

O USO DAS TECNOLOGIAS ASSISTIVAS NO ENSINO DE
MATEMÁTICA PARA ESTUDANTES COM DEFICIÊNCIA
VISUAL:
uma metanálise

THE USE OF ASSISTIVE TECHNOLOGIES IN MATHEMATICS
EDUCATION FOR STUDENTS WITH VISUAL IMPAIRMENTS:
a meta-analysis

Antonio Anderson Pinheiro ⁱ

Mariana Ingrid Alves ⁱⁱ

Jorge Carvalho Brandão ⁱⁱⁱ

RESUMO: Esse estudo tem como objetivo sintetizar, por meio de uma metanálise, os efeitos das tecnologias assistivas no ensino de matemática para estudantes com deficiência visual. A presente metanálise foi realizada com base no protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. Foram analisados oito estudos empíricos (2016–2025), revelando efeitos positivos no desempenho matemático, especialmente em compreensão, resolução de problemas e engajamento. Tecnologias como aplicativos acessíveis, materiais tátteis e softwares de leitura destacaram-se. Fatores como mediação docente e acessibilidade também influenciaram os resultados. A análise qualitativa realizada no estudo evidenciou percepções, estratégias e desafios no ensino de matemática para estudantes com deficiência visual. Conclui-se que as tecnologias assistivas promovem aprendizagem, inclusão e autonomia dos estudantes com deficiência visual.

Palavras-chave: Tecnologias assistivas. Deficiência visual. Matemática. Metanálise.

ABSTRACT: This study aims to synthesize, through a meta-analysis, the effects of assistive technologies on mathematics teaching for students with visual impairments. The present meta-analysis was conducted based on the

Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 protocol. Eight empirical studies (2016–2025) were analyzed, revealing positive effects on mathematical performance, especially in comprehension, problem-solving, and engagement. Technologies such as accessible applications, tactile materials, and screen-reading software stood out. Factors such as teacher mediation and accessibility also influenced the results. The qualitative analysis carried out in the study highlighted perceptions, strategies, and challenges in teaching mathematics to students with visual impairments. It is concluded that assistive technologies promote learning, inclusion, and autonomy for students with visual impairments.

Keywords: Assistive Technologies. Visual impairment. Mathematics. Meta-analysis.

1 INTRODUÇÃO

A inclusão de estudantes com deficiência visual no ensino de matemática representa um desafio significativo para educadores e sistemas de ensino em todo o mundo. A matemática, disciplina fundamentalmente baseada em representações visuais e simbólicas, muitas vezes exclui alunos com limitações visuais devido à falta de recursos adaptados. Nesse contexto, as tecnologias assistivas emergem como ferramentas promissoras para democratizar o acesso ao conhecimento matemático, oferecendo alternativas táteis, auditivas ou multimodais.

O acesso equitativo à educação é um direito fundamental assegurado por legislações nacionais e internacionais, como a Lei Brasileira de Inclusão (2015) e a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência da ONU. No entanto, pessoas com deficiência visual ainda enfrentam barreiras significativas nos processos de ensino e de aprendizagem, especialmente em áreas como a matemática, que tradicionalmente depende de representações visuais, símbolos gráficos e modelos espaciais.

As tecnologias assistivas surgem como ferramentas fundamentais para promover a inclusão, a autonomia e o desempenho acadêmico desses estudantes. O termo Tecnologia Assistiva é usado para identificar todos os recursos e serviços que contribuem para promover a Inclusão e proporcionar uma vida independente ou ampliar habilidades das pessoas com deficiência (Sartoretto; Bersch, 2017). Tecnologias assistivas podem incluir desde softwares leitores de tela e materiais táteis até dispositivos mais complexos de representação gráfica em Braille ou áudio. No entanto, embora haja uma crescente adoção dessas tecnologias em ambientes escolares e acadêmicos, ainda há divergências quanto à sua efetividade real no ensino da matemática para pessoas com deficiência visual.

Estima-se que aproximadamente 285 milhões de pessoas no mundo vivam com deficiência visual (Brasil, 2023), e muitas enfrentam barreiras educacionais persistentes. Embora soluções como softwares de leitura de tela, impressoras braille e gráficos táteis tenham sido desenvolvidas, sua aplicação em sala de aula varia drasticamente entre regiões e contextos socioeconômicos. Algumas pesquisas sugerem que tecnologias assistivas podem melhorar a autonomia e o desempenho

acadêmico (Rocha et al., 2025), enquanto outras apontam para limitações práticas, como custo elevado ou falta de capacitação docente (Minholi; Rocha, 2024).

Pesquisas individuais relatam benefícios variados, dependendo do tipo de tecnologia, do nível educacional dos estudantes e do contexto pedagógico. Contudo, ainda não há uma síntese quantitativa consolidada que avalie, de forma sistemática, o impacto dessas tecnologias sobre a aprendizagem matemática nessa população específica. A lacuna na literatura científica justifica a necessidade de uma metanálise que integre os achados disponíveis, permitindo uma compreensão mais robusta e confiável sobre os efeitos das tecnologias assistivas nesse campo. Assim, formula-se a seguinte pergunta: O uso de tecnologias assistivas tem contribuído para a melhoria do desempenho em matemática de estudantes com deficiência visual em relação aos métodos tradicionais de ensino?

Para responder a essa questão mais ampla, este estudo propõe-se a investigar três aspectos principais: Qual o efeito agregado das tecnologias assistivas no desempenho em matemática? Quais tipos de tecnologia demonstram maior impacto? Quais são os fatores moderadores que influenciam esses resultados?

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo realizar uma metanálise dos efeitos das tecnologias assistivas no ensino da matemática para pessoas com deficiência visual, contribuindo com evidências empíricas para orientar práticas pedagógicas inclusivas e políticas educacionais mais eficazes. Ao consolidar os achados de estudos publicados entre 2020 e 2025, este trabalho não apenas oferece um panorama atualizado para educadores e formuladores de políticas públicas, mas também identifica direções futuras para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias inclusivas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

É indispensável estabelecer uma base teórica consistente para abranger os diversos aspectos que influenciam o aprendizado da matemática por alunos com deficiência visual. Essa estrutura teórica tem como objetivo conectar princípios legais, pedagógicos e tecnológicos que apoiam o debate sobre a inclusão nas escolas e a importância das tecnologias assistivas (TA) para promover a igualdade na educação. A abordagem inicial é uma perspectiva intersetorial, que avalia tanto as diretrizes da educação inclusiva no Brasil quanto as particularidades da deficiência visual e seus efeitos no processo de ensino e aprendizado da matemática.

Para tanto, são apresentados dados que abordam as dificuldades enfrentadas por esses alunos, as adaptações pedagógicas necessárias, as possibilidades das tecnologias assistivas e os resultados observados em diferentes ambientes escolares. Os temas subsequentes guiam o leitor desde a visão geral da inclusão até a análise dos recursos tecnológicos e seus impactos no aprendizado.

2.1 Educação Inclusiva e Direito à Aprendizagem

A ideia central da educação inclusiva é nortear a criação de modelos de ensino que valorizem as diferenças e garantam a todos os alunos o direito pleno de aprender, não importando suas características físicas, sensoriais ou intelectuais. Essa diretriz encontra respaldo nas leis e políticas educacionais brasileiras, assim como em acordos firmados globalmente.

A Constituição Federal de 1988 assegura que a educação é uma responsabilidade compartilhada entre o governo e a família, visando capacitar integralmente o aluno e prepará-lo para atuar como cidadão. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), em seu artigo 3º, fortalece esses princípios, assegurando oportunidades iguais de acesso e continuidade nos estudos, além de assegurar um nível de qualidade adequado e respeito à pluralidade (Brasil, 1996).

Com a ratificação da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, por meio do Decreto nº 6.949/2009, o Brasil assumiu o compromisso legal de assegurar um sistema educacional inclusivo em todos os níveis, promovendo “um ambiente que maximize o desenvolvimento acadêmico e social” (Brasil, 2009, Art. 24).

No cenário brasileiro, a Lei nº 13.146 de 2015, também conhecida como Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), fortalece o direito à educação inclusiva. Ela garante que pessoas com deficiência tenham o mesmo acesso e oportunidades que os outros alunos (Brasil, 2015, Art. 28). Além disso, a LBI estabelece que a avaliação da deficiência deve ser biopsicossocial, observando tanto as dificuldades quanto os obstáculos no contexto social (Brasil, 2015, Art. 2º).

Ademais, a Política Nacional de Educação Especial sob a ótica da Educação Inclusiva, criada pelo MEC em 2008, que reafirma que todos esses estudantes têm direito à educação comum, com os apoios e adaptações necessárias fomentando a inclusão no ensino regular, priorizando suporte especializado, acessibilidade, formação docente e rejeitando a segregação. Além disso, define como princípio fundamental o acesso, o envolvimento e o aprendizado de todos os alunos, fortalecendo a oferta do Atendimento Educacional Especializado (AEE) como um adicional à formação no ensino regular (Brasil, 2008).

