

Ferramentas computacionais para auxílio de pessoas com deficiência visual em disciplinas de matemática: uma revisão sistemática da literatura

Filipe Chaves
Instituto de Informática
UFG
Goiânia, Brasil
filipechavs7@gmail.com

Maurício Rodrigues Lima
Instituto de Informática
UFG
Goiânia, Brasil
k20x@outlook.com

Elisângela Silva Dias
Instituto de Informática
UFG
Goiânia, Brasil
elisangelasd@ufg.br

Augusto César Falcão
Instituto de Informática
UFG
Goiânia, Brasil
augustocesar.ffalcao@gmail.com

Abstract—This study aims to systematically evaluate and identify key technologies designed to enhance accessibility in higher education mathematics courses. Using the latest version (2020) from the *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) methodology, the research examines a range of assistive tools, including equation readers, tactile visualization systems, and accessible programming environments. Although these technologies have the potential to address accessibility gaps, significant limitations persist, such as the lack of comprehensive implementation guidelines and insufficient training resources for educators. This systematic review provides a fundamental analysis of contemporary trends and empirical evidence in assistive technology, offering insights for researchers, practitioners, and policymakers to address these challenges and foster equitable learning environments in mathematics education. The study was conducted through the definition of a relevant set of keywords, the formulation of three research questions, the establishment of article selection criteria, and the synthesis of empirical evidence in the field. Our sample includes five relevant articles published between 2018 and 2024. This systematic mapping will assist researchers, educators, and professionals in focusing efforts to better understand and improve the application of assistive technologies in mathematics education.

Keywords—Assistive Technology; Mathematic; Visual Impairment

Resumo—Este estudo tem como objetivo avaliar e identificar sistematicamente as principais tecnologias destinadas a aprimorar a acessibilidade em cursos de matemática no ensino superior. Utilizando a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) versão 2020, a pesquisa examina uma variedade de ferramentas auxiliares, incluindo leitores de equações, sistemas de visualização tátil e ambientes de programação acessíveis. Embora essas tecnologias tenham o potencial de suprir lacunas de acessibilidade, persistem limitações significativas, como a falta de diretrizes abrangentes para sua implementação e recursos de capacitação insuficientes para educadores. Esta revisão sistemática oferece uma análise fundamental das tendências e evidências em tecnologia assistiva, proporcionando perspectivas para pesquisadores, profissionais

e formuladores de políticas enfrentarem esses desafios e promoverem ambientes de aprendizado equitativos no ensino de matemática. O estudo foi conduzido por meio da definição de um conjunto de palavras-chave relevantes, formulação de três questões de pesquisa, estabelecimento de critérios de seleção de artigos e síntese das evidências empíricas na área. Este estudo inclui cinco artigos relevantes publicados entre 2018 e 2024. Esta revisão sistemática da literatura auxiliará pesquisadores, educadores e profissionais a direcionarem esforços para compreender e aprimorar a aplicação de tecnologias assistivas no ensino de matemática.

Palavras-chave—Tecnologia Assistiva; Matemática; Deficiência Visual

I. INTRODUÇÃO

Tecnologia Assistiva (TA) pode ser definida como uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços, que objetiva promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social [1], as quais são reconhecidas em âmbito nacional e internacional, de modo que a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (PcD) nº 13.146, de julho de 2015, reconhece a importância das TAs como ferramentas essenciais para garantir a igualdade de oportunidades e o pleno exercício dos direitos das PcD [2].

Segundo a Cartilha do Censo 2010 [3] há um total de 45.606.046 de pessoas com deficiência no Brasil, o que equivale a 23,9% da população brasileira e, destas, 1,6% são totalmente cegas (mais de 500.000 pessoas) [4]. Neste contexto, as TAs estão desempenhando um papel importante na educação de PcD, disponibilizando dispositivos e *softwares* que, com planejamento e orientação cuidadosa, podem beneficiar significativamente os alunos com deficiência [5].

Aspectos curriculares e formacionais nas disciplinas de exatas podem ser desafiadores para PcDs, como, por exemplo, para alunos cegos ou com deficiência visual que enfrentam dificuldades em estudar matemática e navegar em um ambiente de programação [6]. Esse desafio se torna evidente em cursos de computação, onde são comuns e diversas as disciplinas de matemática. Neste contexto, as tecnologias assistivas tem um papel fundamental nas políticas públicas de inclusão social para permitir que essas pessoas possam ter o melhor acesso a esses recursos, tornando o ensino mais igualitário e, assim, proporcionar aos alunos a oportunidade de permanecer e compartilhar o mesmo ambiente educacional [7].

A matemática, por sua natureza simbólica e visual, apresenta desafios únicos para alunos cegos, que muitas vezes dependem de tecnologias assistivas para acessar conteúdos acadêmicos de forma eficaz. Além disso, o desenvolvimento dessas ferramentas frequentemente carece da participação ativa de pessoas com deficiência visual, o que limita sua eficácia em atender às reais necessidades dos usuários finais [8]. Portanto, o objetivo deste estudo é a realização de uma revisão sistemática da literatura, permitindo uma análise abrangente e aprofundada de potenciais tecnologias assistivas focadas em beneficiar alunos com deficiência visual, incluindo cegueira total, no ambiente educacional.

O objetivo geral deste trabalho é realizar um levantamento e uma análise de tecnologias assistivas aplicáveis ao ensino de disciplinas matemáticas no âmbito universitário, a fim de contribuir para o aprendizado de pessoas com deficiência visual.

Para atingir esse objetivo, a pesquisa buscará realizar uma revisão sistemática da literatura (RSL) que avalie de forma abrangente as evidências sobre tecnologias assistivas capazes de promover melhor qualidade de vida e educação para alunos com deficiência em disciplinas de matemática; investigar, por meio de evidências práticas e relatos de caso, de que maneira as ferramentas matemáticas em tecnologias assistivas impactam o aprendizado e a autonomia desses alunos no ambiente acadêmico; e analisar diretrizes recomendadas e boas práticas para o uso dessas ferramentas, com base em estudos e pesquisas acadêmicas consolidadas.

II. TRABALHOS CORRELATOS

Dentre os trabalhos relacionados identificados, destaca-se o estudo de Klingenberg et al. [9], que analisa a literatura existente sobre a educação matemática de estudantes com deficiência visual, com foco em práticas baseadas em evidências. A revisão realizada nas bases PubMed, Web Of Science, ERIC e Scopus destaca o uso de ferramentas como o ábaco e gráficos táteis, além da importância de professores qualificados que adaptem estratégias de ensino para promover o aprendizado matemático. Um ponto crítico levantado é a falta

de pesquisas recentes e metodologicamente rigorosas, dificultando a definição de melhores práticas para essa população. Diferente do presente estudo, que tem como foco principal as tecnologias assistivas computacionais matemáticas e abrange publicações mais recentes (2018-2024), o estudo de Klingenberg et al. [9] analisa estudos publicados até 2017, com foco em ferramentas tradicionais e abordagens pedagógicas gerais.

