

Aprendizaje Digital de Matemática para Estudiantes con Ceguera: Una Mirada Actual

Digital Learning Mathematics for Students with Blindness: A Current Look

Ailton Barcelos da Costa *, Alessandra Daniele Messali Picharillo y Nassim Chamel Elias

Universidad Federal de São Carlos, Brasil

RESUMEN:

De acuerdo con los números oficiales, la matrícula de alumnos dirigida al público de la educación especial en la enseñanza común ha aumentado, generando la demanda del desarrollo de estrategias de enseñanza que atiendan a las especificidades de ese alumnado. En la búsqueda por métodos y estrategias más adecuados, la tecnología digital ha sido presentada como posible solución. Considerando las especificidades de alumnos con discapacidad visual (DV) y enseñanza de matemática, este estudio tuvo el objetivo de levantar como ha ocurrido el aprendizaje digital de matemática en los alumnos con ceguera en el período de enero de 2018 y abril de 2023. Para tanto, fue realizada una búsqueda en la base de datos en las cuales estaban indexados los periódicos del área de educación especial y los del área de DV, accedidos remotamente vía CAFE al Portal de Periódicos de la CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Después de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, fueron seleccionados y discutidos nueve artículos que trajeron datos sobre la opinión de alumnos y profesores, y datos sobre el aprendizaje mediante el uso de herramientas digitales, concluyendo como promisor el uso de esas herramientas.

DESCRIPTORES:

Educación especial, Discapacidad visual, Enseñanza de matemática, Aprendizaje digital.

ABSTRACT:

According to official numbers, the enrollment of students aimed at the special education public in regular education has increased, generating demand for the development of teaching strategies that address the specificities of these students. In the search for more appropriate methods and strategies, digital technology has been presented as a possible solution. Considering the specificities of students with Visual Impairment (VD) and mathematics teaching, this study had the objective of raising how digital mathematics learning has occurred in students with blindness in the period from January 2018 to April 2023. For both A search was carried out in the database in which the newspapers of the special education area and those of the DV area were indexed, accessed remotely via CAFE to the CAPES Newspaper Portal (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). After applying the inclusion and exclusion criteria, nine articles were selected and discussed that provided data on the opinions of students and teachers, and data on learning using digital tools, concluding the use of these tools as promising.

KEYWORDS:

Special education, Visual deficiency, Mathematics teaching, Digital learning.

CÓMO CITAR:

Costa, A. B., Picharillo, A. D. M. y Elias, N. C. (2025). Aprendizaje digital de matemática para Estudiantes con ceguera: Una mirada actual. *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*, 19(1), 131-146.

<https://doi.org/10.4067/S0718-73782025000100131>

1. Introducción

En las últimas décadas, se constató el crecimiento sistemático de la tasa de matrícula de estudiantes del Público Alvo da Educação Especial (PAEE), que se refiere a estudiantes con discapacidad (visual, auditiva, física e intelectual), trastornos globales de desarrollo y altas habilidades/ superdotados, ha ocurrido en Brasil (Rabelo y Kassar, 2017). La enseñanza para todos viene siendo ampliada, ya sea por el cambio de mentalidades, sea por la creación de leyes como la *Lei Brasileira de Inclusão -Lei nº 13.146/2015* (Brasil, 2015) o por la Agenda 2030 de la ONU (Organización de las Naciones Unidas).

La reglamentación del proceso de inclusión escolar en Brasil se da a partir de la *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - Lei nº 9.394/1996* (Brasil, 1996) y es perfeccionado con la *Lei Brasileira de Inclusão* (Brasil, 2015). Esta, entre otras deliberaciones, incumbe al poder público de asegurar, crear, desarrollar, implementar, incentivar, acompañar y evaluar el sistema educacional inclusivo en todos los niveles y modalidades, bien como garantizar el aprendizaje a lo largo de toda la vida. En consonancia con las obligaciones del poder público para proveer accesibilidad a toda la población, la ley prevé el perfeccionamiento de los sistemas educacionales. El objetivo de la ley es promover la inclusión plena, la accesibilidad en todos los niveles, de modo a afianzar las condiciones de acceso, permanencia, participación y aprendizaje para la población PAEE, conforme el artículo 28 de la *Lei nº 13.146/2015* (Brasil, 2015).

Cuando se trata de estudiantes con discapacidad visual (DV), la cantidad de aquellos que son educados en las salas de aulas regulares continúa aumentando en todo el mundo, elevando una creciente discusión en las investigaciones sobre educación y educación especial (Miyauchi, 2020). Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la ceguera afecta a cerca de 39 millones de personas al redor del mundo, número que aumenta a 246 millones, considerando la pérdida moderada o severa de la visión (Ottaiano et al., 2019).

En este sentido, en la última actualización de las definiciones de DV (CID-11), para Oliveira et al. (2022), por primera vez fue incluida la definición de DV para cerca (Cuadro 1). Así, para Oliveira et al. (2022, p. 97):

Cuadro 1

Definición y clasificación de la discapacidad visual y ceguera, con base en la agudeza visual

Discapacidad visual para lejos:		
	Agudeza visual presentada para lejos:	
	Peor que:	Mejor o igual a:
Ausente	-	0,5 (20/40)
Leve	0,5 (20/40)	0,3 (20/60)
Moderada	0,3 (20/60)	0,1 (20/200)
Grave	0,1 (20/200)	0,05 (20/400)
Ceguera*	0,05 (20/400)	-
Personas que poseen un campo de visión inferior a 10° también son considerados ciegos		
Discapacidad visual para cerca:		
Agudeza Visual Presentada para cerca peor que N6 o M0.8.		

La agudeza visual presentada corresponde a la medida con la corrección que el paciente se presenta o ninguna corrección. Los valores de agudeza para lejos son presentados en decimales y pies (fracción). La agudeza para cerca es evaluada en el sistema “N” (N1 corresponde a la capacidad de lectura de la menor línea; el aumento del numeral representa el aumento del tamaño de la fuente) la “M” (corresponde a la distancia que un emétrope consigue leer la misma tabla optométrica que el paciente lee a 40 cm); en ambos sistemas, mientras mayor es el numeral peor es la visión. Adaptado de International Classification of Diseases-11/ World Health Organization¹.

La perspectiva inclusiva en la educación, según la UNESCO (2003), alcanza a todos los niños, como deber de la enseñanza regular, atendiendo las necesidades de contenido, abordajes, estructura y estrategias apropiados para las características de cada estudiante.

1.1. Uso de la Tecnología

Actualmente, para Klingenberg et al. (2020), la educación matemática está pasando por cambios significativos, impulsados por la tecnología y por el aprendizaje digital. De acuerdo con los autores, el papel de la tecnología educacional en las estrategias de enseñanza impulsó el aumento del uso de tecnología y ambientes virtuales de aprendizaje, llevando a muchos estudiantes a lidiar con computadores equipados con *software* cada vez más sofisticados, calculadoras gráficas, dispositivos portátiles con paquetes gráficos integrados con *software* de geometría dinámica y aplicativos basados en la Web que ofrecen aprendizaje digital.