Contudo, apesar dos avanços normativos, persistem desafios significativos para a efetivação da inclusão. Segundo Bernardo (2022), estudantes com deficiência visual ainda enfrentam desigualdades em sala de aula, assumindo o papel de ouvintes passivos em decorrência da ausência de materiais adaptados e da falta de formação dos professores. O autor afirma que “as avaliações com nível inferior àquelas propostas aos demais alunos, além de um papel substitutivo do AEE, retomam o modelo de integração, teoricamente já superado na educação brasileira” (Bernardo, 2022, p. 48).

O texto da Política Nacional de Educação Especial ressalta como é crucial criar ambientes escolares que realmente incluem a todos, e que os professores nunca parem de aprender e se aperfeiçoar. Isso é essencial para derrubar as barreiras que impedem os alunos de aprender (Brasil, 2008). Assim, é muito importante garantir que todos os alunos não só entrem na escola, mas que tenham condições de continuar estudando com qualidade, principalmente aqueles com deficiência visual, que precisam de um ensino bem planejado e de materiais que eles consigam usar.

2.2 Deficiência Visual: Conceitos e Implicações Educacionais

A dificuldade de enxergar, seja em parte ou totalmente, abrange diversas situações que afetam a visão e, consequentemente, a forma como uma pessoa se relaciona com o mundo e adquire conhecimento. De acordo com LBI, uma pessoa com deficiência é aquela que possui uma limitação duradoura que, ao encontrar obstáculos, pode impedir que ela participe plenamente da sociedade em igualdade de oportunidades (Brasil, 2015, Art. 2º).

De maneira geral, a deficiência visual se divide em dois grupos: cegueira e baixa visão. A cegueira implica na ausência completa da visão ou na capacidade de apenas notar a presença de luz. Já a baixa visão se caracteriza pela diminuição da acuidade visual, mesmo com o uso de óculos ou lentes (Brasil, 2008). Outra importante distinção é entre a deficiência visual congênita, que se manifesta desde o nascimento, e a adquirida, que surge durante a vida. Tal diferença é crucial para a educação, já que impacta diretamente o tipo de apoio pedagógico mais adequado.

Silva e Dias (2020) ressaltam a ideia de que, dentro do universo da diversidade, existe ainda mais variedade. Elas evidenciam que a expressão "pessoa com deficiência visual" pode esconder a riqueza e a multiplicidade das vivências de cada um. Especificamente na área do ensino da matemática, as autoras observam que os diversos níveis e naturezas da deficiência visual demandam métodos de ensino personalizados, já que cada estudante possui um conjunto único de experiências sensoriais e de aprendizado.

A falta de visão traz consigo obstáculos significativos para o aprendizado, especialmente na área da matemática, onde a formação de ideias depende muito da capacidade de entender o espaço, analisar representações visuais como gráficos e figuras, e compreender a ideia de proporção. De acordo com Bernardo (2022), o problema não reside unicamente na falta da visão em si, mas também na falta de preparo das instituições de ensino, que muitas vezes não disponibilizam os recursos e métodos apropriados para estimular o uso dos outros sentidos, como o tato e a audição.

Na pesquisa de Uliana (2013), destaca-se a importância fundamental do toque ativo para que alunos cegos aprendam matemática. Ao usarem objetos manipuláveis e organizados, eles conseguem melhorar sua habilidade de imaginar e mostrar formas e gráficos, chegando a resultados parecidos com os de alunos que enxergam, desde que tenham o apoio certo. Uliana (2013), observa que o foco não é transformar totalmente como se ensina, mas sim aprimorar o ensino com ferramentas fáceis de usar e que se podem tocar.

Entre as barreiras enfrentadas pelos alunos com deficiência visual destaca-se, a falta de recursos pedagógicos apropriados e a acessibilidade limitada das instalações escolares. Paralelamente, atitudes negativas, como a subestimação por parte dos professores e a crença de que esses estudantes não podem dominar o conteúdo programático padrão, contribuem para um isolamento sutil no aprendizado da matemática (Bernardo, 2022; Minholi; Rocha, 2024).

Diante do que foi exposto, fica claro que o impacto da falta de visão na educação ultrapassa a questão médica ou da percepção sensorial, necessitando de um ensino que considere as particularidades de cada aluno e que busque igualdade na oportunidade de aprender matemática.

2.3 Ensino de Matemática e o Viés Visual

A Matemática, em sua essência, se expressa por meio de símbolos e abstrações, sendo também muito dependente de recursos visuais. Para compreender e trabalhar com gráficos, tabelas, figuras e fórmulas, usamos principalmente a visão. Alunos com deficiência visual enfrentam dificuldades e barreiras extras, principalmente quando o ensino não é adaptado às suas especificidades perceptivas.

Viginheski et al. (2014), apontam que a metodologia tradicional no ensino da matemática concentra-se muito em aspectos visuais, tanto na observação quanto na produção escrita. Isso, infelizmente, dificulta que estudantes cegos ou com visão reduzida consigam acompanhar integralmente o programa escolar. Embora esses pesquisadores ressaltem a importância do Braille como ferramenta essencial para o aprendizado da matemática, eles também concordam que ele, por si só, não é o bastante para assegurar um aprendizado completo, sendo imprescindível expandir e variar os materiais e as abordagens de ensino.

Grande parte dos temas matemáticos, sobretudo na geometria e álgebra, demanda um nível de abstração que em geral começa com imagens. Contudo, como Uliana (2013) mostrou, é possível criar essas abstrações usando o tato ativo, desde que o material de ensino permita essa interação. A autora relata sobre a criação de um kit com figuras geométricas em EVA, imãs e outros itens que ajudaram uma aluna cega a entender ideias de geometria plana e gráficos de funções.

A revisão sistemática de Dias e Pinto (2025) também corrobora essa visão. Os autores identificaram que a aprendizagem matemática de alunos com deficiência visual depende fortemente do uso de estratégias multissensoriais, capazes de substituir ou complementar o canal visual. Destacam-se, entre essas estratégias, a descrição oral detalhada de imagens e gráficos, a manipulação de modelos tridimensionais, e o uso de tecnologias assistivas específicas para leitura e escrita matemática.

No estudo conduzido por Bernardo (2022), alunos do Ensino Médio compartilharam que, frequentemente, nas aulas de matemática, sentem que apenas escutam, sem realmente se envolver nas tarefas propostas. Eles também observam que os materiais feitos sob medida ou outros recursos, mesmo existindo, são usados somente no AEE, e não durante a aula normal. Essa forma de agir mostra que ainda se mantém a ideia de juntar os alunos na escola, em vez de realmente incluí-los, onde todos tomam parte de verdade no aprendizado.

Tais limitações apontam para a importância de se ajustar o currículo e as práticas de ensino, conforme preconiza a Política Nacional de Educação Especial (Brasil, 2008). Implementar abordagens que considerem as preferências sensoriais dos alunos com deficiência visual e capacitar os professores para acolher a pluralidade representam passos cruciais para assegurar oportunidades igualitárias no aprendizado da matemática.

2.4 Tecnologias Assistivas: Conceito e Aplicações

No cenário educacional, o uso de TA vem ganhando força como uma abordagem essencial para garantir que alunos com deficiência, inclusive aqueles com deficiência visual, tenham oportunidades iguais de aprendizado. Segundo Brasil (2015) as tecnologias assistivas são compreendidas como ferramentas e suportes que ajudam a fornecer ou aprimorar as capacidades de pessoas com deficiência, incentivando sua independência e participação e autonomia.

Segundo Minholi e Rocha (2024), as TAs são divididas em grupos como os recursos táteis, os auditivos, os visuais e os multimodais. Essas tecnologias, aplicadas ao ensino da matemática, são ferramentas-chave para converter representações visuais em meios acessíveis, possibilitando que o aluno cego ou com baixa visão interaja e entenda ideias como figuras geométricas, funções, gráficos e proporcionalidade.

A literatura revela uma variedade de recursos adaptados com esse fim. Uliana (2013) descreve um conjunto educacional tático, que inclui uma chapa de metal, hastes magnéticas com números em Braille, figuras geométricas de EVA, fios e fixadores magnéticos; isso permitiu que uma estudante cega do 6º ano compreendesse ideias sobre geometria e funções através do toque ativo. Esse tipo de ferramenta, sendo acessível, incentiva o aprendizado efetivo, pois dá ao aluno a chance de examinar os componentes matemáticos na prática.