Outro trabalho relevante é o estudo de Miyauchi [10] que realiza uma análise abrangente de 18 estudos publicados entre 1980 e 2020, nas bases Education Full Text (Wilson), ERIC, EBSCOhost, ProQuest e PsycInfo sobre a inclusão de estudantes com deficiência visual em salas de aula regulares. A revisão foca em dois temas principais: as percepções dos professores do ensino geral sobre a inclusão desses estudantes e os desafios enfrentados por eles no acesso a disciplinas acadêmicas, como Matemática, Ciências e Educação Física. Os resultados revelam que as percepções dos professores variam entre positivas e negativas, sendo influenciadas por fatores relacionados aos próprios professores (como a falta de preparo), aos alunos (nível de deficiência visual e desempenho acadêmico) e ao ambiente escolar. Em relação ao acesso às disciplinas, muitos estudantes enfrentam exclusão em atividades práticas, como experimentos científicos e aulas de Educação Física, e têm oportunidades limitadas de cursar disciplinas avançadas. Estratégias pedagógicas genéricas, ferramentas de ensino-aprendizagem eficazes (como recursos táteis e auditivos) e suporte externo de especialistas foram destacados como elementos essenciais para aumentar a acessibilidade e melhorar a inclusão.

Enquanto Klingenberg et al. [9] se concentra em práticas pedagógicas tradicionais e enfatiza a necessidade de professores qualificados para adaptar estratégias de ensino, Miyauchi [10] aborda de maneira mais ampla os desafios da inclusão de estudantes com deficiência visual, explorando percepções de professores e propondo formas de reduzir as barreiras ao acesso acadêmico. Diferentemente destes, o presente estudo foca exclusivamente em tecnologias assistivas computacionais aplicadas à Matemática, concentrando-se em publicações recentes e investigando avanços tecnológicos que impactam diretamente na inclusão acadêmica em cursos de Matemática no ensino superior.

III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta três eixos conceituais para compreensão da teoria apresentada neste estudo: Tecnologia Assistiva, a condição da deficiência visual e as ferramentas computacionais aplicadas ao ensino de Matemática.

A. Tecnologia Assistiva

Tecnologia Assistiva (TA) compreende dispositivos, equipamentos e softwares desenvolvidos para mitigar barreiras enfrentadas por pessoas com deficiência (PcDs), promovendo autonomia e participação plena na educação, no trabalho e nas atividades diárias [11]. Em contextos escolares, a TA ajusta o processo de ensino-aprendizagem às necessidades de cada estudante, favorecendo a inclusão [12].

No ensino de Matemática, recursos como ábacos táteis, materiais concretos adaptados e objetos delimitadores complementam ou substituem o Braille, oferecendo estímulos táteis e auditivos que fomentam habilidades de contagem, organização e abstração numérica [13]. A adoção sistemática desses recursos em instituições de ensino superior, como incentiva a Secretaria de Inclusão da Universidade Federal de Goiás [14], reforça o compromisso acadêmico com ambientes acessíveis.

B. Deficientes Visuais

A deficiência visual implica perda parcial (baixa visão) ou total (cegueira) da capacidade de enxergar, não corrigível por lentes convencionais, exigindo mediações pedagógicas que utilizem canais sensoriais alternativos, como tato e audição [15]. No caso da baixa visão, o indivíduo pode perceber vultos ou claridade; já na cegueira total não há percepção luminosa. Diferenças também emergem entre cegueira congênita e adquirida, pois o processo de adaptação ocorre em momentos distintos da vida [16].

Em Matemática, a natureza abstrata dos conceitos intensifica as dificuldades: ausência de grafias adequadas, escassez de materiais táteis e desafios na escrita Braille distanciam o aluno do conteúdo [17]. A superação dessas barreiras depende, portanto, do acesso contínuo a recursos adaptados.

C. Ferramentas Computacionais na Matemática

Ferramentas computacionais específicas para Matemática convertem notações, por exemplo, de Braille para representação alfanumérica, recorrendo a processamento de imagem, síntese de voz e leitores de tela, ampliando o acesso de estudantes com deficiência visual a materiais acadêmicos [18]. Pesquisas apontam obstáculos em conteúdos como frações ou geometria, indicando a urgência de intervenções metodológicas e tecnológicas pertinentes [19].

Para serem efetivas, essas ferramentas precisam de interfaces intuitivas, possibilidades de personalização e integração com múltiplos dispositivos, superando limitações físicas dos sistemas tradicionais [20]. Assim, favorecem a aprendizagem significativa e a participação ativa de estudantes cegos ou com baixa visão em ambientes educacionais.

IV. METODOLOGIA

Foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que é um método estruturado que visa oferecer uma visão abrangente sobre um determinado tema ao sintetizar as evidências disponíveis de forma rigorosa e objetiva [21]. Diferentemente de revisões narrativas, a RSL segue protocolos previamente estabelecidos para buscar, selecionar e avaliar estudos relevantes, garantindo que as conclusões apresentadas sejam embasadas em dados confiáveis. Essa abordagem é essencial para evitar vieses, promovendo a transparência e a replicabilidade dos resultados [22]. Foi utilizada a plataforma *Parsifal*¹ para se registrar o andamento e o método *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) [23] para estabelecer diretrizes que guiassem a RSL. O trabalho foi realizado entre julho de 2024 e novembro de 2024, utilizando a versão disponibilizada para o método PRISMA (2020), que apresenta novas diretrizes em sua lista de 27 itens de verificação e diagramas de fluxo (Figura 1), reforçando a rigidez e a replicabilidade do estudo.

A seguir, serão apresentadas as questões de pesquisa, o método e o processo de busca, a execução da triagem e seleção dos estudos, os critérios de inclusão e exclusão, a forma como foi feita a avaliação de certeza e o formulário de extração de dados dos estudos finais.

A. Questões de Pesquisa

Este estudo se propõe a abordar três questões de pesquisa, sendo elas:

- QP1: Quais tecnologias assistivas são utilizadas no ensino de matemática no ambiente acadêmico para alunos com deficiência visual?
- QP2: Como as ferramentas matemáticas em tecnologias assistivas impactam o aprendizado de alunos com deficiência visual no ambiente acadêmico?
- QP3: Existem diretrizes e evidências práticas recomendadas para o uso de ferramentas de tecnologias assistivas em disciplinas matemáticas no ambiente acadêmico?

B. Busca

Para buscar estudos relevantes que possibilitassem responder às questões de pesquisa definidas, foram selecionadas oito bases, conforme apresentado na Tabela I.

¹*Parsifal* é uma ferramenta online desenvolvida para apoiar pesquisadores na realização de revisões sistemáticas de literatura no contexto da Engenharia de Software. Site da plataforma: <https://parsif.al/>.

