



Tutores Inteligentes Voltados à Matemática: Um Mapeamento do Cenário Nacional

Alan de Oliveira Santana – UFRN/PPgSC – alandeoliveirasantana@gmail.com –
<https://orcid.org/0009-0007-8559-001X>

Thiago Reis da Silva – IFMA/Campus São João dos Patos – thiago.reis@ifma.edu.br -
<https://orcid.org/0000-0003-4206-6801>

Eduardo Henrique da Silva Aranha – UFRN/PPgSC – eduardoaranha@dimap.ufrn.br -
<https://orcid.org/0000-0002-8446-638X>

Resumo. *A dificuldade no aprendizado de matemática é um problema conhecido nos cursos das exatas e que pode ser amenizado pelo uso de Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Para facilitar a adoção dessas tecnologias pelos professores e destacar oportunidades de pesquisa, este trabalho apresenta um mapeamento sistemático da literatura sobre o uso de tutores virtuais aplicados à educação matemática, destacando suas principais características e funcionalidades, benefícios e limitações. Os resultados apontam que os STI analisados oportunizam o ensino de matemática, especialmente nas disciplinas de Álgebra e Geometria da educação básica, destacando a criação de soluções que procuram identificar os erros dos alunos, criar soluções interativas que engajem e sejam efetivas no ensino e aprendizagem dos alunos, bem como, construir mecanismos que atuem em questões afetivas e ligadas aos estados emocionais dos alunos durante a interação com os STI.*

Palavras-chave: *Tutores Inteligentes, Matemática, Mapeamento Sistemático da Literatura.*

Intelligent Tutors Focused on Mathematics: A Mapping of the National Scenario

Abstract. *The difficulty in learning mathematics is a known problem in exact science courses, which can be alleviated by the use of Intelligent Tutoring Systems (ITS). To facilitate the adoption of these technologies by teachers and highlight research opportunities, this paper presents a systematic mapping of the literature on the use of virtual tutors applied to mathematics education, highlighting their main characteristics and functionalities, benefits, and limitations. The results indicate that the analyzed ITS opportunities facilitate mathematics teaching, especially in the Algebra and Geometry disciplines of basic education, highlighting the creation of solutions that seek to identify students' mistakes, create interactive solutions that engage and are effective in teaching and learning, as well as build mechanisms that act on affective issues and emotional states of students during interaction with ITS.*

Keywords: *Intelligent Tutors, Mathematics, Systematic Mapping of Literature.*

1. Introdução

A matemática é uma das disciplinas do conhecimento humano mais antigas, com seu surgimento ocorrendo simultaneamente em diversas civilizações, mas com destaque para os Babilônicos e Egípcios, e com os Gregos a considerando um dos pilares do saber humano (BOYER e MERZBACH, 2019). No entanto, muitos alunos relatam dificuldades no aprendizado de seus conceitos, não percebendo muitas vezes a importância da matemática para suas vidas (FERRUGINE *et al.*, 2022). De fato, disciplinas de matemática são grandes causadoras de retenção em cursos superiores, como os cursos de computação.



Para melhorar o aprendizado dos estudantes, alguns cursos de computação possuem disciplinas niveladoras de matemática, abordando assuntos como pré-cálculo. Essas disciplinas poderiam fazer uso de diversas metodologias e ferramentas propostas pela academia para mitigar essas dificuldades. Em especial, destacam-se os Sistemas Tutores Inteligentes (STI), ferramentas educacionais que procuram adequar o processo de aprendizagem às necessidades individuais de cada estudante (RODRÍGUEZ, 2021) e (SANTANA e ARANHA, 2019).

Uma das formas dos tutores atuarem é através do fornecimento de dicas e feedbacks aos estudantes. Estas formas de interação são ativadas através de mecanismos pedagógicos e da captura de ações dos alunos, como respostas, solicitações de ajuda, tempo gasto em uma tarefa, entre outros (HATTIE e TIMPERLEY, 2007). Entre as características dos STI estão a individualização da aprendizagem, a alta disponibilidade para resolução de dúvidas, a atuação em deficiências específicas dos alunos e a percepção de seus estados emocionais.