Em um estudo de revisão, Minholi e Rocha (2024) notaram que a maioria dos materiais para matemática acessível foca em geometria e álgebra. Eles vão desde objetos táticos comuns (como figuras geométricas em 3D e placas com desenhos em relevo) até programas de computador com respostas sonoras, como o Dosvox, e leitores de tela compatíveis com MathML, uma linguagem que facilita a compreensão de fórmulas matemáticas por programas de voz.

Em contrapartida, Lopes et al. (2022), criaram um audiolivro sobre temas de finanças, destinado a alunos com deficiência visual. A ideia, baseada em contação de histórias para crianças e efeitos sonoros, mostrou que o uso de diferentes elementos auditivos pode complementar a visão, além de otimizar o aprendizado para cada aluno, seguindo as diretrizes do Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA).

Mesmo com o progresso, selecionar a TA certa ainda apresenta obstáculos consideráveis. Segundo Bernardo (2022), diversos instrumentos adaptados acabam não sendo usados nas salas de aula comuns, ficando limitados ao AEE. Tal cenário revela uma aplicação isolada das tecnologias, separada do dia a dia do ensino.

Assim, o sucesso da TA vai além de simplesmente estar acessível; é crucial que ela seja incorporada ao currículo, à capacitação dos professores e à adaptação das metodologias, conforme ressalta a Política Nacional de Educação Especial (BRASIL, 2008). As tecnologias precisam ser encaradas não como complementos, mas como ferramentas pedagógicas fundamentais para ampliar o acesso ao aprendizado da matemática.

2.5 Evidências sobre o Impacto das Tecnologias Assistivas

A utilização de TA no ensino de matemática tem produzido resultados notavelmente positivos no aprendizado de alunos com deficiência visual, sobretudo quando essas ferramentas são incorporadas de forma adequada às práticas pedagógicas. Dados concretos, provenientes de estudos específicos, análises aprofundadas e vivências práticas, revelam avanços na independência, no rendimento escolar e no interesse desses estudantes.

Em uma pesquisa conduzida por Uliana (2013), o uso de um material didático tátil possibilitou que uma estudante cega, cursando o sexto ano, assimilasse ideias de geometria plana e representações gráficas de funções através da exploração tátil. A autora destaca que “o *kit* possibilita que, através do sentido do tato, o aprendiz cego realize diversas atividades matemáticas que envolvam figuras geométricas planas e gráficos de função polinomial” (Uliana, 2013, p. 597). O estudo demonstra que, com o suporte necessário, alunos com deficiência visual conseguem atingir patamares de raciocínio e entendimento equiparáveis aos dos seus pares que enxergam.

Lopes et al. (2022) criaram um audiolivro para ensinar educação financeira a alunos com baixa visão, e o resultado foi um impacto positivo no aprendizado. A proposta multimodal, que combinava narrativa acessível e sonoplastia, facilitou o entendimento de conceitos e estimulou a participação ativa dos estudantes. Segundo os autores, a ferramenta ajudou tanto os alunos com deficiência visual quanto os outros, mostrando sua aderência ao DUA.

Bernardo (2022) ressalta que a disponibilidade de materiais acessíveis e tecnologias assistivas pode promover um aprendizado mais equitativo. Quando esses recursos são utilizados de forma integrada à prática pedagógica, os estudantes com deficiência visual não apenas compreendem melhor os conteúdos, mas também se sentem reconhecidos como sujeitos ativos dos processos de ensino e de aprendizagem.

Apesar dos avanços, diversos estudos apontam limitações práticas para a ampla adoção das tecnologias assistivas nas escolas. Segundo Minholi e Rocha (2024), há escassez de materiais acessíveis voltados à matemática nos anos iniciais do ensino fundamental e na educação infantil, além de uma concentração dos recursos em conteúdos de geometria e álgebra, deixando outras áreas da matemática menos contempladas.

Outro obstáculo recorrente é a falta de formação docente. Como observa Bernardo (2022), muitos professores não sabem como usar adequadamente os recursos disponíveis, o que faz com que as tecnologias assistivas sejam empregadas apenas no AEE, e não no cotidiano das aulas regulares.

O impacto das TAs na aprendizagem de matemática também depende de fatores contextuais. Entre eles, destacam-se o perfil do aluno, como a idade, o grau e tipo de deficiência visual (congênita ou adquirida) e o contexto escolar, incluindo infraestrutura, cultura inclusiva e disponibilidade de apoio pedagógico. A revisão sistemática conduzida por Dias e Pinto (2025) evidencia que as tecnologias são mais eficazes quando utilizadas em ambientes com apoio institucional, envolvimento familiar e cultura pedagógica inclusiva.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como uma metanálise associada a uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de investigar os efeitos da utilização de tecnologias assistivas no ensino de matemática para estudantes com deficiência visual. A abordagem adotada é predominantemente quantitativa, complementada por uma análise qualitativa de conteúdo, de modo a integrar evidências estatísticas e contextuais. A metodologia foi construída a partir dos princípios do protocolo PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). A análise quantitativa dos dados foi realizada pelo software *Jamovi*.

A pergunta central da metanálise foi delineada com base na adaptação da estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação e Desfecho) ao contexto educacional. Assim, a população de interesse abrange estudantes com deficiência visual incluindo cegueira e baixa visão. A intervenção considerada é o uso de tecnologias assistivas aplicadas especificamente ao ensino de matemática para pessoas com deficiência visual. Como comparação, foram aceitos estudos que utilizaram métodos tradicionais de ensino ou ausência de intervenção, e os resultados observados referem-se a indicadores de aprendizagem, tais como desempenho acadêmico, compreensão conceitual, resolução de problemas, autonomia e engajamento.

Com base nessa estrutura, foram definidos critérios rigorosos para a inclusão dos estudos na amostra. Foram aceitos para a pesquisa trabalhos empíricos com delineamento quantitativo ou misto, realizados entre os anos de 2016 e 2025, publicados em português, ou inglês. Os estudos deveriam apresentar dados mensuráveis sobre aprendizagem matemática em estudantes com deficiência visual, envolvendo o uso explícito de tecnologias assistivas, sejam elas táteis, auditivas, digitais ou multimodais. Pesquisas centradas em outras áreas do currículo foram excluídos. Também foram descartados artigos duplicados e trabalhos com descrição metodológica insuficiente.

A busca foi realizada de forma sistemática em bases de dados acadêmicas nacionais e internacionais, tais como Scopus, ERIC e SciELO. Foram utilizados descritores combinados com operadores booleanos, incluindo termos como “deficiência visual”, “matemática”, “tecnologia”, “material” e “recurso” em português e em inglês (deficiência visual AND matemática AND (tecnologia OR recurso OR material) / visual impairment AND math AND (technology OR resource OR material)). A estratégia de busca foi adaptada a cada base, respeitando os filtros e mecanismos específicos de cada uma. A seleção inicial dos estudos foi realizada com base nos títulos e resumos. Os estudos pré-selecionados foram submetidos à leitura integral para confirmação ou não de elegibilidade.

Os dados extraídos dos estudos incluídos contemplaram autores, ano de publicação, país, tipo e descrição da tecnologia utilizada, características da amostra, delineamento metodológico, objeto matemático trabalhado e principais resultados. Os indicadores de aprendizagem foram agrupados e categorizados com base na recorrência temática e relevância para a pergunta de pesquisa. Sempre que possível, os dados foram convertidos em tamanhos de efeito, permitindo a comparação e eventual combinação dos resultados.

Paralelamente à análise estatística, realizou-se uma análise qualitativa de conteúdo, voltada à identificação de fatores contextuais, limitações e interpretações narrativas relevantes. Essa abordagem híbrida permitiu captar particularidades importantes que extrapolam os dados numéricos, como a percepção de professores e alunos, as condições de infraestrutura escolar, as práticas pedagógicas adotadas e as barreiras atitudinais, etc.

A avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos seguiu critérios considerando aspectos como clareza do delineamento, validade dos instrumentos, controle de viés, análise estatística e reproducibilidade. Os estudos de baixa qualidade foram analisados exclusivamente na etapa qualitativa e sinalizados nas sínteses de resultados.

Essa combinação de rigor metodológico, diversidade de fontes e integração de abordagens permite que esta metanálise contribua de forma sólida e inovadora para o campo da educação inclusiva e, mais especificamente, para a compreensão do papel das tecnologias assistivas na aprendizagem matemática de estudantes com deficiência visual.

Foram excluídos da amostra final todos os estudos que não atenderam simultaneamente aos seguintes requisitos: ausência de dados quantitativos mensuráveis sobre aprendizagem matemática, tais como: desempenho acadêmico, acertos em testes, compreensão conceitual, resolução de problemas, autonomia ou engajamento; estudos com delineamento puramente teórico, descritivo ou reflexivo, sem aplicação empírica com estudantes com deficiência visual; trabalhos com foco em outras áreas do currículo escolar (ex: ciências, linguagem, educação física), mesmo que envolvessem tecnologias assistivas.

