

# Tecnologias Assistivas para Apoiar o Ensino e Aprendizagem de Pessoas com Deficiência Visual na Matemática: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Adriana Souza<sup>1,2</sup>, Diamantino Freitas<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Programa Doutoral em Media Digitais (PDMD)  
Faculdade de Engenharia - Universidade de Porto – Porto, Portugal

<sup>2</sup>Instituto Federal da Bahia (IFBA)  
Campus Porto Seguro – Porto Seguro – Bahia – Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Faculdade de Engenharia – Universidade de Porto – Porto, Portugal

adriana@ifba.edu.br, dfreitas@fe.up.pt

**Abstract.** *The STEM (Science, Technologies, Engineering and Mathematics) curriculum for visually impaired students presents several limitations, such as: wide symbology, images, graphs, diagrams, among other types of mathematics instruction that are not read, interpreted correctly by screen readers and makes it difficult to understand these contents. This article presents a systematic review of the literature that investigates assistive technologies to support the teaching and learning in mathematics for these students. This review followed the guidelines proposed for this type of research. The results present 59 technologies that allow exploring several senses: tactile, auditory, haptic and multimodal in various topics of Mathematics. The gaps identified open opportunities for future research, showing that there are limitations that make it impossible visually impaired students to reach an adequate level of knowledge in Mathematics.*

**Resumo.** *O currículo das STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) para os estudantes com deficiência visual apresenta várias limitações, tais como: a ampla simbologia, imagens, gráficos, diagramas, dentre outros tipos de instrução da Matemática que não são lidos e interpretados corretamente pelos leitores de telas, dificultando a compreensão e entendimento desses conteúdos. Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura, que investiga tecnologias assistivas para apoiar o ensino e aprendizagem na Matemática desses estudantes. A revisão seguiu as diretrizes propostas para esse tipo de pesquisa. Os resultados apresentam 59 tecnologias que possibilitam explorar diversos sentidos: tátil, auditivo, háptico e multimodal em diversos conteúdos da Matemática. As lacunas identificadas abrem oportunidades para futuras pesquisas, pois mostram a existência de limitações que impossibilitam os estudantes com deficiência visual alcançarem um nível adequado de conhecimento na Matemática.*

## 1. Introdução

Tecnologias assistivas podem ser definidas como uma gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minimizar os problemas funcionais enfrentados pelos indivíduos com necessidades especiais (Cook e Polgar, 2014).

De acordo com Beal e Rosenblum (2018), as tecnologias assistivas oferecem potencial para promover uma maior inclusão dos estudantes com deficiência visual em

sala de aula, de forma a promover a sua independência, bem como a sua motivação. No entanto, o currículo das Ciências, Tecnologias, Engenharias e Matemática (STEM) ainda apresenta várias limitações para os estudantes com deficiência visual (Gulley et al., 2017).

A Matemática é fundamental em vários campos relacionados com as STEM. No entanto, os conteúdos são altamente visuais, possuem uma ampla quantidade de símbolos, imagens, gráficos e tabelas que dificultam o processo de ensino e aprendizagem do estudante com deficiência visual (Bateman et al., 2018). A Matemática possui também uma estrutura bidimensional que quando interpretada pelos leitores de telas leva a ambiguidades e sobrecarga cognitiva, pois essas ferramentas foram criados para leituras de textos que possuem natureza linear (Alajarmehet et al., 2011).

De acordo com Nuernberg (2008), embora a Matemática seja rica de recursos visuais, isso não é fator limitante para pessoas com deficiência visual e não impedem esses estudantes de terem capacidade cognitiva para o aprendizado da Matemática da mesma forma que os videntes.

Entretanto, a falta de recursos acessíveis e ferramentas tecnológicas limitam que os estudantes com deficiência visual possam ler e escrever os símbolos que sustentam esse campo de estudo, impedindo, portanto, que eles alcancem níveis de proficiência na Matemática e trilhem caminhos pelas áreas das STEM.

Para minimizar barreiras encontradas e dar a esses estudantes uma educação mais justa, a comunidade acadêmica tem desenvolvido tecnologias assistivas educacionais que possibilitam uma maior inclusão desses estudantes (Bateman et al., 2018; Ferreira e Freitas, 2004). Para conhecer essas tecnologias, realizamos uma revisão sistemática da literatura apoiada por cinco questões de pesquisa, que tem por objetivo trazer uma visão geral da área sobre as tecnologias existentes, além de possibilitar o direcionamento de pesquisas futuras.