Autores como Zhou et al. (2011) vienen a decir que ese fenómeno de la tecnología no es nuevo, una vez que en los últimos 30 años el mundo viene pasando por un boom tecnológico, produciendo una abundancia de herramientas para auxiliar en el aprendizaje y en la enseñanza de matemática para estudiantes con DV.

El desarrollo para el aumento del uso de oportunidades de aprendizaje digital es un desafío para alumnos con DV y sus profesores, tornándose cada vez más importante obtener conocimientos sobre como los alumnos con pérdida de visión pueden seguir la enseñanza de matemática y tener éxito en el aprendizaje (Asebriy et al., 2018; Ashraf et al., 2016; Besnoy et al., 2005; Ferrell, 2011; Klingenberg et al., 2012).

El uso de la Tecnología de Asistencia (TA), especialmente la que se refiere como alta tecnología, incluye dispositivos autónomos, como calculadoras parlantes, programas de computador y programas usados en dispositivos electrónicos que pueden facilitar su aprendizaje (Zhou et al., 2011). Todavía, de acuerdo con el Portal de Ayudas Técnicas:

La Tecnología de Asistencia es un área del conocimiento, de característica interdisciplinar, que engloba productos, recursos, metodologías, estrategias, prácticas y servicios que tienen como objetivo promover la funcionalidad, relacionada a la actividad y participación de personas con discapacidad, discapacidades o movilidad reducida, visando su autonomía, independencia, calidad de vida e inclusión social. (Brasil, 2007, p. 3)

Las transformaciones tecnológicas más recientes, para Rabelo et al. (2022), fueron impulsadas por el distanciamiento social provocado por la pandemia de covid-19, que obligaron a modificar el modo de vida de diversas formas. En especial, según los autores, la educación es una de las áreas más afectadas, y los educadores fueron

¹ <https://icd.who.int/dev11/f/en#/http%3A%2F%2Fid.who.int%2Ficd%2Fentity%2F1103667651>

forzados a repensar los abordajes, no apenas para adaptarse a las circunstancias de la pandemia, sino también en un contexto más general.

Estas transformaciones recientes, para Shin et al. (2023), contribuyen para que los estudiantes estén cada vez más inmersos en la tecnología desde la infancia, una vez que viviendo en la era digital, en la cual los estudiantes y profesores usan una variedad de dispositivos digitales en el aula, los métodos de educación mediados por tecnología penetraron profundamente en el campo de la educación. De esa forma, se espera que los alumnos seleccionen y usen herramientas matemáticas apropiadas al involucrarse en actividades matemáticas en el aula.

Para Emerson y Anderson (2018), se ha realizado un gran esfuerzo para hacer que las habilidades matemáticas sean accesibles para los estudiantes con DV, centrándose en la lectura de ecuaciones y el acceso a imágenes, como gráficos de ecuaciones o estadísticas. Según los autores, estos estudiantes pueden tener dificultades para comprender la información de estos gráficos, ya que el sistema sensorial táctil, que es la forma más común de acceder a ellos, se activa de forma diferente a la información que recibe visualmente.

Para que los estudiantes con DV puedan acceder a la información contenida en imágenes que se encuentran en libros de texto, sitios web o cualquier otro material de enseñanza y aprendizaje STEM, una de las alternativas utilizadas actualmente puede ser a través de la descripción verbal, realizada por el propio docente; mediante la llamada “zonificación”, cuando se reproduce un archivo de audio en lugar de una imagen; a través de gráficos táctiles (vía matemáticas Braille, código Nemeth o producidos con materiales concretos por el propio profesor); o utilizar cambios de tono y volumen para representar la imagen, lo cual es de particular utilidad para graficar ecuaciones o gráficos estadísticos (Emerson y Anderson, 2018).

En Brasil, para Nery y Sá (2020), a partir de la pandemia, las instituciones de enseñanza condujeron sus acciones en actividades remotas, comprendiendo la utilización de Ambientes Virtuales de Aprendizaje (AVA) o el envío de actividades impresas a los estudiantes para realizarlas en sus residencias, con el auxilio de sus padres y/o responsables. De acuerdo con los autores, las actividades impresas encaminadas a los estudiantes con DV deberían estar impresas en Braille y con las debidas adecuaciones en relación con las imágenes, gráficos, tablas o cuadros.

Al tratarse de matemática, para Anderson-Inman y Horney (2007), los libros didácticos tradicionales pueden ser sustituidos por libros didácticos digitales, que son presentados o leídos en un computador o por lectores de pantalla como la DAISY (Sistema de Información Digital Accesible), grabaciones de audio de voz humana, vídeos, libros impresos en tamaño grande o Braille. Sin embargo, Wonjin et al. (2016) alerta que los libros didácticos incluyen bastantes figuras e imágenes para ayudar en la comprensión de los alumnos de determinado contenido, los que representan desafíos considerables, debido a la falta de accesibilidad a tales elementos.

Siguiendo con el uso de AT, para Hahn et al. (2019), el estudio del uso de dispositivos táctiles multimodales, como tabletas, como herramientas educativas, todavía se encuentra en su fase inicial. Para estos autores, las ventajas de esta tecnología incluyen su portabilidad y capacidad de realizar múltiples tareas al mismo tiempo, capacidad de proporcionar recursos visuales, auditivos y táctiles simultáneos, adopción dentro de la educación con entornos tradicionales, amplia adopción en comparación con dispositivos específicos. Varios estudios han ilustrado el potencial de utilizar esta

tecnología con gráficos simples a través de entradas multimodales para personas con DV (Goncu y Marriott, 2011; Tennison y Gorlewicz, 2016).

Una solución para el problema de la accesibilidad, cuando se trata de Brasil, es el Software Monet, que para Bernardo y Dias (2020), ofrece alternativas para la producción de materiales en relieve y transcripción del texto de libros didácticos de matemática para el sistema Braille. Para los autores:

El Software Monet posibilita al profesor dibujar puntos/segmentos/figuras libremente, importar imágenes y transformarlas en relieve (brailizar), escribir en braille, escribir en letras cursivas utilizando el relieve, elaborar gráficos de función y de barras, entre otras funcionalidades, explorando el modo de operación gráfico de las impresoras braille. Esos recursos proporcionan al profesor una gama mucho mayor de posibilidades de transcripción del material gráfico contenido en los libros didácticos, a diferencia de las restricciones impuestas por la escritura braille. (Bernardo y Dias, 2020, p. 15)

Otro recurso que comienza a ser usado es la impresión tridimensional (3D), que surgió como una herramienta para la creación de objetos sofisticados y personalizados con materiales de costo relativamente bajo (Melchels et al., 2010). El uso de la impresión 3D puede contribuir para la educación especial, favoreciendo el involucramiento de STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática, del inglés *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) dirigida a un público históricamente carente, creando materiales inclusivos, una vez que los materiales producidos pueden ser personalizados en el aula y volcados a la TA individualizada (Buehler et al., 2016).