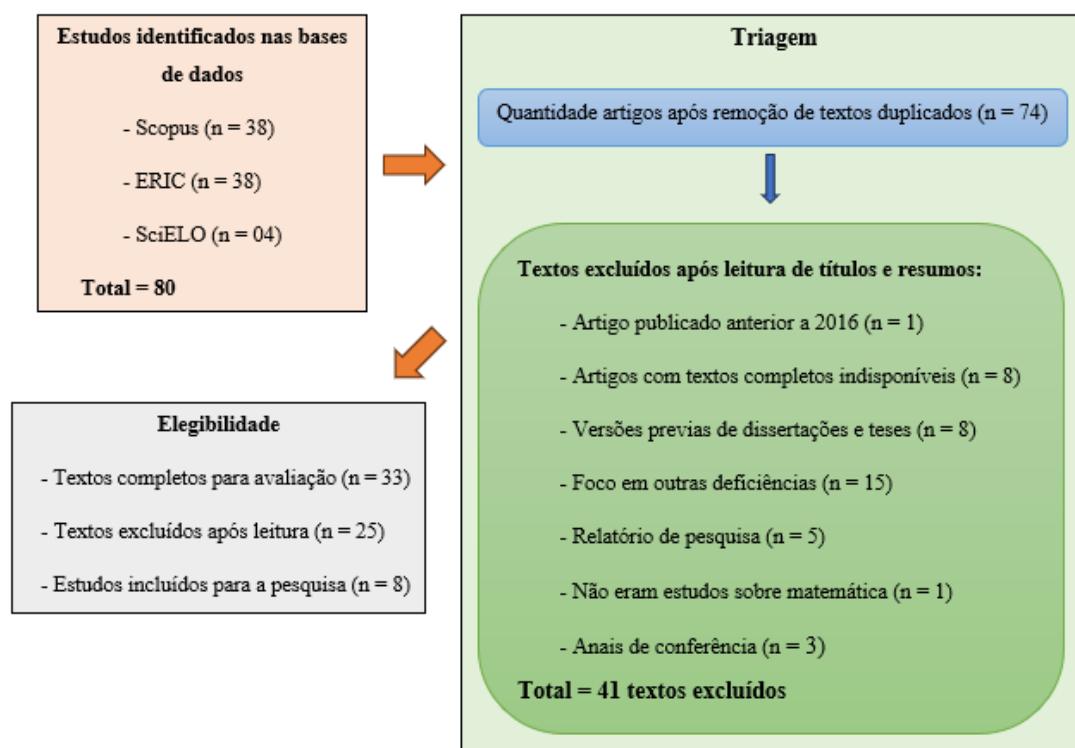
Também foram excluídas pesquisas que abordassem apenas aspectos técnicos ou computacionais das ferramentas, sem avaliação do impacto pedagógico; estudos voltados exclusivamente à formação de professores, tutores ou familiares, sem medição direta de efeitos no processo de aprendizagem dos estudantes; documentos que não apresentavam descrição metodológica suficiente, tais como: ausência de número de participantes, tipo de intervenção, instrumentos de avaliação ou critérios de análise; trabalhos publicados fora do intervalo temporal estabelecido ou em idiomas distintos do português e inglês; artigos duplicados ou versões preliminares de pesquisas já publicadas com dados mais completos em outro local.

Embora esses estudos não tenham sido incluídos na metanálise estatística, parte deles foi aproveitada na análise qualitativa complementar, especialmente aqueles que ofereciam discussões relevantes sobre práticas pedagógicas, acessibilidade, políticas públicas, formação docente e percepção de estudantes e professores. Esse procedimento visou enriquecer a interpretação dos achados quantitativos e fornecer uma visão mais ampla e contextualizada da realidade educacional enfrentada por estudantes com deficiência visual no campo da matemática.

O fluxograma a seguir apresenta as etapas do processo de seleção dos estudos incluídos na presente metanálise, de acordo com as diretrizes do protocolo PRISMA. Inicialmente, foram identificados 80 estudos nas bases de dados Scopus, ERIC e SciELO. Após a remoção dos duplicados ($n = 6$), restaram 74 artigos para triagem. Na leitura de títulos e resumos, 41 estudos foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão, como foco em outras deficiências, ausência de texto completo, versões preliminares de dissertações e artigos publicados antes de 2016.

Ao final, 33 estudos foram avaliados na íntegra, resultando na inclusão de oito artigos que compõem o corpus final da análise. A seleção de apenas oito estudos para a metanálise resultou da aplicação de critérios rigorosos de elegibilidade, definidos com base no protocolo PRISMA. Embora a busca inicial tenha identificado 80 trabalhos, a maioria foi excluída por não atender diretamente ao objetivo da pesquisa, por não tratar especificamente do ensino de matemática para estudantes com deficiência visual ou por não apresentar dados quantitativos mensuráveis que permitissem análise estatística. Também foram excluídos estudos anteriores a 2016, textos sem acesso completo, versões de dissertações ou teses, anais de conferências e pesquisas de caráter exclusivamente teórico ou qualitativo. Dessa forma, os oito estudos incluídos representam aqueles que apresentaram maior consistência metodológica e dados comparáveis, possibilitando a realização de análises quantitativas confiáveis sobre a efetividade das tecnologias assistivas.

Fluxograma PRISMA – seleção dos estudos



Em síntese, a metodologia adotada neste estudo foi estruturada de forma sistemática e rigorosa, buscando assegurar a transparência, a reproduzibilidade e a confiabilidade dos resultados. A aplicação de critérios claros de busca, seleção e elegibilidade, aliada ao uso de procedimentos consolidados para extração e análise dos dados, permitiu a inclusão de estudos metodologicamente consistentes e relevantes para os objetivos propostos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente metanálise tem por objetivo investigar a efetividade das tecnologias assistivas no ensino de matemática para estudantes com deficiência visual. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade e exclusão conforme o protocolo PRISMA, foram incluídos oito estudos empíricos com delineamento quantitativo ou misto, realizados entre 2016 e 2025, que atenderam aos requisitos metodológicos da pesquisa.

Os estudos selecionados apresentaram diversidade de tecnologias assistivas utilizadas, abrangendo desde recursos táteis até soluções digitais, como aplicativos móveis com acessibilidade, softwares de leitura e plataformas baseadas em inteligência artificial. O Quadro 1 apresenta uma síntese dos dados de identificação extraídos dos estudos válidos, incluindo títulos, autores, ano, local e periódico de publicação.

Quadro 1 – Estudos selecionados para investigação

	Título	Autor(es)	Ano	Local	Publicação
1	ALAP: Accessible LaTeX Based Mathematical Document Authoring and Presentation	Ahtsham Manzoor Safa Arooj Shaban Zulfiqar	2019	Reino Unido	ACM CHI
2	Using Description to Convey Mathematics Content in Visual Images to Students Who Are Visually Impaired	Robert Wall Emerson Dawn L. Anderson	2018	Estados Unidos	Journal of Visual Impairment & Blindness
3	Learning mathematics outcomes using Android for blind students based on Newman's theory	Rina Agustina Nurul Farida Muhammad Irfan	2024	Indonesia	Journal of Education and Learning
4	EyeMath: Increasing Accessibility of Mathematics to Visually Impaired Readers	Kanlayanee Dumkasem Padchaya Srisingchai Prapaporn Rattanatamrong	2019	Tailândia	IEEE
5	Middle and High School Students with Visual Impairments Describe Their Experiences in Learning a New Braille Code for Mathematics and Science	Tina S. Herzberg C. Rett McBride	2024	Estados Unidos	Journal of Visual Impairment & Blindness
6	Vivências, Percepções e Concepções de Estudantes com Deficiência Visual nas Aulas de Matemática: os desafios	Fábio Garcia Bernardo	2022	Brasil	Bolema

	subjacentes ao processo de inclusão escolar				
7	Significado atribuído aos números inteiros e suas operações por estudantes com deficiência visual: intervenções com material didático manipulável alicerçado em nexos conceituais	Natali Angela Felipe Sani de Carvalho Rutz da Silva Maria Ivete Basniak	2022	Brasil	Ciênc. Educ
8	Assistive Technology Use Among Students with Visual Impairments in Academic Classes	Michael Tuttle Erik W. Carter	2024	Estados Unidos	Journal of Special Education Technology

Fonte: elaborado pelo autor.

Com base nos dados apresentados, é possível observar um crescimento significativo da produção científica voltada para a acessibilidade em matemática para estudantes com deficiência visual, especialmente nos últimos anos. Essa concentração temporal revela uma crescente preocupação da comunidade acadêmica e educacional em promover a inclusão por meio de estratégias pedagógicas e tecnológicas. A presença de estudos em diferentes países como Estados Unidos, Reino Unido, Tailândia, Indonésia e Brasil indica que essa demanda é global, embora os enfoques e os níveis de desenvolvimento em cada região possam variar.

