



Tecnologia Educacional na era da IA: explorando a aplicação de Sistemas Tutores Inteligentes nas diferentes áreas do saber

Anderson Soares Furtado Oliveira (ICCM/USP)¹

Seiji Isotani (Harvard Graduate School of Education, Harvard University)²

Ig Ibert Bittencourt (Harvard Graduate School of Education, Harvard University)³

Resumo

Este artigo apresenta um mapeamento sistemático de literatura (MSL) que classifica os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) por áreas de conhecimento, com o objetivo de compreender sua distribuição e aplicação entre 1956 e 2023. Dos 907 casos de aplicações de STI mapeadas, 80% estão concentrados em seis áreas: Matemática, Letras, Ciência da Computação, Medicina, Engenharia Elétrica e Física. Por outro lado, é preocupante observar que 26 áreas de conhecimento não apresentaram qualquer registro de aplicações de STI. Essa ausência sugere uma lacuna de pesquisa e aplicação em uma ampla gama de disciplinas. A análise das publicações mais citadas nas principais áreas de conhecimento revelou obras-chave que influenciaram o campo. As implicações práticas incluem oportunidades para melhorar o aprendizado e o treinamento em diversas disciplinas.

Palavras-chave: Sistemas Tutores Inteligentes (STI); Mapeamento Sistemático da Literatura - SLM; Relatório de Monitorização Global da Educação – GEM.

Abstract

This article presents a systematic literature mapping (SLM) that classifies Intelligent Tutoring Systems (ITS) by areas of knowledge, with the aim of understanding their distribution and application between 1956 and 2023. Of the 907 cases of ITS applications mapped, 80% are concentrated in six areas: Mathematics, Literature, Computer Science, Medicine, Electrical Engineering and Physics. On the other hand, it is worrying to note that 26 areas of knowledge did not present any records of ITS applications. This absence suggests a research and application gap in a wide range of disciplines. Analysis of the most cited publications in the main areas of knowledge revealed key works that have influenced the field. The practical implications include opportunities to improve learning and training in various disciplines.

Keywords: Intelligent Tutor Systems (ITS); Systematic Literature Mapping - SLM; Global Education Monitoring Report – GEM.

¹ Contato: anderson12@live.com

² Contato: sisotani@icmc.usp.br

³ Contato: ig.ibert@gmail.com

1. Introdução

No cenário atual da educação, onde a tecnologia desempenha um papel cada vez mais proeminente, os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) emergem como uma ferramenta crucial para melhorar a eficácia do aprendizado. Esta investigação tem como objetivo classificar os Sistemas Tutores Inteligentes com base em suas áreas de conhecimento específicas. Ao longo das décadas, o desenvolvimento e a implementação de STI têm evoluído significativamente, abrangendo uma ampla gama de domínios de aprendizado, desde ciências exatas até humanidades.

O Relatório de Monitoramento Global da Educação (do inglês *Global Education Monitoring Report 2023 - GEM*) 2023 da UNESCO, intitulado "Tecnologia na educação: uma ferramenta ao serviço de quem?", destaca a importância crescente da tecnologia na educação e a necessidade de compreender seu papel na resolução de desafios educacionais. Nesse contexto, a classificação dos Sistemas Tutores Inteligentes ganha relevância, pois oferece uma abordagem sistemática para entender como essas tecnologias podem atender a diferentes necessidades em diversas áreas do conhecimento (UNESCO, 2023).

O relatório GEM também indica que o uso das Tecnologias Educacionais tem o potencial de melhorar o aprendizado dos alunos, mas que é importante que os professores e os administradores educacionais sejam bem treinados no uso das Tecnologias Educacionais de forma eficaz. O relatório recomenda que os governos e as organizações internacionais forneçam apoio aos países para que eles possam desenvolver políticas e estratégias para o uso eficaz das Tecnologias Educacionais (TE). Contudo, assevera que as decisões sobre tecnologia educacional têm de ser baseadas em evidências revisadas por pares e avaliações independentes antes de adotar tecnologias educacionais (UNESCO, 2023).

Ao contextualizar esse estudo, é crucial considerar a vasta gama de tecnologias educacionais disponíveis hoje. Os STI, como um subconjunto significativo desse ecossistema, mostraram-se cruciais para a personalização da aprendizagem e o aprimoramento da experiência educacional. No entanto, à medida que a tecnologia evolui e novas áreas de conhecimento surgem, a pesquisa atual sobre STI muitas vezes não reflete adequadamente as diferentes aplicações e enfoques disciplinares.

Os STI têm sido usados em uma variedade de contextos educacionais, incluindo escolas, universidades e treinamento corporativo. Estudos têm mostrado que os STI podem ser eficazes para melhorar o desempenho dos alunos em uma variedade de disciplinas, incluindo matemática, ciências, língua estrangeira e informática.

No Brasil, a presente pesquisa foi realizada em um contexto de crescente interesse pela educação digital. A Lei nº 14.533/2023 (Brasil, 2023), sancionada em 11 de janeiro de 2023, instituiu a Política Nacional de Educação Digital (PNED), com o objetivo de promover competências digitais para a população brasileira, com prioridade para as populações mais vulneráveis. A PNED é composta por quatro eixos principais: inclusão digital, educação digital escolar, capacitação e especialização digital e pesquisa e desenvolvimento em Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

O eixo Educação Digital Escolar da PNED tem como objetivo garantir a inserção da educação digital nos ambientes escolares, em todos os níveis e modalidades, a partir do estímulo ao letramento digital e informacional e à aprendizagem de computação, de programação, de robótica e de outras competências digitais.

Um dos recursos que podem ser utilizados para promover a educação digital escolar são os sistemas de tutoria inteligente (STI). Os STI são sistemas computacionais que fornecem aos alunos um ambiente de aprendizagem personalizado e envolvente, que pode ajudá-los a desenvolver as competências digitais necessárias para o século XXI.

No contexto da PNED, os STI podem desempenhar um papel importante na promoção da educação digital escolar. Os resultados desta pesquisa podem ajudar os pesquisadores e profissionais da educação a identificar a existência ou não de evidências da aplicação de STI em campos específicos do saber, o que pode facilitar a sua seleção e implementação em contextos educacionais.

Além disso, esta pesquisa pode contribuir para o cumprimento da estratégia prioritária da PNED de promover a formação continuada de gestores e profissionais da educação em tecnologias digitais. Os resultados desta pesquisa podem ser utilizados para desenvolver cursos e materiais de formação que abordem o uso de STI em contextos educacionais.

O artigo 3º da PNED estabelece que o eixo Educação Digital Escolar tem como objetivo garantir a inserção da educação digital nos ambientes escolares, em todos os níveis e modalidades, a partir do estímulo ao letramento digital e informacional e à aprendizagem de computação, de programação, de robótica e de outras competências digitais. O § 1º do artigo 3º enumera as estratégias prioritárias do eixo Educação Digital Escolar, incluindo a promoção de tecnologias digitais como ferramenta e conteúdo programático dos cursos de formação continuada de gestores e profissionais da educação de todos os níveis e modalidades de ensino.

Em particular, o artigo 5º da PNED estabelece que o eixo Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias da Informação e Comunicação tem como objetivo

desenvolver e promover TICs acessíveis e inclusivas. O § 1º do artigo 5º enumera as estratégias prioritárias do eixo Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias da Informação e Comunicação, incluindo a implementação de um programa nacional de incentivo a atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação voltadas para o desenvolvimento de TICs acessíveis e inclusivas, com soluções de baixo custo.

A pesquisa sobre a classificação de STI pode contribuir para o cumprimento dessa estratégia, fornecendo informações sobre o desenvolvimento e uso de STI acessíveis e inclusivas. Os resultados da pesquisa podem ajudar os pesquisadores e profissionais da educação a desenvolver e implementar STI que sejam adequados para alunos de diferentes origens e habilidades.

Este artigo apresenta uma nova classificação dos STI, baseada em campos de conhecimento. Esta classificação é baseada em uma revisão da literatura sobre STI e é projetada para ajudar os pesquisadores e desenvolvedores a entender melhor as diferentes características dos STI e a identificar os STI mais adequados para diferentes contextos educacionais.

A investigação foi motivada pela necessidade de melhor compreender como os STI são aplicados em diferentes domínios educacionais e disciplinas, buscando identificar padrões e tendências que possam influenciar a forma como essas tecnologias são desenvolvidas, implementadas e utilizadas. Com o rápido avanço da IA e a crescente diversidade de aplicações educacionais, entender como os STI são classificados em áreas de conhecimento específicas pode oferecer evidências para orientar estratégias pedagógicas, decisões de desenvolvimento de STI e formulação de políticas educacionais. Portanto, este estudo tem como objetivo contribuir para a discussão sobre como a STI pode ser melhor integrada na educação, levando em consideração as nuances e particularidades de diferentes campos de conhecimento.

O estudo parte da premissa de que, apesar do crescente interesse em STI, ainda existem lacunas em nossa compreensão abrangente sobre como esses sistemas são aplicados em diversas áreas do conhecimento. No início da investigação, reconheceu-se que havia uma carência de estudos que agrupassem e classificassem os STI em categorias específicas, levando em consideração os diferentes campos de aplicação e suas particularidades. A motivação por trás deste estudo reside em oferecer uma visão ampla das implicações e benefícios dos STI em áreas específicas, compreender os avanços tecnológicos nos STI, auxiliando a direcionar pesquisas futuras e promover a adoção eficaz dessas tecnologias.

Esta pesquisa busca preencher uma lacuna no entendimento da distribuição e aplicação dos STI em diferentes campos acadêmicos, além de contribuir para o avanço do conhecimento sobre como esses sistemas podem ser adaptados de forma mais eficaz às necessidades específicas de aprendizado em cada área. Ao conectar a investigação atual com a literatura pertinente, é possível identificar quais avanços foram realizados até o momento e qual é a contribuição original deste estudo. Esta investigação busca lançar luz sobre essas nuances, abordando a seguinte questão central: Quais são áreas de conhecimento específicas em que são aplicados os Sistemas Tutores Inteligentes?

A hipótese de pesquisa subjacente é que a análise das áreas de conhecimento em que os STI são aplicados proporcionará uma visão mais abrangente das tendências e lacunas no uso dessas tecnologias, permitindo atender às necessidades individuais de cada campo e direcionar esforços para otimizar sua aplicação e impacto na educação. O objetivo deste artigo é fornecer uma análise sólida e fundamentada sobre a classificação dos Sistemas Tutores Inteligentes em áreas de conhecimento específicas, destacando a importância dessa categorização para o avanço das tecnologias educacionais. A investigação apresentada aqui não apenas preenche uma lacuna na literatura, mas também busca lançar luz sobre o potencial inexplorado dos STI em diferentes domínios, guiando pesquisas futuras e contribuindo para a melhoria contínua da educação mediada por tecnologia.