Además de esos recursos, vienen surgiendo en los últimos años nuevos recursos basados en la Inteligencia Artificial (IA), alcanzando un enorme número de usuarios, en todo el mundo, principalmente por medio de los *Intelligent Personal Assistants* (IPAs) encontrados en dispositivos inteligentes (Tan et al. 2016). Esos IPAs incluyen aplicaciones como Alexa, Google Home, Siri y Cortana (Festerling y Siraj, 2020), pero hay muchos otros usos potenciales, incluyendo muchos tipos diferentes de herramientas educativas. La idea es permitir que los alumnos en general, en especial aquellos del PAEE como las personas con DV participen de las clases, revisen los tópicos presentados y complementen su aprendizaje (Hales et al., 2019; Zhou et al. 2011).

Por fin, se puede traer una revisión sistemática con artículos publicados de enero de 2000 a noviembre de 2017 realizada por Klingenberg et al. (2020), que tuvieron el objetivo de resumir el conocimiento basado en evidencias sobre *e-learning* (aprendizaje digital) de matemática para alumnos con ceguera. Los autores hicieron búsquedas en las bases Scopus, PubMed, Educational Resources Information Center (ERIC) y Web of Science usando los términos discapacidad visual, ciego, baja visión, matemática y educación. Fueron incluidos estudios con participantes con DV en la franja etaria de cinco a 25 años, seleccionando 13 trabajos para lectura íntegra. Como resultado, los autores identificaron ocho artículos que relataron el uso de aplicaciones como auxiliares de aprendizaje (DAISY E-textbook; AnimalWatch-VI-Beta; Calculadora VISO; MathSpeak; AudioMath; sistema ACED para audio-táctiles; programa Talking Tactile Tablet - TTT para textiles gráficos). Los autores concluyen que el aprendizaje digital puede ser un recurso útil que para los alumnos con DV mejoren sus habilidades matemáticas. Sin embargo, para los autores, faltan evidencias de como las tecnologías digitales mejoran los potenciales del proceso de inclusión y aprendizaje de matemática para alumnos con DV y, por tanto, hay necesidad de investigaciones adicionales y más reflexión sobre el asunto.

A partir de eso, el presente estudio realizó una revisión sistemática con artículos publicados entre enero de 2018 y abril de 2023 sobre enseñanza electrónica de matemática para alumnos con ceguera.

Formalmente, el objetivo de esta investigación es discutir cómo ha ocurrido el aprendizaje digital de matemática para alumnos con ceguera en el período entre enero de 2018 y abril de 2023.

2. Método

Se trata de una revisión sistemática de literatura basada en trabajos empíricos internacionales, publicados entre enero de 2018 y abril de 2023, en bases de datos de libre acceso (Costa y Zoltowski, 2014).

La investigación fue realizada en una única etapa. Como criterio de inclusión de los estudios, fueron considerados trabajos con disponibilidad íntegra en las bases de datos y por tratarse de estudios empíricos de personas con DV. Fueron excluidos artículos conceptuales o de revisión y los que no se adecuaron al tema.

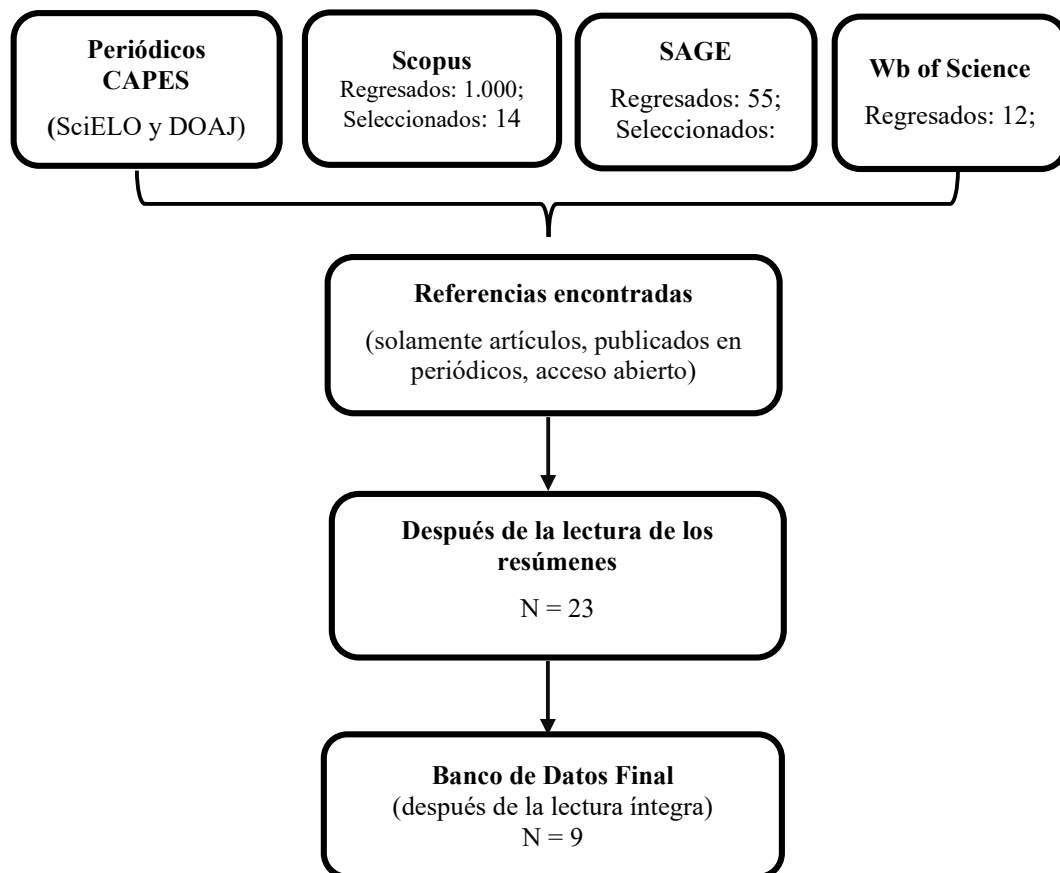
La búsqueda fue realizada en bases de datos en las cuales estaban indexados los periódicos del área de educación especial y los del área de DV, acesados remotamente vía CAFE al Portal de Periódicos da CAPES (*Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*), que es provista por la *Rede Nacional de Ensino e Pesquisa* (RNP) do Brasil, que permite que los usuarios utilicen login y contraseña institucionales para diversos servicios, entre ellos acezar de forma remota el contenido firmado del Portal de Periódicos. El CAFE de la CAPES es la *Comunidade Acadêmica Federada* (CAFe), que es un servicio de gestión de identidad que reúne instituciones de enseñanza e investigación brasileñas a través de la integración de sus bases de datos. Las bases consultadas vía *Portal de Periódicos da CAPES* fueron: SciELO (*ScientificElectronic Library Online*) y DOAJ (*Directory of Open Access Journals*).