O presente artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a metodologia utilizada; a Seção 3 mostra os tipos de tecnologias assistivas encontradas para o ensino da matemática; a Seção 4 apresenta as respostas para as questões definidas, faz uma discussão sobre os resultados obtidos e mostra lacunas nessa área de pesquisa; na Seção 5 está a conclusão do trabalho e considerações finais .

## **2. Metodologia**

A revisão sistemática da literatura é uma revisão ampla de estudos primários de uma área específica, tem como objetivo investigar possibilidades, desafios e práticas nessa área, além de verificar a evolução dos estudos, conhecer a quantidade, tipo de pesquisa e resultados disponíveis.

A metodologia seguida nesse estudo foi a sugerida por Kitchenham e Charters (2007) onde uma revisão deve possuir as fases de planejamento, condução e documentação. Na fase de planejamento foi desenvolvido um protocolo com as questões de pesquisa, *string* de busca, definição das fontes de pesquisa e critérios de seleção (inclusão e exclusão).

### **2.1. Planejamento**

Foram definidas 5 questões de pesquisa para a condução dessa revisão:

Questão 1. Quais tecnologias assistivas têm sido desenvolvidas para apoiar o ensino e aprendizagem de pessoas com deficiência visual na Matemática? Questão 2. Em quais modalidades de ensino (básico, secundário, superior) as tecnologias foram aplicadas? Questão 3. As tecnologias encontradas possibilitam minimizar quais dificuldades na Matemática: leitura, escrita ou ambas? Questão 4. Em quais conteúdos da Matemática

as tecnologias foram utilizadas? Questão 5. Quais são os sentidos explorados pelas tecnologias?

Para definição da *string* de busca, (Tabela 1) foram estabelecidas as palavras chaves: deficientes visuais, cego, baixa visão, ambliopia, matemática e tecnologia.

**Tabela 1. String de busca**

(“visually impaired” or blind or “low vision” or amblyopia) and (math or mathematics) and (technology or technologies)
---

Para execução automática da *string* de busca foram definidas 3 fontes de pesquisa: Scopus<sup>1</sup>, IEEE<sup>2</sup> e Web of Science<sup>3</sup>. Optou-se por selecionar fontes mais abrangentes como Scopus e Web of Science, por referenciarem documentos de diversos editores como ACM, Wiley, dentre outros. Para a seleção dos artigos considerados nesse estudo foram definidos alguns critérios. Para inclusão dos artigos considerou-se: (i) os trabalhos devem conter as palavras chaves no título ou no resumo; (ii) os trabalhos devem estar escritos em inglês; (iii) trabalhos que se referirem a mesma tecnologia e forem escritos pelo(s) mesmo(s) autor(es), considerar-se-á o mais atual; (iv) trabalhos de qualquer ano serão considerados.

Para exclusão adotou-se os seguintes critérios: (i) estudos que fogem da área de pesquisa; (ii) estudos que não estejam disponíveis gratuitamente e não obteve acesso após contato com os autores; (iii) estudos escritos em línguas diferentes da inglesa.

## 2.2. Condução

A execução da *string* de busca retorna uma grande quantidade de artigos, portanto é necessário aplicar os critérios definidos. A Tabela 2 apresenta a seleção dos estudos.

**Tabela 2. Seleção dos estudos**

Fontes	Buscas iniciais	1ª seleção	2ª seleção	3ª seleção
Scopus	139	90	43	28
IEEE	11	3	2	2
Web of Science	70	24	12	10

As buscas iniciais retornaram 139 artigos na Scopus, 11 na IEEE e 70 na Web of Science. Aplicamos os critérios inicialmente durante a leitura dos títulos, resumos e palavras chaves, tentamos identificar se os estudos possuíam relação com a área de pesquisa, se estavam disponíveis para leitura gratuita, dentre outros. Os artigos que, apenas com a leitura do título, resumo e palavras chaves não foi possível verificar se enquadravam aos critérios, foram incluídos na próxima etapa de seleção com os demais artigos. Assim, inicialmente, foram excluídos 49 artigos na Scopus, 8 artigos na IEEE e 46 artigos na Web of Science, alguns por tratar de artigos repetidos, outros por não ter relação com os objetivos da pesquisa.

Na primeira seleção o número de artigos foi reduzido para 90, 3 e 24 das respectivas fontes e os critérios foram aplicados durante a leitura da introdução e conclusão dos artigos, caso necessário. Nessa etapa foram excluídos mais 47 artigos na Scopus, 1 artigo na IEEE e 12 artigos na Web of Science.