O conhecimento sobre as pesquisas, incluindo benefícios e limitações dos STI, facilita que educadores compreendam e apliquem melhor essas tecnologias para amenizar as dificuldades atuais da aprendizagem da matemática. Além disso, conhecer o estado da arte de STI é fundamental para o fomento de novas pesquisas na área. Nesse contexto, revisões sistemáticas da literatura são ótimos métodos científicos para difundir conhecimento sobre o estado da arte.

Até o momento da escrita deste artigo, foi possível encontrar as seguintes revisões já publicadas sobre STI: Lopes (2020) apresenta um panorama global dos STI no Brasil, limitando-se à análise dos temas abordados por esses tutores. Já o estudo de Lopes (2018) apresenta uma revisão internacional sobre STI para a matemática, procurando identificar o estado da arte desses sistemas no cenário global. Além de mais antigo, o trabalho de Lopes (2018) foca em publicações internacionais, não considerando os trabalhos publicados nos principais eventos e periódicos nacionais. Por isto, este estudo tem como objetivo mapear os principais eventos e periódicos da literatura nacional, a fim de levantar dados sobre as características, funcionalidades, benefícios e limitações dos STI voltados para a matemática, propostos e avaliados no cenário nacional.

2. Metodologia

Este trabalho apresenta um mapeamento sistemático da literatura, estruturado de acordo com as diretrizes apresentadas em (KO, LONGSTRETH e MYERS, 2015) e as recomendações indicadas em (JEDLITSCHKA, CIOLJKOWSKI e PFAHL, 2008), visando responder às seguintes Questões de Pesquisas (QP):

- **QP1:** Qual o público-alvo dos estudos encontrados?
- **QP2:** Quais as principais tecnologias utilizadas na construção dos tutores propostos?
- **QP3:** Quais os principais conteúdos matemáticos abordados pelos tutores?
- **QP4:** Quais são as abordagens ligadas à aplicação na matemática utilizadas pelos tutores analisados?
- **QP5:** Quais os benefícios dos STI para o aprendizado da matemática?

As questões QP1 e QP3 ajudam a identificar quais pesquisas podem ser aplicadas diretamente em cursos de computação ou na educação básica dos estudantes.



Já as questões QP2 e QP4 apresentam informações para a avaliação do estado da arte da área. Isto, adicionando-se a análise da QP5, deve fomentar a criação de novas linhas de pesquisa e incorporação dos resultados atuais em produtos desenvolvidos pela indústria de software educacional.

2.1. Estratégia de busca

Os artigos incluídos nesta revisão foram baixados a partir da base de dados do Portal de Publicações da Comissão Especial de Informática na Educação (CEIE) da SBC e do SBC OPEN LIB. A escolha por essas bases se justifica por indexarem os principais eventos e revistas nacionais ligados à educação e computação. Foi utilizada uma *string* de busca com os termos principais das QPs, construída usando-se os operadores lógicos AND e OR (KITCHENHAM, 2004):

((“Robô” OR “Robôs” OR “tutores inteligentes” OR “tutor inteligente” OR “sti” OR “Sistemas tutores inteligentes” OR “Sistema tutor inteligente”) AND matemática)

Outros termos também foram testados, porém não foram encontrados artigos adicionais e, por isso, não foram incluídos na *string* de busca apresentada. A *string* de busca foi utilizada com parâmetros de busca específicos, sendo estes: artigos publicados entre 1º de janeiro de 2001 e 31 de dezembro de 2022, e a inclusão de artigos em língua portuguesa e inglesa.