A análise a respeito dos Sistemas Tutores Inteligentes está organizada da seguinte forma: As questões de pesquisas foram relacionadas nesta seção, introdução, conforme pode se observar acima. Na seção 2, estão descritos os métodos e fontes de dados usados para responder às questões de pesquisa. Os resultados obtidos na análise bibliométrica são apresentados na seção 3. Na seção 4, fez-se a interpretação e os comentários sobre o significado dos resultados. Por fim, as generalizações, implicações, trabalhos futuros e recomendações são apresentadas na seção 5.

2. Metodologia

Nesta seção, apresentamos o método utilizado para realizar o mapeamento sistemática de literatura (MSL) com o objetivo de classificar os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) por áreas de conhecimento. A abordagem de MSL foi escolhida por ser amplamente reconhecida para identificar e classificar quais evidências estão disponíveis em um campo de pesquisa específico, com o intuito de mapear tendências, gaps e áreas de interesse (Kitchenham, Charters *et al.*, 2007).

2.1. Delineamento de pesquisa

O MSL adotado neste estudo segue um processo rigoroso e estruturado, envolvendo várias etapas sequenciais para garantir a abrangência, a objetividade e a replicabilidade. As etapas incluem a formulação das questões de pesquisa, a definição da estratégia de busca, a definição dos critérios de inclusão e exclusão, a busca e seleção dos estudos, a extração e análise dos dados, e a apresentação dos resultados.

O objetivo do Mapeamento sistemático de literatura é fornecer uma visão geral de uma área de pesquisa por meio de classificação e contagem das contribuições em relação às categorias dessa classificação. Envolve a busca na literatura para identificar quais tópicos foram abordados e onde a literatura foi publicada (Petersen; Vakkalanka; Kuzniarz, 2015).

Autores como Kitchenham, Charters *et al.* (2007) têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de diretrizes e procedimentos para a condução de RSL na área de Ciência da Computação. As abordagens metodológicas propostas por esses autores são amplamente adotadas para garantir a qualidade e a confiabilidade dos resultados obtidos por meio do MSL.

Conforme as orientações de Kitchenham e Charters *et al.* (2007) e Petersen, Vakkalanka e Kuzniarz (2015), seguem as etapas do método empregado:

1. Definição de Objetivos: Especificou-se se o estudo é um mapeamento da literatura, com o objetivo de explorar a extensão da pesquisa existente e identificar possíveis lacunas no conhecimento.
2. Critérios de Inclusão e Exclusão: Estabeleceu-se os critérios claros para determinar quais estudos seriam considerados relevantes, baseando-nos em fatores como relevância temática, qualidade metodológica e abordagem de pesquisa.
3. Estratégia de Busca: Desenvolveu-se uma estratégia de busca detalhada, utilizando uma combinação de palavras-chave pertinentes em base de dados acadêmico que atendeu os critérios de seleção da fonte, para garantir uma coleta de dados abrangente e precisa.
4. Seleção de Estudos: Implementou-se um processo de triagem e avaliação rigoroso para selecionar estudos que atendessem aos critérios estabelecidos, garantindo a inclusão de pesquisas relevantes e de alta qualidade.
5. Extração de Dados e Análise: Detalhou-se como os dados foram extraídos dos estudos selecionados, incluindo qualquer técnica de análise utilizada para sintetizar as informações coletadas de forma objetiva e informativa.
6. Apresentação dos Resultados: Os resultados foram apresentados utilizando diagramas, tabelas e listas para facilitar a visualização e compreensão das tendências, padrões e

conclusões derivadas da análise.

A adoção desse método estruturado e sistemático assegura a rigorosidade e a confiabilidade dos resultados obtidos em nosso estudo. Cada etapa, desde a definição dos objetivos até a apresentação dos resultados, foi planejada e executada com o intuito de proporcionar uma análise abrangente e detalhada do tema em questão.

2.2. Formulação das Questões de Pesquisa

O objetivo deste estudo de mapeamento, seguindo as orientações de Kitchenham e Charters *et al.* (2007) e Petersen, Vakkalanka e Kuzniarz (2015), é identificar as principais evidências de aplicação de Sistemas Tutores Inteligentes por áreas de conhecimento específicas. Para isso, foram formuladas as seguintes questões de pesquisa:

- QP1. Qual é a distribuição das aplicações de Sistemas Tutores Inteligentes por campo de conhecimento?
- QP2. Quais são as lacunas de pesquisas nas áreas de conhecimento sobre Sistemas Tutores Inteligente?
- QP3. Quais são as publicações sobre STI mais citadas nas principais áreas de conhecimento?

Em seguida, é apresentado o protocolo de pesquisa proposto pelos autores Petersen, Vakkalanka e Kuzniarz (2015) que visa identificar palavras-chave e formular strings de pesquisa a partir de questões de pesquisa.

2.3. Estratégia de busca

Para a identificação abrangente e sistemática dos estudos relevantes relacionados à classificação de Sistemas Tutores Inteligentes (STI) conforme preconizado por Kitchenham e Charters (2007) e Petersen, Vakkalanka e Kuzniarz (2015), foram adotados procedimentos específicos.

Esses são critérios considerados na seleção da base de dados para uma pesquisa, a fim de garantir que os resultados sejam confiáveis, atualizados e disponíveis para análise.

- SL1. Cobertura: Avaliar o número de conferências, periódicos, livros indexados e o tipo de áreas abrangidas.
- SL2. Atualização de conteúdo: as publicações indexadas na base de dados devem ser atualizadas regularmente.
- SL3. Disponibilidade: O texto completo deve estar disponível.
- SL4. Versatilidade para exportação dos resultados: Grande volume de resultados retornados pelas bases é importante que os mesmos sejam exportados de forma automatizada.

- SL5. Qualidade dos resultados: Precisão dos resultados retornados pelas bases.
- SL6. Usabilidade: A máquina de busca deve ser fácil de entender e operar, incluindo uma interface amigável, ajuda ao usuário e interação com outras aplicações de análise.

O SL1 garante que a base de dados cubra adequadamente as áreas relevantes para a pesquisa, enquanto o SL2 garante que as publicações indexadas estejam atualizadas. O SL3 garante que o texto completo dos artigos esteja disponível para análise. O SL4 garante que a base de dados permita a exportação automatizada de resultados, facilitando a análise dos mesmos. O SL5 garante que os resultados retornados sejam precisos e relevantes para a pesquisa em questão, e o SL6 garante que a interface da base de dados seja fácil de usar e permita a interação com outras ferramentas de análise.

A seleção das fontes de busca foi direcionada para garantir uma cobertura representativa das publicações relevantes na área de classificação de STI. As fontes de busca selecionadas incluíram a base de dados Scopus, que abrange uma ampla variedade de conferências, periódicos e livros em diversas áreas de conhecimento relacionadas a Sistemas Tutores Inteligentes. A seleção de fontes após avaliação incluiu a verificação da atualização frequente do conteúdo, a disponibilidade de texto completo e a capacidade de exportação automatizada dos resultados. A usabilidade e a qualidade dos resultados foram consideradas, garantindo que a máquina de busca fosse de fácil operação e retornasse resultados precisos e relevantes.

A decisão de selecionar exclusivamente a base de dados Scopus para a pesquisa sobre Sistemas Tutores Inteligentes (STI) foi fundamentada em uma análise comparativa detalhada das características e funcionalidades oferecidas pelas principais bases de dados acadêmicas, incluindo a Web of Science e outras. Diversos estudos têm explorado as vantagens e limitações dessas bases de dados, proporcionando uma base sólida para uma escolha informada e estratégica. Segue o resultado da análise da aplicação dos critérios de seleção da base de dados para a pesquisa:

1. Cobertura e Interdisciplinaridade: A Scopus é reconhecida por sua ampla cobertura interdisciplinar, englobando uma vasta gama de áreas do conhecimento. Isso é particularmente relevante para a pesquisa em STI, que por natureza é uma área altamente interdisciplinar. Baas *et al.* (2020) destacam a curadoria rigorosa e a cobertura global da Scopus, incluindo periódicos, conferências e livros, o que a torna uma base de dados abrangente para estudos bibliométricos.
2. Atualização de Conteúdo e Acesso a Publicações Recentes: A Scopus oferece atualizações regulares e acesso a publicações recentes, uma característica crucial para pesquisas em campos de rápido desenvolvimento como os STI. De acordo com a análise

de Baas *et al.* (2020), a Scopus assegura que apenas dados de alta qualidade sejam indexados, através de processos contínuos de qualidade e reavaliação.

3. Funcionalidades de Exportação e Análise de Dados: A capacidade de exportar dados de forma eficiente e integrar com ferramentas de análise bibliométrica faz da Scopus uma escolha preferencial para pesquisadores que realizam análises complexas. A versatilidade da Scopus em exportação de dados é destacada como um recurso valioso para pesquisas bibliométricas, permitindo análises mais profundas e abrangentes.

A escolha de não utilizar a Web of Science ou outras bases de dados foi influenciada pelas diferenças na cobertura de áreas interdisciplinares, na frequência de atualização do conteúdo e na facilidade de exportação de dados. Pesquisas destacam a Scopus por sua abordagem inclusiva e precisão dos links das citações, evidenciando sua capacidade de abarcar um leque diversificado de disciplinas científicas, aspecto fundamental para estudos em campos interdisciplinares como os Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Estudos de Visser, van Eck e Waltman (2020) junto com Archambault e Larivière (2009) sugerem que a Scopus proporciona uma cobertura extensa particularmente em áreas interdisciplinares, evidenciando sua relevância para pesquisas que transpõem fronteiras disciplinares. Isso se deve, em parte, à inclusão de uma gama mais diversificada de fontes e à sua capacidade de capturar uma quantidade significativa de publicações em vários idiomas e formatos (De Granda-Orive; Alonso-Arroyo; Roig-Vázquez, 2011).

Além disso, a decisão de focar em uma única base de dados busca evitar a duplicação de esforços e a complexidade adicional na harmonização de dados de múltiplas fontes. A escolha da Scopus, portanto, reflete uma estratégia direcionada para maximizar a eficiência e a abrangência da pesquisa, baseando-se nas características únicas desta base de dados que a tornam particularmente adequada para o estudo proposto.

Para a identificação das fontes, foi utilizado um método de pesquisa baseado em busca automática. A string de busca empregada para análise bibliométrica relacionada ao construto "sistemas tutores inteligentes" incluiu os descritores: "*intelligent tutoring system*" OR "*sistema tutor inteligente*" OR "*tutoring system*" OR "*intelligent tutoring*" OR "*intelligent tutoring system*" OR "*intelligent tutors*". Além disso, foram definidos os anos das publicações e o tipo de produção como "artigos científicos", utilizando as opções "*Limit pubyear*" e "*Limit doctype*" disponíveis na interface da base de dados Scopus.

Cada fonte candidata identificada passou por uma avaliação criteriosa de acordo com os critérios previamente estabelecidos. As fontes que atenderam aos requisitos estabelecidos foram incluídas na lista final de fontes selecionadas para a realização do mapeamento.