Para a segunda seleção, o número de artigos foi reduzido para 43 na Scopus, 2 na IEEE e 12 na Wef of Science. Nessa etapa foi realizada a leitura completa dos artigos

<sup>1</sup> <https://www.scopus.com>

<sup>2</sup> <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

<sup>3</sup> <http://apps.webofknowledge.com/>

e foram excluídos 15 artigos da Scopus, a maioria por se tratar de artigos repetidos, foram excluídos também 2 artigos da Web of Science.

Ao final da etapa obtivemos 28 artigos da Scopus, 2 artigos da IEEE, 10 artigos da Web of Science. Embora, não tenha sido definido no protocolo fontes para pesquisas manuais, incluímos mais 2 artigos que abordam tecnologias assistivas para o ensino da matemática para estudantes com deficiência visual (Ferreira e Freitas, 2004; Carvalho e Freitas, 2015), que foram desenvolvidas sob a orientação do co-autor desse artigo. Portanto, foram utilizados um total de 40 artigos para extração dos dados, a fim de responder as questões de pesquisa. As tecnologias encontradas foram classificadas de acordo com a abordagem descrita na Seção 3.

### **3. Tecnologias Assistivas para o Ensino da Matemática**

As tecnologias encontradas para auxiliar professores e estudantes com deficiência visual na Matemática foram classificadas de acordo com os sentidos explorados: tátil, auditivo, háptico e multimodal. Devido a quantidade de tecnologias encontradas (total 59), não foi possível apresentá-las no corpo desse artigo, porém, as tecnologias, assim como as referências podem ser acessadas no link <https://matematicacega.blogspot.com/>.

#### **3.1. Tecnologias Táteis**

O sistema braille é uma abordagem estática e tátil utilizada por pessoas com deficiência visual para leitura e escrita. O código Nemeth, é um código unificado para notação matemática em braille que utiliza o padrão de 6 pontos para leitura tátil e escrita da Matemática (Nemeth, 1972).

Ao longo dos últimos anos, foram desenvolvidas tecnologias que possibilitam a impressão de equações, gráficos e formas geométricas da Matemática, de forma a possibilitar que estudantes com deficiência visual tenham acesso ao conteúdo em sala de aula. Foram encontradas três tecnologias que possibilitam a leitura de gráficos de forma tátil. A tecnologia assistiva TGA - Tactile Graphics Assistant (Jayant et al., 2007) possibilita inclusive, fazer a conversão automática para braille de figuras de um livro inteiro. Para leitura de formas geométricas foram encontradas duas tecnologias: o sistema apresentado por Anirban Mukherjee et al. (2014) que se diferencia das demais tecnologias encontradas por possibilitar criar e imprimir formas geométricas juntamente com legendas textuais. A tecnologia Duxbury Braille Translator (Sullivan, 2001) parece ser a mais completa por possibilitar fazer a conversão para braille de equações matemáticas, gráficos e formas geométricas.

Embora as tecnologias táteis tenham possibilitado uma maior inclusão do estudante com deficiência visual na Matemática, alguns autores destacam problemas nessa tecnologia. De acordo com Elkabani e Zantout (2016), o principal problema dessa abordagem para o ensino da Matemática é na escrita, pois um erro cometido pelo estudante na resolução de um problema exige que o trabalho seja todo refeito. Segundo Gulley et al. (2017), alguns estudantes adquirem a cegueira já na fase adulta e não foram alfabetizados em braille. Além disso, se a pessoa tiver perda de sensibilidade nas mãos o problema pode se agravar. Para Gillan et al. (2004) há também o problema dos professores de Matemática não saberem braille o que dificulta a comunicação entre o estudante e o professor que dependerá sempre de um especialista. Acrescente-se ainda o fato dos livros em braille serem volumosos e o processo de escrita lento.

#### **3.2. Tecnologias Auditivas**

Para minimizar problemas existentes na abordagem tátil, tecnologias para explorar o sentido auditivo têm sido propostas. Para leitura de gráficos foram encontradas 3 tecnologias auditivas, dentre elas, o modelo proposto por Morash et al. (2015) que não é

propriamente uma ferramenta, mas diretrizes propostas pela NCAM (National Center for Accessible Media) para transcrição de gráficos.