Base de Dados	Web Link	Data de acesso
ACM Digital Library	https://portal.acm.org	04-10-2024
El Compendex	https://www.engineeringvillage.com	07-10-2024
Science@Direct	https://www.sciencedirect.com	05-10-2024
Scopus	https://www.scopus.com	06-10-2024
Sol SBC	https://sol.sbc.org.br	06-10-2024
Springer Link	http://link.springer.com	06-10-2024
IEEE Digital Library	https://ieeexplore.ieee.org	08-10-2024
ISI Web of Science	https://www.isiknowledge.com	08-10-2024

TABELA 1

LISTA DAS BASES DE DADOS SELECIONADAS PARA O PROCESSO DE BUSCA.

Com as bases definidas, palavras-chave e seus sinônimos foram identificados a partir das perguntas de pesquisa, sendo posteriormente organizados para construir uma *string* de busca abrangente. A estruturação da *string* utilizou operadores lógicos *AND* e *OR*, conectando termos em quatro grupos principais: o primeiro grupo incluiu termos associados a estudantes e pessoas com deficiência visual, o segundo grupo abordou tecnologias e ferramentas assistivas, o terceiro grupo focou em conceitos relacionados à educação matemática e ensino superior e o quarto grupo destacou a inclusão acadêmica.

Após a definição das bases de dados e a organização das palavras-chave, criou-se uma *string* de busca (Quadro 1) com o objetivo de identificar estudos relevantes que tratassem do uso ou da avaliação de ferramentas computacionais voltadas para disciplinas de matemática no ensino superior.

((“Alunos” OR “Estudantes” OR “Discentes” OR “Students” OR “Learners” OR “Pessoas com deficiência visual” OR “Visually impaired individuals” OR “Blind people” OR “People with visual impairments”) AND (“Acessibilidade” OR “Accessibility” OR “Ferramentas computacionais” OR “Computational tools” OR “Tecnologias assistivas” OR “Assistive technologies” OR “Learning tools” OR “Educational software” OR “Adaptive technologies” OR “Technologies for inclusion”) AND (“Educação matemática” OR “Mathematics education” OR “Matérias matemáticas” OR “Ensino superior” OR “Higher education” OR “Universidade” OR “Faculdade” OR “College”) AND (“Inclusão acadêmica” OR “Academic inclusion” OR “Acessibilidade aprimorada” OR “Enhanced accessibility” OR “Improved access” OR “Educational inclusion”))

Quadro 1: *String* de busca utilizada.

C. Triagem e Seleção

Seguindo o método PRISMA [23], foram estabelecidas três etapas a serem realizadas ao decorrer da RSL, sendo elas: Identificação, Triagem e Inclusão, como visto na Figura 1. Primeiramente, foi realizada a fase de identificação dos estudos, sendo que um total de 1.389 estudos foram analisados. Destes,

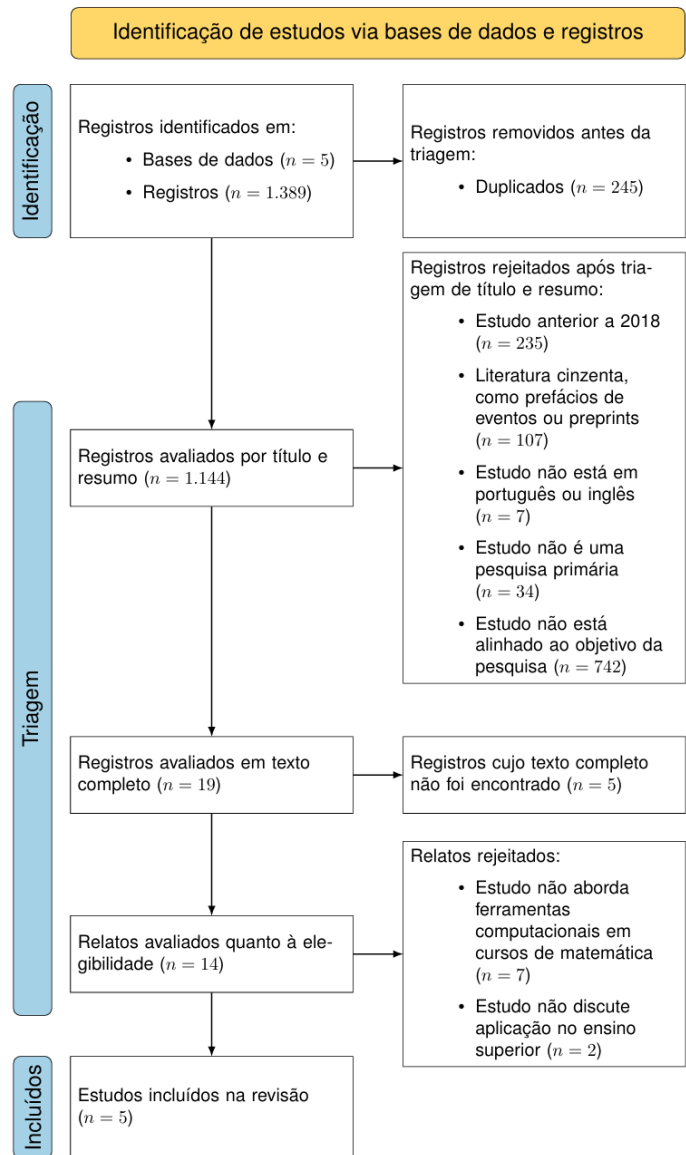


Fig. 1. PRISMA diagram showing identification, screening, and inclusion of studies for the systematic review.

463 (33,4%) foram obtidos na base de dados *ACM Digital Library*, 830 (59,8%) na *ISI Web of Science*, 13 (0,9%) na *El Compendex*, 14 (1,1%) na *IEEE Digital Library*, nenhum na *SOL SBC*, nenhum na *Springer Link*, nenhum na *Science Direct* e 67 (4,8%) na *Scopus*, como pode ser observado na Figura 2. Porém, destes 1.389 estudos, 245 estavam duplicados, de modo que para fase de triagem foram considerados 1.144 estudos.

Na segunda etapa, mostrada na Figura 1, foi realizada a triagem dos estudos identificados. Para garantir a precisão

dos resultados e selecionar os estudos adequados, evitando potenciais vieses no processo de seleção, a tarefa foi conduzida por dois pesquisadores de forma independente, com base nos critérios de elegibilidade estabelecidos para a revisão. Cada revisor documentou sua concordância ou não com a inclusão de cada estudo, após avaliar os títulos e resumos. As divergências foram resolvidas por um terceiro pesquisador. Durante a triagem foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão, tanto na leitura de títulos e resumos, quanto posteriormente na leitura completa dos estudos.

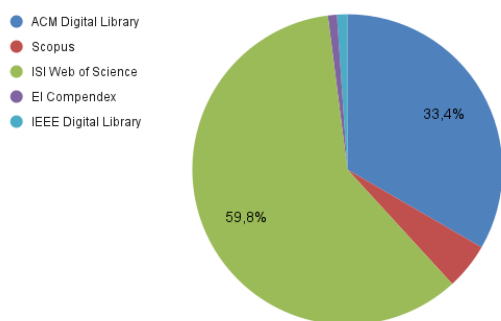


Fig. 2. Porcentagem de estudos obtidos em cada base de dados.