Para garantir a abrangência da busca e identificar estudos adicionais relevantes, foi realizada a checagem das referências dos estudos incluídos na lista final. Especialista na área avaliou os itens da lista, onde 25 artigos foram removidos em razão de não estarem relacionados ao construto Sistemas Tutores Inteligentes.

Dessa forma, a estratégia de busca adotada baseou-se nas orientações de Kitchenham e Charters (2007), Keele (2007) e Petersen, Vakkalanka e Kuzniarz (2015), visando garantir a identificação abrangente e precisa dos estudos relevantes para a realização do mapeamento sistemático de literatura sobre a classificação de Sistemas Tutores Inteligentes por área de conhecimento.

Este estudo foi efetuado em 2023, tendo sido considerados durante a pesquisa os anos de 2023 e anteriores. Como resultado do levantamento na base de dados Scopus, foram apresentados 24711 trabalhos.

2.4. Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram definidos critérios rigorosos para a inclusão e exclusão dos estudos na análise baseados nos títulos, resumo e palavras-chave. Excluíram-se os artigos com base nos títulos e resumos, bem como na leitura do texto completo e avaliação da qualidade.

Os seguintes critérios de inclusão foram aplicados aos títulos, resumos e palavras-chave:

- CI1. Estudos publicados em periódicos científicos revisados por pares;
- CI2. Estudos que abordem sobre Sistemas Tutores Inteligentes;
- CI3. Estudos em inglês;
- CI4. Estudos publicados entre 1956 e 2023.

Os seguintes critérios indicam quando um estudo foi excluído:

- CE1. Obras de conferências ou editorial.
- CE2. Material não revisto por pares.
- CE3. Não apresentados em inglês.
- CE4. Não acessíveis em texto integral.
- CE5. Duplicados.
- CE6. Não relacionados ao tema, ou com foco em outras áreas de pesquisa foram excluídos.
- CE7. Não evidenciasse o campo de aplicação do STI.

A decisão criteriosa de incluir apenas estudos em inglês em nossa revisão sistemática sobre Sistemas Tutores Inteligentes (ITS) fundamenta-se em múltiplas razões

estratégicas e práticas, respaldadas amplamente pela literatura científica. Primeiramente, o inglês destaca-se como a língua franca da comunicação científica global, essencial para a disseminação ampla e eficaz das descobertas, especialmente em campos tecnologicamente avançados como o dos ITS (Lillis; Curry, 2010).

Esta escolha assegura o acesso a periódicos revisados por pares de alto impacto, que predominantemente publicam em inglês, garantindo a inclusão de pesquisas reconhecidas internacionalmente por sua qualidade (Swales, 1997). Além disso, optar por um único idioma promove uma maior consistência e comparabilidade na avaliação dos estudos, minimizando discrepâncias decorrentes de traduções ou interpretações linguísticas variadas (Casella; McGrath, 2005). Reconhecemos também as limitações práticas, como restrições de tempo e recursos, que tornam esta escolha uma estratégia necessária para a viabilidade da revisão, considerando a vasta quantidade de literatura disponível (Gibbs, 2003).

Finalmente, essa seleção visa ampliar o acesso e o impacto da revisão, tornando-a acessível a uma audiência internacional mais ampla e contribuindo para a construção de um corpo coeso de conhecimento que é amplamente acessível pela comunidade global de pesquisa (Ammon, 2007). Portanto, ao fundamentar nossa metodologia com estas considerações, buscamos proporcionar uma justificativa sólida para a inclusão exclusiva de estudos em inglês, ao mesmo tempo em que reconhecemos as limitações e os potenciais vieses associados a essa escolha.

A definição do intervalo temporal de 1956 a 2023 para a inclusão de estudos em nossa revisão sistemática sobre Sistemas Tutores Inteligentes (ITS) visa cobrir integralmente o desenvolvimento e as inovações no campo desde seu início. O ano de 1956 é marcado como o ponto de partida histórico para a inteligência artificial e, por extensão, para os ITS, com a conferência, considerada por muitos como o evento que catalisou a pesquisa em IA (McCarthy *et al.*, 2006).

Esse período abrangente permite uma análise completa das tendências evolutivas e dos avanços tecnológicos e pedagógicos nos ITS. Notavelmente, na base de dados Scopus, o primeiro estudo identificado sobre ITS data desse início, ressaltando a importância de capturar a trajetória completa desses sistemas desde sua concepção até as recentes inovações. Esta abordagem censitária dentro da base selecionada garante uma visão holística do campo, destacando tanto a progressão histórica quanto os desenvolvimentos atuais em ITS.

2.5. Busca e Seleção dos Estudos

Foi realizada uma busca sistemática nas bases de dados acadêmica, Scopus, utilizando palavras-chave relacionadas a "Sistemas Tutores Inteligentes" e termos correlatos. Os títulos e resumos dos estudos foram avaliados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. Foram considerados estudos que sinalizassem sua aplicação em alguns campos do conhecimento.

O escopo desta pesquisa envolveu estudos empíricos e não empíricos, tais como revisões de literatura, estudos teóricos e exploratórios que discutem a aplicação de Sistemas Tutores Inteligentes em determinadas áreas de conhecimento. A diversidade de tipos de estudos foi considerada para proporcionar uma visão abrangente das diferentes abordagens e perspectivas relacionadas ao tema.

A seleção dos estudos foi realizada em etapas sequenciais. Inicialmente, os títulos e resumos dos estudos identificados na fase de busca foram avaliados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. Em seguida, os estudos que atenderam aos critérios foram selecionados para leitura da introdução e conclusão. Durante essa etapa, os estudos foram avaliados quanto à sua relevância para a pesquisa e enquadramento da classificação de STI por áreas de conhecimento.

Dessa forma, a etapa de busca e seleção dos estudos foi conduzida de maneira rigorosa e transparente, seguindo critérios predefinidos e procedimentos que visaram assegurar a seleção dos estudos mais pertinentes e relevantes para a análise da classificação de Sistemas Tutores Inteligentes por campo de conhecimento.

Foi realizada uma avaliação da qualidade do conjunto de estudos primários selecionados para o presente artigo de classificação de Sistemas Tutores Inteligentes por área de conhecimento. Três perguntas foram respondidas para avaliar a qualidade dos estudos primários incluídos:

- Há uma declaração clara dos objetivos da pesquisa?
- Existe uma descrição do contexto em que a pesquisa foi realizada?
- Existe alguma evidência empírica que sustente o processo de classificação definido para os STI?

O processo de classificação mencionado na última alínea refere-se à metodologia utilizada para organizar Sistemas Tutores Inteligentes (STI) dentro de categorias ou áreas de conhecimento específicas, com base em critérios claramente definidos. Este procedimento envolve a análise detalhada dos aspectos funcionais, pedagógicos e tecnológicos dos STI, com o objetivo de identificar padrões, semelhanças e diferenças que permitam agrupá-los de maneira lógica e coerente. Tal classificação é fundamental para a

compreensão da diversidade dos STI e para a identificação de áreas de aplicação, desafios comuns e oportunidades de desenvolvimento dentro do campo. Portanto, a inclusão de evidências empíricas que respaldem o processo de classificação adotado é crucial, pois valida a metodologia utilizada e fornece uma base sólida para a análise. Estudos que se limitam a discutir metodologias de classificação sem apresentar os resultados concretos da aplicação dessas metodologias foram considerados insuficientes para os propósitos desta análise, uma vez que a apresentação dos resultados obtidos é essencial para avaliar a eficácia e a aplicabilidade do esquema de classificação proposto.

2.6. Estratégia de busca

Os dados relevantes dos estudos selecionados foram extraídos e organizados em uma planilha estruturada. Foram coletadas informações sobre Id, tipo de publicação, o título, autores, ano de publicação, resumo, palavras-chave, quantidade de citações, áreas de conhecimento e subáreas de conhecimento de aplicação. A análise dos dados ocorreu de forma descritiva, identificando tendências, padrões e gaps na literatura.

Para extrair os dados dos estudos primários identificados no presente artigo de classificação de Sistemas Tutores Inteligentes por área de conhecimento, desenvolveu-se o seguinte modelo de extração, conforme apresentado na Tabela 1.

Cada campo de extração de dados possui um item de dados e um valor correspondente. A atividade de extração foi conduzida com o foco em garantir a rastreabilidade das informações desde o formulário de extração até as declarações contidas em cada artigo.

Tabela 1 – Formulário de extração de dados

Item de dado	Valor	QP
Id	Número inteiro de identificação geral do estudo	
Tipo de publicação	Publicação em periódico ou conferência	
Título	Nome do artigo	QP1, QP2 e QP3
Autores	Nome dos autores	QP1, QP2 e QP3
Ano da publicação	Ano calendário	QP1, QP2 e QP3
Resumo	Resumo do artigo	QP1, QP2 e QP3
Qtd. de citações	Número inteiro de citações do artigo	QP3
Áreas de conhecimento	Área de conhecimento da CNPQ	QP1 e QP2

Subáreas de conhecimento	Subdivisão da área de conhecimento da CNPQ	QP1 e QP2
--------------------------	--	-----------

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.7. Classificação

A classificação de áreas do conhecimento é um tópico de interesse multidisciplinar que tem sido abordado ao longo do tempo por diversos estudiosos e profissionais de diferentes campos. A área de organização do conhecimento sempre despertou interesse de bibliotecários, filósofos, autores de enciclopédias, educadores, documentalistas, cientistas da informação e linguistas, entre outros. A importância da classificação é evidenciada por suas características fundamentais apontadas por Langridge (1978): (a) transformar dados isolados e incoerentes em informações reconhecíveis e padrões recorríveis; (b) estar relacionada a um propósito específico, como planejamento e gestão; (c) permitir diferentes abordagens de classificação com base no propósito; (d) não ter substituto viável para seu papel na organização. Em suma, o autor assevera que conhecimento é classificação, pois organiza e representa o universo do conhecimento.

No contexto do presente artigo de classificação de Sistemas Tutores Inteligentes (STI) por campos de conhecimento, a seleção do modelo de classificação foi baseada em critérios que visam atender aos objetivos específicos da pesquisa. Seguem os critérios para seleção do modelo de classificação dos STI por campo de conhecimento:

- propósito da classificação, que busca não apenas subsidiar formuladores de políticas educacionais (a exemplo da Política Nacional de Educação Digital - PNED) na identificação das evidências sobre a aplicação de STI em áreas de conhecimento específicas, mas também auxiliar pesquisadores na identificação de lacunas de pesquisa.
- escopo abrangente, foi escolhido para garantir que a classificação englobe o maior número possível de áreas de conhecimento, assegurando uma representação abrangente das diversas disciplinas.
- nível de detalhe necessário para análises aprofundadas, incluindo subníveis, a fim de permitir uma avaliação minuciosa da cobertura das áreas de conhecimento pelos STI.
- alta adaptabilidade do modelo selecionado é fundamental para atender tanto ao contexto educacional quanto às pesquisas científicas, tornando-o flexível e relevante para diferentes aplicações.