Para equações matemáticas foram encontradas 26 tecnologias que possibilitam o acesso a equações matemáticas pelos estudantes com deficiência visual por meio de áudios, sendo 14 para leitura, 1 para escrita e 9 para leitura e escrita. Dentre as tecnologias, as propostas por Elkabani e Zantou (2016) e Gulley et al., (2017) não foram informatizadas ainda, Wongkia et al. (2012) propõem uma tecnologia para a leitura de equações na língua tailandesa e Ferreira e Freitas (2004) propõem uma tecnologia para leitura de equações no Português Europeu. Carvalho e Freitas (2015) apresentaram uma tecnologia para leitura auditiva de formas geométricas enquanto Huang et al., (2015) uma tecnologia que possibilita o acesso a equações e gráficos.

É inegável que as tecnologias auditivas aumentaram significativamente o poder de comunicação das pessoas com deficiência visual. No entanto, essas tecnologias ainda apresentam algumas limitações para o efetivo estudo da Matemática pelos estudantes com tal necessidade especial.

De acordo com Brzostek-Pawlowska e Mikulowski (2014), a apresentação de equações matemáticas utilizando os motores *TTS (texto to speech)* ainda é semanticamente difícil e a diferença entre os sistemas nacionais de notação Matemática prejudica a versatilidade das tecnologias assistivas existentes.

Gillan et al. (2004) destacam também a necessidade de tecnologias mais sofisticadas para a leitura de equações complexas com navegabilidade entre as fórmulas e uso da prosódia. De acordo com ele, embora tons musicais tenham sido utilizados para representar objetos gráficos, a sonificação poderia ser combinada com outros meios não visuais para descrever gráficos de forma mais efetiva.

### **3.3. Tecnologias Hápticas**

Tecnologias hápticas que se apoiam no sentido tátil e cinestésico têm sido utilizadas para o ensino da geometria para estudantes com deficiência visual. Estudos neuropsicológicos demonstraram que as representações cerebrais visuais e hápticas são tão semelhantes que podem ser mútuas entre as modalidades (Shimomura et al., 2013), portanto, esse tipo de abordagem pode ser mais eficiente para o ensino de formas geométricas. No estudo foram encontradas 3 tecnologias hápticas para identificação de formas geométricas e 1 para leitura de gráficos.

De acordo com Shimomura et al. (2013), a geometria 3D e a realidade virtual podem ajudar a desenvolver as habilidades espaciais dos estudantes com deficiência visual, entretanto, as pesquisas nessa área ainda necessitam de mais atenção.

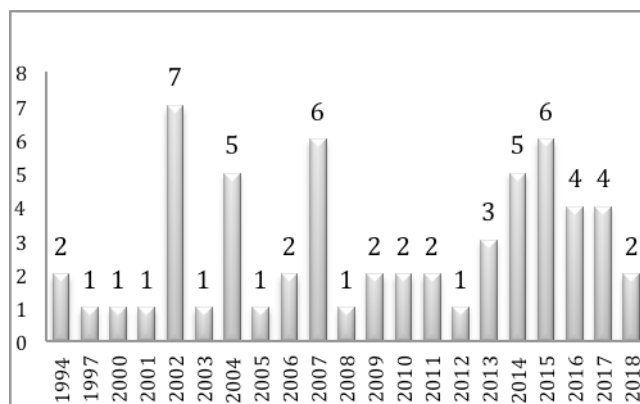
### **3.4. Tecnologias Multimodais**

Segundo Lahav et al. (2014) ao longo dos anos, descobriu-se que cegos congênitos conseguem obter padrões visuais, através dos estímulos dos sentidos auditivos juntamente com os sentidos táteis e hápticos. Tecnologias multimodais que visam explorar mais de um sentido, vêm sendo propostas para inclusão de estudantes com deficiência visual nas aulas de Matemática. Encontramos 9 tecnologias que exploram os sentidos táteis e auditivos e 6 tecnologias multimodais que exploram os sentidos auditivos e hápticos, todas para auxiliar na leitura de gráficos.

