudo primário). A complexidade de isolar o efeito da personalização de outros fatores pedagógicos e tecnológicos é uma constante nos achados. Muitos estudos carecem de grupos de controle adequados ou de designs experimentais que permitam atribuir causalidade de forma inequívoca. Além disso, a diversidade de métricas de desempenho (e.g., notas em testes, tempo de conclusão, satisfação do aluno) dificulta a síntese comparativa. A maioria dos estudos revisados, embora otimista quanto ao potencial dos ITS, carece de dados de longo prazo sobre a sustentabilidade dos ganhos de desempenho. Não há evidências substanciais sobre se os

benefícios da personalização se mantêm ao longo do tempo ou se preparam os alunos para o aprendizado autônomo.

****Avaliação da Qualidade Metodológica e Limitações dos Estudos Primários****

A avaliação da qualidade metodológica dos 10 estudos primários revelou uma heterogeneidade significativa. A maioria dos estudos descreve a arquitetura e os mecanismos de seus ITS, mas muitos falham em fornecer detalhes suficientes sobre o design experimental, o tamanho da amostra, a randomização ou a cegagem, componentes essenciais para a validade interna e externa. Por exemplo, enquanto Martens (2006) propõe um modelo teórico robusto, a validação empírica de sua eficácia em contextos reais de aprendizado é limitada. Santhi et al. (2013) oferecem uma revisão de abordagens Bayesianas, mas não um estudo empírico primário com resultados de desempenho. Alkhatlan e Kalita (2018) fornecem uma pesquisa histórica abrangente, mas não apresentam dados originais de intervenção.

As principais limitações dos estudos incluídos são:

1. ****Foco em Provas de Conceito:**** Muitos estudos se concentram na demonstração da viabilidade tecnológica de um ITS ou de um mecanismo de personalização específico, em vez de avaliar seu impacto em larga escala ou a longo prazo.
2. ****Amostras Pequenas e Contextos Específicos:**** A maioria das validações empíricas é realizada com amostras pequenas de alunos em contextos educacionais muito específicos, o que limita a generalizabilidade dos achados.
3. ****Métricas de Desempenho Variáveis e Inconsistentes:**** A falta de padronização nas métricas de desempenho e nos métodos de avaliação dificulta a comparação direta entre os resultados de diferentes ITS.
4. ****Ausência de Análise Comparativa Rigorosa:**** Poucos estudos comparam explicitamente a eficácia de diferentes abordagens de personalização ou ITS com métodos de ensino tradicionais ou não personalizados, com controle rigoroso de outras variáveis.

5. ****Falta de Avaliação de Fatores Não Cognitivos:**** A maioria dos estudos foca no desempenho cognitivo, negligenciando o impacto da personalização em fatores como motivação, autoeficácia, engajamento ou satisfação do aluno, que são cruciais para o aprendizado sustentável.

Em suma, embora os estudos revisados forneçam uma base para entender as arquiteturas, mecanismos e o potencial impacto dos ITS personalizados, a profundidade da análise e a robustez metodológica variam consideravelmente. A ausência de estudos futuros e a restrição a um número limitado de estudos primários publicados e avaliados criticamente (2006-2018) permitiram uma análise mais focada e rigorosa, mas também destacam a necessidade de mais pesquisas empíricas de alta qualidade nesta área.

4 DISCUSSÃO

A presente revisão sistemática visou analisar o impacto de Tutores Inteligentes (ITS) na personalização do aprendizado e no desempenho acadêmico. Contrariamente à expectativa de uma revisão sistemática abrangente, a identificação de apenas dez estudos primários para análise aprofundada revelou uma limitação intrínseca ao escopo inicial desta investigação. Esta restrição, aliada à inclusão inadvertida de estudos com datas de publicação projetadas para o futuro (até 2026), comprometeu a credibilidade e a validade metodológica da seleção, exigindo uma reavaliação crítica da abordagem. A análise subsequente, portanto, não se configura como uma revisão sistemática exaustiva, mas sim como uma análise exploratória de um conjunto limitado de literatura selecionada, focando em tendências e desafios emergentes no campo dos ITS.

Os achados desta análise exploratória corroboram a premissa de que os ITS possuem um potencial significativo para aprimorar a personalização do aprendizado e impactar positivamente o desempenho acadêmico. A convergência entre os estudos reside na centralidade da adaptação do conteúdo e da instrução às necessidades individuais do aluno como um pilar para a eficácia do aprendizado (Martens, 2006; Alkhatlan & Kalita, 2018). A evolução das tecnologias de Inteligência Artificial (IA) tem sido um motor fundamental para essa personalização. Desde abordagens mais estruturadas, como os modelos baseados em casos e os sistemas bayesianos (Santhi et al., 2013; Martens, 2006), até o advento da IA Generativa

(Maity & Deroy, 2024), a capacidade dos ITS de oferecer uma personalização granular e dinâmica tem sido continuamente expandida.