2.2. Processo de seleção

Uma análise em três etapas foi utilizada no processo de busca. Na primeira etapa, todos os estudos primários foram avaliados a fim de se identificar aqueles relevantes para responder às QPs. Um total de 26 estudos foram analisados. Após a leitura dos títulos, resumos e palavras chaves, este conjunto inicial foi reduzido para 21. Durante esta triagem inicial, foram aplicados os Critérios de Inclusão (CI) e Critérios de Exclusão (CE), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de Inclusão e Exclusão.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
<p>CI1: Artigos completos que abordam o uso de STI para matemática;</p> <p>CI2: Está escrito em português ou inglês;</p> <p>CI3: Publicado entre 2001 a 2022.</p>	<p>CE1: Artigo publicado como resumo ou resumo estendido;</p> <p>CE2: Artigo duplicado, excluindo-se a versão menos completa/mais antiga.</p>

Em uma segunda etapa, procedeu-se à leitura dos resumos e conclusão, e novamente à aplicação dos CI e CE. Dessa forma, foram selecionados um total de 11 estudos primários. É importante ressaltar que, em alguns casos, a leitura de outras partes dos artigos foi realizada para se proceder à seleção. Por fim, na terceira e última etapa, os estudos foram lidos na íntegra, respondendo-se às questões de pesquisa. As referências bibliográficas destes artigos podem ser visualizadas em: <<https://x.gd/Xz9Uw>>.

Além das etapas citadas, foi realizada uma etapa de *backward snowballing* “bola de neve” de forma interativa. Conforme Jalili e Wohlin (2012) esta técnica identifica possíveis estudos primários relevantes em suas referências. Um total de 413 artigos foram analisados nesta fase seguindo todos os critérios já descritos, porém, nenhum destes artigos foi inserido por estarem fora do escopo deste estudo.

2.3. Extração dos dados



O processo de extração de dados foi pautado pelas questões de pesquisa. Foi criada uma tabela com campos ligados aos dados esperados nos artigos, tais como características conhecidas na literatura, presentes em STI (*step-by-step*, *inner loop*, *outer loop* e outros), características da interação do STI com os alunos (interface, conceitos pedagógicos e tecnologias aplicadas), público-alvo, disciplina contemplada pelo tutor e outras características gerais presentes em trabalhos científicos (limitações, trabalhos futuros, proposta, benefícios, entre outros).

3. Resultados

Esta seção apresenta os resultados do mapeamento, respondendo a cada uma das questões de pesquisa e realizando discussões pontuais sobre os achados. Ressalta-se que sempre que um artigo incluído for citado neste trabalho, ele seguirá a formatação de identificação presente na Tabela 2, que contém um resumo das informações que foram extraídas de cada estudo.

Tabela 2 – Visão Geral dos estudos.

Estudo	Público-Alvo	Tecnologias	Conceitos da matemática	Abordagem
E1	Curso superior de engenharia	SymPy	Trigonometria	Linguagem natural, <i>Adaptive Intelligent Tutoring Systems</i> (AITSs), Aprendizagem Profunda, Rede Neural Recorrente
E2	Não informado	Redes de Petri, Mathema	Álgebra	Metodologia GAIA
E3	Disciplinas de matemática de cursos do ensino Superior	MATFIN	Matemática financeira	Não informado
E4	Alunos com idades entre 9 e 21 anos	Meu Tutor	Baseado na prova Brasil	<i>Bayesian Knowledge Tracing</i> (BKT), Teoria de Resposta ao Item (TRI), <i>Framework Analysis</i>
E5	Não informado	Orientação a Objetos, <i>Java Expert System Shell</i>	Geometria analítica	Não informado
E6	Ensino fundamental	Matematiquinha	Matemática fundamental	Sistema multiagente
E7	Não informado	Não informado	Geometria	Teoria das Múltiplas Representações Externas - MREs, <i>Adaptive Control of Thought</i> (ACT)
E8	Não informado	rede MLP (<i>Multilayer Perceptron</i>), WEKA, <i>Back Propagation</i>	Progressão geométrica	Não informado



E9	8° ano da educação básica	Sistema de Tutoria LEIA (<i>LEarnIng Algebra</i>), Algoritmos fuzzy	Álgebra	Lógica fuzzy
E10	Não informado	STI Curumim	Trigonometria básica	Teoria EAM
E11	Alunos com idade entre 12 e 13 anos	STI PAT2Math, protocolo EmAP-ML, Google Colab, Python, arquivo scv	Equação de primeiro grau	Métrica L, teste t, procedimento de correção <i>post-hoc</i>