## **4. Resultados e Discussões**

Nessa Seção serão apresentadas as respostas para as questões definidas e discutidos os resultados. Para responder à questão 1: quais tecnologias assistivas têm sido desenvolvidas para apoiar o ensino e aprendizagem de pessoas com deficiência visual

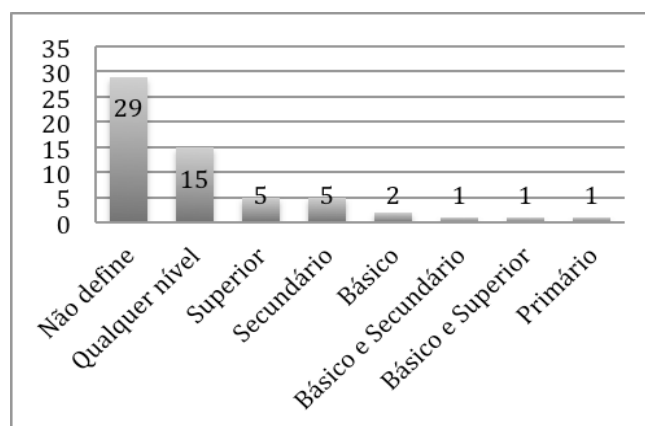
na matemática? Foram encontradas 59 tecnologias assistivas<sup>4</sup> entre o ano 1994 e 2018. As tecnologias visam apoiar o ensino da Matemática em diversos conteúdos: equações matemáticas, leitura e interpretação de gráficos e identificação de formas geométricas.



**Figura 1. Quantidade de tecnologias por ano**

A Figura 1 apresenta uma visão geral da quantidade de tecnologias assistivas desenvolvidas nos últimos anos nessa área. Não foi possível identificar quais foram os fatores que levaram aos picos encontrados no gráfico, mas, esse estudo será abordado em trabalhos futuros. Conforme observado, o ano de 2002 apresenta o maior número de tecnologias, das 7 encontradas, 4 são para leitura de equações de forma auditiva. No ano 2004, todas as 5 tecnologias são também para leitura de equações matemáticas de forma auditiva, ocorrendo uma tendência desse tipo de tecnologia nos anos posteriores. Em 2007 foram encontradas tecnologias que exploram todos os sentidos mapeados: tátil, auditivo, háptico e multimodal, e no ano 2015 encontramos tecnologias para todos os conteúdos da matemáticas classificados nessa pesquisa.

Para responder à questão 2: em quais modalidades de ensino (básico, secundário, superior) as tecnologias foram aplicadas? De acordo com a Figura 2, a maioria das tecnologias não define em qual nível escolar a tecnologia pode ser aplicada. Pela leitura dos artigos e dadas algumas informações tais como grupos de pessoas e idade das mesmas, foram identificadas e classificadas que 15 tecnologias podem ser utilizadas em qualquer nível de ensino, 5 tecnologias foram avaliadas somente no ensino superior, 5 tecnologias apenas no ensino secundário e 2 no ensino básico. Além disso, 1 tecnologia foi avaliada no básico e secundário, 1 no ensino básico e superior e 1 no ensino primário.

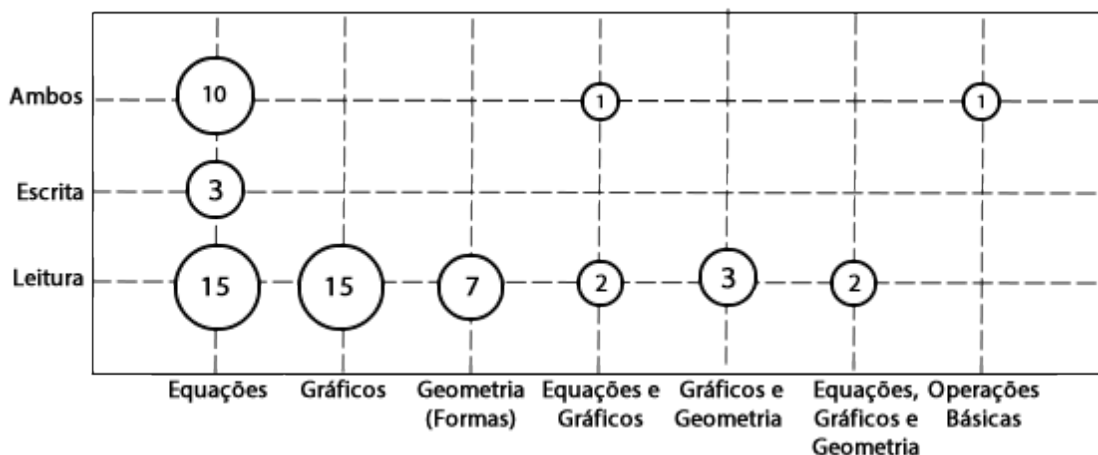


**Figura 2. Quantidade de tecnologias por nível de ensino**

<sup>4</sup> As tecnologias encontradas estão disponíveis em <https://matematicacega.blogspot.com/>

Dentre as tecnologias que definiram o nível de ensino, foi observado um maior número de tecnologias no ensino secundário e superior. Isso, se deve à complexidade das equações matemáticas nesses níveis de ensino.