A seguir, a Tabela 1 apresenta a caracterização das amostras envolvidas nos estudos incluídos nesta metanálise, detalhando o número de participantes, média de idade, desvio padrão, distribuição por sexo (quando informada), bem como o tipo de tecnologia assistiva explorada em cada investigação. Essa sistematização permite compreender o perfil dos sujeitos pesquisados e a diversidade dos recursos utilizados, aspectos essenciais para a interpretação dos efeitos observados no desempenho matemático de estudantes com deficiência visual.

Tabela 1 – Caracterização das amostras de cada estudo e tipo de Tecnologia Assistiva abordado nos estudos

Primeiro autor, ano	NP	Ma	DP	Sexo F	Sexo M	Recurso estudado e/ou avaliado
Ahtsham Manzoor, 2019	18	19.6	2.5	2	16	A ferramenta Accessible LaTeX Based Mathematical Document Authoring and Presentation (ALAP)
Robert Wall Emerson, 2018	44	16.02	2.14	12	32	Descrições de conteúdo matemático em imagens visuais de livros didáticos.
Rina Agustina, 2024	13	-	-	-	-	Material didático para dispositivos Android.
Kanlayanee Dumkasem, 2019	05	27	-	-	-	O protótipo móvel EyeMath.

Tina S. Herzberg, 2024	11	-	-	-	-	Experiências de estudantes no aprendizado de matemática.
Fábio Garcia Bernardo, 2022	03	18,67	0,94	2	1	Vivências, percepções e concepções de estudantes com deficiência visual nas aulas de matemática.
Natali Angela Felipe, 2022	02	-	-	1	1	O Soroban dos Inteiros, um material didático manipulável.
Michael Tuttle, 2024	10	-	-	8	2	Uso de Tecnologia Assistiva (TA) em aulas de conteúdo básico (matemática, inglês, estudos sociais ou ciências).

Legenda: NP = Nº de participantes; Ma = Média das idades; DP = Desvio Padrão; Sexo M = Nº de participantes do sexo masculino e Sexo F = Nº de participantes do sexo feminino

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise das características das amostras dos estudos incluídos na metanálise revela uma expressiva diversidade quanto ao número de participantes, faixa etária e distribuição por sexo. O estudo com maior número de participantes foi conduzido por Emerson e Anderson (2018), com uma amostra composta por 44 estudantes com deficiência visual, sendo 32 do sexo masculino e 12 do sexo feminino, com idade média de 16,02 anos e desvio padrão de 2,14. Este é o estudo com maior potencial de generalização dos resultados dentro do conjunto analisado, tanto pela amplitude da amostra quanto pela clareza dos dados estatísticos apresentados.

Em contrapartida, os menores grupos amostrais foram observados nos estudos de Felipe, Silva e Basniak (2022), com apenas 2 participantes (1 homem e 1 mulher), e de Bernardo (2022), com 3 estudantes (2 mulheres e 1 homem), com média de idade de 18,67 anos e desvio padrão de 0,94. Apesar de suas limitações estatísticas, esses estudos oferecem contribuições qualitativas relevantes, sobretudo por aprofundarem aspectos subjetivos da aprendizagem matemática em contextos inclusivos.

Outro dado que chama atenção é a média de idade mais elevada observada no estudo de Dumkasem, Srisingchai e Rattanatamrong (2019), cuja amostra composta por 5 participantes apresentou média de 27 anos. Tal fato sugere que os sujeitos podem ser estudantes universitários ou adultos em formação continuada, o que difere do perfil predominante de adolescentes observado na maioria dos outros estudos. Esse dado é relevante, pois a faixa etária pode influenciar diretamente a familiaridade e a adaptação às tecnologias assistivas.

Cabe destacar que alguns estudos não apresentaram informações completas sobre as variáveis sociodemográficas. Nos trabalhos de Agustina, Farida e Irfan (2024), Herzberg e McBride (2024) e Tuttle e Carter (2024), por exemplo, não foram informadas médias de idade nem desvios padrão, e em dois deles também não foram especificadas as distribuições por sexo. Essa ausência compromete a possibilidade de análises mais aprofundadas por subgrupos, como por faixa etária ou por gênero, e representa uma limitação metodológica importante na composição geral da metanálise.

Em síntese, os dados demonstram que, embora haja uma concentração de estudos com amostras pequenas e variações na apresentação de informações sociodemográficas, é possível identificar tendências importantes sobre o perfil dos sujeitos envolvidos nas pesquisas com tecnologias assistivas voltadas ao ensino de matemática para estudantes com deficiência visual. O reconhecimento dessas diferenças é fundamental para a adequada interpretação dos resultados e para a ponderação do alcance das conclusões desta metanálise.

Nota-se também, de acordo com os temas apresentados na Tabela 2, uma ênfase especial na utilização de tecnologias assistivas digitais, como descrições verbais de conteúdos e imagens, além de aplicativos e dispositivos móveis, todos empregados como ferramentas para superar barreiras ao acesso ao conhecimento matemático. No entanto, além dos recursos digitais, também são mencionadas tecnologias assistivas não digitais, como o uso de materiais didáticos, a exemplo do Soroban, e a valorização dos relatos de experiências de estudantes com deficiência visual.

A Tabela 2 resume estatisticamente as informações agregadas das amostras dos oito estudos incluídos na metanálise, considerando número de participantes (NP), média de idade (Ma), desvio padrão (DP), e distribuição por sexo.

Tabela 2 – Dados gerais do estudo

	NP	Ma	DP	Sexo F	Sexo M
N	8	4	3	5	5
Omissos	0	4	5	3	3
Média	13.3	20.3	1.86	5.00	10.4
Mediana	10.5	19.1	2.14	2	2
Soma	106	81.3	5.58	25	52
Desvio-padrão	13.5	4.70	0.817	4.80	13.6
Variância	183	22.1	0.667	23.0	186
Amplitude	42	11.0	1.56	11	31
Mínimo	2	16.0	0.940	1	1
Máximo	44	27.0	2.50	12	32
W de Shapiro-Wilk	0.779	0.894	0.912	0.834	0.787
p Shapiro-Wilk	0.017	0.401	0.424	0.149	0.064

Legenda: NP = N° de participantes; Ma = Média das idades; DP = Desvio Padrão; Sexo M = N° de participantes do sexo masculino e Sexo F = N° de participantes do sexo feminino

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se que, em média, cada estudo contou com cerca de 13 participantes ($M = 13,3$; $DP = 13,5$), o que reflete amostras geralmente pequenas, com ampla variação (amplitude de 42), indicando

desde estudos de caso com dois participantes até investigações com grupos maiores, como o estudo com 44 sujeitos.

Em relação à idade dos participantes, a média geral foi de 20,3 anos ($DP = 4,7$), com variação de 11 anos entre o mais jovem (16 anos) e o mais velho (27 anos). A mediana de 19,1 sugere que a maior parte dos sujeitos está concentrada no final da adolescência, o que é compatível com o nível educacional dos grupos analisados (ensino médio e superior).

A variável de desvio padrão da idade apresentou média de 1,86 e baixa variabilidade (amplitude de 1,56), indicando relativa homogeneidade etária dentro dos estudos que informaram esse dado. No entanto, vale notar que 50% dos estudos omitiram as informações de média e desvio padrão, o que representa uma limitação para análises mais precisas de subgrupos.

No que se refere ao sexo dos participantes, os dados indicam predominância masculina: a média de participantes homens foi de 10,4 por estudo, contra 5,0 mulheres, totalizando 52 homens e 25 mulheres nos estudos que informaram esse dado. A amplitude de 31 no número de participantes do sexo masculino (mínimo de 1 e máximo de 32) reforça o predomínio dessa categoria nas amostras.

Os testes de normalidade de Shapiro-Wilk sugerem que no geral os dados das variáveis (Ma, DP, Sexo F e M) em questão, não apresentaram evidências estatísticas suficientes para rejeição da normalidade ($p > 0,05$), ainda que os valores de W estejam relativamente baixos, sugerindo assimetria leve.

Em resumo, os dados gerais confirmam a heterogeneidade dos estudos quanto ao tamanho da amostra e perfil dos participantes, com predomínio de homens jovens e amostras reduzidas, o que deve ser considerado no momento de interpretar o efeito agregado das tecnologias assistivas no desempenho em matemática de estudantes com deficiência visual.

As estatísticas de fiabilidade apresentadas nas Tabelas 4 e 5 e o mapa térmico de correlações (Figura 1) fornecem importantes evidências sobre a consistência interna dos dados coletados na presente metanálise.