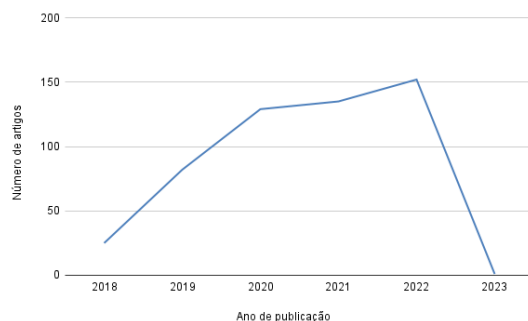


Fig. 3. Quantidade de estudos por ano, de acordo com a busca antes do processo de seleção.

Com os estudos devidamente importados na plataforma *Parsifal*, foi realizada a triagem de 1.144 trabalhos. Inicialmente, foram analisados apenas os títulos e os resumos dos estudos, rejeitando aqueles que não apresentavam relevância para o escopo deste estudo. Posteriormente, os trabalhos que foram selecionados para leitura na íntegra passaram novamente por critérios de inclusão e exclusão. Como resultado, apenas os trabalhos que exibiam possibilidade concreta de abordar as questões de pesquisa foram incorporados à RSL.

Com isso, 1.319 estudos foram rejeitados na leitura de título e resumo e depois mais 61 foram rejeitados ao serem lidos

completamente. Dessa forma, foram selecionados os trabalhos que respondiam às questões previamente estabelecidas.

Neste estudo, foram aplicados critérios de inclusão e exclusão com o objetivo de selecionar apenas os estudos que contribuíssem de maneira relevante para responder às questões de pesquisa. Alguns critérios de exclusão, como o de estudos publicados antes de 2018 foi estabelecido para garantir que o trabalho estivesse baseado em evidências contemporâneas, refletindo os avanços mais recentes na área de tecnologias assistivas matemáticas. Além deste, a escolha de limitar os estudos às línguas portuguesa e inglesa visou assegurar a acessibilidade linguística durante a análise, considerando que essas são as línguas em que o pesquisador possui fluência, garantindo maior precisão na interpretação e na validação dos resultados encontrados.

Os critérios de inclusão visam garantir que os estudos selecionados estejam alinhados ao objetivo central desta pesquisa, focando em ferramentas computacionais voltadas para a acessibilidade em disciplinas de matemática no ensino superior. Esses critérios permitem identificar evidências relevantes e direcionadas à aplicação prática no ambiente universitário, assegurando que os resultados obtidos sejam úteis tanto para estudantes com deficiência visual quanto para educadores e pesquisadores interessados em promover a inclusão acadêmica.

Foram incluídos estudos que (CI1) abordam ferramentas computacionais aplicáveis ao ensino de matemática e (CI2) situam-se no contexto do ambiente universitário.

Foram excluídos estudos que (CE1) não focam em pessoas com deficiência visual, (CE2) foram publicados antes de 2018, (CE3) não estão redigidos em inglês ou português, (CE4) não disponibilizam o texto completo, (CE5) constituem duplicatas, (CE6) não se caracterizam como pesquisas primárias, (CE7) apresentam temática desalinhada aos objetivos da pesquisa, (CE8) não configuram artigos de pesquisa ou (CE9) se classificam como literatura cinzenta, como prefácios de eventos.

D. Critérios de qualidade

Para avaliar a qualidade dos estudos obtidos nesta RSL, três perguntas foram registradas na plataforma *Parsifal*, sendo que cada pergunta foi pontuada atribuindo nota 1 para Sim, 0,5 para parcialmente e não atribuindo pontos caso o critério não seja encontrado. A soma das três notas, correspondentes às três respostas, pode variar entre 0 e 3. Foi estabelecida uma nota de corte com o objetivo de assegurar a qualidade dos estudos avaliados. A nota de corte definida foi 2.0 e as questões estabelecidas foram:

- CQ1: O artigo descreve os métodos utilizados para coletar e analisar os dados?
- CQ2: O artigo apresenta ou cita estudos que validam as tecnologias assistivas abordadas?

- CQ3: O artigo apresenta sobre aspectos éticos no uso de tecnologias assistivas para auxílio de alunos com deficiência visual?

E. Formulário de Extração de Dados

Após finalizar a revisão, foi criado um formulário para a extração de dados dos estudos incluídos na RSL. O objetivo era responder às questões de pesquisa deste trabalho, buscando criar um formulário que permitisse a extração de informações relevantes de cada estudo incluído. Essas informações serão utilizadas e discutidas na seção de Resultados e Discussão do trabalho. A plataforma *Parsifal* foi utilizada para o registro do formulário e das respostas. Na Tabela II, são detalhadas as questões estabelecidas, seus tipos e os valores correspondentes.

Descrição	Tipo	Valores
Qual o nome da tecnologia assistiva abordada pelo estudo?	String Field	Não foi definido
Qual é a finalidade principal ou função dessa tecnologia no contexto matemático em computação?	String Field	Não foi definido
Quais desafios e limitações estão associados ao uso dessa tecnologia assistiva nos cursos de matemática na computação?	String Field	Não foi definido
Essa tecnologia assistiva requer treinamento específico para uso eficaz?	String Field	Não foi definido
Essa tecnologia assistiva é comercialmente disponível, ou é um protótipo ou solução personalizada?	Select One Field	Disponível comercialmente, Protótipo, Solução personalizada
Qual o ano de publicação desse estudo?	Date Field	Não foi definido
Qual o cenário para essa tecnologia assistiva ser utilizada?	String Field	Não foi definido

TABELA II

FORMULÁRIO DE EXTRAÇÃO DE DADOS CONTENDO AS QUESTÕES, O TIPO DE ENTRADA E OS VALORES POSSÍVEIS.

V. RESULTADOS

Após realizar a etapa de triagem apresentada no diagrama do método PRISMA (Figura 1), foram lidos na íntegra 19 estudos, como pode ser visto na Tabela 1, sendo que, ao final, apenas cinco foram incluídos na RSL [23]. Dos estudos incluídos, dois foram da base de dados *IEEE Digital Library*, um foi da base *ISI Web of Science* e dois da *ACM Digital Library*. As demais bases não trouxeram estudos relevantes para esta RSL (Figura 4).

Dos dezenove estudos selecionados para leitura completa, doze foram localizados na *ACM Digital Library* ([24]–[34]); um na *Compendex* ([35]); três na *IEEE Digital Library* ([36]–[38]); e três na *ISI Web of Science* ([39]–[41]). As bases

Science@Direct, *Scopus*, *Sol SBC* e *Springer Link* não apresentaram estudos elegíveis após a triagem. Esse resultado evidencia a predominância de publicações indexadas pela *ACM*, seguida por contribuições pontuais em bases de engenharia e ciência aplicada.