Después, fueron realizadas búsquedas en las siguientes bases: *SAGE Journals Online*, Scopus (Elsevier) y Web of Science.

Los descriptores representativos de la temática de investigación fueron: (ceguera) *and* (matemática) *and* (*e-learning*); (discapacidad visual) *and* (matemática) *and* (*e-learning*); (ceguera) *and* (matemática) *and* (estudiante); (ceguera) *and* (matemática) *and* (educación); (ceguera) *and* (matemática) *and* (educación).

Como criterio de selección de los artículos, se consideró la disponibilidad íntegra, en las bases de datos y en los periódicos, además de ser estudios empíricos. En esa búsqueda, fueron encontrados 1.166 artículos. Después de la lectura de títulos y resúmenes, se constató la existencia de 23 estudios que atendían los prerequisites, los cuales fueron seleccionados para la lectura íntegra. Después de la lectura, se llegó al banco de datos final, que fueron nueve artículos.

Como materiales y equipamientos, fue usado el *notebook*. Para el análisis de los datos, fueron producidas categorías sobre las características y contenidos presentes en los estudios, explorando sus similitudes y diferencias, utilizando descripción y síntesis (Hohendorff, 2014).

Figura 1**Resultados encontrados**

3. Resultados y Discusión

Fueron seleccionados nueve artículos: Sganzerla y Geller (2018), Beal y Rosenblum (2018), Hahn et al. (2019), Sganzerla y Geller (2020), Kosova y Izetova (2020), Szesz Junior et al. (2020), Memeo et al. (2021), Sadia et al. (2022) y Maćkowski y Brzoza (2022).

Los artículos fueron organizados y presentados en tres categorías, siendo tres artículos que se refieren a la accesibilidad (Sganzerla y Geller, 2018, 2020; Kosova y Izetova, 2020), tres artículos que se refieren a la enseñanza de formas geométricas (Memeo et al., 2021; Sadia et al., 2022; Maćkowski y Brzoza, 2022) y tres artículos que se refieren a la enseñanza de álgebra y gráficos (Beal y Rosemblum, 2018; Hahn et al., 2019; Szesz Junior et al., 2020).

Antes de la discusión de los datos encontrados, cabe destacar algunas informaciones generales sobre el material seleccionado. El número total de participantes de los estudios fue de 165 personas, distribuidas entre personas con DV, profesores y especialistas. Además, sobre los participantes, variaron desde alumnos de la enseñanza básica hasta alumnos de posgrado, demostrando el nivel creciente de complejidad del contenido matemático explorado en los estudios. Por fin, de los nueve estudios, apenas un estudio no tuvo como participantes alumnos con DV y sí, especialistas que evaluaron plataformas digitales de enseñanza (será descrito con más detalle a lo largo de este estudio).

3.1. Accesibilidad

El trabajo de Sganzerla y Geller (2018) tuvo el objetivo de reflexionar sobre las potencialidades del uso de TA en la enseñanza de matemática, insertadas en el Atendimento Educacional Especializado (AEE) en una escuela polo para alumnos con DV. Participan de la investigación cuatro alumnos con DV y la profesora del AEE, insertados en una escuela municipal de Porto Alegre/RS. Como método, los autores relatan que fueron observados tanto alumnos como profesores durante los períodos de atendimento en el AEE. Como resultados, los autores observaron que existían pocas TAs disponibles para la enseñanza de la matemática, siendo necesario el desarrollo de investigaciones envolviendo a personas con DV y el uso de TA. Para los autores, al presentar las TAs utilizadas como recursos por la profesora, se destaca que, entre las funciones de la escuela, está la obligación de proporcionar apoyo para los alumnos, repensando estrategias de enseñanza y de aprendizaje.

El trabajo de Sganzerla y Geller (2020) tenía como objetivo reflexionar sobre el uso de la TA y de materiales adaptados con estudiantes con DV en los Años Iniciales de la Enseñanza Fundamental. Participaron de la investigación cinco profesores que enseñaban matemática en la sala de clase regular y en el AEE, además de cinco estudiantes matriculados en la escuela, siendo dos con ceguera y tres con baja visión. La investigación utilizó el abordaje cualitativo, inspirado en el Análisis Textual Discursivo. La recopilación y análisis de datos se presentó como un recorte por medio del análisis de atendimientos en el AEE, ponderando sobre las necesidades de los estudiantes y las actividades con el uso de TA para la enseñanza del concepto de número. Como resultado, los autores dicen que la utilización de TA es fundamental en el proceso de construcción de conceptos matemáticos por estudiantes con DV, con el objetivo de hacer efectiva la Educación Matemática Inclusiva. Los autores también afirman que algunas adaptaciones simples, como tornar disponible el material en Braille para los estudiantes con ceguera o ampliado para los estudiantes con baja visión, son acciones que podrían ser adoptadas, contando con el auxilio de los profesionales del AEE.

Sobre accesibilidad digital, el estudio de Kosova y Izetova (2020) tuvo el objetivo de evaluar la accesibilidad del contenido de cursos *online* masivos de matemática en ruso para personas con DV. Fueron participantes 56 cursos *online* de matemática para estudiantes de licenciatura de los cursos de las cinco principales plataformas de contenido de aprendizaje en ruso. La accesibilidad de los cursos para personas con discapacidad fue avalada por especialistas, usando 70 criterios predeterminados. Según los autores, el método de análisis de especialistas envolvió la evaluación manual realizada por dos especialistas, a partir de los criterios de seis módulos: accesibilidad general a los cursos, accesibilidad al material multimedia, accesibilidad a los documentos digitales, accesibilidad a las pruebas, accesibilidad a la notación matemática y accesibilidad al modelaje y simulación. Como resultado, los autores relatan que los descubrimientos revelaron baja accesibilidad a los cursos de matemática en ruso para personas con discapacidad, particularmente para aquellos con ceguera. Los resultados ilustran la necesidad de colocar los cursos existentes en conformidad con las directrices de accesibilidad, para enseñar a los autores y desarrolladores de las plataformas para crear contenido de curso accesible y que involucre a personas con discapacidad.

