



SEÇÃO DOSSIÊ TEMÁTICO

TECNOLOGIAS ASSISTIVAS E MEDIAÇÕES PEDAGÓGICAS:
CAMINHOS PARA A EDUCAÇÃO INCLUSIVA

Desenvolvimento e aprimoramento do modelo tátil acessível Fitting Cells para o ensino da Citologia

Development and enhancement of the accessible tactile model Fitting Cells for teaching cytology

Anderson Roges Teixeira Góes¹

Isabela Vieira Benkendorf²

Daiana Aparecida Stresser³

Heliza Colaço Góes⁴

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento ampliado e o redesenho do recurso didático tátil Fitting Cells, concebido para apoiar o ensino de Citologia no Ensino Fundamental em uma perspectiva inclusiva. A proposta busca favorecer o acesso de estudantes com deficiência visual e ampliar as possibilidades de exploração multissensorial das células animal e vegetal por meio de modelos tridimensionais produzidos com impressão 3D. O estudo, de natureza aplicada e abordagem qualitativa, descreve o processo técnico-metodológico que envolveu modelagem digital, impressão dos protótipos, adequação tátil, identificação em braille e contraste visual, resultando em melhorias na legibilidade, na previsibilidade tátil e na organização estrutural das peças. A versão atualizada do material incorporou placas individuais com organelas em relevo, relação tátil entre forma e função, uso de cores contrastantes e escrita braille no padrão BRL-1, ampliando sua acessibilidade física, perceptiva e cognitiva. Os testes de usabilidade realizados com estudantes do Ensino Fundamental possibilitaram avaliar peso, textura, distinção tátil, contraste visual e clareza das informações, revelando engajamento, facilidade de manipulação e compreensão das estruturas celulares. Além disso, o recurso foi manuseado por professores e pesquisadores cegos durante o Congresso Brasileiro de Tecnologia Assistiva, que relataram boa percepção das formas e organização do modelo. Os resultados apontam que o Fitting Cells apresenta potencial para reduzir barreiras no ensino de Ciências, especialmente no estudo da célula, trazendo os princípios do Desenho Universal. O conjunto de peças, concebido para favorecer múltiplas formas de acesso à informação, mostra-se replicável, de baixo custo e aplicável em diferentes etapas da educação básica. Conclui-se

1 Professor do Departamento de Expressão Gráfica e dos Programas de Pós-Graduação em Educação: Teoria e Prática de Ensino e em Educação em Ciências e em Matemática da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Doutor em Métodos Numéricos em Engenharia pela UFPR.

E-mail: artgoes@ufpr.br

2 Bacharelada em Expressão Gráfica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

E-mail: isabella.benkendorf@ufpr.br

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e em Matemática pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

E-mail: daianastresser@hotmail.com

3 Professora do Instituto Federal do Paraná (IFPR) e docente dos Programas de Pós-Graduação em Educação: Teoria e Prática de Ensino e em Educação em Ciências e em Matemática da UFPR.

Doutora em Educação pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

E-mail: heliza.goes@ifpr.edu.br



que o redesenho do recurso fortalece práticas pedagógicas inclusivas e oferece subsídios para a produção de novos materiais acessíveis voltados ao ensino de conteúdos científicos em contextos escolares diversos.

Palavras-chave: Aprendizagem Multissensorial. Pedagogia Tátil. Modelos Educacionais 3D. Ensino de Ciências Inclusivo. Tecnologia Assistiva Educacional.

ABSTRACT

This article presents the expanded development and redesign of the tactile educational resource Fitting Cells, created to support the teaching of Cytology in Elementary Education from an inclusive perspective. The proposal seeks to promote access for students with visual impairments and expand the possibilities of multisensory exploration of animal and plant cells through three-dimensional models produced using 3D printing. This applied study, grounded in a qualitative approach, describes the technical and methodological process involving digital modeling, prototype printing, tactile adaptation, Braille identification, and visual contrast, resulting in improvements in legibility, tactile predictability, and structural organization of the pieces. The updated version of the material incorporates individual plates with organelles in relief, tactile relationships between form and function, the use of contrasting colors, and Braille writing in the BRL-1 standard, expanding its physical, perceptual, and cognitive accessibility. Usability tests conducted with elementary school students made it possible to assess weight, texture, tactile distinction, visual contrast, and clarity of information, revealing engagement, ease of manipulation, and understanding of cellular structures. Additionally, the resource was handled by blind teachers and researchers during the Brazilian Congress on Assistive Technology, who reported good perception of the shapes and organization of the model. The results indicate that Fitting Cells has strong potential to reduce barriers in Science education, especially in the study of the cell, by integrating principles of Universal Design. The set of pieces, designed to support multiple means of accessing information, proves to be replicable, low-cost, and applicable across different stages of basic education. It is concluded that the redesign of the resource strengthens inclusive pedagogical practices and offers support for the creation of new accessible materials aimed at teaching scientific content in diverse school contexts.

Keywords: Multisensory Learning. Tactile Pedagogy. 3D Educational Models. Inclusive Science Education. Educational Assistive Technology.