Na revisão das tecnologias assistivas destinadas ao acesso e à produção de conteúdo matemático, identificaram-se dez soluções com aplicações distintas. *AudioMath*, *Access8Math*, *NavMatBR* e *CASVI* exigem treinamento prévio e são empregadas, respectivamente, para renderizar fórmulas em áudio, navegar e manipular expressões e ensinar matemática em braille ([24], [42], [43]). No campo da representação e exibição de fórmulas, destacam-se *LaTeX*, *MathJax* e *MathML*; as duas últimas dispensam treinamento e são amplamente utilizadas em ambientes *web* ([39], [44]). O ecossistema de leitores de tela (*JAWS*, *NVDA* e *VoiceOver*) oferece suporte acessível ao desenvolvimento de páginas e conteúdos técnicos sem necessidade de formação específica ([45]). Complementam o conjunto a solução *LAMBDA*, que permite acesso multimodal em braille e áudio; a ferramenta *Tradução de Matemática*, voltada a contextos bilíngues; e o sistema *DosVox*, destinado à navegação geral por pessoas com deficiência visual ([39], [46], [47]). Esses achados ressaltam a diversidade de abordagens tecnológicas e a importância de capacitação para maximizar os benefícios das ferramentas que requerem treinamento.

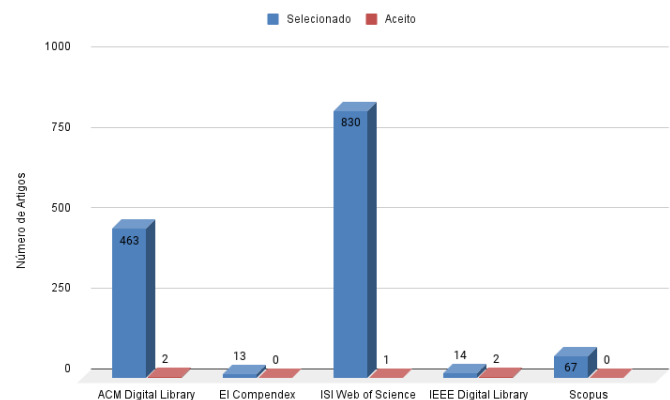


Fig. 4. Quantidade, por base de dados, de artigos selecionados para aplicação de critérios de elegibilidade e artigos aceitos após esta aplicação.

Dos cinco artigos incluídos na RSL, todos atenderam à nota de corte previamente estabelecida. Três desses artigos descreveram claramente os métodos utilizados para coletar e analisar os dados, enquanto os outros dois não apresentaram detalhes suficientes sobre os procedimentos metodológicos. Em relação à validação das tecnologias assistivas abordadas, todos os artigos citaram ou apresentaram estudos que corrob-

oram a eficácia ou aplicabilidade das ferramentas discutidas. No entanto, apenas dois artigos mencionaram aspectos éticos relacionados ao uso de tecnologias assistivas para auxiliar alunos com deficiência visual, demonstrando a necessidade de mais atenção a esse tópico em futuras pesquisas. Apesar disso, todos os artigos atenderam aos critérios mínimos de qualidade e relevância, alcançando a nota de corte estipulada, o que confirma sua pertinência para esta revisão sistemática da literatura.

A. Respondendo à QP1

Na categoria de suporte matemático e representação de fórmulas, destacam-se **AudioMath**, **Access8Math-NavMatBR**, **CASVI**, **LTpX**, **VoiceOver**, **MathJax**, **MathML**, **LAMBDA** e **Tradução de Matemática**. Cada uma dessas tecnologias apresenta características e limitações próprias que auxiliam no acesso de estudantes com deficiência visual ao conteúdo matemático.

AudioMath [42] converte expressões em MathML para áudio com contornos prosódicos adequados, oferecendo ainda navegação intra-fórmula e reconhecimento de abreviações, siglas e números que, de outro modo, seriam mal interpretados por sintetizadores de voz. A Figura 5 ilustra sua interface de renderização.

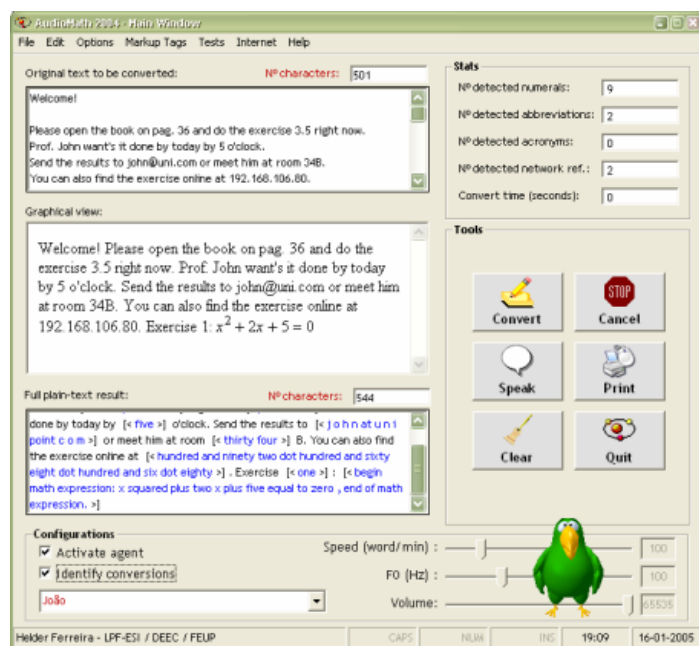


Fig. 5. Ferramenta AudioMath – versão em inglês.

Tecnologias como **Access8Math-NavMatBR** [24] e o sistema **CASVI** [43] permitem realizar operações matemáticas

variadas, conforme demonstrado na Figura 6. Ainda que úteis para o ensino de disciplinas que envolvem cálculo, o **Access8Math-NavMatBR** enfrenta dificuldades na ativação do modo de expansão de fórmulas e na narração de índices de raiz; a leitura sequencial de elementos sem pausas pode confundir usuários. O **CASVI**, por sua vez, carece de guias passo-a-passo para procedimentos matemáticos e apresenta barreiras de acessibilidade em seus menus, que exigem combinações de teclas desconfortáveis; recomenda-se substituir a tecla “Alt” por “Alt Gr” quando possível.

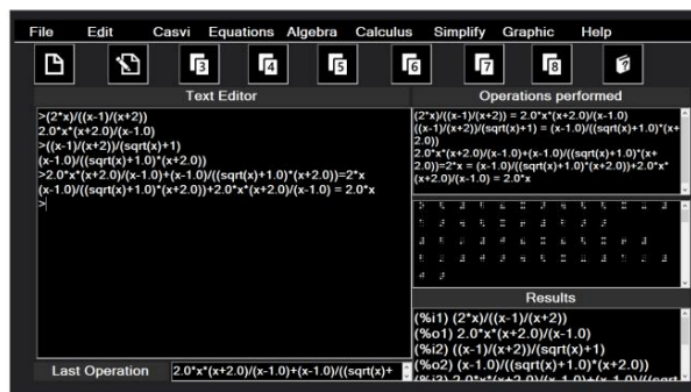


Fig. 6. Sistema de Álgebra Computacional Acessível (CASVI).

MathJax e **MathML** [39] complementam-se na produção de conteúdos digitais acessíveis: o **MathML** fornece semântica estruturada para leitores de tela, enquanto o **MathJax** cuida da apresentação visual, formando um ecossistema robusto quando associado a **LTpX**.