A escolha desses critérios está alinhada com o objetivo de produzir uma classificação robusta e versátil que possa contribuir de maneira significativa para a

organização e análise dos Sistemas Tutores Inteligentes em diferentes áreas de conhecimento.

Diversas alternativas de classificação foram identificadas e comparadas, incluindo a Frascati (OECD, 2002), a classificação australiana – ASRC (ABS, 2015), o *International Standard Classification of Education Fields of education and training 2013 - ISCEDF2013* (UNESCO, 2013) e a Classificação do CNPq (CNPq, 2020). Cada uma possui prós e contras específicos. A Frascati é amplamente utilizada em pesquisas científicas, a ASRC é voltada para projetos de pesquisa e programas de ensino, o ISCED F 2013 é focado em educação e treinamento, enquanto a classificação do CNPq é utilizada no Brasil para a classificação de áreas do conhecimento. Para comparar essas alternativas, observa-se a Tabela 2 criada considerando critérios como propósito, escopo, nível de detalhe e adaptabilidade.

Tabela 2 – Alternativas de modelos de classificação

Alternativa de Classificação	Propósito	Escopo	Nível de Detalhe	Adaptabilidade
Frascati	Pesquisas científicas	Abrange pesquisas em diversas áreas	Detalhado em termos de áreas temáticas e subáreas	Alta adaptabilidade, mas pode não cobrir áreas específicas
Classificação Australiana (ASRC)	Projetos de pesquisa e ensino	Focado em projetos de pesquisa e cursos	Menos detalhado, abrange categorias amplas	Alta adaptabilidade para projetos e cursos, mas pode não ser abrangente
ISCED F 2013	Educação e treinamentos	Concentrado	ISCED F 2013	Educação e treinamentos
Classificação do CNPq	Classificação no Brasil	Abrange áreas de conhecimento no país	Detalhado, abrange várias disciplinas	Alta adaptabilidade no contexto brasileiro, mas pode não ser relevante globalmente

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nessa tabela comparativa (Tabela 2), as alternativas de classificação são avaliadas com base em quatro critérios: propósito, escopo, nível de detalhe e adaptabilidade. Cada alternativa é avaliada em relação a esses critérios, permitindo uma comparação objetiva de suas características. Isso pode ajudar na compreensão das vantagens e desvantagens de

cada alternativa e na tomada de decisões informadas sobre a melhor abordagem de classificação a ser adotada.

No contexto da organização e classificação de pesquisas e atividades educacionais, diversos modelos de classificação são empregados para estruturar e categorizar o conhecimento. O Manual de Frascati, elaborado pela OECD, apresenta uma estrutura com 9 áreas principais e 34 subáreas, oferecendo uma abordagem abrangente que pode cobrir um vasto leque de classificações em diferentes bases de dados. Por outro lado, a Classificação Australiana (ASRC) propõe uma estrutura com 4 áreas principais e 22 subáreas, sugerindo uma abordagem menos granular em comparação ao Frascati, o que pode resultar em um número potencialmente menor de classificações. A ISCED F 2013, 11 campos amplos, 29 campos estreitos e cercada de 80 campos detalhados (ESCO, 2022), concentra-se primordialmente em educação e treinamento, adequando-se bem a bases de dados educacionais, mas podendo se mostrar limitada para outros contextos. Já a classificação do CNPq, específica para o contexto brasileiro, estabelece uma hierarquização detalhada em quatro níveis, abrangendo 9 grandes áreas, 76 áreas e 340 subáreas do conhecimento. Tal detalhamento evidencia a capacidade deste modelo em fornecer uma classificação minuciosa e adaptada às peculiaridades das pesquisas desenvolvidas, destacando a diversidade e a riqueza de campos de estudo abordados.

A escolha do modelo de classificação do CNPq para categorizar os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) por campo de conhecimento revelou-se altamente apropriada e embasada em critérios sólidos. O modelo CNPq demonstrou ser excepcionalmente eficaz ao atender aos critérios definidos. Em termos de propósito, sua aplicabilidade tanto para subsidiar políticas educacionais quanto para identificar lacunas de pesquisa ficou evidente ao analisar o conjunto de dados dos STI. Com um escopo abrangente, o modelo CNPq abarcou uma ampla gama de áreas de conhecimento, proporcionando uma representação holística das disciplinas. O nível de detalhe do modelo permitiu uma análise em profundidade, incluindo subníveis, que facilitou a avaliação minuciosa da cobertura da área de conhecimento. A alta adaptabilidade do modelo CNPq foi evidenciada por sua capacidade de ser aplicado tanto em cenários educacionais quanto em pesquisas científicas, reforçando sua utilidade e versatilidade. Em análise numérica, constatou-se que o modelo CNPq categorizou os STI em subáreas distintas, abrangendo 9 grandes áreas do conhecimento. Essa abrangência e granularidade permitiram uma visão detalhada das contribuições dos STI em cada área. Portanto, a seleção do modelo CNPq de classificação se mostrou uma decisão acertada, permitindo uma análise rica, abrangente e adaptável da distribuição e aplicação dos STI em diversas áreas de conhecimento, sobretudo, no Brasil.

2.8. Aspectos Éticos

Este estudo está focado na análise de estudos publicados e não envolveu a coleta de dados primários ou sensíveis. Portanto, não houve envolvimento de aspectos éticos nesta pesquisa.

3. Resultado

A seção de Resultados apresenta as descobertas e informações relevantes derivadas da pesquisa. Os principais resultados estão diretamente relacionados ao objetivo do estudo, fornecendo respostas às questões de pesquisa formuladas. De acordo com os critérios estabelecidos, os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) foram classificados de acordo com o modelo CNPq de classificação por campos de conhecimento. A análise demonstrou que o modelo do CNPq categorizou os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) em subáreas diferenciadas, englobando 9 grandes áreas do conhecimento e 76 áreas de conhecimento. Essa classificação proporcionou uma perspectiva das contribuições dos STI em cada área, desvendando percepções sobre sua distribuição e aplicabilidade. Além disso, a análise estatística identificou padrões significativos de uso de STI em diferentes campos de conhecimento. Esses resultados fornecem uma compreensão mais profunda da presença e impacto dos STI em várias disciplinas acadêmicas e demonstram a utilidade do modelo CNPq de classificação na organização e análise desses sistemas. A análise dos resultados permite identificar tendências, lacunas e oportunidades em relação à aplicação dos Sistemas Tutores Inteligentes em diferentes campos do conhecimento.

Conforme se pode observar na Figura 1, inicialmente resultando em um total de 2471 artigos identificados. Após a etapas de aplicação de critérios de inclusão e exclusão e avaliação de qualidade, que envolveu a análise criteriosa dos artigos com base em parâmetros específicos, o número foi reduzido para 907 artigos considerados relevantes e de alta qualidade para a pesquisa.

Figura 1 – Gráfico do número de artigos em cada uma das etapas



Fonte: Elaborado pelos autores.

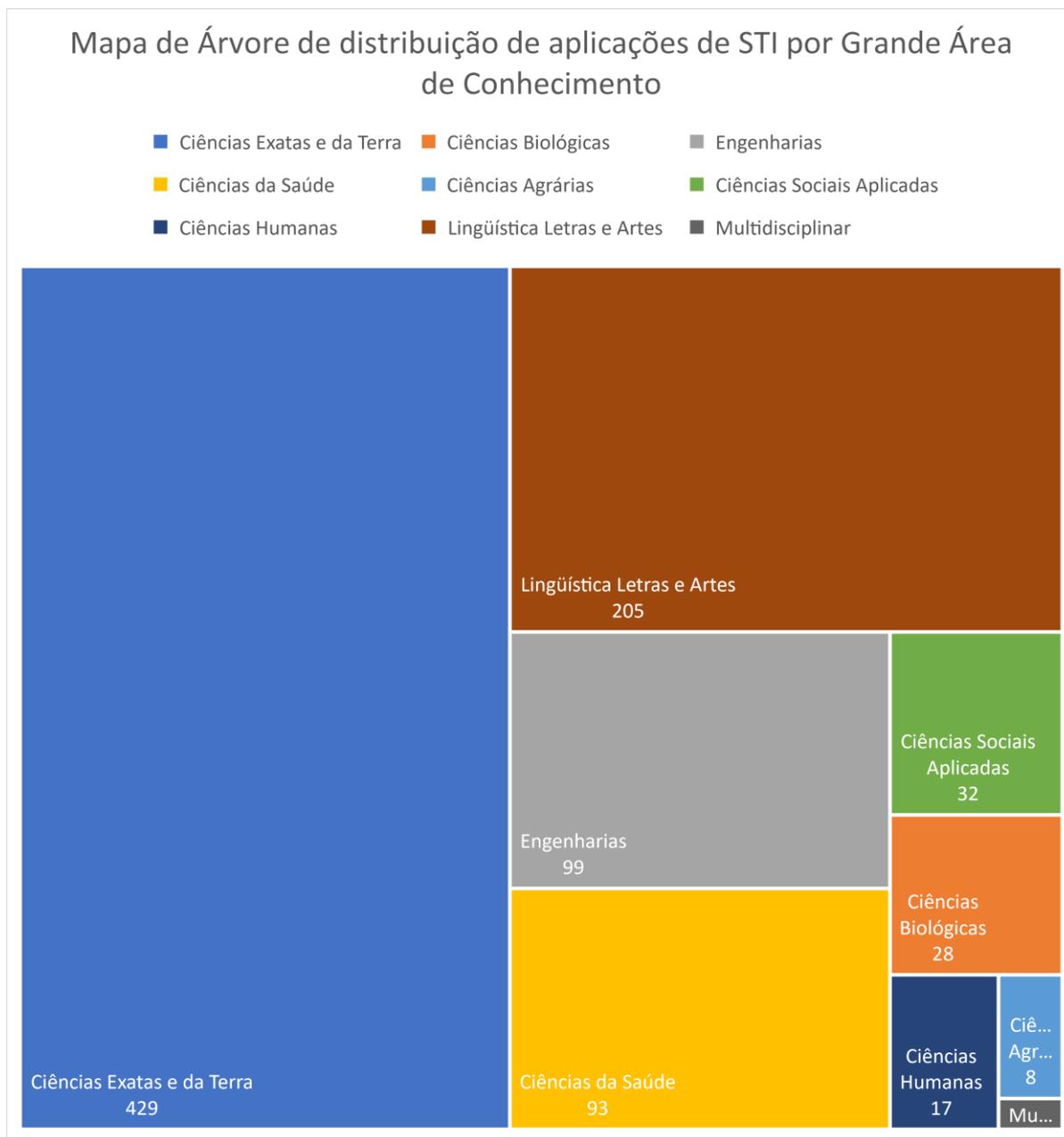
3.1. Distribuição da aplicação de STI por campos de conhecimento

Para a pergunta "Como os STI estão distribuídos por áreas de conhecimento?", os dados revelaram uma ampla distribuição dos STI em subáreas distintas, abrangendo 9 grandes áreas do conhecimento, de acordo com a classificação do CNPq. Essa distribuição oferece uma visão detalhada das contribuições dos STI em cada área, destacando suas áreas de maior e menor presença.