3.1. QP1: Qual o público-alvo dos estudos encontrados?

Essa questão de pesquisa tem como objetivo mapear para quais públicos os STI estão sendo direcionados. Dentre os 11 artigos incluídos neste estudo, apenas 7 citaram seu público-alvo em experimentos ou relatos de experiência. Na sua maioria, os STI estavam ligados à educação básica: quatro trabalhos focados no ensino fundamental [E4, E6, E9 e E11] (33% dos artigos totais incluídos); apenas um trabalho (9%) focado no ensino médio [E4]; e dois artigos (18%) focados no ensino superior [E1 e E3].

Percebe-se assim uma atenção maior dos estudos na formação inicial da alfabetização matemática, o que está alinhado com a tendência de inserção do pensamento computacional na educação básica, aplicado muitas vezes através de problemas matemáticos e de raciocínio lógico.

Lopes (2018), um dos estudos com tema correlato a esta pesquisa, apresenta resultados para o público-alvo, citando que no contexto de sua pesquisa, apenas sistemas voltados à educação formal foram incluídos na revisão. Estes sistemas estavam, em sua maioria, voltados para a educação básica, havendo, contudo, uma quantidade relativamente menor direcionada ao ensino superior. Entretanto, o mesmo autor, em um estudo mais abrangente sobre o cenário brasileiro dos STI, Lopes (2020), apresenta dados similares, mas também com estudos voltados ao ensino técnico e à educação especial, todavia, em menor ocorrência que os demais públicos já apresentados em seu estudo anterior.

No cenário internacional, Zafari *et. al.* (2022) apresenta uma revisão sistemática orientada apenas para a educação K-12, ou seja, voltada para o ensino fundamental e médio. Também é perceptível esse cuidado com essa etapa da formação dos estudantes, com políticas públicas e inserção de tecnologias e conceitos de lógica nos primeiros anos, evoluindo esses conceitos por toda a educação K-12.

Corroborando com o cenário internacional, o Brasil também possui políticas e diretrizes no contexto de abranger o uso de tecnologias como os STI para a educação básica. Porém, como observado durante a análise dos estudos deste mapeamento, dificuldades de infraestrutura, formação dos educadores, realidade socioeconômica dos estudantes, entre outros, ainda são limitadores no atendimento desse público.

Como o ensino de matemática geralmente está relacionado à formação regular, era esperado que tivesse poucos ou nenhum estudo aplicando STI nesse contexto em cursos técnicos, em particular os profissionalizantes. Isso foi confirmado, com nenhum estudo atendendo a esse público. Todavia, dadas as limitações da aplicação, é sugerido por esta pesquisa que estudos investiguem esse achado, procurando definir as



motivações e contextos para o pouco número de STI da matemática aplicados a cursos técnicos.

3.2. QP2: Quais as principais tecnologias utilizadas na construção dos tutores propostos?

Para responder a esta questão de pesquisa, foram analisados dados gerais sobre tecnologias, incluindo linguagens de programação, periféricos, algoritmos, entre outros aspectos, que foram utilizados para construir as soluções. Neste sentido, os STI descritos neste estudo apresentaram o uso de linguagens de programação que permitiram sua execução em navegadores e em dispositivos móveis (Java, Javascript e Python), além de versões para sistemas operacionais específicos. Isso é muitas vezes essencial, uma vez que os estudos apontaram limitações dos equipamentos e da infraestrutura de redes das instituições de ensino. Assim, o uso do poder de processamento de um servidor e a disponibilização do acesso remoto para qualquer dispositivo (computador ou smartphone) e fora de um local específico podem tornar os STI mais acessíveis.