Introdução

A busca por uma educação inclusiva tem orientado, nas últimas décadas, a criação de recursos didáticos capazes de atender às diferentes necessidades de cada estudante, especialmente daqueles com deficiência visual. A literatura aponta que a escassez de materiais pedagógicos acessíveis, como livros em braille, recursos táteis e objetos tecnológicos adaptados, compromete o processo de aprendizagem e a participação desses alunos nas atividades escolares (Travensoli *et al.*, 2019). Carpi (2024) discute que os principais obstáculos enfrentados por pessoas cegas ou com baixa visão envolvem o custo elevado dos materiais especializados, a limitada oferta de recursos adequados e a insuficiente integração desses instrumentos às metodologias adotadas pelas instituições de ensino. Esse cenário manifesta-se de modo mais intenso em escolas públicas, nas quais restrições orçamentárias dificultam a aquisição e a incorporação de modelos táteis ao cotidiano pedagógico.



No ensino de Biologia, particularmente na abordagem do conteúdo de Citologia, tais desafios tornam-se ainda mais evidentes. Os materiais didáticos convencionais baseiam-se predominantemente em recursos visuais, o que gera barreiras significativas para estudantes com deficiência visual, uma vez que frequentemente carecem de elementos táteis apropriados, informações em braille e dimensões adequadas à exploração manual para seu aprendizado. Em resposta a essa lacuna, foi desenvolvido o material didático Fitting Cells, destinado ao ensino de estruturas celulares no Ensino Fundamental. Com o uso de tecnologia de impressão 3D, o recurso permite a exploração tátil de células animal e vegetal, ampliando o acesso ao conteúdo curricular e contribuindo para a autonomia no processo de aprendizagem.

A literatura referente à Tecnologia Assistiva (TA) apresenta avanços relevantes na criação de objetos educacionais, embora ainda existam lacunas, especialmente no campo do ensino de Ciências. Estudos como os de Kolitsky (2014) evidenciam o potencial pedagógico dos modelos tridimensionais ao possibilitarem a manipulação concreta de representações abstratas e favorecerem a construção de significados. Justina e Ferla (2006) reforçam essa perspectiva ao destacarem que a manipulação física de modelos contribui para a organização espacial e para a atenção, configurando estratégia relevante para estudantes com deficiência visual.

Este projeto fundamenta-se nos princípios da TA, entendida como o conjunto de produtos, recursos, metodologias e estratégias voltados à promoção da funcionalidade e da autonomia de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida (Brasil, 2007). Também se apoia nos pressupostos do Desenho Universal (DU), o qual orienta a criação de produtos e ambientes utilizáveis por cada pessoa, sem necessidade de adaptações posteriores (Carletto; Cambiaghi, 2008). Para além disso, incorpora os fundamentos do Desenho Universal para Aprendizagem (DUA), ampliando a acessibilidade pedagógica por meio de múltiplas formas de representação, engajamento e ação e expressão. A integração desses referenciais oferece sustentação teórica ao desenvolvimento de recursos educacionais acessíveis, especialmente em áreas que apresentam reduzida disponibilidade de materiais adaptados.

Nesse contexto, destaca-se a pertinência da reestruturação, do redesenho e do aprimoramento do projeto (Góes *et al.*, 2025) inicialmente apresentado no 5º Congresso Brasileiro de Tecnologia Assistiva (CTBA), em Curitiba, cuja finalidade consiste no desenvolvimento de modelos táteis aplicados ao ensino de Citologia. A demanda por esse tipo de recurso permanece pouco explorada tanto pela comunidade científica quanto por fabricantes de materiais escolares, o que reforça a relevância da iniciativa. O projeto Fitting Cells visa suprir essa lacuna mediante a concepção de modelos táteis acessíveis que representam células animais e vegetais e suas organelas, utilizando modelagem tridimensional, impressão aditiva e princípios de acessibilidade.



Este artigo apresenta a versão ampliada, revisada e atualizada, originalmente publicada nos anais do 5º CBTA (Góes *et al.*, 2025). O texto, além de descrever o processo de desenvolvimento do recurso, inclui, nesta versão ampliada, a apresentação dos resultados do teste de usabilidade do protótipo após a inserção de cores nas organelas.

Por fim, ressalta-se que o desenvolvimento de materiais táteis de Citologia por meio de impressão 3D constitui um campo emergente no âmbito das Tecnologias Assistivas Educacionais (TAE). A modelagem tridimensional proporciona precisão estrutural, escalonamento de proporções, diferenciação de texturas e inclusão direta de recursos acessíveis nas peças, configurando alternativa viável para ampliar o acesso e a participação de estudantes com e sem deficiência visual. Assim, busca-se aprofundar os aspectos teóricos, técnicos e pedagógicos envolvidos na elaboração do material, analisando seu potencial de aplicação no ensino de Ciências, especialmente no estudo de Citologia, de forma equitativa, prática e inclusiva.

2 Fundamentação teórica

O ensino de Citologia envolve elementos conceituais abstratos e microestruturas, o que torna essencial o uso de recursos visuais e tridimensionais para apoiar a aprendizagem. A literatura da área de Educação em Ciências indica que a compreensão das estruturas celulares é favorecida por modelos concretos, que possibilitam relacionar forma e função e visualizar a espacialidade das organelas (Justina; Ferla, 2006). Entretanto, grande parte dos materiais didáticos empregados nas escolas brasileiras permanece baseada em representações visuais, o que dificulta o acesso de cada estudante com deficiência visual.

A TA apresenta-se como uma área relevante para promover a acessibilidade educacional e é definida como um campo interdisciplinar que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias e serviços destinados a promover a funcionalidade e a participação de pessoas com deficiência, incapacidade ou mobilidade reduzida (Brasil, 2007). O objetivo da TA envolve possibilitar maior independência e participação, o que não se limita à adaptação de objetos, mas inclui o redesenho de propostas pedagógicas, permitindo que cada estudante acesse e participe das atividades de aprendizagem.