A Figura 2 apresenta um Mapa de Árvore que ilustra a distribuição de aplicações de STI por Grande Área de Conhecimento.

Essa representação visual permite uma rápida compreensão da distribuição relativa dos STI em cada grande área de conhecimento. Os números apresentados indicam a quantidade de aplicações de STI em cada categoria, contribuindo para uma análise mais precisa das áreas onde os STI têm maior ou menor presença. Por exemplo, Ciências Exatas e da Terra contam com 429 aplicações, enquanto Línguas, Letras e Artes têm 205 aplicações, e Engenharias possuem 99 aplicações.

Figura 2 – Mapa gráfico de distribuição de aplicações de STI por grandes áreas de conhecimento

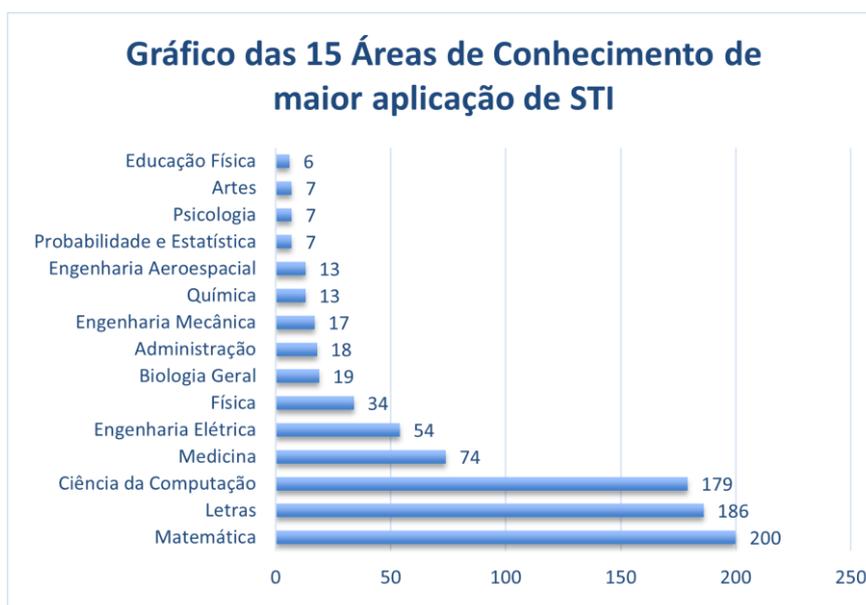


Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto à análise das 76 áreas de conhecimento, a Figura 3 destaca as 15 áreas com maior aplicação de STI. Os resultados revelam que a área de Matemática lidera com 200 aplicações de STI, seguida por Letras com 186 e Ciência da Computação com 179. Medicina, Engenharia Elétrica e Física também demonstram presença significativa, com 74, 54 e 34 aplicações de STI, respectivamente. A análise revela achados sobre a diversidade da distribuição de STI por campos de conhecimento, proporcionando uma base sólida para compreender as áreas que mais se beneficiam dos Sistemas Tutores Inteligentes em suas

pesquisas e práticas.

Figura 3 – Gráfico das 15 Áreas de Conhecimento de maior aplicação de STI



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ainda sobre os resultados a respeito da pergunta de pesquisa: "Como os STI estão distribuídos por áreas de conhecimento?", a Figura 3 apresenta um gráfico que ilustra as 15 áreas de conhecimento com maior aplicação de STI, com suas respectivas frequências absolutas.

3.2. Lacunas de pesquisas sobre Sistemas Tutores Inteligentes

No contexto da pesquisa em Sistemas Tutores Inteligentes (STI), a identificação das lacunas existentes na literatura é essencial para orientar futuras investigações e aprimorar o campo. Respondendo à questão de pesquisa "Quais são as lacunas na pesquisa de Sistemas Tutores Inteligentes?", realizamos uma análise aprofundada das publicações existentes. Observamos uma notável lacuna na publicação de aplicações de STI por áreas de conhecimento na base bibliográfica. Para ilustrar essa situação, apresentamos a Tabela 3, que exibe a frequência absoluta de aplicações de STI por áreas de conhecimento específicas.

Ao examinarmos a Tabela 3, observamos que algumas áreas de conhecimento, como Astronomia, Oceanografia, Botânica, entre outras, apresentam uma frequência absoluta de aplicações de STI igual a zero. Isso indica uma ausência de estudos e aplicações de STI nessas áreas específicas. Essa lacuna de pesquisa revela uma oportunidade significativa para explorar o potencial dos Sistemas Tutores Inteligentes em

campos que ainda não foram amplamente explorados.

Tabela 3 – Lacuna de aplicação de STI por área de conhecimento

Áreas de Conhecimento	Frequência absoluta
Saúde Coletiva, Recursos Florestais e Engenharia Florestal, Direito, Zoologia.	4
Engenharia Civil, Engenharia de Materiais e Metalúrgica, Engenharia de Produção, Odontologia, Enfermagem, Economia, Comunicação, Ecologia.	3
Engenharia de Minas, Engenharia de Transportes, Engenharia Biomédica, Agronomia, História, Geografia, Educação.	2
Geociências, Genética, Fisiologia, Microbiologia, Parasitologia, Engenharia Química, Engenharia Naval e Oceânica, Nutrição, Fonoaudiologia, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Engenharia Agrícola, Medicina Veterinária, Ciência da Informação, Museologia, Serviço Social, Turismo, Filosofia, Sociologia, Arqueologia, Ciência Política.	1
Astronomia, Oceanografia, Botânica, Morfologia, Bioquímica, Biofísica, Farmacologia, Imunologia, Helmintologia de Parasitos, Entomologia e Malacologia de Parasitos e Vetores, Engenharia Sanitária, Engenharia Nuclear, Engenharia Médica, Farmácia, Zootecnia, Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Tecnologia de Alimentos, Engenharia de Alimentos, Arquitetura e Urbanismo, Planejamento Urbano e Regional, Demografia, Economia Doméstica, Desenho Industrial, Antropologia, Teologia, Linguística	0

Fonte: Elaborado pelos autores.

A escassez de publicações em certas áreas pode ser decorrente de múltiplos aspectos, incluindo a complexidade inerente às disciplinas, a falta de reconhecimento sobre as oportunidades que os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) proporcionam, ou ainda, a preferência por outras metodologias no âmbito da tecnologia educacional. Reconhecer essas lacunas possibilita aos pesquisadores especializados em Inteligência Artificial aplicada à Educação redirecionar seus esforços para campos menos abordados. Tal iniciativa promove a ampliação e a diversificação do uso dos STI, enriquecendo suas aplicações práticas.

Para preencher essas lacunas e promover o avanço da pesquisa em STI, é fundamental que pesquisadores e profissionais da área se atentem às oportunidades de aplicação dessas tecnologias em áreas menos tradicionais. Além disso, estratégias de conscientização e colaboração entre pesquisadores e especialistas nas áreas carentes de estudos podem impulsionar a adoção e o desenvolvimento de STI para fins educacionais e de treinamento.

Em conclusão, a investigação sobre as deficiências na pesquisa de Sistemas Tutores Inteligentes (STI) identificou uma notável escassez de publicações e implementações em várias disciplinas acadêmicas. Torna-se imperativo para a comunidade acadêmica abordar estas deficiências, investigando novas possibilidades e estabelecendo colaborações interdisciplinares. Essa estratégia visa não apenas fomentar a incorporação e o progresso dos STI, mas também potencializar seus benefícios no âmbito educacional e de capacitação em variados contextos. Tal abordagem é essencial para a evolução contínua das metodologias de ensino e aprendizagem, contribuindo significativamente para a educação e o treinamento de qualidade.

3.3. Publicações sobre STI mais citadas dentre as 15 áreas de conhecimento mais exploradas em STI

Para responder à questão de pesquisa sobre as publicações mais citadas sobre Sistemas Tutores Inteligentes (STI) nas áreas de conhecimento, foi realizada uma análise das obras mais referenciadas em cada uma das 15 áreas de conhecimento mais exploradas em STI. As publicações mais citadas por áreas de conhecimento foram classificadas em ordem decrescente conforme contabilizado na Scopus. A Tabela 4 apresenta as publicações mais citadas em cada área:

Tabela 4 – Lacuna de aplicação de STI por área de conhecimento

Áreas de Conhecimento	Frequência absoluta
Matemática	Adams <i>et al.</i> (2014); Arroyo <i>et al.</i> (2014); Botana <i>et al.</i> (2015); Corbett e Anderson (1994); Hillmayr; Ziernwald, Reinhold, Hofer e Reiss (2020); Mohamed e Lamia (2018); Steenbergen-Hu e Cooper (2014); Walker, Rummel e Koedinger (2014)
Letras	Allen, Crossley, Snow e McNamara (2014); Amaral e Meurers (2011); Calvo, O'Rourke, Jones, Yacef, e Reimann (2010); D'Mello (2013); Johnson (2007); Lee <i>et al.</i> (2011); McNamara, Crossley e Roscoe (2013); Mostow e Beck (2006); Rachels e Rockinson-Szapkiw (2018); Roscoe, Allen, Weston, Crossley e McNamara (2014); Wijekumar, Meyer e Lei (2012); Wu (2015)
Ciência da Computação	Chen (2011); Hooshyar <i>et al.</i> (2016); Latham, Crockett e McLean (2014); Mitrovic, Martin e Mayo (2002); Sarrafzadeh, Alexander, Dadgostar, Fan e Bigdeli (2008); Suraweera e Mitrovic (2004)
Medicina	Beaumont (1994); Crowley e Medvedeva (2006); Duffy e Azevedo (2015); Lacave, Luque e Diez (2007); Michel, Knoll, Köhrmann e Alken (2002); Wolfe <i>et al.</i> (2015)
Engenharia Elétrica	Dzikovska, Zdravkovic e VanLehn (2014); Forbus <i>et al.</i> (1999)

Física	Conati, Gertner e VanLehn (2002); Mitnik, Recabarren, Nussbaum e Soto (2009); VanLehn <i>et al.</i> (2005)
Biologia Geral	Ward <i>et al.</i> (2011)
Administração	Johnson (2007)
Engenharia Mecânica	Hsieh e Yeehsieh (2004)

Fonte: Elaborado pelos autores.

A alta citação do artigo de Adams *et al.* (2014) pode ser atribuída à sua metodologia inovadora, que desafia abordagens tradicionais ao introduzir exemplos errôneos como ferramenta pedagógica na educação matemática. Esta estratégia não apenas promove uma compreensão mais profunda dos conceitos matemáticos entre os estudantes, mas também demonstra resultados com relevância prática significativa, evidenciada por melhorias duradouras na aprendizagem. O estudo destaca a importância do engajamento ativo dos alunos na identificação e correção de erros, oferecendo uma nova perspectiva para o campo educacional e contribuindo para o avanço das práticas de ensino.