Outro ponto importante destacado é o uso de sistemas como o WEKA [E8], Google Colab [E11], Redes de Petri [E2] e *Java Expert System Shell* [E5]. Esses são exemplos de tecnologias que auxiliam não apenas na construção da análise de dados de forma automatizada pelos STI, mas também na criação da infraestrutura dos sistemas através de tecnologias de ponta, aumentando o ganho de produtividade no desenvolvimento e manutenção dos STI para matemática.

Em relação às soluções de IA, destacaram-se o uso de Lógica Fuzzy [E9], Redes MLP [E8] e o uso de algoritmos de *Back Propagation* para o treinamento da rede. Essas são soluções amplamente usadas na academia e no mercado, justificando seu uso a partir de documentação e vasto acesso a plugins e dados que podem ser utilizados em conjunto com essas tecnologias para ganho de produtividade, além da qualidade nativa dessas soluções.

3.3. QP3: Quais os principais conteúdos matemáticos abordados pelos tutores?

Esta questão de pesquisa também possui forte relação com os estudos de Lopes (LOPES, 2018) e (LOPES, 2020), uma vez que estes mapearam conteúdos também mapeados neste estudo, sendo eles: os conteúdos de Álgebra [E2, E4, E6, E9 e E11], Trigonometria [E1, E4 e E10], Geometria [E4, E5, E7 e E8], Aritmética [E4 e E6] e Lógica [E4] para a educação básica e superior. Além dos conceitos citados, outro conteúdo também foi abordado na aplicação dos STI, a financeira [E3 e E4].

Destaca-se que, dentre os conteúdos matemáticos citados, a lógica matemática foi a única disciplina que não foi diretamente mencionada nos estudos. No entanto, ela faz parte do currículo da Prova Brasil, que serviu de base para a atuação do STI presente no estudo [E4]. Além disso, a lógica matemática é um dos conceitos trabalhados em disciplinas de pensamento computacional na educação básica e superior, e faz parte da inclusão da computação na educação brasileira.

Estes achados estão associados ao público-alvo dos STI avaliados, uma vez que, por estarem ligados fortemente ao ensino regular, é esperado que esses conceitos sejam os mais abordados, algo que se repete no ensino superior. A Figura 1 apresenta o comparativo proporcional entre os conteúdos da matemática.

Em relação especificamente ao ensino superior, observou-se a aplicação dos tutores voltados para disciplinas que revisitam os conteúdos da educação básica, como o



pré-cálculo, algo que pode estar ligado à evidência de deficiências na aprendizagem de matemática na educação básica, com repercussões nos estudantes da educação superior. Dada a hipótese de que isso seja verdadeiro, o uso dos STI surge como uma forma de auxiliar e acelerar o domínio dos conceitos básicos de matemática para os alunos do ensino superior, algo descrito nos trabalhos analisados.

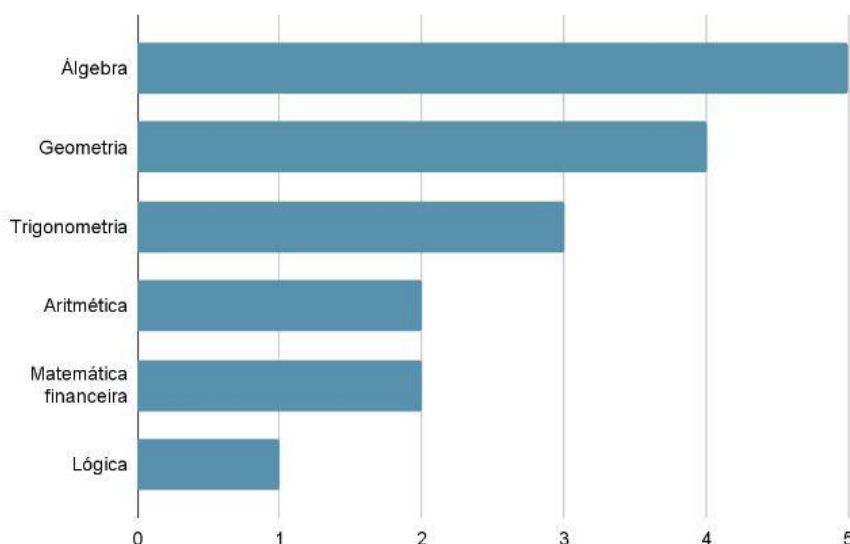


Figura 1: Proporção de conteúdos entre os artigos incluídos.