Los dos primeros estudios descritos, aunque las TAs sean importantes para garantizar el acceso y comprensión del contenido, todavía existe un déficit en la oferta de los recursos. Además, según los autores y concordando con el *Portal de Ayudas Técnicas*

(Brasil, 2007), las adaptaciones son necesarias para comprobar la autonomía e independencia de los alumnos en el proceso de enseñanza-aprendizaje. El siguiente estudio, aunque se refiere a cursos de idioma ruso, en Brasil también hay varios cursos disponibles en plataformas digitales. En ese sentido, cabe considerar que la accesibilidad digital se refiere a una de las dimensiones descritas en la legislación brasileña y se refiere al pleno acceso y utilización de todos los recursos digitales disponibles, considerando cuidadosamente la eliminación de barreras (Brasil, 2016). Como meta de eliminación de esos posibles obstáculos, deberían ser planeadas revisiones para cursos en plataformas digitales que ya están disponibles, bien como, la elaboración de directrices accesibles para la creación de nuevos cursos.

3.2. Enseñanza de formas geométricas

Pasando a la categoría referente a la enseñanza de formas geométricas, el trabajo de Memeo et al. (2021) tuvo el objetivo de presentar un nuevo sistema de sustitución sensorial que permite aprender informaciones digitales 3D vía tacto cuando la visión no está disponible. Veinticuatro participantes de la misma edad y género (un grupo de 12 personas con ceguera, un grupo de 12 personas con visión vendada) combinaron un diccionario táctil de objetos virtuales con su versión sólida impresa en 3D. La eficacia del sistema fue medida por una tarea de correspondencia de objeto virtual/real. La exploración de los objetos virtuales ocurrió en tres condiciones, o sea, con pistas aisladas o combinadas de altura e inclinación. Fueron investigados el desempeño y el costo mental de aproximar objetos virtuales en esas condiciones táctiles. Según Memeo et al. (2021), el sistema está basado en un dispositivo en forma de mouse, proyectado para percibir conjuntamente, con apenas un dedo, pistas táctiles locales de altura e inclinación de campos escalares arbitrarios. El dispositivo hospeda un solenoide táctil con tres grados de libertad: elevación, rotación e inclinación. El interruptor aproxima la interacción táctil con un plano tangente al punto de contacto entre el dedo y el campo. La información espacial puede, por tanto, ser construida mentalmente por la integración de pistas táctiles locales y globales: el interruptor ofrece pistas locales, mientras la propiocepción asociada al movimiento del mouse ofrece las pistas globales.

Como resultados, los autores relatan que, en ambos grupos, las pistas de elevación e inclinación fueron suficientes para reconocer el diccionario táctil, pero su combinación funcionó mejor. La presencia de elevación disminuyó una estimativa subjetiva de esfuerzo mental. Curiosamente, apenas los participantes con DV estaban conscientes de su desempeño y eran capaces de preverlo. La tecnología propuesta puede facilitar el aprendizaje de ciencias, ingeniería y matemática en la ausencia de visión, siendo también una solución industrial de bajo costo para convertir interfaces gráficas de usuario accesibles para personas con pérdida visual.

En seguida, el trabajo de Sadia et al. (2022) tuvo el objetivo de investigar la tasa de reconocimiento y el tiempo de cinco formas táctiles (triángulo, cuadrado, pentágono, hexágono y octógono) por electro vibración en una pantalla sensible al toque. La investigación tuvo nueve participantes (cinco hombres y cuatro mujeres, con edad media de 27 años), todos estudiantes de posgrado y usuarios comunes de dispositivos móviles. Las cinco formas táctiles fueron renderizadas (representadas gráficamente) por electro vibración en una pantalla sensible al toque usando tres métodos diferentes (electro vibración estaba activa dentro, en los bordes o fuera de las formas) y exhibidos en orientaciones prototípicas y no prototípicas.

Los autores destacan que los resultados mostraron que la tasa de reconocimiento correcto de las formas fue mayor cuando el área hapticamente activa, área donde el

electro vibración estaba encendida, era mayor. Sin embargo, continúan los autores, a medida que el número de aristas fue aumentado, el tiempo de reconocimiento aumentó y la tasa de reconocimiento cayó significativamente, llegando a un valor ligeramente superior a la tasa de chance de 20% para el octógono no prototípico. Además de eso, el tiempo de reconocimiento para la condición de renderización (representación gráfica) interna fue significativamente menor en comparación con las condiciones de renderización (representación gráfica) del borde y externo, y la condición de renderización (representación gráfica) del borde llevó al mayor tiempo de reconocimiento. Con base en el análisis temporal, los autores clasificaron seis estrategias de exploración adoptadas por los participantes para identificar las formas, que fueron diferentes para las formas prototípicas y no prototípicas.

Por fin, Maćkowski y Brzoza (2022) tuvieron el objetivo de investigar la influencia de la plataforma desarrollada para la presentación alternativa de informaciones gráficas en la mejor memorización, reconocimiento y aprendizaje, y verificar la eficacia del método propuesto para la presentación alternativa de gráficos audio-táctiles. Los participantes en las pruebas eran 20 estudiantes (12 varones y 8 mujeres) de la enseñanza secundaria (primer grupo) con edades comprendidas entre los 15 y los 20 años, siendo 16 personas con ceguera y cuatro con baja visión. El segundo grupo consistía en 24 estudiantes, siendo 18 con ceguera y seis con baja visión (13 varones y 11 mujeres). El método destaca que dos conjuntos de materiales fueron preparados para la investigación: el primero incluía imágenes táctiles con descripciones en Braille; el segundo englobaba gráficos audio-táctiles interactivos, con cada elemento esencial de la imagen con una descripción verbal, leída después de tocar en ella. Para cada grupo de materiales, fue elaborado un conjunto de ejercicios en forma de prueba con una lista de preguntas y respuestas de elección múltiple. Había un conjunto de 20 figuras diferentes preparadas para alumnos de la enseñanza fundamental, conteniendo figuras geométricas como triángulos, cuadriláteros, círculos, elipses y polígonos. Esos materiales fueron usados para evaluar la eficacia del reconocimiento de formas, tamaños y propiedades de figuras geométricas.

Como resultados, los autores destacan que la utilización de una interfaz de usuario multi modalidad audio-táctil para presentar informaciones gráficas para personas con DV contribuye a una mejor comprensión del material educacional. Además de eso, para Maćkowski y Brzoza (2022), la plataforma desarrollada no solo disponibilidad información en la forma audio-táctil, como también nos permite evaluar el nivel de conocimiento del alumno de forma automática durante la solución interactiva de ejercicios, bien como seleccionar ejercicios siguientes automáticamente. El uso de tal abordaje, para los autores, permite que los alumnos aumenten sus conocimientos y habilidades y su nivel de satisfacción. Además de eso, los autores también destacan que la aplicación incluida en el sistema permitía analizar los resultados de las pruebas de alumnos individuales y la modificación de ejercicios existentes para las necesidades específicas de cada uno de ellos.