O estudo de Allen *et al.* (2014) se destaca por sua abordagem inovadora no ensino da escrita em segunda língua (L2), utilizando jogos educativos para aumentar o engajamento e a motivação dos estudantes. Integrando jogos ao sistema de tutoria para estratégias de escrita, esta pesquisa aborda não apenas os desafios cognitivos enfrentados pelos aprendizes de L2, mas também explora os benefícios motivacionais da gamificação na educação. Esse método multifacetado para o ensino de escrita em L2, que combina treinamento de estratégias com a motivação intrínseca proporcionada pelos jogos, contribui para a relevância do trabalho no campo da tecnologia de aprendizagem de línguas, potencialmente explicando sua alta taxa de citação.

O trabalho de Chen (2011) se destaca por sua abordagem inovadora na melhoria do desempenho de aprendizagem dos estudantes através de um sistema personalizado de diagnóstico e aprendizagem remediadora. Este estudo fundamenta sua relevância na capacidade de adaptar o processo de ensino às estruturas de conhecimento individuais dos alunos, identificando e corrigindo mal-entendidos específicos. Além disso, a eficácia do sistema é demonstrada por resultados experimentais que mostram melhorias significativas no desempenho dos alunos, destacando a importância de ferramentas de ensino adaptativas e personalizadas na educação.

Um outro fator que pode explicar a alta citação do trabalho de Chen (2011) é a relevância prática dos resultados. O estudo não só propõe uma metodologia inovadora, mas também demonstra sua aplicabilidade e eficácia em um contexto educacional real. A capacidade de melhorar tangivelmente o desempenho de aprendizagem dos alunos por

meio de tecnologia educacional responde diretamente aos desafios enfrentados por educadores e instituições, tornando-o uma referência valiosa para pesquisas futuras e práticas pedagógicas.

Quanto ao estudo "User Modeling in the Interactive Anatomy Tutoring System ANATOM-TUTOR" de Beaumont (1994), é essencial considerar vários fatores que contribuem para sua relevância:

1. Inovação e Avanço Metodológico: Beaumont introduz uma abordagem inovadora para modelagem de usuários em sistemas tutores inteligentes, focando na anatomia. Este avanço metodológico fornece ferramentas novas para a educação médica, contribuindo significativamente para a evolução dos sistemas tutores inteligentes.
2. Resultados com Relevância Prática: O sistema ANATOM-TUTOR tem aplicabilidade direta no ensino da anatomia, oferecendo um modelo personalizado de aprendizado que se adapta ao conhecimento prévio do usuário, o que é crucial para a educação médica.
3. Qualidade da Pesquisa: O detalhamento do desenvolvimento do sistema, juntamente com a clareza na apresentação dos resultados e a robustez metodológica, estabelecem o trabalho como um referencial na área de tecnologias educacionais.
4. Interdisciplinaridade: Ao cruzar fronteiras entre a informática, a psicologia cognitiva e a educação médica, o trabalho amplia seu alcance e relevância, tornando-o aplicável em diversos contextos educacionais interdisciplinares.

Esses elementos, em conjunto, fundamentam a importância do estudo de Beaumont (1994) no campo dos sistemas tutores inteligentes, explicando sua alta citação e influência na comunidade acadêmica e prática educacional.

A contribuição do estudo de Dzikovska, Zdravkovic e VanLehn (2014) para os sistemas tutores inteligentes na área de eletricidade e eletrônica básica é enfatizada por sua inovadora integração do processamento de linguagem natural para feedback automático e adaptativo. Este avanço metodológico, combinado com a aplicação prática no ensino de STEM e a interdisciplinaridade do projeto, sublinha a relevância do trabalho no campo educacional, contribuindo para sua alta citação na comunidade acadêmica. A robustez metodológica e a interdisciplinaridade do projeto, que cruza as fronteiras entre a ciência da computação, educação e engenharia elétrica, também contribuem para sua relevância e alta citação na comunidade acadêmica.

O trabalho de Conati, Gertner e VanLehn (2002) aborda o desafio de gerenciar a incerteza na modelagem de alunos através de Redes Bayesianas, destacando-se por sua aplicação inovadora em Sistemas de Tutoria Inteligentes (STI). Esta abordagem matematicamente robusta permite uma personalização mais efetiva da aprendizagem,

adaptando-se dinamicamente às necessidades individuais dos alunos e melhorando a eficácia dos STI no ensino. A metodologia proposta oferece avanços significativos na educação personalizada, predizendo ações dos alunos e avaliando seu entendimento durante sessões de resolução de problemas.

A análise das publicações mais citadas nessas áreas de conhecimento proporciona uma compreensão sobre as obras que têm exercido maior influência no campo de Sistemas Tutores Inteligentes, fornecendo uma visão abrangente das contribuições significativas em cada área. Estas obras representam a base do conhecimento que tem sido amplamente referenciada e que moldou o desenvolvimento e avanço dos STI em diversos contextos acadêmicos e de pesquisa.

4. Discussões

A seção de Discussão permite uma interpretação detalhada dos achados mais relevantes da pesquisa sobre Sistemas Tutores Inteligentes (STI), oferecendo achados sobre sua distribuição por áreas de conhecimento e a influência das publicações mais citadas. Nesta seção, exploraremos o significado desses resultados, sua importância para o GEM 2023, formuladores de políticas públicas de tecnologias educacionais e a comunidade científica em geral.

A análise dos 907 casos de aplicações de Sistemas Tutores Inteligentes mapeadas na base bibliográfica revelou uma distribuição notável. Ressalta-se que, 80% dessas aplicações estão concentradas em apenas seis áreas de conhecimento: Matemática, Letras, Ciência da Computação, Medicina, Engenharia Elétrica e Física. Esse resultado destaca uma ênfase significativa na adoção de STI nessas disciplinas específicas, possivelmente devido a suas características propícias para a integração dessas tecnologias.

O fato de a área de Matemática liderar com 200 aplicações de STI, seguida por Letras com 186 e Ciência da Computação com 179, sinaliza tendências de aplicação nas disciplinas mais tradicionais e também nas áreas de tecnologia e linguagem. Esse resultado é relevante para o GEM 2023, pois destaca as disciplinas com maior adoção de tecnologias educacionais, podendo orientar estratégias de implementação e pesquisa em eventos futuros.

Cumprido enaltecer que 26 áreas de conhecimento não apresentaram qualquer registro de aplicações de STI. Essa ausência sugere uma lacuna de pesquisa e aplicação em uma ampla gama de disciplinas. Essas discrepâncias na distribuição levantam questões sobre os fatores que influenciam a adoção e os benefícios potenciais das tecnologias educacionais em diferentes campos acadêmicos.

A identificação de áreas de conhecimento, como Astronomia, Oceanografia e Botânica, com frequência absoluta zero de aplicações de STI, é um achado que ressalta a importância de preencher lacunas na pesquisa e exploração desses sistemas em campos menos explorados. Para o GEM 2023, formuladores de políticas públicas e a comunidade científica, essa descoberta aponta para oportunidades de expansão das aplicações de STI em áreas ainda não contempladas, promovendo a inovação educacional e a integração de tecnologias em novos contextos.

Além disso, a identificação das publicações mais citadas sobre STI nas 15 áreas de conhecimento de maior aplicação reflete a influência de obras-chave no desenvolvimento e avanço dos Sistemas Tutores Inteligentes. Essas publicações representam um guia valioso para pesquisadores, formuladores de políticas e a comunidade acadêmica ao explorar a literatura existente e suas contribuições para o campo. O conhecimento das obras mais citadas pode informar estratégias de pesquisa, orientar futuras investigações e promover o aprimoramento contínuo das abordagens de tutoria inteligente.

Cumprе enaltecer que para o êxito no desenvolvimento de um STI requer o conhecimento multidisciplinar, incluindo técnicas e métodos de IA, pedagogia e na área de conhecimento da aplicação do STI. Ao considerarmos que a grande área de conhecimento com maior volume de publicações é de Ciências Exatas e da Terra, pode-se inferir que decorre da escolha dos pesquisadores de aplicar os STI no campo de conhecimento que já possuem domínio, a saber: matemática, ciência da computação, engenharia, etc.

A análise dos artigos mencionados revela uma lacuna na literatura acadêmica em relação à disponibilidade de estudos abrangentes sobre Sistemas de Tutoria Inteligente (STI). Embora haja uma quantidade significativa de pesquisa sobre STI, poucos estudos se concentram em fornecer uma visão geral abrangente do campo. Mousavinasab *et al.* (2021) abordaram características, aplicações e métodos de avaliação de STI, enquanto Nwana (1990) forneceu uma visão geral do campo. Crow, Luxton-Reilly e Wuensche (2018) se concentraram na educação em programação, Alkhatlan e Kalita (2019) ofereceram um panorama histórico e recente, e Shute e Psoika (1994) exploraram o passado, presente e futuro dos STI. No entanto, a ausência de um estudo abrangente que integre todas essas perspectivas e ofereça uma visão geral holística dos avanços, desafios e tendências dos STI é evidente. Essa carência ressalta a necessidade de futuras pesquisas que consolidem essas abordagens variadas e proporcionem uma compreensão completa do campo de Sistemas de Tutoria Inteligente.

Comparando os resultados do presente artigo com o estudo realizado por Mousavinasab *et al.* (2021), observamos que ambos os trabalhos abordam o tema dos

Sistemas Tutores Inteligentes (STI) sob diferentes perspectivas. Enquanto o estudo de Mousavinasab *et al.* (2021) se concentrou nas características, aplicações e métodos de avaliação dos STI, o presente estudo buscou classificar os STI por áreas de conhecimento e analisar sua distribuição em diferentes disciplinas. Em termos de metodologia, Mousavinasab *et al.* (2021) adotou revisão sistemáticas da literatura, esta pesquisa utilizou mapeamento sistemático de literatura. Enquanto Mousavinasab *et al.* (2021) coletaram dados de estudos originais entre 2007 e 2017, já o atual estudo buscou mapear um amplo espectro de aplicações de STI em diversas áreas de conhecimento entre 1956 e 2023. Enquanto o estudo anterior identificou que os STI são mais comumente usados em cursos de ciências da computação, o atual estudo constatou que matemática é o campo de conhecimento predominante. Contudo, ambos concordam que há oportunidades para usá-los em uma variedade de outras disciplinas.

Vale destacar as limitações que podem influenciar os resultados. Uma limitação é a dependência de bases de dados específicas para a coleta de informações sobre as publicações. Isso pode resultar em lacunas nos dados e afetar a representatividade das análises. Além disso, a classificação por campos de conhecimento do CNPq pode não capturar completamente a interdisciplinaridade presente em algumas publicações, levando a uma categorização inadequada.