No contexto educacional, a Tecnologia Assistiva, conforme Bersch (2017), corresponde a qualquer ferramenta ou sistema que contribua para desenvolver ou aprimorar as capacidades funcionais de pessoas com deficiência, favorecendo a inclusão e tornando mais acessível o aprendizado no cotidiano pedagógico. Embora tecnologias educacionais não sejam necessariamente assistivas, elas assumem essa função quando têm como finalidade romper barreiras sensoriais, motoras ou cognitivas que dificultam o acesso de cada estudante



às informações ou comprometem sua expressão. Esse caráter se confirma quando os recursos possibilitam participação ativa e autônoma em atividades pedagógicas, favorecem a manipulação de objetos de estudo e evitam restrições na participação caso o recurso não esteja disponível (Bersch, 2017).

Bersch (2017) propõe três questões para identificar se um recurso é assistivo: o recurso auxilia um estudante a superar uma barreira vinculada à deficiência? O recurso o apoia na realização de uma tarefa e possibilita participação autônoma? Sem o recurso, haveria desvantagem ou exclusão? Em caso afirmativo, o recurso pode ser classificado como TA na educação, mesmo quando também integra tecnologias educacionais comuns.

No Laboratório, amplia-se essa compreensão ao se utilizar a denominação Tecnologia Assistiva Educacional (TAE) para recursos que funcionam como suporte para o público-alvo da Educação Especial e, simultaneamente, como materiais pedagógicos construídos sob o referencial do DU quando utilizados por qualquer estudante. Essa perspectiva amplia as possibilidades de participação e favorece o redesenho de ambientes e materiais acessíveis a cada aluno. Além disso, o desenvolvimento de materiais acessíveis fundamenta-se nos princípios do DU e do DUA.

O DU, conforme Carletto e Cambiaghi (2008), estabelece princípios para a concepção de ambientes, produtos e serviços que possam ser utilizados por cada pessoa independentemente de suas características físicas, sensoriais, cognitivas ou culturais. Seus pressupostos defendem que a acessibilidade deve ser incorporada desde a elaboração de um recurso, e não adicionada posteriormente como adaptação, evitando soluções paliativas ou que reforcem barreiras já existentes. No campo da educação, essa perspectiva implica compreender que as diferenças entre os estudantes não podem ser tratadas como exceções a serem corrigidas, mas como variabilidades humanas que devem orientar o planejamento pedagógico (Góes; Costa, 2022).

A transposição dos princípios do DU para o contexto educacional revela a necessidade de repensar currículos, práticas e materiais, reconhecendo que propostas homogêneas tendem a favorecer apenas parte dos estudantes. Entretanto, embora o DU ofereça fundamentos sólidos para a criação de recursos fisicamente acessíveis, sua aplicação ao processo de aprendizagem demanda um salto teórico e metodológico: é nesse ponto que emerge o DUA.

O DUA amplia o DU ao considerar que o processo de aprender envolve múltiplas formas de perceber, processar e expressar informações. Assim, enquanto o DU concentra-se em tornar produtos e ambientes acessíveis, o DUA busca tornar o próprio currículo acessível, flexibilizando modos de engajamento, de apresentação dos conteúdos e de expressão do conhecimento. Essa adequação conceitual desloca o foco da remoção de barreiras arquitetô-



nicas e materiais para a eliminação de obstáculos pedagógicos, cognitivos e comunicacionais que historicamente restringem a participação de muitos estudantes.

Essa transição representa mais do que uma ampliação: constitui um movimento que integra os princípios do DU à complexidade dos processos educativos, reconhecendo que cada estudante aprende de forma diferente e que, portanto, o ensino deve ser planejado de forma flexível desde o início. Segundo Zerbato e Mendes (2018, p. 150), o DUA fundamenta-se em “princípios baseados na pesquisa e constitui um modelo prático que objetiva maximizar as oportunidades de aprendizagem para cada estudante”. Dessa forma, o DUA se torna um modelo que orienta o desenvolvimento de planejamentos que atenda à diversidade sem depender de adaptações posteriores, promovendo participação equitativa e ampliando as oportunidades de aprendizagem, o que inclui os recursos que foram utilizados no planejamento docente deste estudo (Góes; Costa; Góes, 2023).

Além disso, o DUA é definido como uma abordagem que

propõe estratégias que eliminam barreiras e possibilitam a participação equitativa por meio de currículos flexíveis e diversos, incentivando práticas pedagógicas colaborativas e relacionais que fortalecem as interações entre professores e estudantes, promovendo flexibilidade na apresentação das informações e reduzindo barreiras ao ensino, oferecendo apoio e desafios adequados (Góes; Costa; Góes, 2023, p. 2).

Tendo o DUA como suporte para as TAE, essas tecnologias diferenciam-se da TA no contexto educacional ao priorizar a eliminação de barreiras para cada estudante, e não apenas para pessoas com deficiência, atuando no apoio aos processos de aprendizagem por meio de recursos adequados baseados nos princípios de representação, engajamento e ação e expressão.

No ensino de Ciências, torna-se imprescindível a oferta de múltiplas formas de representar conceitos complexos, especialmente aqueles relacionados à Citologia, cuja natureza abstrata depende fortemente de elementos visuais para a construção de significados. Nesse contexto, os recursos visuais táteis emergem como alternativas eficazes para promover a compreensão de estruturas celulares, pois permitem que estudantes com deficiência visual acessem informações morfológicas e espaciais por meio da exploração manual. Verasto e Vicente (2017) evidenciam que modelos táteis contribuem não apenas para a apropriação das estruturas celulares, mas também para o desenvolvimento da autonomia intelectual, da autorregulação e da participação ativa nas atividades pedagógicas. Os autores destacam que a experiência tátil possibilita que os estudantes estabeleçam relações mais claras entre forma, função e organização das organelas, superando limitações impostas pelos materiais exclusivamente imagéticos.