Para responder à questão 3: as tecnologias encontradas possibilitam minimizar quais dificuldades na Matemática: leitura, escrita ou ambas? Conforme Figura 3, foram encontradas 44 tecnologias que visam minimizar a dificuldade de leitura, 12 visam minimizar a dificuldade de leitura e escrita e 3 tecnologias apenas escrita. Percebe-se também, que existem poucas ferramentas que possibilitam aos estudantes com deficiência visual, escrever e resolver problemas na Matemática.



**Figura 3. Conteúdos da Matemática x Dificuldades do Estudantes**

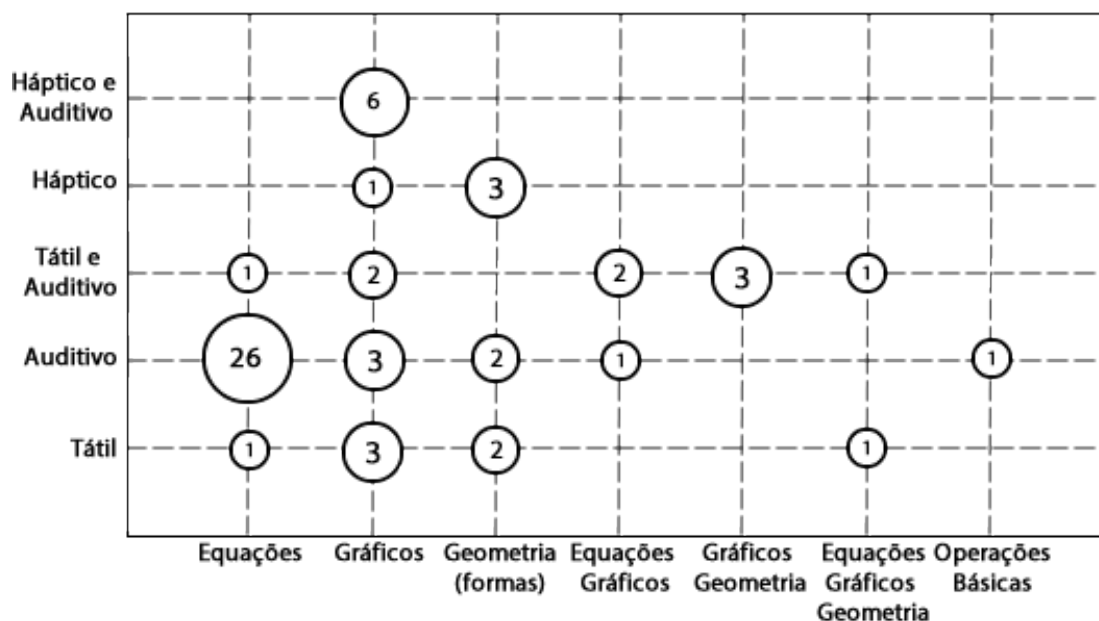
Para questão 4: em quais conteúdos da matemática as tecnologias foram utilizadas? As tecnologias citaram: equações, gráficos, geometria e operações básicas. Foram encontradas 28 tecnologias voltadas para ler e/ou escrever equações da matemática, 15 para auxiliar o estudante na leitura e interpretação de gráficos, 7 voltadas para geometria com o objetivo de identificar formas geométricas, 3 tecnologias que auxiliam o estudante na área de equações e gráficos ao mesmo tempo, 3 tecnologias que possibilitam estudar gráficos conjuntamente com geometria, 2 tecnologias em que é possível estudar equações, gráficos e geometria na mesma ferramenta e 1 tecnologia para ensinar operações básicas a estudantes do primário (Figura 3).

Para a questão 5: quais são os sentidos explorados pelas tecnologias? A maioria das tecnologias visa explorar o sentido auditivo (33 tecnologias). Para o tátil foram encontradas 7 tecnologias e, para o háptico 4 tecnologias. Foram encontradas também algumas tecnologias multimodais (exploram mais de um sentido), 6 tecnologias que exploram o sentido auditivo e háptico e 9 tecnologias que abordam o sentido tátil e auditivo (Figura 4).

Os gráficos bolhas apresentados na Figura 3 e 4 foram criados para fazer o cruzamento das questões de pesquisa, discutir melhor os resultados, verificar possíveis evidências e encontrar lacunas nessa área de pesquisa. O gráfico apresentado na Figura 3 expressa a relação entre a questão 3, dificuldades que as tecnologias visam minimizar (parte vertical do gráfico) e questão 4, conteúdos da matemática encontrados (parte horizontal do gráfico).