As limitações podem ser contornadas por meio da inclusão de mais fontes de dados e da revisão contínua das categorias de classificação para garantir uma análise mais abrangente e precisa. Além disso, a colaboração entre pesquisadores de diferentes áreas pode contribuir para uma compreensão mais completa do impacto dos Sistemas Tutores Inteligentes em contextos interdisciplinares.

A comparação crítica com a literatura pertinente revela que as publicações mais citadas estão alinhadas com tendências e abordagens amplamente reconhecidas na área de Sistemas Tutores Inteligentes. Isso reforça a validade e relevância das descobertas e contribuições dessas obras para o avanço do campo. A interpretação dos achados sugere que a aplicação de Sistemas Tutores Inteligentes tem o potencial de beneficiar diversas áreas de conhecimento, proporcionando suporte personalizado e adaptativo para aprendizagem e treinamento em contextos variados.

Em conclusão, os achados mais relevantes desta pesquisa sobre Sistemas Tutores Inteligentes fornecem evidências para a tomada de decisão de diferentes partes interessadas, incluindo aqueles mencionados pela Unesco no GEM 2023, formuladores de políticas públicas de tecnologias educacionais e a comunidade científica. A distribuição diversificada dos STI por áreas de conhecimento, a identificação das disciplinas mais

exploradas e das lacunas de pesquisa, bem como as publicações mais citadas, oferecem uma base sólida para direcionar futuras ações, pesquisas e estratégias educacionais, visando ao avanço e à inovação no uso de Sistemas Tutores Inteligentes.

5. Conclusões

Não serão aceitas citações sem as devidas referências à fonte.

Em conclusão, este estudo atingiu seu objetivo de analisar de maneira abrangente a distribuição e aplicação de Sistemas Tutores Inteligentes (STI) em diversas áreas de conhecimento. Através da classificação por campos de conhecimento baseada no modelo CNPq, pudemos identificar evidências sobre a presença dos STI em diferentes disciplinas acadêmicas.

Em resposta à primeira questão de pesquisa, constatamos que 80% das aplicações de STI estão concentradas em apenas 6 áreas: Matemática, Letras, Ciência da Computação, Medicina, Engenharia Elétrica e Física. Essa concentração sugere áreas de maior adoção dessas tecnologias e oferece diretrizes para futuras estratégias educacionais.

A segunda questão de pesquisa revelou lacunas significativas na pesquisa de Sistemas Tutores Inteligentes em diversas áreas de conhecimento. A ausência de aplicações de STI em 26 áreas específicas, como Astronomia, Oceanografia e Botânica, indica oportunidades para expansão das aplicações dessas tecnologias em disciplinas menos exploradas. Essa descoberta aponta para a importância de preencher essas lacunas, explorar novos contextos e promover a diversificação das aplicações de STI.

Com relação à terceira questão de pesquisa, a análise das publicações mais citadas nas 15 áreas de conhecimento de maior aplicação revelou obras-chave que têm influenciado significativamente o campo de Sistemas Tutores Inteligentes. Essa análise das publicações representam uma base sólida para orientar pesquisadores, formuladores de políticas e a comunidade acadêmica na busca por conhecimento relevante e atualizado.

É importante reconhecer as limitações deste estudo. A análise foi baseada em uma base bibliográfica específica, e a ausência de certas aplicações de STI pode ser atribuída a limitações na coleta de dados. Além disso, as métricas de citação podem não capturar totalmente o impacto e a relevância das publicações.

As implicações práticas dos resultados deste estudo ressaltam o impacto potencial dos Sistemas Tutores Inteligentes (STI) na inovação educacional. A predileção por empregar STI em determinadas áreas revela uma oportunidade ímpar para enriquecer tanto o ensino em disciplinas tradicionais quanto a capacitação em setores emergentes, como as ciências da computação, engenharia e linguística aplicada. A ampliação de suas aplicações

para incluir campos anteriormente negligenciados, como as artes, humanidades e ciências sociais, poderia oferecer métodos de aprendizagem mais diversificados e personalizados, atendendo às necessidades individuais dos aprendizes.

Este estudo sugere que, ao integrar os STI em uma gama mais ampla de disciplinas, é possível promover práticas pedagógicas inovadoras que facilitam a interdisciplinaridade, a criatividade e o pensamento crítico. Além disso, a adoção de STI em contextos educacionais variados, desde o ensino fundamental até a educação superior e a formação contínua, pode contribuir significativamente para a democratização do acesso à educação de qualidade, oferecendo recursos didáticos adaptativos que transcendem as barreiras geográficas e socioeconômicas. Portanto, a exploração de novas aplicações dos STI constitui uma estratégia promissora para enfrentar os desafios educacionais contemporâneos, incentivando uma aprendizagem mais engajadora e eficaz.

Recomendamos que o GEM 2023 e formuladores de políticas públicas, tais como os envolvidos na Política Nacional de Educação Digital (PNED) do Brasil, considerem esses achados ao desenvolver estratégias educacionais que incorporem Sistemas Tutores Inteligentes. Incentivar a pesquisa e colaboração em áreas menos exploradas pode impulsionar a inovação e a diversificação das tecnologias educacionais. Além disso, futuras investigações podem explorar a implementação prática dos STI nas áreas identificadas como lacunas, investigando os desafios e benefícios específicos para cada disciplina. Além disso, estratégias para promover a conscientização sobre o potencial dos STI nessas áreas podem ser desenvolvidas em colaboração com especialistas das respectivas disciplinas.

Em síntese, este estudo contribuiu para a compreensão das aplicações de Sistemas Tutores Inteligentes em diferentes áreas de conhecimento, evidenciando sua distribuição, lacunas e obras mais influentes. Os resultados têm implicações práticas para a prática educacional, permitindo que formuladores de políticas públicas e a comunidade científica direcionem esforços para promover o uso eficaz dos STI em áreas diversas. A colaboração interdisciplinar e o compromisso contínuo com a inovação educacional são fundamentais para otimizar o potencial dos Sistemas Tutores Inteligentes em contextos variados e enriquecer as experiências de aprendizagem e treinamento.

6. Referências

AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS (ABS). **Australian and New Zealand Standard Research Classification (ANZSRC)**. 2015. Disponível em: <https://www.abs.gov.au/statistics/classifications/australian-and-new-zealand-standard-research-classification-anzsrc/2020>. Acesso em: 12 fev. 2024.

ADAMS, D. M.; MCLAREN, B. M.; DURKIN, K.; MAYER, R. E.; RITTLE-JOHNSON, B.; ISOTANI, S.; VAN, V. M. Using erroneous examples to improve mathematics learning with a web-based tutoring system. **Computers in Human Behavior**, v. 36, p. 401–411, 2014.

ALKHATLAN, A.; KALITA, J. Intelligent Tutoring Systems: A Comprehensive Historical Survey With Recent Developments. **International Journal of Computer Applications**, v. 181, n. 43, p. 1-20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5120/ijca2019918451>. Acesso em: 12 fev. 2024.

ALLEN, L. K.; CROSSLEY, S. A.; SNOW, E. L.; MCNAMARA, D. S. L2 writing practice: Game enjoyment as a key to engagement. **Language Learning & Technology**, v. 18, n. 2, p. 124-150, 2014.

AMARAL, L. A.; MEURERS, D. On using intelligent computer-assisted language learning in real-life foreign language teaching and learning. **ReCALL**, v. 23, n. 1, p. 4–24, 2011.

AMMON, U. Global scientific communication: Open questions and policy suggestions. **AILA Review**, v. 20, n. 1, p. 123-133, 2007.

ARCHAMBAULT, É.; LARIVIÈRE, V. History of the journal impact factor: Contingencies and consequences. **Scientometrics**, v. 79, n. 3, p. 635-649, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-007-2036-x>. Acesso em: 10 fev. 2024.

ARROYO, I.; WOOLF, B. P.; BURELSON, W.; MULDER, K.; RAI, D.; TAI, M. A multimedia adaptive tutoring system for mathematics that addresses cognition, metacognition and affect. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 24, n. 3, p. 387–426, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0023-y>. Acesso em: 13 fev. 2024.

BAAS, J.; SCHOTTEN, M.; PLUME, A.; CÔTÉ, G.; KARIMI, R. Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. **Quantitative Science Studies**, v. 1, n. 1, p. 377-386, 2020. DOI: https://doi.org/10.1162/qss_a_00019. Acesso em: 11 fev. 2024.

BEAUMONT, I. H. User modelling in the interactive anatomy tutoring system anatomtutor. **User Modeling and User-Adapted Interaction**, v. 4, n. 1, p. 21–45, 1994.

BOTANA, F.; HOHENWARTER, M.; JANIĆIĆ, P.; KOVÁCS, Z.; PETROVIĆ, I.; RECIO, T.; WEITZHOFFER, S. Automated theorem proving in geogebra: Current achievements. **Journal of Automated Reasoning**, v. 55, n. 1, p. 39–59, 2015. Disponível em: https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10817-015-9326-4.pdf&casa_token=x6NOUGWSmrEAAAAA:PMS_Zb6PMbp-nwCkT2ScPwoG3eaot86ZKGwevZtHQTbkjCf1V9MO7tD7QQPvYSikGFS57NUHOJfu-XfGlg. Acesso em: 12 fev. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.533 de 11 de janeiro de 2023. Dispões sobre a Política Nacional de Educação Digital (PNED). Brasília, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14533.htm. Acesso em: 23 mar. 2024.

CALVO, R. A.; O'ROURKE, S. T.; JONES, J.; YACEF, K.; REIMANN, P. Collaborative writing support tools on the cloud. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 4, n. 1, p. 88–97, 2010.

CASELLA, G.; MCGRATH, A. R. Reducing bias in observational studies using subclassification on the propensity score. **Journal of the American Statistical Association**, v. 100, n. 471, p. 516-524, 2005.

CHEN, L.H. Enhancement of student learning performance using personalized diagnosis and remedial learning system. **Computers & Education**, v. 56, n. 1, p. 289–299, 2011.

CONATI, C.; GERTNER, A.; VANLEHN, K. Using bayesian networks to manage uncertainty in student modeling. **User modeling and user-adapted interaction**, v. 12, n. 4, p. 371–417, 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1021258506583.pdf>
Acesso em: 14 fev. 2024.

CNPq - CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. **Classificação das áreas de conhecimento**. CNPq. 2020. Disponível em: https://estatico.cnpq.br/bi/CNPQ/DadosAbertos/Tabelas/AreaConhecimento/area_conhecim ento.csv. Acesso em: 13 fev. 2024.

CORBETT, A. T.; ANDERSON, J. R. Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge. **User modeling and user-adapted interaction**, v. 4, n. 4, p. 253–278, 1994.

CROW, T.; LUXTON-REILLY, A.; WUENSCH, B. Intelligent tutoring systems for programming education. Proceedings Of The 20th Australasian Computing Education Conference On - **Ace '18**, [s.l.], p.53-62, 2018. ACM Press. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3160489.3160492>. Acesso em 20 mar. 2024.