A Tabela 3 mostra que a escala geral composta pelos itens analisados apresentou uma média de 12,5 com desvio padrão de 8,70, e coeficientes de confiabilidade elevados, com α de Cronbach = 0,782 e ω de McDonald = 0,935. Esses valores indicam uma boa consistência interna, sendo que o coeficiente ômega sugere uma estrutura latente coesa entre os itens. O valor de ω superior a 0,90 é particularmente forte, demonstrando que os itens medem adequadamente o construto proposto (efetividade das tecnologias assistivas no ensino de matemática no ensino de pessoas com deficiência visual).

Tabela 3 –Estatísticas de Fiabilidade de Escala

	Média	Desvio-padrão	α de Cronbach	ω de McDonald
escala	12.5	8.70	0.782	0.935

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 4, por sua vez, analisa a confiabilidade individual dos itens. Nota-se que a remoção de qualquer item não aumenta substancialmente a confiabilidade geral da escala, o que indica boa contribuição de todos os itens para a escala total. O item "Número de Participantes (NP)" apresenta correlação item-total perfeita (1.000), o que pode indicar redundância ou um possível viés de sobreposição. Já o item "Sexo M" possui a menor correlação item-total (0.975), o que ainda assim representa forte associação com o total, mas com menor impacto sobre os coeficientes de confiabilidade quando removido ($\alpha = 0.552$). O item "Desvio Padrão (DP)" apresenta a menor correlação item-total (0.602), mas ainda dentro de uma faixa aceitável para estudos exploratórios. Os altos valores de ω de McDonald em todos os itens (variando de 0.889 a 0.969) reforçam a confiabilidade dos dados analisados.

Tabela 4 –Estatísticas da Fiabilidade do Item

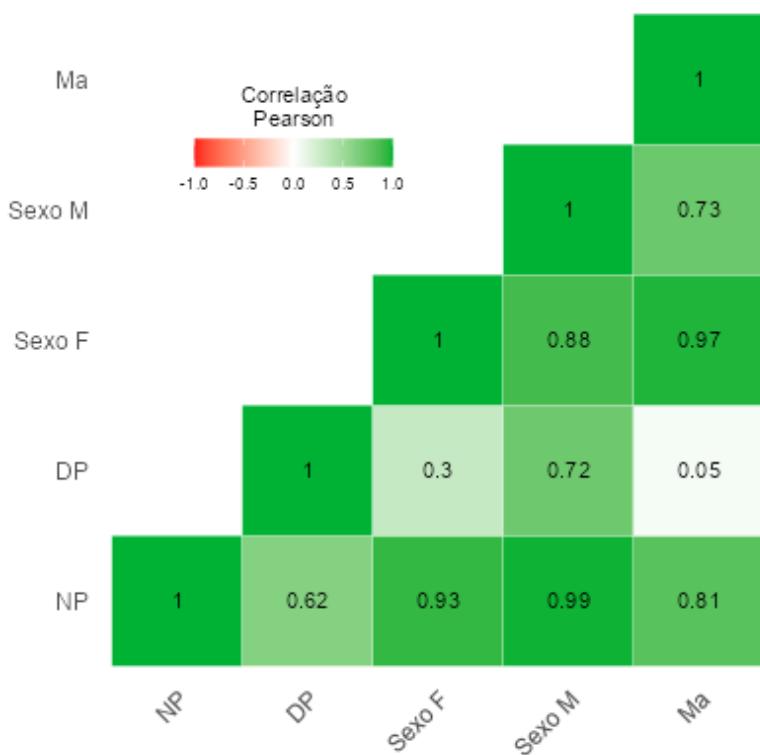
					Se o item for eliminado
	Média	Desvio-padrão	Correlação item-total	α de Cronbach	ω de McDonald
NP	21.67	20.744	1.000	0.619	0.889
DP	1.86	0.817	0.602	0.823	0.969
Sexo F	5.33	5.774	0.916	0.715	0.903
Sexo M	16.33	15.503	0.975	0.552	0.898
Ma ^a	17.52	1.858	0.803	0.801	0.931

^a item invertido

Fonte: elaborado pelo autor.

Por fim, a Figura 1 – Mapa Térmico de Correlações destaca fortes correlações entre a maioria dos itens, especialmente entre "Sexo F", "Sexo M" e "Ma (média de idade)", que apresentam correlações superiores a 0.80. A forte correlação entre variáveis demográficas indica consistência estrutural no perfil das amostras estudadas. Já o item "DP" mostra correlações mais fracas com as demais variáveis, sugerindo menor alinhamento com o construto geral, embora ainda contribua moderadamente para a escala.

Figura 1 – Mapa Térmico de Correlações

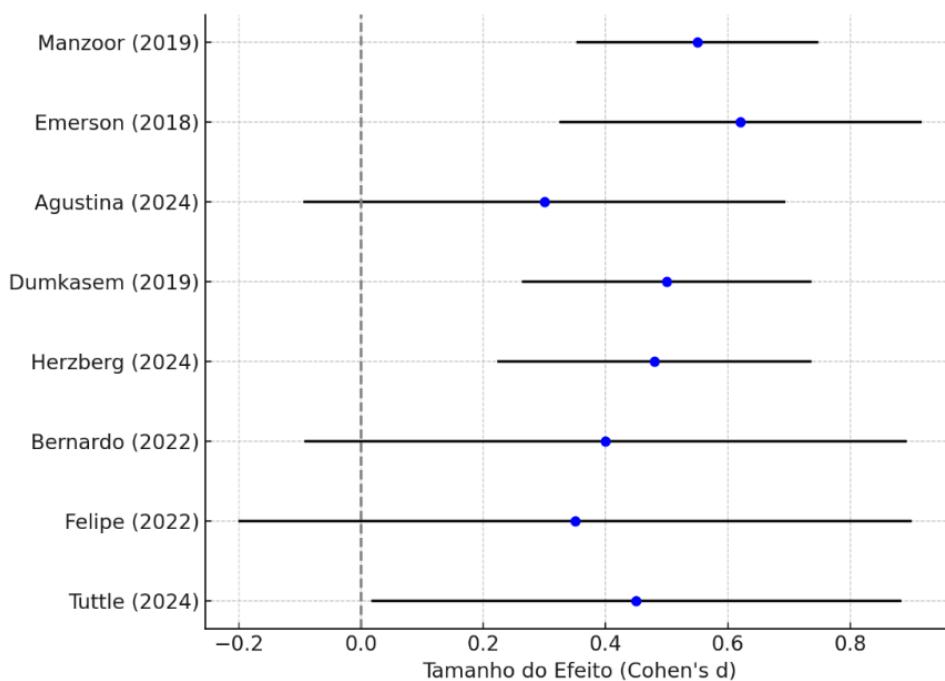


Fonte: elaborado pelo autor

Essas análises confirmam que os dados quantitativos utilizados na metanálise são estatisticamente confiáveis e adequados para inferências robustas, contribuindo para a validade dos resultados apresentados.

A Figura 2 abaixo apresentada resume os efeitos individuais estimados de cada estudo incluído por meio de um gráfico do tipo *Forest Plot*. Nesse gráfico, cada linha representa um estudo analisado, indicando visualmente o respectivo tamanho de efeito (Cohen's d) e o intervalo de confiança de 95%. A linha vertical tracejada em zero representa a linha de “não efeito”, ou seja, a ausência de diferença significativa entre grupos com e sem uso de tecnologias assistivas.

Figura 2 – Forest Plot da metanálise sobre Tecnologia Assistiva no ensino de matemática para pessoas com deficiência visual



Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se que todos os estudos incluídos nesta metanálise apresentaram tamanhos de efeito positivos, o que sugere que o uso de tecnologias assistivas contribuiu para a melhoria do desempenho em matemática de estudantes com deficiência visual, em relação a métodos tradicionais. O estudo de Emerson (2018) apresentou um dos maiores tamanhos de efeito ($d = 0,62$), com intervalo de confiança estreito, indicando alta precisão estatística, possivelmente favorecida pelo maior número de participantes ($N = 44$). De forma semelhante, Manzoor (2019) apresentou efeito de $d = 0,55$, também com boa precisão.

Por outro lado, estudos com amostras reduzidas, como Bernardo (2022) e Felipe (2022), apresentaram tamanhos de efeito mais modestos e intervalos de confiança mais amplos, indicando menor confiabilidade estatística. Ainda assim, mesmo nesses casos, a direção do efeito se manteve positiva, reforçando a tendência geral observada.

A consistência nos sinais dos efeitos e a relativa dispersão dos intervalos de confiança apontam para um benefício potencial das tecnologias assistivas no processo de ensino e de aprendizagem da matemática para estudantes com deficiência visual. Esses achados justificam o cálculo de uma medida agregada de efeito médio, além de análises posteriores com modelos estatísticos apropriados para explorar possíveis variáveis moderadoras.