Observa-se na Figura 3 que não foi encontrada nenhuma tecnologia que aborda a escrita de gráficos ou formas geométricas por estudantes com deficiência visual. Foi encontrada apenas uma proposta de tecnologia que envolve leitura e escrita de equações e gráficos (Brzoza e MacKowski, 2014). No entanto, nada concreto. Essas lacunas

identificadas indicam que o desenvolvimento de tecnologias nessas áreas é um campo de pesquisa a ser explorado.



**Figura 4. Sentidos x Conteúdos da Matemática**

Na Figura 4, o gráfico criado para relacionar a questão 4, conteúdos da matemática (parte horizontal do gráfico) e questão 5, sentidos explorados (na parte vertical do gráfico), verifica-se uma tendência no desenvolvimento de tecnologias assistivas auditivas para a leitura de equações matemáticas. Embora a leitura de equações matemáticas tenha obtido avanços significativos nos últimos anos e os sistemas *TTS* tenham melhorado consideravelmente, eles raramente produzem o som natural da fala e ainda não parecem falantes humanos. Alcançar uma boa prosódia para a redução da sobrecarga cognitiva na leitura de equações complexas, continua sendo objeto de pesquisa (Bates e Fitzpatrick, 2010). Para a área da geometria, não foram encontradas tecnologias que explorem sentidos multimodais (háptico e auditivo) o que evidencia oportunidades de pesquisa nessa área. Observa-se também que tecnologias assistivas que integram equações, gráficos e formas geométricas ainda têm sido pouco estudadas, assim como tecnologias hápticas e multimodais.

#### 4. Conclusão

Esse artigo apresentou uma revisão sistemática da literatura sobre tecnologias assistivas para apoiar o ensino e aprendizagem de estudantes com deficiência visual na Matemática. Essa revisão foi realizada durante os meses de dezembro de 2017 e maio de 2018. Para a realização da pesquisa foi definido um protocolo com as atividades de planejamento e condução da revisão. Inicialmente, foram selecionados 220 artigos das fontes de pesquisa Scopus, IEEE e Web of Science e 2 artigos foram incluídos manualmente. Ao aplicar os critérios definidos, excluímos os artigos que não se enquadravam, e ao final da seleção, foram utilizados 40 artigos para extração das informações.

Com os critérios definidos no protocolo foi possível responder às questões definidas, obter uma visão geral das publicações na área, além de identificar oportunidades futuras de pesquisas. As principais conclusões desse trabalho são:

(i) Tecnologias para leitura da matemática têm predominado nos últimos anos, inclusive resolvendo alguns problemas como ambiguidades na leitura e navegação pela



equação para redução da sobrecarga cognitiva, mas a prosódia nessa área continua sendo objeto de pesquisa;

(ii) Não foram encontradas tecnologias concretas que possibilitam aos estudantes com deficiência visual desenhar gráficos ou formas geométricas, sendo esse um campo que oferece oportunidades para novas pesquisas;

(iii) Tecnologias multimodais que abordam sentidos auditivos e hápticos para desenvolver habilidades espaciais na geometria é um campo a ser investigado, pois não foi encontrada nenhuma tecnologia nessa área, gerando, portanto, oportunidades de desenvolvimento de tecnologias assistivas que explorem a geometria 3D e a realidade virtual voltadas para o ensino da Matemática ;

(iv) Tecnologias que possam integrar equações, gráficos e formas geométricas para estudantes com deficiência visual são também um campo pouco pesquisado.

Embora as tecnologias assistivas desenvolvidas estejam sendo bastante úteis e ofereçam um grande potencial para inclusão dos estudantes com deficiência visual na Matemática, cabe destacar que conforme as lacunas mostradas, existem ainda limitações que impossibilitam os estudantes com deficiência visual alcançarem um nível adequado de proficiência na Matemática.

Apesar das diretrizes recomendadas para esse tipo de pesquisa terem sido seguidas, convém salientar que este trabalho possui algumas limitações, que criam oportunidades para trabalhos futuros, pois não foi realizada uma avaliação da qualidade dos estudos utilizados na pesquisa. Artigos relevantes podem ter ficado fora do estudo por não estarem disponíveis de forma gratuita, além da quantidade de fontes utilizadas, que podem ser ampliadas para uma maior abrangência e cobertura do estudo, incluindo fontes para pesquisas manuais e estudos em língua portuguesa.