En los dos primeros estudios presentados, los participantes son adultos con más de 20 años, con enseñanza media completa y usuarios de dispositivos móviles. Esas características pueden ser facilitadoras cuando se presenta una TA digital que tenga como objetivo sustituir la visión en la identificación de formas, considerando la necesidad de abstracción para la construcción del concepto de ellas. El tercer estudio de Maćkowski y Brzoza (2022), trabajó también con la franja etaria inferior a los 20 años y obtuvo resultados promisorios, semejantes a los resultados con estudiantes mayores y con más experiencia. Por tanto, con base en la discusión presentada por los autores de los tres estudios citados arriba, la utilización de herramientas digitales para

la enseñanza de formas geométricas parece ser efectiva, sugiriendo futuras investigaciones con personas más jóvenes, inclusive con niños pequeños, una vez que la enseñanza de formas geométricas se inicia en la educación infantil.

3.3. Enseñanza de álgebra y gráficos

En seguida, sigue el análisis de la categoría referente a la enseñanza de álgebra y gráficos. El trabajo de Beal y Rosenblum (2018) fue desarrollar TA para promover la competencia matemática en alumnos con DV con foco específico en la solución de problemas de palabras. Cuarenta y tres alumnos con DV concluyeron ocho unidades alternadas de matemática usando su medio tradicional de alfabetización o una aplicación de iPad. Veinte por ciento de los problemas de matemática incluían gráficos como mapas, gráficos de líneas y gráficos de barras. Durante cada sesión, los profesores de alumnos con DV evaluaron la cantidad de apoyo que ofrecieron a los alumnos y la motivación de los alumnos. Como resultados, los autores relatan que los alumnos respondieron más problemas de matemática correctamente al usar la aplicación para iPad y, en general, los profesores relataron que sus alumnos quedaron más motivados con la aplicación que con su medio tradicional de alfabetización. Los autores dicen que los alumnos acostumbran a usar las pistas ofrecidas en la aplicación cuando no resuelven un problema correctamente la primera vez.

Szesz Junior et al. (2020) tuvieron el objetivo de presentar el Math2Text, un producto que convierte ecuaciones, producidas en una plataforma gráfica en ecuaciones textuales accesibles, a través del formato de “texto leído”. Para los actores, participaron de la investigación un profesor de matemática y cinco estudiantes con DV con enseñanza media completa. Como método, la investigación fue hecha con una comparación entre diferentes *software*, donde en la etapa de *design* fueron presentadas las herramientas y la estrategia para ser utilizada durante el desarrollo. Según los autores, en la creación del prototipo se presentó la herramienta y sus varias interfaces, por fin, en la etapa de prueba, se demuestra la prueba realizada con un profesor y un grupo de alumnos con DV, en que se realizó una prueba con la utilización del lector de pantalla NonVisual Desktop Access (NVDA). Como resultado, los autores destacan que el desarrollo del Math2Text tuvo por foco principal la conversión de ecuaciones producidas en plataforma gráfica para ecuaciones textuales accesibles. Para ellos, no es posible definir la cobertura total de la herramienta, pues sus resultados dependen de la complejidad de las ecuaciones producidas en ella, una vez que el sistema se mostró bastante eficiente, necesitando de más pruebas y refinamientos. De esa forma, para los autores, se pretende realizar la automatización del proceso facilitando el desarrollo de materiales por parte del profesor, bien como nuevas pruebas con expresiones más complejas con el fin de concientizarlos y capacitarlos en la utilización de esas herramientas y en una actitud, inclusiva en el aula.

Hahn et al. (2019) tuvieron el objetivo de investigar la eficacia de dispositivos electrónicos multi modalidad con pantalla sensible al toque en la transmisión de gráficos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemática por medio de vibraciones y sonidos para individuos con DV y los compara con gráficos presentados en formato de relieve. Una muestra voluntaria de 22 participantes con DV, seleccionados en un campamento de verano y escuelas locales para alumnos con ceguera, fue reclutados para el estudio. Los participantes fueron primero entrenados por 30 minutos sobre como explorar gráficos por medio de una tableta con pantalla tela táctil multi modalidad, seguido de la exploración de seis tipos gráficos (línea numérica, tabla, gráfico de sectores, gráfico de barras, gráfico de línea y mapa) exhibidos en papel con relieve y tableta. Los participantes respondieron a tres preguntas de contenido por tipo de gráfico después

de la exploración. Como resultados, los autores destacan que los participantes fueron apenas 6% más precisos al responder preguntas sobre un gráfico en relieve en oposición a un gráfico de tableta. Los hallazgos demuestran que las tabletas multi modalidades con pantalla sensible al toque pueden ser comparables a gráficos en relieve en la trasmisión de contenido iconográfico de ciencia y matemática para individuos con DV, independientemente de la gravedad de la discapacidad. Para ellos, la relativa equivalencia en la precisión de la respuesta entre los medios fue inesperada, una vez que la mayoría de los alumnos que participaron eran lectores de Braille y tenían experiencia en la lectura de gráficos en relieve, mientras que fueron presentados a la tableta el día de la prueba.

De manera general, los alumnos que utilizaron las aplicaciones y programas presentados arriba obtuvieron éxito en el proceso de aprendizaje, a pesar de posibles necesidades de ajustes tecnológicos para la adecuación de las herramientas. Hahn et al. (2019) todavía destacan que el uso de esas herramientas digitales por los profesores facilita la construcción de nuevos materiales para la enseñanza de alumnos con DV.

4. Consideraciones Finales

Considerando el objetivo de este estudio, que fue levantar como ha ocurrido la enseñanza electrónica de matemática para alumnos con ceguera en el período entre enero de 2018 y abril de 2023, se obtuvo nueve estudios que trajeron en sus resultados datos sobre la opinión de alumnos y profesores, y datos sobre el aprendizaje mediante el uso de herramientas digitales, que en ese caso también son consideradas TAs.

Retomando el concepto y la finalidad de las TA presentadas, se puede afirmar que los estudios demostraron que los recursos atienden la propuesta documento, o sea, las herramientas digitales promueven acceso al contenido, autonomía a los alumnos y como consecuencia, la inclusión social del alumno en el contexto del aula.

Todavía es posible inferir, a partir de las discusiones presentadas por los autores de los estudios seleccionados, que el avance tecnológico ha traído ventajas y facilidades tanto para los profesores como para los alumnos con DV, mejorando la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje, aunque exista la advertencia del constante perfeccionamiento y adecuaciones de las herramientas. Esto ha sucedido debido al esfuerzo que se está realizando para hacer que las habilidades matemáticas sean accesibles para los estudiantes con DV, enfocándose en la lectura de ecuaciones y el acceso a imágenes, como gráficos de ecuaciones, como se ha demostrado en estudios (Emerson y Anderson (2018).