A discussão dos resultados obtidos nesta metanálise evidencia a efetividade das tecnologias assistivas no ensino de matemática para estudantes com deficiência visual, considerando os múltiplos aspectos observados nos estudos incluídos.

Dentre eles o estudo de Manzoor, Arooj e Zulfiqar (2019) demonstrou avanços importantes em termos de acessibilidade à leitura e escrita de documentos matemáticos com o uso do ALAP. A ferramenta permitiu melhorias significativas na experiência dos usuários cegos com LaTeX, oferecendo narração em linguagem natural, navegação assistiva, depuração acessível e suporte em tempo real, com alto índice de satisfação e desempenho entre os participantes. Esses achados reforçam a ideia de que soluções tecnológicas bem projetadas podem aumentar a autonomia, a precisão e o engajamento dos estudantes com deficiência visual no conteúdo matemático.

Emerson e Anderson (2018) corroboram esses resultados ao mostrar que a descrição auditiva de imagens visuais contribui diretamente para a compreensão de conceitos matemáticos. O estudo indicou que descrições mais detalhadas aumentaram significativamente o número de respostas corretas dos alunos, com destaque para as linhas numéricas e gráficos. Além disso, os participantes manifestaram desejo por mais descrições e formatos multimodais, apontando para a importância de práticas pedagógicas que combinem recursos como áudio, braille e representações tátteis para potencializar o aprendizado.

No estudo de Agustina, Farida e Irfan (2024), o uso de um aplicativo Android acessível demonstrou ser eficaz para promover aprendizagem autônoma, envolvente e contextualizada. A tecnologia facilitou a resolução de problemas aritméticos, despertou o interesse dos alunos e contribuiu para melhorias objetivas no desempenho acadêmico. A presença de elementos multimídia, como áudio interativo e navegação por voz, foi especialmente relevante para a promoção da compreensão conceitual e desenvolvimento de habilidades matemáticas entre os alunos cegos.

Dumkasem, Srisingchai e Rattanatamrong (2019) também evidenciaram que o EyeMath, um aplicativo móvel baseado em nuvem, aumentou a independência dos usuários ao permitir leitura autônoma de símbolos e expressões matemáticas. A alta taxa de compreensão (80%) e a satisfação expressa pelos participantes indicam que esse tipo de ferramenta pode ampliar significativamente o acesso a conteúdos de matemática, promovendo maior inclusão em disciplinas STEM.

Herzberg e McBride (2024) destacaram que o uso do Código Nemeth e do UEB em contextos STEM proporcionou aos estudantes cegos uma forma eficaz de resolver problemas matemáticos e se engajar com conteúdos complexos. O estudo ressaltou a importância da autodeterminação, do acesso a múltiplas modalidades e da mediação pedagógica, além de enfatizar a relevância de descrições claras e do uso combinado de tecnologias assistivas como braille, leitores de tela e calculadoras falantes.

O estudo de Bernardo (2022) revelou a importância da infraestrutura institucional, com destaque para o apoio do Atendimento Educacional Especializado (AEE) e a mediação dos professores, tanto no ensino comum quanto no atendimento especializado. O uso de leitores de tela, materiais tátteis e softwares adequados contribuiu para o bom desempenho dos alunos, reforçando que a inclusão efetiva depende tanto de recursos materiais quanto de práticas pedagógicas alinhadas às necessidades dos estudantes.

Felipe, Silva e Basniak (2022) demonstraram como materiais manipuláveis, como o Soroban dos Inteiros, podem favorecer a construção de significados matemáticos complexos, como a compreensão das operações com números negativos. O caráter tátil e conceitual da atividade, somado

à mediação pedagógica reflexiva, permitiu aos alunos romperem com concepções equivocadas e validarem regras matemáticas por meio da experiência sensorial e cognitiva.

Por fim, Tuttle e Carter (2024) reforçam a ampla aplicabilidade da tecnologia assistiva de alta complexidade, destacando sua função na promoção da independência, participação ativa em sala de aula e redução da necessidade de mediação direta. A flexibilidade dos dispositivos, combinada ao suporte de pares e educadores, favoreceu o desenvolvimento de habilidades técnicas e pedagógicas, além de proporcionar oportunidades de aprendizado mais equitativas.

Em síntese, os estudos e os dados analisados convergem ao indicar que o uso de tecnologias assistivas digitais ou manipuláveis promove melhorias significativas no desempenho, compreensão e engajamento de estudantes com deficiência visual no ensino de matemática. A variedade de recursos utilizados, aliada à mediação docente, suporte institucional e uso de formatos acessíveis, se mostrou essencial para a construção de uma prática pedagógica verdadeiramente inclusiva.

Ao confrontar esses achados com os documentos legais que fundamentam o movimento da Educação Inclusiva, observa-se forte consonância com os princípios estabelecidos na Declaração de Salamanca (1994), que defende a garantia de acesso, permanência e aprendizagem de todos os estudantes por meio de adaptações curriculares, recursos especializados e estratégias pedagógicas inclusivas. No contexto brasileiro, os resultados da metanálise corroboram os pressupostos da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), que assegura o direito ao acesso a tecnologias assistivas como condição para a participação plena e efetiva em igualdade de oportunidades no sistema educacional. As evidências encontradas demonstram que as tecnologias assistivas não apenas promovem acesso ao conteúdo matemático, mas atuam como mediadoras cognitivas fundamentais para o desenvolvimento do pensamento matemático.

Os achados também dialogam diretamente com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9.394/1996) e com a Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (2008), ao evidenciarem que o Atendimento Educacional Especializado e o uso de recursos específicos como leitores de tela, materiais táteis, aplicativos acessíveis, códigos matemáticos em braille e sistemas de descrição sonora potencializam o aprendizado quando articulados ao ensino comum. A metanálise aponta que tecnologias assistivas têm maior impacto quando não substituem o ensino regular, mas o complementam, fortalecendo práticas pedagógicas colaborativas e inclusivas, conforme preconizam esses dispositivos normativos.

Do ponto de vista teórico, os resultados dialogam com abordagens socioconstrutivistas e com estudos da Educação Matemática Inclusiva, que defendem a mediação pedagógica, a diversidade de representações e a valorização de múltiplas formas de acesso ao conhecimento matemático. Pesquisadores como Felipe, Silva e Basniak (2022) e Herzberg e McBride (2024) evidenciam que o acesso tático, sonoro e simbólico amplia a atribuição de significado aos conceitos matemáticos, aspecto que se reflete nos resultados quantitativos da metanálise. Do mesmo modo, estudos que enfatizam o uso de tecnologias digitais acessíveis (Manzoor; Arooj; Zulfiqar, 2019; Dumkasem; Srisingchai; Rattanatamrong, 2019; Tuttle; Carter, 2024) sustentam que a combinação entre tecnologia assistiva e autonomia do estudante é um fator moderador relevante para melhores desempenhos.

Além disso, a heterogeneidade observada nos estudos incluídos na metanálise sugere que o impacto das tecnologias assistivas é influenciado por fatores contextuais, tais como tipo de tecnologia utilizada, nível de ensino, formação docente, mediação pedagógica e múltiplas modalidades de acesso ao conteúdo matemático. Esse achado reforça a perspectiva defendida tanto nos documentos legais quanto na literatura especializada de que a inclusão educacional não se efetiva apenas pela disponibilização de recursos, mas por sua integração crítica ao currículo, às práticas docentes e às necessidades específicas dos estudantes.

Dessa forma, os resultados da metanálise não apenas confirmam empiricamente os pressupostos legais e teóricos da Educação Inclusiva, como também reforçam a urgência de políticas públicas e práticas pedagógicas que promovam a ampliação do acesso às tecnologias assistivas no ensino de matemática. A evidência científica produzida neste estudo sustenta que tais tecnologias constituem instrumentos centrais para a equidade educacional, alinhando-se ao compromisso ético, legal e pedagógico de garantir aprendizagem significativa a estudantes com deficiência visual.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos nesta metanálise, é possível afirmar que o uso de tecnologias assistivas tem contribuído significativamente para a melhoria do desempenho em matemática de estudantes com deficiência visual, em comparação aos métodos tradicionais de ensino. A análise quantitativa dos estudos indicou um efeito agregado positivo, com tamanhos de efeito consistentes e estatisticamente relevantes, reforçando a eficácia dessas intervenções no contexto da aprendizagem matemática inclusiva.

Dentre os tipos de tecnologias analisados, destacaram-se os recursos digitais interativos, como softwares acessíveis, aplicativos móveis com leitores de tela integrados, sistemas de autoria acessível como o ALAP e aplicativos de reconhecimento óptico de expressões matemáticas como o EyeMath, que demonstraram impactos mais expressivos no desempenho acadêmico, autonomia e engajamento dos estudantes. Por outro lado, os materiais manipuláveis táteis, como o Soroban dos Inteiros, mostraram-se eficazes na construção conceitual e na compreensão de operações matemáticas abstratas, especialmente quando acompanhados por mediação pedagógica qualificada.