O **LTpX** adaptado [44] sendo sendo referência para a criação de materiais acadêmicos de alta complexidade, pois possibilita a inserção de descrições alternativas diretamente no código, tornando fórmulas, tabelas e gráficos interpretáveis por tecnologias assistivas.

A ferramenta **LAMBDA** [39] integra dispositivos de áudio e Braille, linearizando fórmulas e oferecendo interface amigável para leitura e escrita, o que facilita a navegação entre componentes matemáticos.

Já a **Tradução de Matemática** [46] foca na verbalização de expressões, exigindo menor proficiência tecnológica dos usuários, embora suas regras estejam disponíveis apenas para o idioma polonês.

No eixo de leitura de tela e navegação, destacam-se **JAWS**, **NVDA** e **VoiceOver** [45]. Embora tornem informação digital verbalmente acessível, esses leitores ainda apresentam desempenho limitado para orientação eficiente em código-fonte ou em fórmulas extensas. O **DosVox** [47], por sua simplicidade, costuma ser a primeira experiência de muitos usuários cegos;

oferece síntese de voz em português, impressão em Braille e tinta, jogos educativos e ampliação de tela. Todavia, não reconhece automaticamente estruturas como tabelas, exigindo intervenções manuais para garantir compreensão.

B. Respondendo à QP2

As tecnologias assistivas voltadas à matemática exercem papel decisivo no aprendizado de estudantes com deficiência visual, pois oferecem acessibilidade e favorecem a autonomia acadêmica. Os artigos analisados revelam seis impactos centrais dessas ferramentas.

Em primeiro lugar, a **facilitação da compreensão e navegação de conteúdos complexos** ocorre quando representações como MathML e MathJax [39] codificam fórmulas de modo compatível com leitores de tela, permitindo que o estudante explore cada expressão de forma estruturada e no próprio ritmo, o que reduz barreiras e incrementa a assimilação de cálculos avançados.

O segundo impacto relaciona-se à **inclusão e autonomia**. Recursos como $\text{\LaTeX}$ adaptado [44] possibilitam a geração de material didático em braille ou áudio, garantindo que cada aluno acesse o conteúdo no formato que melhor atende às suas necessidades, promovendo um ambiente de estudo inclusivo.

Em terceiro lugar, essas soluções **estimulam a participação em áreas STEM**. A disponibilidade de ferramentas acessíveis remove parte dos obstáculos históricos que desencorajavam a atuação de pessoas com deficiência visual em ciência, tecnologia, engenharia e matemática, ampliando sua presença nesses campos.

O quarto ponto refere-se à **facilitação de operações matemáticas**. Sistemas como Access8Math-NavMatBR [24], CASVI [43] e Tradução Matemática [46] viabilizam cálculos e manipulação de símbolos em níveis básico e avançado, assegurando interação produtiva com o conteúdo.

O quinto impacto está na **personalização do aprendizado**. Ferramentas como LAMBDA [39] permitem ao estudante manipular expressões, resolver problemas e adequar a apresentação do material ao próprio estilo de estudo, promovendo desenvolvimento ativo das competências matemáticas.

Por fim, observa-se a **organização e clareza conceitual** fornecidas por extensões para o leitor de tela NVDA [45]. A navegação contextual divide fórmulas em componentes hierárquicos, como frações, potências e raízes, facilitando a formação de imagens mentais precisas e aliviando a carga cognitiva do discente.

Assim, essas tecnologias não apenas incluem, mas ampliam o potencial de aprendizagem de pessoas com deficiência visual ao garantir acesso equitativo ao ensino de matemática e ao remover barreiras historicamente presentes no ambiente acadêmico.

C. Respondendo à QP3

Diretrizes e práticas recomendadas para o uso de tecnologias assistivas em disciplinas matemáticas concentram-se em cinco eixos principais. O primeiro eixo diz respeito ao **desenvolvimento e adaptação de ferramentas tecnológicas**. A inclusão de descrições alternativas e detalhadas de gráficos e fórmulas, como proposto por Rossi Fornaro et al. [39], garante que informações essenciais sejam acessíveis a alunos com deficiência visual, promovendo maior autonomia e compreensão do conteúdo.

O segundo eixo envolve a **navegação estruturada e a redução de ambiguidades**. Protótipos baseados no leitor de tela NVDA demonstraram que a exploração hierárquica de fórmulas matemáticas reduz ambiguidades e facilita o entendimento de estruturas complexas, conforme evidenciado por Kearney et al. [45].

Em seguida, destaca-se a **formação e o suporte continuado para instrutores**. Souza et al. [37] reforçam a necessidade de programas de capacitação que habilitem professores a incorporar essas tecnologias ao currículo, assegurando sua aplicação consistente e eficaz.

O quarto eixo, **padronização e colaboração**, ressalta a importância de parcerias entre instituições educacionais, desenvolvedores de tecnologia e órgãos governamentais. O estudo de Zhang et al. [38] aponta que tais esforços conjuntos são essenciais para a criação de materiais acessíveis e para a promoção da equidade no aprendizado de matemática.

Por fim, o quinto eixo enfatiza a **personalização e flexibilidade** dos recursos didáticos. Martin et al. [44] mostram que ferramentas como $\text{\LaTeX}$ são particularmente eficazes quando adaptadas às preferências individuais dos estudantes, permitindo a escolha entre texto linear ou descrições em áudio.

Os trabalhos analisados convergem ao indicar que diretrizes bem definidas, evidências empíricas robustas e capacitação docente formam a base para a adoção bem-sucedida de tecnologias assistivas em matemática. Ferramentas como NVDA [45], $\text{\LaTeX}$ [44], LAMBDA e MathML [39] não apenas ampliam o acesso ao conteúdo, mas também transformam a experiência educacional, promovendo inclusão e equidade no ambiente acadêmico.

VI. CONCLUSÃO

A partir desta RSL, foi possível identificar e analisar diferentes ferramentas computacionais voltadas para o auxílio de pessoas com deficiência visual em disciplinas de matemática. O estudo revelou a existência de soluções específicas para leitura, escrita e interação com conteúdos matemáticos, que desempenham um papel fundamental na promoção da acessibilidade no ensino superior. Ao apresentar uma análise das TA disponíveis e suas potenciais aplicações, esta pesquisa desempenha um papel

fundamental na compilação de informações sobre as ferramentas que podem ser incorporadas nas disciplinas de matemática, oferecendo uma significativa contribuição para a promoção da acessibilidade e a inclusão de alunos com deficiência no contexto educacional de cursos da matemática.

Os estudos selecionados indicam que existem recursos e iniciativas que oferecem suporte para professores utilizarem tecnologias assistivas no ensino de matemática para alunos com deficiência visual. Entre as ferramentas destacam-se o DosVox, MathJax, LAMBDA e ChromeVox, que facilitam a leitura, escrita e manipulação de conteúdos matemáticos de forma acessível. Programas de formação continuada, como os oferecidos pelo Atendimento Educacional Especializado (AEE) e ONGs como a Fundação Dorina Nowill [48], capacitam docentes no uso dessas tecnologias. Além disso, instituições como as Salas de Recursos Multifuncionais (SRM) [49] proporcionam infraestrutura e apoio técnico, fomentando um ambiente educacional inclusivo e adaptado às necessidades desses alunos.