## Referências

- Alajarmeh, N., Pontelli, E., and Son, T., 2011. From reading math to doing math: A new direction in non-visual math accessibility. In pp. 501–510.
- Anirban Mukherjee, U., and Biswas, A. 2014. Experimenting with automatic text-to-diagram conversion: a novel teaching aid for the blind people.
- Bateman, A. et al., 2018. A user-centered design and analysis of an electrostatic haptic touchscreen system for students with visual impairments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 109, pp.102–111.
- Bates, E., and Fitzpatrick, D. 2010. Spoken mathematics using prosody, earcons and spearcons. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons* (pp. 407-414). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Beal, C. R., and Rosenblum, L. P. 2018. Evaluation of the Effectiveness of a Tablet Computer Application (App) in Helping Students with Visual Impairments Solve Mathematics Problems. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 112(1), 5-19.
- Brzostek-Pawlowska, J. and Mikulowski, D., 2014. A concept of mobile technology for remotely supporting mathematical education of the blind. In *IEEE Computer Society*, pp. 54–60.
- Brzoza, P. and MaćKowski, M., 2014. Intelligent tutoring math platform accessible for visually impaired people. In Springer Verlag, pp. 519–524.
- Carvalho, V. and Freitas, D. 2015. Automatic description of SVG images for the visually impaired: a Gestaltic approach. *Procedia Computer Science*, 67, 2-11, 2015.

- Cook, A. M., and Polgar, J. M. 2014. *Assistive Technologies-E-Book: Principles and Practice*. Elsevier Health Sciences.
- Elkabani, I. and Zantout, R., 2016. A framework for helping the visually impaired learn and practice math. In *2015 5th International Conference on Information & Communication Technology and Accessibility (ICTA)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 1–5.
- Ferreira, H., and Freitas, D. 2004. Enhancing the accessibility of mathematics for blind people: The AudioMath project. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons* (pp. 678-685). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gillan, D., Barraza, P., Karshmer, A., & Pazuchanics, S., 2004. Cognitive analysis of equation reading: application to the development of the math genie. *Computers Helping People with Special Needs*, 628-628.
- Gulley, A., Smith, L. A., Price, J. A., and Ragland, M. F., 2017. Process-driven math: An auditory method of mathematics instruction and assessment for students who are blind or have low vision. *Journal of visual impairment & blindness* 111(5), pp.465–471.
- Huang, P. H., Chiu, M. C., Hwang, S. L., and Wang, J. L., 2015. Investigating E-Learning Accessibility for Visually-Impaired Students: An Experimental Study. *International Journal Of Engineering Education*, 31(2), 495-504.
- Jayant, C., Renzelmann, M., Wen, D., Krisnandi, S., Ladner, R., and Comden, D., 2007. Automated tactile graphics translation: In the field. In *Proceedings of the 9th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '07*. New York, New York, USA: ACM Press, pp. 75–82.
- Kitchenham, B., and Charters, S., 2007. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical report, Keeke University and Durham University Joint Report.
- Lahav, O., Kittany, J., Levy, S. T., and Furst, M. 2014. Perception of multi-varied sound patterns of sonified representations of complex systems by people who are blind. In *10th International Conference Series on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, Gothenburg, Sweden*.
- Morash, V. S., Siu, Y. T., Miele, J. A., Hasty, L., and Landau, S., 2015. Guiding novice web workers in making image descriptions using templates. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 7(4), 12.
- Nemeth, A. 1972. The Nemeth Braille code for mathematics and science notation: 1972 revision. Produced in braille for the Library of Congress, National Library Service for the Blind and Physically Handicapped by the American Printing House for the Blind.
- Nuernberg, A. H. 2008. Contribuições de vigotski para a educação de pessoas com deficiência visual, *Psicologia em Estudo*, vol. 13, no. 2, pp. 307–316.
- Shimomura, Y., Hvannberg, E.T. and Hafsteinsson, H., 2013. Haptic cues as a utility to perceive and recognise geometry. *Universal Access in the Information Society*, 12(2), pp.125–142.
- Sullivan, J. 2001. Duxbury Braille Translator, Scientific Notebook and math LaTeX importation.
- Wongkia, W., Naruedomkul, K., and Cercone, N. 2012. i-Math: Automatic math reader for Thai blind and visually impaired students. *Computers & Mathematics with Applications*, 64(6), pp.2128–2140.