Apesar de seu potencial pedagógico, Verasto e Vicente (2017) observam lacunas significativas na disponibilidade de modelos táteis voltados ao ensino de Biologia. Muitas escolas enfrentam limitações financeiras e estruturais para adquirir materiais adaptados, e, quando esses recursos existem, frequentemente apresentam problemas como baixa qualidade tátil, ausência de padronização, pouca durabilidade ou incoerências entre a representação física oferecida e a estrutura biológica real. Essa discrepância compromete a aprendizagem, pois pode gerar concepções alternativas, dificultar a compreensão de proporções celulares e restringir o desenvolvimento de mapas mentais coerentes sobre a célula e suas organelas.

Além disso, a escassez de materiais táteis cientificamente validados revela um hiato entre o avanço das tecnologias de fabricação, como a impressão 3D, e sua efetiva incorporação ao contexto escolar. Enquanto a literatura vem apontando o potencial das tecnologias tridimensionais para apoiar a aprendizagem de conteúdos abstratos, esses recursos ainda não estão amplamente disponíveis em escolas públicas, o que agrava desigualdades no acesso ao conhecimento científico. Assim, a ausência de materiais acessíveis limita tanto o processo de ensino quanto o de aprendizagem, restringindo a atuação docente e impedindo que estudantes com deficiência visual tenham oportunidades equitativas de construção conceitual.

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de ampliar investimentos em pesquisas e iniciativas voltadas ao desenvolvimento de modelos táteis coerentes com princípios biológicos e acessíveis em termos de custo, durabilidade e aplicabilidade pedagógica. Esses materiais, quando fundamentados em princípios de acessibilidade e em diretrizes como DU, DUA e TAE, têm o potencial de transformar práticas pedagógicas e promover participação plena de todos os estudantes no ensino de Ciências, especialmente no estudo da célula.

3 Desenvolvimento

A metodologia deste estudo foi organizada em seis etapas sequenciais: (1) revisão teórica e planejamento inicial; (2) desenvolvimento e reorganização das versões preliminares; (3) modelagem digital tridimensional; (4) impressão 3D e ajustes técnicos; (5) implementação dos recursos de acessibilidade tátil e visual; e (6) realização de testes de usabilidade com estudantes do Ensino Fundamental.

Essas etapas foram articuladas para assegurar o desenvolvimento de um recurso educativo acessível, de modo a possibilitar sua utilização por estudantes com diferentes perfis sensoriais, incluindo aqueles com deficiência visual.

A etapa inicial consistiu na revisão teórica e no planejamento do recurso, seguida pelo desenvolvimento de versões preliminares do modelo. O conteúdo representado nas modelagens foi definido com base em livros didáticos e em artigos científicos de biologia,

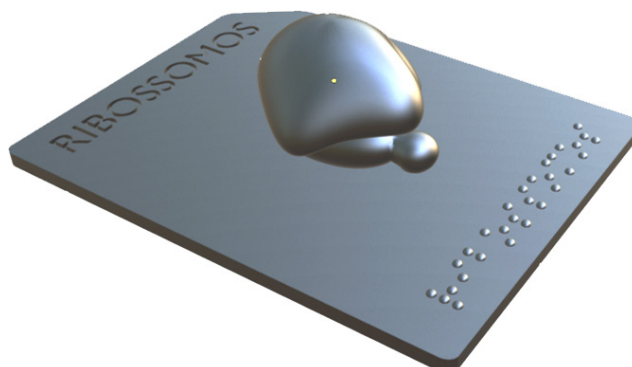
proporcionando a fidelidade às principais características morfológicas das células e de suas organelas. Embora não tenham sido adotadas proporções em escala real, devido às limitações físicas inerentes à impressão 3D e à necessidade de manipulação tátil, buscou-se manter relações proporcionais entre estruturas, de modo que elementos biologicamente maiores fossem modelados com dimensões relativamente superiores às demais, assegurando coerência conceitual e clareza didática.

A primeira versão do projeto, centrada na revisão teórica e na modelagem inicial, foi interrompida devido ao desligamento da bolsista responsável. Com a chegada de um novo bolsista, iniciou-se uma segunda versão. Contudo, inconsistências estruturais nos arquivos anteriores inviabilizaram seu reaproveitamento, o que demandou o início de uma terceira versão, marcada pela reestruturação integral do material e definição das diretrizes técnicas que norteariam as etapas seguintes.

Na etapa de modelagem digital tridimensional, os protótipos iniciais apresentaram falhas geométricas e limitações para exploração tátil, demandando ajustes significativos. As melhorias incluíram a separação entre organelas e bases celulares, a substituição do sistema fixo de encaixe por placas individuais com identificação visual ampliada e escrita braille, além da adoção de contrastes cromáticos para favorecer estudantes com baixa visão.

A principal inovação foi a criação dessas placas individuais, nas quais cada organela foi posicionada centralmente, acompanhada de uma extremidade em diagonal que orienta sua posição. Esse formato proporcionou uma exploração tátil mais estável, previsível e autônoma, permitindo também o estudo isolado de cada organela. A Figura 1 ilustra a disposição das organelas sobre as placas, enfatizando a identificação tátil.