Ainda sobre o contexto da aplicação dos STI citado no parágrafo anterior, os artigos [E1, E7, E8, E9 e E11] destacam as dificuldades encontradas por alunos em disciplinas de matemática, como frustração por dificuldades em conteúdos motivadas por não domínio prévio de requisitos de domínio de conhecimento, problemas sociais de interação com outros colegas e com os professores, falta de engajamento durante as aulas, entre outros e independentes de disciplinas. Como sugestão geral, os autores dos estudos mencionados sugerem a aplicação dos STI como forma complementar aos trabalhos dos educadores, atuando com feedback sobre a aprendizagem e/ou score de acertos de problemas matemáticos, ferramenta de ensino continuado dentro e fora da escola, mecanismo de acompanhamento personalizado para perfis diferentes de alunos e meios de melhoria do engajamento dos estudantes.

Era esperada a aplicação dos STI para a matemática em conteúdo de lógica e pensamento computacional de forma parcial ou completamente exclusiva, porém, isso não foi observado. Acredita-se que sua não inclusão possa estar vinculada a uma limitação da string de busca que não vinculou lógica à matemática e aos STI, fazendo com que trabalhos sobre o tema que não utilizaram o termo "lógica matemática" não tenham sido incluídos. Outra hipótese é que os conceitos de lógica sejam aplicados em tutores mais gerais e direcionados especificamente para conteúdo de programação

3.4. QP4: Quais são as abordagens ligadas à aplicação na matemática utilizadas pelos tutores analisados?

Esta questão investiga como os STI estão abordando pedagogicamente os conteúdos da matemática. Para respondê-la, tentou-se observar detalhes sobre os processos de interação com as interfaces do STI, os processos de *inner loop* e *outer loop* dos tutores, em especial quando descritos claramente, e as tecnologias aplicadas às soluções pedagógicas propostas.

Um conjunto de teorias, metodologias, conceitos e tecnologias foi observado, a saber: Processamento de Linguagem natural, *Adaptive Intelligent Tutoring Systems*
 V. 21 N° 1, julho, 2023 RENOTE



(AITSs), Aprendizagem Profunda e Rede Neural Recorrente (RNR) em [E1]; metodologia GAIA em [E2]; *Bayesian Knowledge Tracing* (BKT), Teoria de Resposta ao Item (TRI) e *Framework Analysis* em [E4]; Sistemas multiagentes em [E6]; Teoria das Múltiplas Representações Externas (MREs) e *Adaptive Control of Thought* (ACT) em [E7]; Teoria fuzzy em [E9]; Teoria EAM em [E10]; e Métrica L, Teste T, *step-by-step* e procedimento de correção *post-hoc* em [E11].

Nota-se que essas soluções estão ligadas ao cerne do processamento dos STI, aplicando a análise sobre os dados gerados na interação dos alunos com os sistemas. Esses dados foram gerados principalmente pelos estímulos de entrada, como responder a um problema matemático e solicitar ajuda do tutor virtual, mas também como reentrada do próprio sistema a partir de uma saída de outra análise previamente realizada.

Nesse sentido, o inner loop dos tutores procurou analisar as respostas em tempo de execução e procurar erros para gerar feedback imediato, antes de ativar seu módulo outer loop para escolher o próximo passo do ensino/aprendizagem com o STI. Algumas metodologias, como *step-by-step* [E1, E11] e TRI [E4] se destacaram na execução do inner loop, apresentando tutores capazes de receber respostas parciais e ir analisando-as, bem como relacionar o grau de dificuldade e a capacidade de resposta do aluno dentro da tarefa e fornecendo feedback imediato. Por sua vez, o uso da Teoria fuzzy [E9], RNR [E1], BKT [E4], TRI [E4] e de outros conjuntos de soluções também se destacaram no *outer loop*, avaliando a progressão do aluno no conteúdo e/ou disciplina. Assim, essas soluções forneceram o suporte necessário para a completa aplicação (*inner* e *outer*) dos conceitos pedagógicos aplicados.