No entanto, devido à complexidade das ferramentas, a especificidade para aplicação, a adaptação ao contexto educacional e as dúvidas de estudantes, percebe-se que muitas dessas tecnologias exigem treinamento específico para uso, o que pode limitar sua adoção em ambientes educacionais mais amplos. Assim, destaca-se a importância de não apenas desenvolver novas ferramentas, mas também de oferecer suporte pedagógico e técnico para educadores e estudantes, garantindo que essas soluções sejam realmente eficazes.

Considerando estudos futuros, recomenda-se explorar novas tecnologias assistivas mais acessíveis, para diminuir a necessidade de treinamento dos alunos e professores. Além disso, investigar a eficácia dessas ferramentas nos diferentes contextos educacionais, expandindo a aplicação em disciplinas que usam cálculos e conteúdo matemáticos. É essencial também promover pesquisas que possam combinar inteligência artificial e acessibilidade para criar soluções personalizadas, aumentando a inclusão e a autonomia de estudantes com deficiência visual no ensino superior.

Por fim, conclui-se que o avanço em tecnologias acessíveis para o ensino de matemática não é apenas uma questão técnica, mas também uma responsabilidade educacional e social. Promover a inclusão de pessoas com deficiência visual em cursos de exatas é um passo essencial para construir um ambiente acadêmico mais justo e equitativo. Assim, este trabalho contribuiu para entender como está o estado da arte sobre o problema e estimular novos estudos e iniciativas voltadas ao desenvolvimento de ferramentas ainda mais acessíveis e integradas às necessidades de seus usuários.

REFERÊNCIAS

- [1] E. V. Nunes, G. A. Dandolini, and J. A. d. SOUZA, "As tecnologias assistivas e a pessoa cega," *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia*, vol. 9, no. 2, 2014.
- [2] Brasil, *Lei Nº 13.146, de 6 DE julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)*, 2015.
- [3] L. M. B. Oliveira *et al.*, "Cartilha do censo 2010: pessoas com deficiência," *Brasília: Sdh-pr/snppd*, p. 17, 2012.
- [4] M. d. O. O. Teixeira, R. L. Nierotka, G. Balsanello, and A. M. C. de Bonamino, "Quem são e onde estão os universitários cegos no Brasil?" *Revista Educação Especial*, vol. 35, pp. 1–19, 2022.
- [5] L. M. G. Duhaney and D. C. Duhaney, "Assistive technology: Meeting the needs of learners with disabilities," *International Journal of Instructional Media*, vol. 27, no. 4, pp. 393–393, 2000.
- [6] J. M. Francioni and A. C. Smith, "Computer science accessibility for students with visual disabilities," in *Proceedings of the 33rd SIGCSE technical symposium on Computer science education*, 2002, pp. 91–95.
- [7] E. O. Adebayo and I. T. Ayorinde, "Efficacy of assistive technology for improved teaching and learning in computer science," *Int. J. Mod. Educ. Comput. Sci.*, vol. 12, pp. 9–17, 2022.
- [8] R. B. d. S. Prado *et al.*, "Tecnologia assistiva para o ensino da matemática aos alunos cegos: o caso do centro de apoio pedagógico para atendimento às pessoas com deficiência visual," in *Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática*, 2013.
- [9] O. G. Klingenberg, A. H. Holkesvik, and L. B. Augestad, "Research evidence for mathematics education for students with visual impairment: A systematic review," *Cogent Education*, vol. 6, no. 1, p. 1626322, 2019.
- [10] H. Miyauchi, "A systematic review on inclusive education of students with visual impairment," *Education sciences*, vol. 10, no. 11, p. 346, 2020.
- [11] ISO/IEC, *ISO/IEC 13066-1: 2011 Information technology — Interoperability with Assistive Technology (AT)*, Geneva, Switzerland, 2011.
- [12] S. Sze, "The effects of assistive technology on students with disabilities," *Journal of Educational Technology Systems*, vol. 37, no. 4, pp. 419–429, 2009. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2190/ET.37.4.f>
- [13] M. A. R. Sganzerla and M. Geller, "Professores do aee na perspectiva do ensino de matemática a alunos deficientes visuais," *Educação Matemática em Revista*, vol. 24, no. 65, pp. 190–210, 2019.
- [14] Secretaria de Inclusão — SIN, "15 anos do ufgin-clui: começo, meio e começo," <https://sin.ufg.br/n/177367-15-anos-do-ufginclui-comeco-meio-e-comeco>, 2025, acesso em 9 de julho de 2025.
- [15] U. M. Tim, A. Maricato, J. C. Ferreira, T. L. de Lima, and S. M. M. de Araújo, "Deficiência visual," *Ciência & Consciência*, vol. 1, 2010.
- [16] W. Keffer, D. C. F. de Melo, and V. Zattera, "O processo de leitura e escrita de partituras e os desafios da cegueira congênita na perspectiva de vigotski," *REVISTA DA ABEM*, vol. 29, set. 2021. [Online]. Available: <https://revistaabem.abem.mus.br/revistaabem/article/view/971>
- [17] H. B. L. DE OLIVEIRA, "Introdução ao conceito de função para deficientes visuais com o auxílio do computador," Ph.D. dissertation, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2010.
- [18] M. A. A. Manrique and J. M. Póvoa, "O papel das ferramentas computacionais avançadas no ensino de engenharia," *Revista de Ensino de Engenharia*, vol. 39, no. 1, pp. 03–13, 2020.
- [19] A. da Silva Nascimento, F. C. dos Santos Zamberlan, C. F. B. Ulian, J. T. F. Sella, M. A. Silva, and R. C. Floriano, "O ensino da matemática para alunos com deficiência visual," *Educere-Revista da Educação da UNIPAR*, vol. 22, no. 1, 2022.
- [20] E. B. G. da Costa, I. DO R BARROS, and J. M. Fechine, "Matraca—ferramenta computacional para auxílio a deficientes visuais no uso do computador," in *Anais do X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*, 2006.
- [21] E. T. Rother, "Systematic literature review x narrative review," *Acta paulista de enfermagem*, vol. 20, pp. v–vi, 2007.
- [22] A. White and K. Schmidt, "Systematic literature reviews," *Complementary therapies in medicine*, vol. 13, no. 1, pp. 54–60, 2005.
- [23] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, L. Shamseer, J. M. Tetzlaff, E. A. Akl,