CROWLEY, R. S.; MEDVEDEVA, O. An intelligent tutoring system for visual classification problem solving. **Artificial intelligence in medicine**, v. 36, n.1, p. 85–117, 2006.

DE GRANDA-ORIVE, J. I.; ALONSO-ARROYO, A.; ROIG-VÁZQUEZ, F. Which data base should be used for bibliometric analysis of research on tobacco addiction? Web of Science versus SCOPUS. **Archivos de Bronconeumología** (English Edition), v. 4, n. 47, p. 213, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21281995>. Acesso em: 23 fev. 2024.

D'MELLO, S. A selective meta-analysis on the relative incidence of discrete affective states during learning with technology. **Journal of educational psychology**, v. 105, n. 4, p. 1082, 2013.

DUFFY, M. C.; AZEVEDO, R. Motivation matters: Interactions between achievement goals and agent scaffolding for self-regulated learning within an intelligent tutoring system. **Computers in Human Behavior**, v. 52, p. 338–348, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.05.041>.

DZIKOVSKA, M.; ZDRAVKOVIC, S.; VANLEHN, K. Beetle ii: Deep natural language understanding and automatic feedback generation for intelligent tutoring in basic electricity and electronics. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 24, n. 2, p. 284–332, 2014.

ESCO - EUROPEAN SKILLS, COMPETENCES, QUALIFICATIONS AND OCCUPATIONS. **International Standard Classification of Education Fields of Education and Training**. ESCO. 2022. Disponível em: <https://esco.ec.europa.eu/en/about-esco/escopedia/escopedia/international-standard-classification-education-fields-education-and/>. Acesso em: 23 fev. 2024.

FORBUS, K.D.; WHALLEY, P.B.; EVERETT, J.O.; UREEL, L.; BROKOWSKI, M.; BAHER, J.; KUEHNE, S.E. Cyclepad: An articulate virtual laboratory for engineering thermodynamics. **Artificial Intelligence**, v.114, n.1-2, p. 297–347, 1999.

GIBBS, W. W. **Lost science in the third world**. Scientific American, v. 269, n.2, p. 76-83, 2003.

HILLMAYR, D.; ZIERNWALD, L.; REINHOLD, F.; HOFER, S. I.; REISS, K. M. The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. **Computers & Education**, v. 153, p.103897, 2020.

HOOSHYAR, D.; AHMAD, R. B.; YOUSEFI, M.; FATHI, M.; HORNG, S.J.; LIM, H. Applying an online game-based formative assessment in a flowchart-based intelligent tutoring system for improving problem-solving skills. **Computers & Education**, v. 94, p.18–36, 2016.

HSIEH, S.J.; YEEHSIEH, P. Integrated virtual learning system for programmable logic controller. **Journal of Engineering Education**, v. 93, n.2, p.169-178, 2004.

JOHNSON, W. L. Serious use of a serious game for language learning. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 20, n. 2, p. 175-195, 2007.

KEELE, S. *et al.* **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering** (Tech. Rep.). Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE. 2007.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. *et al.* Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. **EBSE Technical Report EBSE-2007-01**. Keele University and Durham University, UK. 2007.

LACAVE, C.; LUQUE, M.; DIEZ, F. J. Explanation of bayesian networks and influence diagrams in elvira. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)**, v. 37, n. 4, p. 952–965, 2007.

LAMGRIDGE, D. **Classificação**: uma abordagem para estudantes de Biblioteconomia. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

LATHAM, A.; CROCKETT, K.; MCLEAN, D. An adaptation algorithm for an intelligent natural language tutoring system. **Computers & Education**, v. 71, p. 97–110, 2014.

LEE, S.; NOH, H.; LEE, J.; LEE, K.; LEE, G. G.; SAGONG, S.; KIM, M. On the effectiveness of robot-assisted language learning. **ReCALL**, v. 23, n. 1, p. 25–58, 2011.

LILLIS, T.; CURRY, M. J. (2010). **Academic writing in a global context**: The politics and practices of publishing in English. Routledge.

MCCARTHY, J.; MINSKY, M. L.; ROCHESTER, N.; SHANNON, C. E. A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955. **AI magazine**, v. 27, n. 4, p. 12-14, 2006.

MCNAMARA, D. S.; CROSSLEY, S. A.; ROSCOE, R. Natural language processing in an intelligent writing strategy tutoring system. **Behavior research methods**, v. 45, p. 499–515, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0258-1>. Acesso em: 23 fev. 2024.

MICHEL, M. S.; KNOLL, T.; KÖHRMANN, K.; ALKEN, P. The uro mentor: development and evaluation of a new computer-based interactive training system for virtual life-like simulation of diagnostic and therapeutic endourological procedures. **BJU international**, v. 89, n. 3, p. 174–177, 2002.

MITNIK, R.; RECABARREN, M.; NUSSBAUM, M.; SOTO, A. Collaborative robotic instruction: A graph teaching experience. **Computers & Education**, v. 53, n. 2, p. 330–342, 2009.

MITROVIC, A.; MARTIN, B.; MAYO, M. Using evaluation to shape its design: Results and experiences with sql-tutor. **User Modeling and User-Adapted Interaction**, v. 12, p. 243–279, 2002.

MOHAMED, H.; LAMIA, M. Implementing flipped classroom that used an intelligent tutoring system into learning process. **Computers & Education**, v. 124, p.62–76, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.011>. Acesso em: 23 fev. 2024.

MOSTOW, J.; BECK, J. Some useful tactics to modify, map and mine data from intelligent tutors. **Natural Language Engineering**, v.12. n. 2, p.195–208, 2006.

MOUSAVINASAB, E.; ZARIFSANAIEY, N.; R. NIAKAN KALHORI, S.; RAKHSHAN, M.; KEIKHA, L.; GHAZI, S.M. Intelligent tutoring systems: a systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods. **Interactive Learning Environments**, v. 29, n. 1, p. 142–163, 2021.

NWANA, H. S. Intelligent tutoring systems: an overview. **Artificial Intelligence Review**, v. 4, n. 4, p. 251–277, 1990.

OECD. **Manual de Frascati**: Proposed standard practice for surveys on research and experimental development. OECD Publishing, 2002. Acesso em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264239012-en.pdf?expires=1708052022&id=id&accname=guest&checksum=1DD3AA43FF91B9CFE3CB21E0AFC50A7C>. Acesso em: 24 fev. 2024.

PAASSEN, B.; MOKBEL, B.; HAMMER, B. Adaptive structure metrics for automated feedback provision in intelligent tutoring systems. **Neurocomputing**, v. 192, p. 3-13, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.12.108>. Acesso em: 23 fev. 2024.

PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. **Information and software technology**, v.64, n. , p.1–18, 2015.

RACHELS, J. R.; ROCKINSON-SZAPKIW, A. J. The effects of a mobile gamification app on elementary students' spanish achievement and self-efficacy. **Computer Assisted Language Learning**, v.31, n. 1-2, p. 72–89, 2018.

ROSCOE, R. D.; ALLEN, L. K.; WESTON, J. L.; CROSSLEY, S. A.; MCNAMARA, D. S. The writing pal intelligent tutoring system: Usability testing and development. **Computers and Composition**, v.34, p.39–59, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compcom.2014.09.002>. Acesso em: 26 fev. 2024.

SARRAFZADEH, A.; ALEXANDER, S.; DADGOSTAR, F.; FAN, C.; BIGDELI, A. “How do you know that I don't understand?” a look at the future of intelligent tutoring systems. **Computers in Human Behavior**, v.24, n.4, p.1342–1363, 2008.

SHUTE, V. J.; PSOTKA, J.. **Intelligent tutoring systems**: Past, present, and future. Texas: Armstrong Laboratory, 1994.

STEENBERGEN-HU, S.; COOPER, H. A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on college students' academic learning. **Journal of educational psychology**, v. 106, n. 2, p. 331, 2014.

SURAWEERA, P.; MITROVIC, A. An intelligent tutoring system for entity relationship modelling. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 14, n. 3-4, p. 375–417, 2004.

SWALES, J. **English as Tyrannosaurus rex**. **World Englishes**, v.16, n.3, p. 373-382, 1997.

UNESCO. **International Standard Classification of Education: Fields of education and training 2013 (ISCED-F 2013)**. 2013. UNESCO. 2013. Disponível em: <https://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/international-standard-classification-of-education-fields-of-education-and-training-2013-detailed-field-descriptions-2015-en.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2023.

UNESCO. **Relatório de monitoramento global da educação**. UNESCO. 2023. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001873/187336por.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2024.

VANLEHN, K.; JONES, R.; SILER, C.; JORDAN, P.; LITMAN, D.; ROSE, C. The andes physics tutoring system: Lessons learned. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 15, n. 3, p. 147–204, 2005.

VISSER, M.; VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic. **Quantitative Science Studies**, v. 1, n. 1, p. 377-386, 2020. DOI: https://doi.org/10.1162/qss_a_00019. Acesso em: 23 fev. 2024.

WALKER, E.; RUMMEL, N.; KOEDINGER, K. R. Adaptive intelligent support to improve peer tutoring in algebra. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 24, p. 33–61, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40593-013-0001-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-013-0001-9>. Acesso em: 26 fev. 2024.

WARD, W.; COLE, R. A.; BOLAÑOS, D.; BUCHENROTH, J.; LI, K.; ZHAO, K. My science tutor: A conversational multimedia virtual tutor for elementary school science. **ACM Transactions on Speech and Language Processing (TSLP)**, v. 7, n. 4, p. 1–29, 2011.

WIJEKUMAR, K. K.; MEYER, B. J.; LEI, P. Large-scale randomized controlled trial with 4th graders using intelligent tutoring of the structure strategy to improve nonfiction reading comprehension. **Educational Technology Research and Development**, v. 60, p. 987–1013, 2012. Disponível em: https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s11423-012-9263-4&casa_token=jOwh7fKWpocAAAAA:UiWFICQbp37ZQstMFs1jz-t8i8xlEvtmncWKmjnxR7yLlOfp4bvaONAJIZX8bgjYl3FA4V2elplvKtfnwA. Acesso em: 27 fev. 2024.

WOLFE, C. R.; REYNA, V. F.; WIDMER, C. L.; CEDILLOS, E. M.; FISHER, C. R.; BRUST-RENCK, P. G.; WEIL, A. M. Efficacy of a web-based intelligent tutoring system for communicating genetic risk of breast cancer: A fuzzy-trace theory approach. **Medical Decision Making**, v. 35, n1, p. 46–59, 2015.

WU, Q. Designing a smartphone app to teach english (l2) vocabulary. **Computers & Education**, v. 85, p. 170–179, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131515000652?casa_token=cvBrpHAoeF4AAAAA:V53ugMSc-YU2bBe-HA3sj0rOKVgE80DqiiikoZZvCwi4M_hKqtByLWYTHdkN7ZplEG0vidfJuQmo. Acesso em: 28 fev. 2024.