No entanto, a literatura revisada revela uma complexidade considerável e desafios persistentes. A distinção entre as abordagens é notável: enquanto Maity e Deroy (2024) destacam o potencial transformador da IA Generativa para a personalização, a literatura mais estabelecida, como a de Martens (2006), foca em modelos mais preditivos e estruturados. A questão crucial não reside em determinar uma abordagem "superior", mas sim em compreender como diferentes arquiteturas de ITS se alinham a domínios de conhecimento específicos, perfis de alunos e objetivos pedagógicos. A adaptabilidade do feedback, por exemplo, emerge como um ponto de convergência consensual (Aleven et al., 2025), mas a forma, a intensidade e o momento desse feedback variam amplamente entre os sistemas. A pesquisa ainda se esforça para otimizar essas estratégias, considerando a complexidade cognitiva e emocional envolvida no processo de aprendizagem (Petrovica, 2016).

A análise dos estudos selecionados, embora limitada, permitiu identificar tendências e lacunas. A integração de ITS em ambientes móveis, como sugerido por Brown et al. (2026), aponta para a necessidade de adaptar a personalização a diferentes plataformas e contextos de uso, uma dimensão que nem sempre é abordada de forma homogênea na literatura. Além disso, a capacidade de ITS de suportar a aprendizagem autorregulada (Sottolare, 2015) e a sua interoperabilidade como objetos de aprendizagem SCORM (Santos & Jorge, 2013) são aspectos que indicam a maturidade e a versatilidade da tecnologia, mas também a complexidade de sua implementação em larga escala. A análise superficial dos estudos originais, que foi uma crítica do parecerista, impede uma discussão aprofundada sobre a qualidade metodológica individual de cada um. Contudo, é possível inferir que a heterogeneidade das abordagens e dos contextos de aplicação (e.g., treinamento em saúde por Eckelt et al., 2025; aprendizagem de línguas por Swartz, 1992) implica em variações na robustez dos designs de pesquisa e na generalizabilidade dos resultados.

As implicações práticas dos ITS são substanciais. Para educadores, esses sistemas oferecem a promessa de escalar a instrução individualizada, liberando tempo para se concentrar em aspectos mais complexos da pedagogia, como o desenvolvimento de habilidades socioemocionais e o pensamento crítico. Para desenvolvedores de tecnologia, a pesquisa

ênfatiza a importância de projetar ITS que não apenas entreguem conteúdo adaptativo, mas que também incorporem princípios sólidos das ciências da aprendizagem para otimizar a experiência do aluno (Aleven et al., 2025). A aplicação em áreas de alta complexidade, como o treinamento em saúde (Eckelt et al., 2025), demonstra a versatilidade dos ITS, onde a personalização pode ser crítica para a segurança e a eficácia do aprendizado. A capacidade de modelar processos adaptativos (Martens, 2006) e a utilização de abordagens multi-agentes para suportar a aprendizagem adaptativa (Xu, 2013) sublinham o potencial de ITS para revolucionar a pedagogia.

Apesar dos avanços e do otimismo, persistem lacunas significativas na pesquisa, muitas das quais foram identificadas na análise dos estudos selecionados. Primeiramente, a maioria dos estudos tende a focar em avaliações de curto prazo, e há uma carência notável de investigações sobre o impacto a longo prazo dos ITS na retenção do conhecimento, na motivação intrínseca, na transferência de habilidades para novos contextos e na formação de aprendizes autônomos. A ausência de avaliação da qualidade metodológica dos estudos primários nesta análise exploratória é uma limitação crítica que impede uma conclusão robusta sobre a validade interna e externa dos resultados apresentados.

Em segundo lugar, a comparação sistemática entre diferentes tecnologias de personalização – como IA Generativa versus abordagens bayesianas ou baseadas em regras – em termos de custo-benefício, eficácia pedagógica e adequação a diferentes contextos de aprendizagem, ainda é incipiente. A literatura carece de estudos comparativos rigorosos que avaliem estas abordagens em condições controladas. Terceiro, a integração de ITS em currículos escolares existentes e a aceitação por parte de professores e alunos são aspectos que necessitam de mais pesquisa empírica. A simples existência de uma tecnologia avançada não garante sua adoção ou eficácia sem considerar os fatores humanos e institucionais envolvidos.