- S. E. Brennan, R. Chou, J. Glanville, J. M. Grimshaw, A. Hróbjartsson, M. M. Lalu, T. Li, E. W. Loder, E. Mayo-Wilson, S. McDonald, L. A. McGuinness, L. A. Stewart, J. Thomas, A. C. Tricco, V. A. Welch, P. Whiting, and D. Moher, "The prisma 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," *International Journal of Surgery*, vol. 88, p. 105906, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743919121000406>
- [24] H. M. C. Guedes, P. C. Cardoso, W. M. Watanabe, and A. P. Freire, "Contextual exploration of mathematical formulae on the web for people with visual disabilities in brazil with an open-source screen reader," in *Proceedings of the 21st Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, 2022, pp. 1–12.
- [25] F. M. Talaat, M. Farsi, M. Badawy, and M. Elhosseini, "Sighted: empowering the visually impaired in the kingdom of saudi arabia (ksa) with deep learning-based intelligent wearable vision system," *Neural Comput. Appl.*, vol. 36, no. 19, p. 11075–11095, Mar. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00521-024-09619-9>
- [26] I. Lisboa, J. a. Barroso, and T. Rocha, "Digital accessibility of online educational platforms: Identifying barriers for blind student's interaction," in *Innovative Technologies and Learning: Third International Conference, ICITL 2020, Porto, Portugal, November 23–25, 2020, Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2020, p. 409–418. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63885-6_46
- [27] M. Tabassum, J. Gray, and D. Smith, "An accessible blocks language for students with and without visual impairments," in *Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1, ser. SIGCSE 2024*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024, p. 1300–1306. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3626252.3630775>
- [28] M. Huh, S. Yang, Y.-H. Peng, X. A. Chen, Y.-H. Kim, and A. Pavel, "Avscript: Accessible video editing with audio-visual scripts," in *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '23. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3544548.3581494>
- [29] E. W. Huff, K. Boateng, M. Moster, P. Rodeghero, and J. Brinkley, "Exploring the perspectives of teachers of the visually impaired regarding accessible k12 computing education," in *Proceedings of the 52nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, ser. SIGCSE '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021, p. 156–162. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3408877.3432418>
- [30] S. Das Bhattacharjee and J. Yuan, "Proactive student persistence prediction multi-domain adversarial learning," in *Pattern Recognition: 6th Asian Conference, ACPR 2021, Jeju Island, South Korea, November 9–12, 2021, Revised Selected Papers, Part I*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2021, p. 569–583. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-031-02375-0_42
- [31] W.-C. Lee, C.-W. Hung, C.-H. Ting, P. Chi, and B.-Y. Chen, "Tacnote: Tactile and audio note-taking for non-visual access," in *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, ser. UIST '23. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3586183.3606784>
- [32] P. Ingavélez-Guerra, S. Otón-Tortosa, J. Hilera-González, and M. Sánchez-Gordón, "The use of accessibility metadata in e-learning environments: a systematic literature review," *Univers. Access Inf. Soc.*, vol. 22, no. 2, p. 445–461, Dec. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10209-021-00851-x>
- [33] K. Kiyota, T. Ishibashi, M. Shimakawa, H. Kuribayashi, K. Itou, and K. Fujisawa, "Pen-based smart tablet with finger-tracing reading for people with visual disabilities: Eliminating the digital divide to create an inclusive society," in *Proceedings of the 7th ACIS International Conference on Applied Computing and Information Technology*, ser. ACIT '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3325291.3325371>
- [34] D. Ferreira, J. Pacheco, L. Berreta, and T. Nogueira, "Understanding m-learning experiences for blind students," *International Journal of Learning Technology*, vol. 15, p. 26, 01 2020.
- [35] T. Nandhini, P. Kalyanasundaram, R. M. Vasanth, S. H. Raj, and K. S. Keerthi, "Deep learning enabled novel blind assistance system for enhanced accessibility," in *2024 4th International Conference on Pervasive Computing and Social Networking (ICPCSN)*, 2024, pp. 153–158.
- [36] M. Jenčík, A. Grinčová, D. Šimšík, and A. Galajdová, "E-learning study support and accessible documents creation for students with special needs," in *2022 IEEE 16th International Scientific Conference on Informatics (Informatics)*, 2022, pp. 142–148.
- [37] A. Souza and D. Freitas, "Technologies in mathematics teaching: A transcript of the voices of visually impaired students, braille teachers, and screen readers," in *2019 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, 2019, pp. 1–6.
- [38] M. H. Al Omoush, S. E. Salih, and T. Mehigan, "Technology-enhanced inclusive mathematics learning: Promoting equity and lifelong learning opportunities for vision-impaired students," in *2023 IEEE International Humanitarian Technology Conference (IHTC)*, 2023, pp. 1–6.
- [39] G. Rossi and C. Fornaro, "Enhancing math education for visually impaired students: alternative text implementation in latex, , and," *Communications in Applied and Industrial Mathematics*, vol. 15, no. 2, pp. 44–59, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2478/caim-2024-0012>
- [40] F. Blanco Garrido, P. E. Carreño H., F. A. Simanca H., and M. Alonso Moncada, "Development of accessible website as support for people with visual discapacidad," in *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2019, pp. 1–6.
- [41] D. Stumbrienė, R. Želvys, J. Žilinskas, R. Dukynaitė, and A. Jakaitienė, "Efficiency and effectiveness analysis based on educational inclusion and fairness of european countries," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 82, p. 101293, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012122000775>
- [42] H. Ferreira and D. Freitas, "Audiomath: using mathml for speaking mathematics," *XATA05*, 2005.
- [43] P. Mejía, L. C. Martini, F. Grijalva, and A. M. Zambrano, "Casvi: Computer algebra system aimed at visually impaired people. experiments," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 157 021–157 034, 2021.
- [44] D. Ahmetovic, C. Bernareggi, M. Bracco, N. Murru, T. Armano, and A. Capietto, "Latex as an inclusive accessibility instrument for highschool mathematical education," in *Proceedings of the 18th International Web for All Conference*, ser. W4A '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3430263.3452444>
- [45] C. Kearney-Volpe and A. Hurst, "Accessible web development: Opportunities to improve the education and practice of web development with a screen reader," *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, vol. 14, no. 2, pp. 1–32, 2021.
- [46] A. Bier and Z. Sroczynski, "Rule based intelligent system verbalizing mathematical notation," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, pp. 28 089–28 110, 2019.
- [47] A. P. Simões, A. C. S. Frizzera, A. D. Koehler, and D. V. C. Sondermann, "O leitor de tela e a criação de materiais digitais acessíveis a pessoas com deficiência visual," in *Incluir é possível: desmistificando barreiras no processo de ensino-aprendizagem*, D. V. C. Sondermann, A. C. Lins, and Y. P. Baldo, Eds. Vitória, ES: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, 2019, ch. 5.
- [48] Fundação Dorina Nowill, "Dia nacional do sistema braille: saiba mais sobre a imprensa braille no brasil," <https://fundacaodorina.org.br/blog/dia-nacional-do-braille-saiba-mais-sobre-a-imprensa-braille-no-brasil/>, 2018, acesso em 9 de julho de 2025.
- [49] Salas de Recursos Multifuncionais (SRM), "Implantar salas de recursos multifuncionais," <https://www.gov.br/pt-br/servicos/implantar-salas-de-recursos-multifuncionais>, 2025, acesso em 9 de julho de 2025.