Figura 1. Exemplo de placa individual com organela ao centro e identificação em braille



Fonte: acervo dos autores (2025).

Descrição: A Figura 1, apresenta a modelagem digital de uma placa tridimensional em perspectiva na cor cinza-escuro sobre fundo cinza-claro. A peça, de formato quadrangular com chanfro no canto superior direito, mostra, na parte superior, o nome “ribossomos” em baixo-relevo e, no centro, a representação volumétrica da organela, com forma arredondada e uma pequena esfera redonda à frente. Na parte inferior da placa, encontra-se a identificação em braille. Essa estrutura segue o padrão utilizado em todas as placas do conjunto.

As modelagens foram executadas no software Blender 4.2, no qual foram reconstruídas as células animal e vegetal e suas respectivas organelas, como núcleo, retículos endoplasmáticos, complexo golgiense, mitocôndria, centríolos, cloroplastos, vacúolos, lisossomos e outras estruturas relevantes para o ensino de citologia (Figura 2)

Figura 2. Organelas modeladas em 3D



Fonte: acervo dos autores (2025).

Descrição: A Figura 2, apresenta uma composição quadrada dividida em nove módulos, cada um exibindo a modelagem tridimensional de uma organela ao centro e seu respectivo nome abaixo. As divisões e legendas estão em branco, enquanto as organelas aparecem em cinza-claro sobre um fundo cinza-escuro. No canto superior esquerdo encontra-se o núcleo, representado como uma esfera com furos redondos na superfície e contendo o nucléolo em seu interior; ao lado estão os peroxissomos, modelados como uma esfera com pequenas bolas em relevo, e os ribossomos, representados por uma forma superior arredondada acoplada a uma base ovalada com uma pequena esfera frontal. Na linha seguinte, a mitocôndria aparece com formato de cápsula e interior composto por uma estrutura sinuosa; ao lado estão o complexo de Golgi, com forma orgânica e bordas sobrepostas, e o retículo endoplasmático, modelado de modo semelhante, porém com um formato mais arredondado. Na última fileira, observa-se o microtúbulo, representado por um pequeno tubo rodeado por esferas alinhadas; o centríolo, composto por cinco tubos agrupados em arranjo radial alongado; e o vacúolo, exibido como uma forma orgânica alongada em formato ovalado.



Todas as organelas foram modeladas tridimensionalmente, impressas com impressora 3D, fixadas em suas respectivas placas e finalizadas com destaques com tinta sobre as inscrições em relevo para facilitar a leitura por pessoas com baixa visão.

Esta etapa ocorreu em duas fases: análise crítica e descarte dos arquivos anteriores, devido às inconsistências geométricas observadas; e reconstrução integral das peças, priorizando superfícies contínuas, contornos bem definidos e espessuras adequadas para exploração tátil. A célula vegetal recebeu ajustes de forma e espessura, enquanto a célula animal foi completamente remodelada, adotando formato ovalado e espessura reduzida para facilitar sua manipulação.

A etapa seguinte consistiu na impressão 3D e nos ajustes técnicos. As peças foram produzidas com filamentos PLA e ABS em impressoras dos modelos K1C e K1 Max, operando com temperaturas entre 190 °C e 230 °C para PLA e entre 210 °C e 235 °C para ABS, com mesa aquecida variando entre 45 °C e 90 °C. O tempo de fabricação variou entre 30 minutos e 8 horas, dependendo da complexidade da peça. O primeiro protótipo apresentou falhas significativas, o que motivou ajustes tanto nas modelagens quanto nos parâmetros de impressão. Algumas organelas, como mitocôndrias e nucléolos, puderam ser reaproveitadas, enquanto outras, como centríolos, retículos endoplasmáticos, núcleo e complexo golgiense, precisaram ser refeitas completamente.

Posteriormente, foram incorporados recursos de acessibilidade tátil e visual. As peças impressas passaram por lixamento e verificação de integridade estrutural. As legendas em braille, elaboradas conforme o padrão BRL-1, foram criadas em software vetorial e convertidas para relevo no Blender, respeitando orientações de altura e espaçamento. Cada organela recebeu uma placa individual contendo identificação visual ampliada, identificação em braille e sua representação tridimensional. Para aumentar a legibilidade visual, as inscrições em relevo receberam aplicação de esmalte branco.

As estruturas-base das células animal e vegetal foram redesenhadas para proporcionar diferenciação tátil perceptível. A base da célula animal foi completamente reformulada, adotando contornos mais arredondados e espessura reduzida, enquanto a base da célula vegetal recebeu ajustes de proporção e definição. Ambas foram impressas separadamente e posteriormente os elementos das células foram nelas fixadas (Figura 3).

Figura 3. Resultado da célula animal completa impressa (à esquerda) e célula vegetal impressa (à direita)



Fonte: acervo dos autores (2025).

Descrição: Na Figura 3, estão representadas a célula animal, na cor verde, e a célula vegetal, em azul, ambas visualizadas em perspectiva superior sobre uma superfície branco-amarelada. A célula animal apresenta formato mais arredondado e orgânico, com o núcleo localizado ao centro, enquanto a célula vegetal possui contorno hexagonal, destacando o vacúolo em sua região central. As demais organelas encontram-se distribuídas sobre as superfícies de ambas as células de maneira não ordenada.