Además, considerando el propósito de la TA presentada, los estudios demostraron que las herramientas digitales promueven el acceso a los contenidos, la autonomía de los estudiantes y, en consecuencia, la inclusión social del estudiante en el contexto del aula, como afirman Dabi y Golga (2023). Las personas con discapacidad visual pueden beneficiarse enormemente de los dispositivos de TA para aprender matemáticas, pudiendo aprender matemáticas al mismo nivel que sus compañeros utilizando TA táctil y auditiva apropiada, proporcionando accesibilidad completa (Dabi y Golga, 2023).

Por fin, a pesar de que el uso de tecnologías digitales no es reciente, conforme afirman Zhou et al. (2011), la búsqueda de nuevas formas de enseñanza del contenido de matemática ha impulsado la adhesión al uso de herramientas digitales (Klingenberg et al., 2020). Por tanto, de acuerdo con lo que fue presentado en este estudio, los desafíos

presentes estão em el desarrollo de ferramentas más accesibles y en la capacitação docente para la gestão y la mediação efetiva em los momentos de ensenanza.

Referencias

- Anderson-Inman, L. Y. N. N. E. y Horney, M. A. (2007). Supported eText: Assistive technology through text transformations. *Reading Research Quarterly*, 42(1), 153-160. <https://doi.org/10.1598/RRQ.42.1.8>
- Asebriy, Z., Raghay, S. y Bencharef, O. (2018). An assistive technology for braille users to support mathematical learning: a semantic retrieval system. *Symmetry*, 10(11), 547. <https://doi.org/10.3390/sym10110547>
- Ashraf, M. M., Hasan, N., Lewis, L., Hasan, M. R. y Ray, P. (2016). A systematic literature review of the application of information communication technology for visually impaired people. *International Journal of Disability Management*, 11, e6. <https://doi.org/10.2174/1745017901814010296>
- Beal, C. R. y 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. <https://doi.org/10.1177/0145482X181120010>
- Bernardo, F. y Dias, C. (2020). *Desafios e possibilidades no ensino de matemática para alunos com deficiência visual*. Associação Nacional dos Professores de Matemática na Educação Básica.
- Besnoy, K. D., Manning, S. y Karnes, F. A. (2005). Screening students with visual impairments for intellectual giftedness: A pilot study. *RE: view*, 37(3), 134-141.
- Brasil. (1996). *Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Lei n. 9.394/ 96, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional*. Presidência da República.
- Brasil. (2015). *Lei nº 13.146 de 06 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)*. Presidência da República.
- Brasil, Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. (2004). *Define Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional Técnica de Nível Médio*. Portal do MEC.
- Brasil, Ministério da Educação. (2007). *Portal de ajudas técnicas*. MEC.
- Brasil. Ministério da Educação (2016). *Documento orientador das comissões de avaliação in loco para instituições de educação superior com enfoque em acessibilidade*. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira [INEP].
- Buehler, E., Comrie, N., Hofmann, M., McDonald, S. y Hurst, A. (2016). Investigating the implications of 3D printing in special education. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, 8(3), 1-28. <https://doi.org/10.1145/2870640>
- Costa, Â. B. y Zoltowski, A. P. C. (2014). Como escrever um artigo de revisão sistemática. En S. H. Koller, M. C. P. P. Couto y J. V. Hohendorff (Eds.), *Manual de produção científica* (pp. 55-71). Penso Editora.
- Dabi, G. K. y Golga, D. N. (2023). The role of assistive technology in supporting the engagement of students with visual impairment in learning mathematics: An integrative literature review. *British Journal of Visual Impairment*, 42(3), 674-687. <https://doi.org/10.1177/02646196231158922>
- Emerson, R. W. y Anderson, D. (2018). What mathematical images are in a typical mathematics textbook? Implications for students with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 112(1), 20-32. <https://doi.org/10.1177/0145482X1811200103>

- Ferrell, K. A. (2011). What do we know, and how do we know it. *The Educator*, 23(2), 13-19. <https://doi.org/10.1177/00131245211062528>
- Festerling, J. y Siraj, I. (2020). Alexa, what are you? Exploring primary school children's ontological perceptions of digital voice assistants in open interactions. *Human Development*, 64(1), 26-43. <https://doi.org/10.1159/000508499>
- Goncu, C. y Marriott, K. (2011). GraVVITAS: generic multi-touch presentation of accessible graphics. En *Human-Computer Interaction—INTERACT 2011: 13th IFIP TC 13 International Conference, Lisbon, Portugal, September 5-9, 2011, Proceedings, Part I* 13 (pp. 30-48). Springer Berlin Heidelberg.
- Hahn, M. E., Mueller, C. M. y Gorlewicz, J. L. (2019). The Comprehension of STEM Graphics via a Multisensory Tablet Electronic Device by Students with Visual Impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 113(5), 404-418. <https://doi.org/10.1177/0145482X19876463>
- Hahn, M. E., Mueller, C. M. y Gorlewicz, J. L. (2019). The comprehension of stem graphics via a multisensory tablet electronic device by students with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 113(5), 404-418. <https://doi.org/10.1177/0145482X19876463>
- Hales, P. D., Anderson, M., Christianson, T., Gaspar, A., Meyer, B. J., Nelson, B., ... y Vande Weerd, M. (2019). Alexa? Possibilities of voice assistant technology and artificial intelligence in the classroom. *Empowering Research for Educators*, 3(1), 4.
- Hohendorff, J. V. (2014). Como escrever um artigo de revisão de literatura. In S. H. Koller, M. C. P. P. Couto y J. V. Hohendorff (Eds.), *Manual de produção científica* (pp. 39-54). Penso Editora.
- Klingenberg, O. G., Fosse, P. y Augestad, L. B. (2012). An examination of 40 years of mathematics education among Norwegian braille-reading students. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 106(2), 93-105. <https://doi.org/10.1177/0145482X1210600204>
- Klingenberg, O. G., Holkesvik, A. H. y Augestad, L. B. (2020). Digital learning in mathematics for students with severe visual impairment: A systematic review. *British Journal of Visual Impairment*, 38(1), 38-57. <https://doi.org/10.1177/0264619619876975>
- Kosova, Y. y Izetova, M. (2020). Accessibility of Mathematics MOOCs to Learners with Disabilities. *Voprosy Obrazovaniya / Educational Studies Moscow*, 1, 205-229. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-1-205-229>
- Maćkowski, M. y Brzoza, P. (2022). Accessible Tutoring Platform Using Audio-Tactile Graphics Adapted for Visually Impaired People. *Sensors*, 22(22), 8753. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-1-205-229>
- Melchels, F. P., Feijen, J. y Grijpma, D. W. (2010). A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121-6130. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.04.050>
- Memeo, M., Jacono, M., Sandini, G. y Brayda, L. (2021). Enabling visually impaired people to learn three-dimensional tactile graphics with a 3DOF haptic mouse. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00935-y>
- Miyauchi, H. (2020). A systematic review on inclusive education of students with visual impairment. *Education Sciences*, 10(11), 346. <https://doi.org/10.3390/educsci10110346>
- Nery, É. S. S. y Sá, A. V. M. (2020). Pesquisas em Educação Matemática Inclusiva: possibilidades e desafios da utilização de tecnologias digitais e assistivas. *Revista Baiana de Educação Matemática*, 1, e202006-e202006. <https://doi.org/10.47207/rbem.v1i0.9170>