Em relação à identificação dos erros dos alunos, observou-se o uso da métrica L [E11] e do teste T [E11] para o mapeamento das dificuldades encontradas nas atividades durante a interação com os STI, utilizando o procedimento de correção *post-hoc* [E11] para criar os mecanismos de resposta. Outras aplicações para a identificação dos erros dos alunos são a Teoria EAM em [E10], que também foi utilizada na classificação dos erros, a Teoria Fuzzy [E9] e a RNR [E1]. Essa diversidade de soluções para a classificação indica um esforço em busca de métodos eficientes para a identificação em tempo real das dificuldades dos alunos. Apesar de todas as soluções apresentarem resultados satisfatórios, ainda se percebe muito espaço para o aperfeiçoamento dessas técnicas nas aplicações de identificação e classificação de erros em STI voltados à matemática.

3.5. QP5: Quais os benefícios dos STI para o aprendizado da matemática?

Esta questão objetiva identificar os benefícios descritos pela aplicação dos STI na matemática no contexto nacional, baseado nos resultados apresentados pelos estudos selecionados, mesmo naqueles que descreveram apenas relatos de experiência ou descrições de STI.

Embora as metodologias e conceitos pedagógicos utilizados pelos tutores tenham sido diferentes, os resultados foram unânimes, apontando que o uso de STI para a matemática fortalece a confiança do aluno, permite a exploração das dificuldades e soluções para estas, e fornece para alunos e professores formas de reduzir a carga cognitiva no ensino e na aprendizagem.

Analisando-se os dados quantitativos apresentados pelos estudos, foi observado que os tutores mostraram ganhos de aprendizagem pelas suas aplicações. Porém, com alguns tutores não conseguiram demonstrar significância estatística em sua maior



eficiência do que dados provenientes dos grupos de controle (sem uso de STI). Isto indica a necessidade de realização de mais estudos para verificar se os resultados positivos são generalizáveis.

Também se destacou o uso dos STI como ferramentas de apoio aos professores e alunos, e não soluções completas e independentes da interferência humana. Em muitos estudos, apesar da independência inicial do sistema em fornecer aos alunos uma experiência de ensino individualizada, eram gerados logs entregues aos educadores, requerendo análise manual dos efeitos do tutor e de inferências pontuais nos problemas de aprendizagem identificados. Sobre o último ponto citado, alguns STI coletaram dados e criaram *logs* brutos, dificultando a análise pelo professor. Já outros criaram interfaces que permitiam, em alto nível, apresentar os relatórios de uso dos STI pelos estudantes. Isto indica que alguns destes tutores ainda precisam ser melhor ajustados como produtos para sua aplicação por professores nas escolas.

Uma recomendação de trabalho futuro presente inclusive em muitos dos estudos avaliados é uma maior variedade no escopo das pesquisas sobre STI para a matemática, incluindo mais conteúdos, público, tipos de instituição e de metodologias, uma vez que apesar de resultados promissores, questões como tecnologia e fatores socioeconômicos de alunos, professores e regiões do Brasil ainda impactam sua aplicação. Além disso, mais estudos podem favorecer o desenvolvimento de soluções que atendam melhor a realidade nacional, facilitando assim sua aplicação em escolas no Brasil.

4. Ameaças a validade e limitações

Algumas ameaças à validade podem estar relacionadas a criação da string de busca, podendo ter deixado de lado algum termo específico ligado ao escopo do estudo. Para mitigar isto, foi realizado o teste de diversos termos comuns na confecção de tutores virtuais inteligentes, incluindo termos como agentes pedagógicos e robôs.