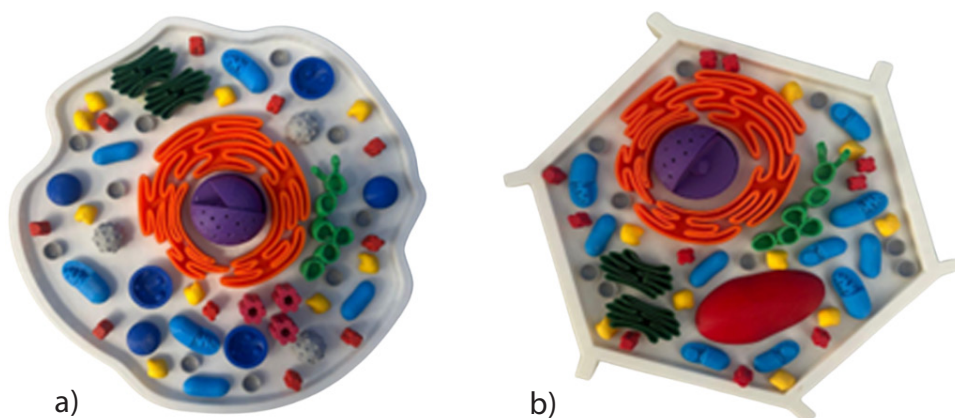
Durante a impressão, reforços de espessura e correções de fragilidades das versões anteriores foram implementados. Após a fabricação, todas as peças foram lixadas manualmente para melhor acabamento e coladas com cianoacrilato. As organelas, impressas separadamente, foram organizadas e posicionadas nas bases celulares seguindo uma lógica funcional aproximada, favorecendo a compreensão espacial da célula.

Para ampliar o estudo, tornou-se necessário realizar o teste de usabilidade, validando o Fitting Cells. Entretanto, verificou-se previamente a necessidade de aperfeiçoar os protótipos, especialmente no que se refere ao uso de cores. Na versão inicial utilizada no estudo anterior (Figura 3), todas as organelas eram representadas por uma única cor, o que não prejudicava a compreensão por estudantes cegos ou com visão plena, mas poderia dificultar a distinção de estruturas com formatos semelhantes para estudantes com baixa visão. Embora não tenha sido realizado um teste de usabilidade com pessoas cegas, durante o CBTA esses protótipos foram manuseados por diversos públicos, incluindo professores e pesquisadores cegos, que relataram boa acessibilidade na compreensão dos elementos ao utilizar a célula completa e as placas de organelas com inscrições em braille e tinta.

Com essas considerações, verificou-se a necessidade de aprimorar o contraste das peças para facilitar sua identificação pelo público com baixa visão. Assim, as bases e todas as placas foram impressas em branco, enquanto cada organela recebeu uma cor específica,

proporcionando distinção tátil e visual. Para isso, os arquivos foram reorganizados e as organelas impressas separadamente, utilizando filamentos diferentes de acordo com a cor selecionada (Figura 4).

Figura 4. Resultado da célula animal colorida completa impressa (à esquerda) e célula vegetal colorida impressa (à direita)



Fonte: acervo dos autores (2025).

Descrição: As Figura 4a e 4b, apresentam, respectivamente, a célula animal, com formato arredondado e orgânico, e a célula vegetal, com contorno hexagonal, ambas visualizadas em vista superior sobre uma superfície branca. As organelas estão distribuídas de forma aleatória e representadas em diferentes cores, como laranja, azul, amarelo, rosa, vermelho, cinza, verde claro, verde escuro e roxo, enquanto a base estrutural das células é da cor branca.

A escrita em relevo foi destacada com caneta de tinta permanente preta após a atualização da fonte na modelagem do protótipo final, o que aprimorou a legibilidade tátil e otimizou o processo de produção. As placas das células animal e vegetal também passaram a incluir o formato de cada célula em relevo, facilitando sua identificação. Os procedimentos de colagem e acabamento mantiveram-se iguais aos utilizados no protótipo anterior.

A Figura 5 mostra as organelas modeladas em 3D incluindo núcleo, mitocôndria, retículo endoplasmático, complexo golgiense, centríolo, ribossomos, microtúbulo, peroxissomo e vacúolo.

Figura 5. Conjunto de organelas celulares coloridas, modeladas, impressas, destacadas e distribuídas em placas individuais



Fonte: acervo dos autores (2025).



Descrição: Na Figura 5, estão dispostas as placas impressas em 3D com suas respectivas organelas sobre uma superfície branca. As bases das placas apresentam tonalidades entre branco e *off-white*, com os nomes das organelas destacados em preto. No centro de cada placa, encontram-se as organelas impressas em cores variadas, sendo elas laranja, azul, amarelo, rosa, vermelho, cinza, verde claro, verde escuro e roxo, proporcionando contraste visual e tátil entre a superfície da placa e o objeto. No lado direito, estão posicionadas as duas placas adicionais com os formatos das células animal e vegetal representadas na cor rosa claro.

Os testes de usabilidade com estudantes da educação básica foram essenciais para verificar a eficácia do recurso em contextos pedagógicos reais e levantar informações para possíveis melhorias que foram imediatamente aplicadas como lixamento de peças para igualar a textura e alterações relativas a cores. Esse redesenho buscou ampliar o contraste visual e aprimorar a diferenciação estrutural, atendendo às necessidades de estudantes com baixa visão e proporcionando maior acessibilidade perceptiva durante a manipulação do modelo.