Entre os fatores moderadores identificados, destacam-se a formação e o envolvimento dos professores, a infraestrutura tecnológica disponível nas instituições, a mediação pedagógica reflexiva, o suporte institucional, bem como a adaptação dos materiais didáticos a múltiplas modalidades sensoriais (braille, áudio, tátil). Além disso, a preferência dos alunos por formatos acessíveis e a possibilidade de personalização das tecnologias utilizadas também exerceram influência direta nos resultados.

Dessa forma, os achados desta metanálise indicam que a implementação de tecnologias assistivas no ensino de matemática para estudantes com deficiência visual não apenas promove ganhos no desempenho escolar, mas também contribui para o fortalecimento da inclusão, da autonomia e da equidade educacional. Esses resultados reforçam a importância de políticas

educacionais e práticas pedagógicas que incorporem de forma sistemática e crítica as tecnologias assistivas como parte do processo de ensino-aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- AGUSTINA, R.; FARIDA, N.; IRFAN, M. Learning mathematics outcomes using Android for blind students based on Newman's theory. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 1056–1065, ago. 2024. Disponível em: DOI: 10.11591/edulearn.v18i3.21454. Acesso em: 23 jun. 2025.
- BERNARDO, Fábio Garcia. Vivências, percepções e concepções de estudantes com deficiência visual nas aulas de matemática: os desafios subjacentes ao processo de inclusão escolar. *Bolema*, Rio Claro (SP), v. 36, n. 72, p. 47–70, abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-4415v36n72a03>. Acesso em: 15 mai. 2025.
- BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. Decreto nº 6.949, de 25 de agosto de 2009. Promulga a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 ago. 2009.
- 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). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 jul. 2015.
- BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 dez. 1996.
- BRASIL. Ministério da Saúde. OMS alerta que 285 milhões de pessoas no mundo têm a visão prejudicada. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2023/fevereiro/oms-alerta-que-285-milhoes-de-pessoas-no-mundo-tem-a-visao-prejudicada>>. Acesso em: 28 abr. 2025.
- BRASIL. Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva. Brasília, DF: MEC/SEESP, 2008.
- DIAS, Ana Isabel de Azevedo Spinola; PINTO, Sérgio Crespo Coelho da Silva. Aprendizagem de matemática por estudantes com deficiência visual: uma revisão sistemática da literatura. *Bolema*, Rio Claro (SP), v. 39, e240142, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1980-4415v39a240142>>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- DUMKASEM, K.; SRISINGCHAI, P.; RATTANATAMRONG, P. EyeMath: Increasing Accessibility of Mathematics to Visually Impaired Readers. [S. l.]: [s. n.], 2019.
- EMERSON, R. W.; ANDERSON, D. L. Using Description to Convey Mathematics Content in Visual Images to Students Who Are Visually Impaired. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, [S. l.], v. 112, n. 2, p. 157–168, 2018. Disponível em: DOI: 10.1177/0145482X1811200204. Acesso em: 23 jun. 2025.

FELIPE, N. A.; SILVA, S. C. R.; BASNIAK, M. I. Significado atribuído aos números inteiros e suas operações por estudantes com deficiência visual: intervenções com material didático manipulável alicerçado em nexos conceituais. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 28, art. e22009, 2022. Disponível em: DOI: 10.1590/1516-731320220009. Acesso em: 23 jun. 2025.

HERZBERG, T. S.; MCBRIDE, C. R. Middle and High School Students with Visual Impairments Describe Their Experiences in Learning a New Braille Code for Mathematics and Science. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, [S. l.], v. 118, n. 3, p. 141–150, 2024. Disponível em: DOI: 10.1177/0145482X241257526. Acesso em: 23 jun. 2025.

LOPES, Valéria Rosa Farto; FREITAS, Carlos Cesar Garcia; OLIVEIRA, Jáima Pinheiro de. A elaboração de um audiolivro como recurso didático para a educação financeira de alunos com baixa visão . *Debates em Educação*, [S. l.], v. 14, n. 34, p. 350–376, 2022. DOI: 10.28998/2175-6600.2022v14n34p350-376. Disponível em: <<https://www.seer.ufal.br/index.php/debateseducacao/article/view/12052>>. Acesso em: 21 maio. 2025.

MANZOOR, A. et al. ALAP: Accessible LaTeX Based Mathematical Document Authoring and Presentation. In: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS PROCEEDINGS, 2019, Glasgow, Escócia, Reino Unido. ACM CHI Nova Iorque, NY, EUA: ACM, 2019. 12 p. Disponível em: DOI: 10.1145/3290605.3300734. Acesso em: 23 jun. 2025.

MINHOLI, F. S.; ROCHA, L. R. M. da. Materiais Acessíveis para o Ensino de Matemática para Educandos com Deficiência Visual: uma Revisão de Literatura. *Revista Brasileira de Educação Especial*, Dourados, v.30, e0064, p.1-18, 2024. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbee/a/rjs8PwrvHZCs6wTnQsZz34h/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

ROCHA, A. P. da; SANTOS, A. R. C. dos; BARBOSA, A. C. de A.; ROSA, D. A. R.; NUNES, E. Z.; LINS, G. H. B.; ARANTES, J. A. de; SANTOS, M. M. dos; VENTURINI, N. da C.; OLIVEIRA, P. M. de. Impacto das tecnologias assistivas na aprendizagem de alunos com deficiência. *Observatório de la economía latinoamericana*, [S. l.], v. 23, n. 3, p. e9163, 2025. DOI: 10.55905/oelv23n3-015. Disponível em: <<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/9163>>. Acesso em: 8 maio. 2025.

SARTORETTO, M. L., & BERSCH, R. O que é Tecnologia Assistiva. *Assistiva Tecnologia e Educação*, 2025. Disponível em: <<https://www.assistiva.com.br/tassistiva.html>>. Acesso em: 27 abr. 2025.

SILVA, Maria Inês Vasconcelos da; DIAS, Ana Lúcia Braz. Os desdobramentos da diversidade entre estudantes com cegueira e com baixa visão para o ensino da matemática. In: GONÇALVES, Harryson Júnio Lessa (Org.). *Educação matemática e diversidade(s)*. Porto Alegre: Editora Fi, 2020. p. 272–283. Disponível em: <<https://doi.org/10.22350/9786587340302>>. Acesso em: 08 mai. 2025.

TUTTLE, M.; CARTER, E. W. Assistive Technology Use Among Students with Visual Impairments in Academic Classes. *Journal of Special Education Technology*, [S. l.], v. 39, n. 4, p. 468–480, 2024. Disponível em: DOI: 10.1177/01626434231217050. Acesso em: 23 jun. 2025.

ULIANA, Marcia Rosa. Inclusão de estudantes cegos nas aulas de matemática: a construção de um kit pedagógico. *Bolema*, Rio Claro (SP), v. 27, n. 46, p. 597–612, ago. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-636X2013000300017>>. Acesso em: 15 mai. 2025.

VIGINHESKI, Lúcia Virginia Mamcasz et al. O sistema Braille e o ensino da matemática para pessoas cegas. Ciência & Educação, Bauru, v. 20, n. 4, p. 903–916, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1516-7313201400040009>>. Acesso em: 23 mai. 2025.

Recebido em: 1 de agosto de 2025.
Aprovado em: 2 de dezembro de 2025.
DOI: <https://doi.org/10.30681/repos.v16i3.14029>

ⁱ Antonio Anderson Pinheiro. Mestre em Matemática pela Universidade Federal do Cariri (UFCA, 2023), Professor da Secretaria de Educação do Estado do Ceará (SEDUC-CE). Membro do Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Matemática e Educação da UFCA. Iguatu, Ceará, Brasil
Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7078510859024985>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1790-1827>
E-mail: prof.anderson.p@hotmail.com

ⁱⁱ Mariana Ingrid Alves. Mestra em Matemática pela Universidade Federal do Ceará (UFC, 2023), Professora da Secretaria de Educação do Estado do Ceará (SEDUC-CE Membro do Núcleo de Pesquisa em Educação, Tecnologia e Formação Docente (NUPET/UECE/CNPq). Fortaleza, Ceará, Brasil
Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8672177252215975>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9616-9678>
E-mail: marianaingridalves.mia@gmail.com

ⁱⁱⁱ Jorge Carvalho Brandão. Doutor em Educação pela Universidade Federal do Ceará (UFC, 2010), Atualmente é professor associado de Matemática para Engenharias do Centro de Tecnologia (CT) da UFC. Membro do Grupo de Estudos Tecendo Redes Cognitivas de Aprendizagem da UFC. Fortaleza, Ceará, Brasil
Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2206483361634095>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-135X>
E-mail: profbrandao@ufc.br