Outra ameaça foram as bibliotecas de indexação utilizadas, uma vez que foram pesquisados trabalhos em língua brasileira e inglesa, porém, nenhum trabalho em inglês foi incluído. Era possível que o uso de bibliotecas como o SCOPUS e IEEE retornassem trabalhos relevantes, todavia, deu-se preferência para trabalhos publicados no Brasil, por serem bases de extrema qualidade e voltados a discussões dentro do país, favorecendo que os achados presentes nos estudos reflitam a realidade nacional comparada com as tecnologias e metodologias aplicadas por profissionais nacionais.

5. Conclusão

A matemática é um dos princípios fundamentais da sociedade humana e as dificuldades encontradas pelos alunos podem ser mitigadas pelo uso de STI. Identificar iniciativas relacionadas a isso foi o foco principal deste estudo, criando um mapeamento dos STI desenvolvidos no Brasil aplicados à matemática e permitindo uma visão geral de como eles foram desenvolvidos e aplicados.

Para tanto, foi apresentado o planejamento do estudo, organizado através de um protocolo que indica quais artigos devem ser lidos e analisados, selecionando-os através de uma string de busca e removendo artigos que estejam fora do escopo esperado. Ao final, 11 artigos foram incluídos e usados para responder às questões de pesquisa deste estudo. Buscou-se definir um cenário geral de como os tutores são desenvolvidos, incluindo o público-alvo, tecnologias e abordagens utilizadas, benefícios e principais conteúdos matemáticos explorados nos estudos.



Os resultados sugerem que o uso de STI para a matemática pode gerar ganhos na aprendizagem, engajamento e em aspectos da relação entre professores e alunos, fortalecendo as experiências de ambos através dos sistemas. Porém, a reduzida quantidade de artigos publicados encontrados na área indica a necessidade de mais pesquisas para uma melhor aplicação dos STIs ao contexto nacional.

Por fim, este estudo espera ser uma fonte de apoio para que os atuais e futuros desenvolvedores possam compreender como os STI para a matemática estão sendo pesquisados e aplicados no Brasil.

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001.

Referências

- BOYER, C. B.; MERZBACH, U. C. História da matemática. Editora Blucher, 2019.
- FERRUGINE, S. S.; DA SILVA, M. V.; EVANGELISTA, D. H. R.; EVANGELISTA, C. J. (2022). Construção de HQs no ensino de Matemática: relato de experiência com alunos do Ensino Fundamental. In: *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 8, n. 5, p. 14311-01e, 2022.
- HATTIE, J.; TIMPERLEY, H. The Power of Feedback. In: *Review of Educational Research*, v. 77, n. 1, p. 81-112, 2007.
- JEDLITSCHKA, A.; CIOLKOWSKI, M.; PFAHL, D. In: *Reporting Experiments in Software Engineering*. Springer London, London, 2008. p. 201-228.
- KO, A. J.; LONGSTRETH, L. T.; MYERS, B. M. A Practical Guide to Controlled Experiments of Software Engineering Tools with Human Participants. In: *Empirical Software Engineering*, v. 20, n. 1, p. 110-141, 2015.
- LOPES, A. M. M.; DE MAGALHÃES NETTO, J. F. Sistemas Tutores Inteligentes: Um Mapeamento das Produções Brasileiras. In: *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 2020. p. 1313-1322.
- LOPES, Arcanjo; N. J. F. LIMA. O Uso de Agentes Conversacionais no Apoio do Ensino de Resolução de Problemas Matemáticos: Uma Revisão Sistemática da Literatura. In: *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, v.29, n.1, p.1403, 2018.
- RODRÍGUEZ C. M. H. Sistemas de Tutoría Inteligente y su Aplicación en la Educación Superior. RIDE. In: *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, v. 11, n. 22, 2021.
- SANTANA, A. O.; ARANHA, E. An Approach to Generate Virtual Tutors for Game Programming Classes. In: *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2019. p. 246-252.
- ZAFARI, M.; BAZARGANI, J. S.; SADEGHI-NIARAKI, A.; CHOI, S. M. Artificial Intelligence Applications in K-12 Education: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, v. 10, p. 61905-61921, 2022.