4 Teste de Usabilidade – experimentação e resultados

O teste de usabilidade foi conduzido para verificar a acessibilidade e a adequação pedagógica do recurso em situações reais de ensino, à luz dos princípios do Desenho Universal (DU). Segundo Ronald Mace (Góes e Góes, 2022), o DU orienta o desenvolvimento de produtos utilizáveis pelo maior número possível de pessoas, independentemente de limitações físicas, sensoriais ou cognitivas. No contexto brasileiro, Carletto e Cambiaghi (2008) salientam que esses princípios devem orientar o projeto desde sua concepção, evitando adaptações posteriores. Assim, a participação de estudantes com diferentes perfis funcionais torna-se essencial para validar a aderência do material às diretrizes do DU.

O teste foi realizado com oito estudantes do 3º ao 5º ano do Ensino Fundamental, diagnosticados com Transtorno do Espectro Autista (TEA) ou Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH). As atividades ocorreram em duplas, permitindo interação, troca de dúvidas e construção colaborativa de interpretações. O protótipo utilizado era a versão mais recente, composta por bases celulares neutras e organelas coloridas, desenvolvidas para favorecer contraste visual e distinção perceptiva.

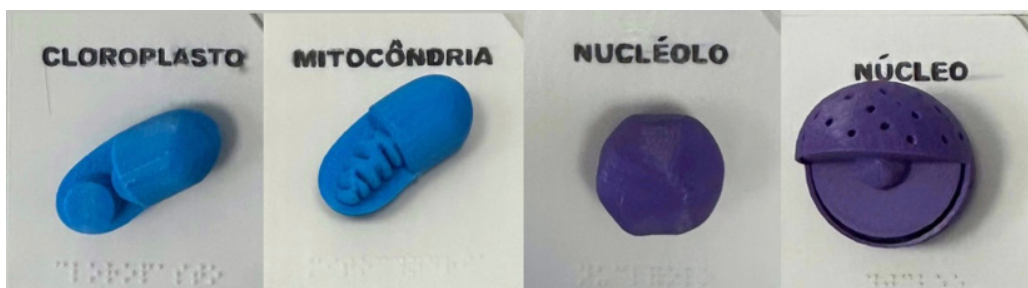
Inicialmente, as bases completas das células foram apresentadas para observação de diferenças estruturais entre a célula animal e vegetal. Em seguida, investigaram-se as percepções sobre peso, textura, contraste visual e qualidade tátil. Apesar de a escrita em relevo ainda não contar com marcação posterior em tinta preta, mostrou-se legível para todos os participantes, indicando boa informação perceptível, um dos princípios fundamentais do DU.

Na sequência, as placas individuais das organelas foram apresentadas de forma isolada, permitindo uma exploração mais detalhada. Observou-se a capacidade de identificação

das estruturas, as estratégias utilizadas (cor, forma, textura), a facilidade de manipulação, a clareza tátil e a leitura dos nomes das organelas. Também se investigou o contato prévio com o sistema braille, visando compreender sua relevância tanto para estudantes cegos quanto para estudantes videntes. A maioria dos participantes identificou as organelas principalmente pela forma, demonstrando boa previsibilidade tátil.

Os resultados revelaram a necessidade de refinamentos. Algumas peças foram confundidas devido à semelhança entre forma e cor, especialmente o nucléolo, o nucléolo, os cloroplastos e algumas mitocôndrias (Figura 6).

Figura 6. Placas do cloroplasto e mitocôndria na cor azul e nucléolo e núcleo na cor roxa



Fonte: acervo dos autores (2025).

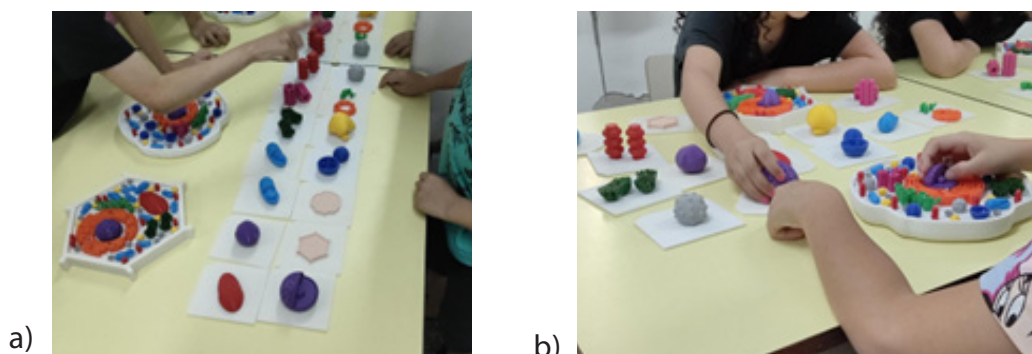
Descrição: Na Figura 6, estão expostas quatro placas alinhadas lado a lado, cada uma contendo uma organela impressa em 3D ao centro, seu nome em tinta na parte superior e a identificação em braille na parte inferior. A primeira placa apresenta o cloroplasto, seguido pela placa da mitocôndria, ambas impressas na cor azul. Na sequência, encontram-se duas placas na cor roxa, que seguem a mesma estrutura, representando o nucléolo e o núcleo, respectivamente.

Embora essas ambiguidades tenham sido superadas com maior atenção, o episódio evidenciou a importância de cores claramente distintas e formas suficientemente contrastantes. Essa constatação reforça os princípios de Uso simples e intuitivo e de Tolerância ao erro na medida em que recursos visuais e táteis devem reduzir ambiguidades e apoiar a compreensão.