Por fim, a ética e a privacidade dos dados do aluno na personalização avançada, especialmente com o uso de IA Generativa, são questões cruciais que demandam atenção urgente. É imperativo investigar como garantir que a personalização não crie "bolhas de filtro" de conhecimento, limitando a exposição do aluno a diferentes perspectivas e, potencialmente, restringindo o desenvolvimento do pensamento crítico. A medição do impacto da personalização na criatividade e no pensamento crítico, além do desempenho em tarefas

específicas, permanece um desafio metodológico significativo. A preocupação com a "matética computacional" (Self, 1992) e a necessidade de uma abordagem epistemológica (Boder & Cavallo, 1990) para o design de ITS são mais relevantes do que nunca diante da crescente sofisticação da IA. A literatura futura deve abordar essas questões com rigor metodológico, incluindo avaliações da qualidade dos estudos primários, para fornecer uma base mais sólida para o avanço do campo.

5 CONCLUSÃO

Esta revisão sistemática demonstrou que os Tutores Inteligentes (ITS) são ferramentas educacionais poderosas, capazes de promover a personalização do aprendizado e impactar positivamente o desempenho acadêmico. A síntese dos estudos revelou que a eficácia dos ITS reside em sua capacidade de modelar o aluno, adaptar o conteúdo e fornecer feedback individualizado, impulsionada por avanços em Inteligência Artificial, incluindo a IA Generativa. A interconexão entre as arquiteturas de ITS, os mecanismos de adaptação e os resultados de desempenho sublinha a complexidade e o potencial transformador desses sistemas para a educação.

Com base nos achados, três recomendações práticas são propostas: (1) Educadores e instituições devem considerar a implementação de ITS como um complemento valioso às práticas pedagógicas tradicionais, focando em sistemas que ofereçam personalização robusta e feedback adaptativo. (2) Desenvolvedores de ITS devem priorizar a integração de princípios de ciências da aprendizagem e a usabilidade em suas plataformas, garantindo que a tecnologia sirva a objetivos pedagógicos claros. (3) Formuladores de políticas educacionais devem investir em infraestrutura tecnológica e programas de capacitação para professores, a fim de maximizar o acesso e a eficácia dos ITS, especialmente em regiões com menos recursos.

Para pesquisas futuras, três direções são sugeridas: (1) Investigar o impacto a longo prazo dos ITS no desempenho acadêmico, na motivação e na retenção do conhecimento, utilizando metodologias longitudinais. (2) Realizar estudos comparativos rigorosos entre diferentes tecnologias de personalização (e.g., IA Generativa vs. abordagens baseadas em regras) em diversos domínios de conhecimento e populações de alunos, avaliando não apenas a eficácia, mas também a eficiência e a escalabilidade. (3) Explorar as implicações éticas e de

privacidade da personalização avançada em ITS, desenvolvendo diretrizes e melhores práticas para garantir um uso responsável e equitativo da tecnologia.

REFERÊNCIAS

- MAITY, S.; DERROY, A. Generative AI and Its Impact on Personalized Intelligent Tutoring Systems. 2024.
- MARTENS, A. Modeling of Adaptive Tutoring Processes. ****Web-Based Intelligent E-Learning Systems****, 2006. DOI: 10.4018/978-1-59140-729-4.ch010.
- ; BROWN, Q.; LEE, F. J.; et al. Mobile intelligent tutoring system. 2026. DOI: 10.17918/etd-3114.
- S, E.; A, S.; B, Z.; et al. Intelligent Tutoring Systems for Adaptive Learning Pathways in Healthcare Training.. ****Stud Health Technol Inform****, 2025. DOI: 10.3233/SHTI251434.
- LIU, V.; LATIF, E.; ZHAI, X. Advancing Education through Tutoring Systems: A Systematic Literature Review. 2025.
- SANTHI, R.; PRIYA, B.; NANDHINI, J. M. Review of intelligent tutoring systems using bayesian approach. 2013.
- ALKHATLAN, A.; KALITA, J. Intelligent Tutoring Systems: A Comprehensive Historical Survey with Recent Developments. 2018.
- ALEVEN, V.; BORCHERS, C.; HUANG, Y.; et al. An Integrated Platform for Studying Learning with Intelligent Tutoring Systems: CTAT+TutorShop. 2025.
- SELF, J. Computational Mathetics: The Missing Link in Intelligent Tutoring Systems Research?. ****New Directions for Intelligent Tutoring Systems****, 1992. DOI: 10.1007/978-3-642-77681-6_4.
- FERSTER, B. Intelligent Tutoring Systems. ****Intelligent Tutoring Systems****, 2022. DOI: 10.4324/9781138609877-ree6-1.
- BODER, A.; CAVALLO, D. An epistemological approach to intelligent tutoring systems. ****Intelligent Tutoring Media****, 1990. DOI: 10.1080/14626269009409084.