- Oliveira, I. P., Amaral, M. D. M., Costa, L. C. D. F., Marcusso, B. M. G. y Furtado, J. M. (2022). Estratégias e desafios em prevenção à cegueira e deficiência visual. *Medicina (Ribeirão Preto)*, 55(2). <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.rmrp.2022.187823>
- Organização Mundial da Saúde. (2003). *Classificação estatística internacional de doenças e problemas relacionados à saúde - décima revisão*. Edusp.
- Ottaiano, J. A. A., Ávila, M. P., Umbelino, C. C. y Taleb, A. C. (2019). *As condições de saúde ocular no Brasil*. Conselho Brasileiro de Oftalmologia.
- Rabelo, L. P., Sodré, D., Dos Santos, M. S., Lima, C. C. S., Ferrari, S. F., Sampaio, I. y Vallinoto, M. (2022). ForAlexa, an online tool for the rapid development of artificial intelligence skills for the teaching of evolutionary biology using Amazon's Alexa. *Evolution: Education and Outreach*, 15(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s12052-022-00169-z>
- Rebelo, A. S. y Kassir, M. D. C. M. (2017). Escolarização dos alunos da educação especial na política de educação inclusiva no Brasil. *Inclusão Social*, 11(1).
- Sadia, B., Sadic, A., Ayyildiz, M. y Basdogan, C. (2022). Exploration strategies for tactile graphics displayed by electrovibration on a touchscreen. *International Journal of Human-Computer Studies*, 160, 102760. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102760>
- Sganzerla, M. A. R. y Geller, M. (2018). Tecnologias assistivas e educação matemática: um estudo envolvendo alunos com deficiência visual no AEE. *Acta Scientiae*, 20(1). <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.v20iss1id3573>
- Sganzerla, M. A. R. y Geller, M. (2020). Tecnologia assistiva na construção do conceito de número: um estudo envolvendo ações de estudantes com deficiência visual e professores. *Acta Scientiae. Canoas*, 22(4), 155-179. <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.v20iss1id3573>
- Shin, M., Ok, M. W., Choo, S., Hossain, G., Bryant, D. P. y Kang, E. (2023). A content analysis of research on technology use for teaching mathematics to students with disabilities: word networks and topic modeling. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 1-23. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00414-x>
- Szesz Junior, A. S., Mendes, L. R. y Silva, S. D. C. R. (2020). Math2Text: Software para geração e conversão de equações matemáticas em texto-limitações e possibilidades de inclusão. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 37, 99-115. <https://doi.org/10.17013/risti.37.99-115>
- Tennison, J. L. y Gorlewicz, J. L. (2016). Toward non-visual graphics representations on vibratory touchscreens: Shape exploration and identification. En *Haptics: Perception, Devices, Control, and Applications: 10th International Conference, EuroHaptics 2016, London, UK, July 4-7, 2016, Proceedings, Part II 10* (pp. 384-395). Springer International Publishing.
- Unesco (2003). *Overcoming exclusion through inclusive approaches in education: a challenge & a vision; conceptual paper*. Unesco.
- Wonjin, J., Jang, H. I., Harianto, R. A., So, J. H., Lee, H., Lee, H. J. y Moon, M. W. (2016). Introduction of 3D printing technology in the classroom for visually impaired students. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 110(2), 115-121. <https://doi.org/10.1177/0145482X1611000205>
- World Health Organization. (2018). *International classification of diseases for mortality and morbidity statistics (ICD-11)*. World Health Organization.
- Zhou, L., Parker, A. T., Smith, D. W. y Griffin-Shirley, N. (2011). Assistive technology for students with visual impairments: Challenges and needs in teachers' preparation programs and practice. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(4), 197-210. <https://doi.org/10.1177/0145482X1110500402>

Breve CV de los/as autores/as

Ailton Barcelos da Costa

Licenciatura en Matemáticas, una maestría y un doctorado en Educación Especial, todos por la Universidad Federal de São Carlos (UFSCar). Fue becario de Postdoctorado en Educación Especial de la CAPES, becario de Postdoctorado Junior en Educación Especial del CNPq e Investigador Visitante del Departamento de Psicología de la UFSCar. Sus intereses actuales son Educación Especial, Trastorno del Espectro Autista, Discapacidad Intelectual, Discapacidad Visual y la enseñanza de Matemáticas a este mismo público. Fue profesor voluntario del curso lato sensu en la EAD/UFABC y del curso de Pedagogía en la EAD/UFSCar. Actualmente es Becario Postdoctoral del Programa Institucional de Postdoctorado (PIPD)/CAPES – UFSCar.

E-mail: ailton.barcelos@ufscar.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3260-5392>

Alessandra Daniele Messali Picharillo

Licenciatura (2017), maestría (2020) y doctorado en Educación Especial por el Programa de Posgrado en Educación Especial de la UFSCar (PGGEEs/UFSCar). Miembro de LACEDE (Laboratorio de Análisis de Conducta y Educación Especial). Tiene experiencia en el campo de la educación con énfasis en Educación Especial. Los principales temas de investigación son la enseñanza de las matemáticas a niños con trastorno del espectro autista, la política educativa y la accesibilidad. Actualmente está realizando un postdoctorado voluntario en PGGEEs/UFSCar y asiste al curso de Licenciatura en Ciencias Exactas con énfasis en Física por el Instituto de Física de São Carlos/USP.

Email: alessandrapicharillo@estudante.ufscar.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0212-8027>

Nassim Chamel Elias

Doctor en Educación Especial por la Universidad Federal de São Carlos (PPGEEs - UFSCar) y posdoctorado en Análisis de Comportamiento. Se desempeña como docente en el Departamento de Psicología en los cursos de Licenciatura en Educación Especial y de Graduación en Psicología y en los Programas de Postgrado en Educación Especial (PPGEEs) y Psicología (PPGPsi) de la UFSCar. Es coordinador del Laboratorio de Análisis de Comportamiento y Educación Especial (LACEDE).

E-mail: nassim@ufscar.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4197-623X>