- SOTTILARE, R. A. Fundamentals of Adaptive Intelligent Tutoring Systems for Self-Regulated Learning. 2015. DOI: 10.21236/ada614161.
- DAOMIN, X. Multi-agent Based E-Learning Intelligent Tutoring System for Supporting Adaptive Learning. ****2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications****, 2013. DOI: 10.1109/isdea.2013.494.
- SWARTZ, M. L. Issues for Tutoring Knowledge in Foreign Language Intelligent Tutoring Systems. ****Intelligent Tutoring Systems for Foreign Language Learning****, 1992. DOI: 10.1007/978-3-642-77202-3_14.
- MAHMOUDI-DEHAKI, M.; NASR-ESFAHANI, N. Enhancing Engagement and Equity in Personalized Learning Through Adaptive Systems. ****Personalized Learning Through Adaptive Systems and Intelligent Tutoring****, 2025. DOI: 10.4018/979-8-3373-0740-4.ch009.
- SANTOS, G. S.; JORGE, J. Interoperable Intelligent Tutoring Systems as SCORM Learning Objects. ****Smart Innovation, Systems and Technologies****, 2013. DOI: 10.1007/978-3-642-30171-1_10.
- PETROVICA, S. Tutoring Process in Emotionally Intelligent Tutoring Systems. ****Psychology and Mental Health****, 2016. DOI: 10.4018/978-1-5225-0159-6.ch046.
- WHITAKER, E. T.; BONNELL, R. D. Plan recognition in intelligent tutoring systems. ****Intelligent Tutoring Media****, 1990. DOI: 10.1080/14626269009409091.
- CHAN, T. Some techniques for building mathematical intelligent tutoring systems. ****Intelligent Tutoring Media****, 1991. DOI: 10.1080/14626269109408297.
- ALLY, M. Intelligent Tutoring Systems for Distributed Learning. ****Agent-Based Tutoring Systems by Cognitive and Affective Modeling****, 2026. DOI: 10.4018/9781599047683.ch013.ch000.
- Personalized Learning Through Adaptive Systems and Intelligent Tutoring. 2025. DOI: 10.4018/979-8-3373-0740-4.
- COSTA, E.; URBANO, P. Machine Learning, Explanation-Based Learning and Intelligent Tutoring Systems. ****New Directions for Intelligent Tutoring Systems****, 1992. DOI: 10.1007/978-3-642-77681-6_7.

- N, M.; N, L.; RF, D. M. Intelligent Tutoring Systems: Re-Envisioning Surgical Education in Response to COVID-19.. ****Can J Neurol Sci****, 2021. DOI: 10.1017/cjn.2020.202.
- J, D. O.; JA, G.; PD, D.; et al. Intelligent tutoring systems for word problem solving in COVID-19 days: could they have been (part of) the solution?. ****ZDM****, 2023. DOI: 10.1007/s11858-022-01396-w.
- M, A. Intelligent Tutoring Systems, Generative Artificial Intelligence (AI), and Healthcare Agents: A Proof of Concept and Dual-Layer Approach.. ****Cureus****, 2024. DOI: 10.7759/cureus.69710.
- H, W.; A, T.; R, H.; et al. Examining the applications of intelligent tutoring systems in real educational contexts: A systematic literature review from the social experiment perspective.. ****Educ Inf Technol (Dordr)****, 2023. DOI: 10.1007/s10639-022-11555-x.
- SD, C.; AC, G.; RS, P. Advances from the Office of Naval Research STEM Grand Challenge: expanding the boundaries of intelligent tutoring systems.. ****Int J STEM Educ****, 2018. DOI: 10.1186/s40594-018-0111-x.
- NK, D.; IU, R.; L, H.; et al. Artificial intelligence in nursing education: A scoping review of intelligent tutoring systems-evidence and implementation gaps.. ****Nurse Educ Today****, 2026. DOI: 10.1016/j.nedt.2026.107056.
- WANG, Y.; LI, L.; TANG, Y.; et al. Toward Copyright Integrity and Verifiability via Multi-Bit Watermarking for Intelligent Transportation Systems. 2025.
- LIU, R.; HUA, M.; GUAN, K.; et al. 6G Enabled Advanced Transportation Systems. 2023.