Além disso, alguns estudantes manifestaram incômodo com a textura das peças, o que foi solucionado com lixamento adicional — uma adaptação que se alinha ao princípio Flexibilidade no uso. A diferença de escala entre determinadas organelas também gerou confusão tátil para uma estudante, evidenciando a necessidade de ajustes futuros conforme o princípio Dimensão e espaço para abordagem e uso. Apesar desses pontos, o conjunto de peças demonstrou baixo esforço físico para manipulação, atendendo a outro princípio do DU.

As Figuras 7a e 7b registram momentos do teste, evidenciando manipulação ativa, comparação entre estruturas celulares e organização das placas com organelas.

Figura 7. Exemplo de placa individual com organela ao centro e identificação em braille



Fonte: autores (2025).

Descrição: Na Figura 7a, à esquerda, observam-se duas crianças manuseando o material didático. À esquerda da imagem, há uma menina vestindo roupa preta, apoiada sobre a mesa amarela enquanto explora com as mãos as peças distribuídas na sua frente. Próximo a ela estão as células animal e vegetal coloridas e acompanhadas de suas organelas. À direita da imagem, um menino organiza as placas que contêm as organelas e as alinha sobre a superfície da mesa. Na Figura 7b, à direita, duas meninas estão sentadas à mesa amarela (apenas seus braços e mãos aparecem na imagem) enquanto manipulam o material disponível. No centro da figura, uma menina vestindo preto manuseia a placa da célula com o núcleo, e sobre a mesa encontram-se todas as peças referentes às células. À sua frente está a célula vegetal, enquanto, no canto inferior direito da imagem, outra menina manuseia o núcleo presente na célula animal.

Tais registros ilustram o potencial do material para mobilizar atenção, engajamento e exploração ativa, características importantes no campo da acessibilidade cognitiva e sensorial.

De forma geral, o teste demonstrou que a interação direta com estudantes é indispensável para identificar barreiras emergentes, ajustar o acabamento, aperfeiçoar a diferenciação perceptiva e confirmar a funcionalidade do protótipo. Os resultados reforçam que a validação com usuários reais constitui uma etapa intrínseca ao DU, caracterizada por um ciclo contínuo de observação, retroalimentação e aprimoramento. O material, portanto, mostra-se alinhado aos princípios do DU e avança na construção de um recurso acessível, flexível e inclusivo para diferentes perfis visuais, cognitivos e sensoriais.

5 Análise e discussão

A versão atualizada do material didático Fitting Cells apresentou avanços significativos na organização, detalhamento e acessibilidade de suas representações tridimensionais, atendendo a princípios essenciais do DU. A adoção de placas individuais com organelas em relevo e identificação em braille ampliou as possibilidades de exploração tátil e favoreceu a compreensão das estruturas celulares. Essa abordagem modular atribuiu maior autonomia aos estudantes, possibilitando a análise isolada das organelas juntamente com a célula completa.



A adoção de braille e de alto contraste visual nas placas representa um avanço importante no campo da acessibilidade educacional, suprimindo uma lacuna amplamente reconhecida na literatura (Carpi, 2024; Travensoli *et al.*, 2019). O recurso proporciona múltiplas formas de acesso à informação e reduz barreiras sensoriais.

Em relação ao protótipo anterior, a versão atual solucionou problemas como fragilidade estrutural, falhas de impressão e baixa previsibilidade no manuseio. O uso de tecnologias de fabricação digital destaca o caráter interdisciplinar da proposta, articulando conhecimentos de biologia, design e TA, uma perspectiva alinhada aos trabalhos de Aguiar *et al.* (2020) e Verasto e Vicente (2017), que enfatizam a relevância de recursos multissensoriais para o desenvolvimento cognitivo de estudantes com deficiência visual.

A análise à luz dos princípios do DU evidencia que o material atende a critérios fundamentais para ambientes de aprendizagem inclusivos:

- 1. Uso equitativo** – permite que estudantes cegos e videntes utilizem o mesmo recurso sem distinção;
- 2. Flexibilidade de uso** – possibilita exploração por diferentes meios sensoriais (tátil e visual), atendendo a variados perfis de estudantes;
- 3. Uso simples e intuitivo** – a organização modular das placas e a identificação clara das organelas tornam o manuseio previsível e fácil de compreender;
- 4. Perceptibilidade da informação** – o uso de braille, relevo e contraste visual possibilita que informações essenciais sejam percebidas por todos os usuários;
- 5. Tolerância ao erro** – permite exploração independente sem risco de desmontagens acidentais, reduzindo ambiguidades;
- 6. Baixo esforço físico** – as peças têm dimensões, peso e estabilidade adequados, facilitando a manipulação sem esforço excessivo;
- 7. Dimensão e espaço para abordagem e uso** – o tamanho e a disposição das organelas e das placas possibilitam que estudantes com diferentes habilidades manipulativas explorem o material confortavelmente.

Essas características consolidam o *Fitting Cells* como uma TAE fundamentada em equidade no ensino. Embora o material reformulado já apresente melhorias substanciais, etapas futuras de avaliação são necessárias. Testes de usabilidade ampliados em práticas pedagógicas pautadas no DUA, envolvendo professores e estudantes com diversos perfis sensoriais e cognitivos, poderão fornecer perspectivas mais amplas sobre a aplicabilidade, o impacto pedagógico e as necessidades de ajustes finos no recurso.



Considerações finais

O percurso de desenvolvimento do Fitting Cells evidencia que elaborar um recurso acessível ultrapassa o domínio técnico da modelagem ou da impressão 3D: trata-se de um exercício constante de escuta, redesenho e compromisso ético com a participação de cada estudante. O processo mostrou que a acessibilidade não se encerra na forma final do material, mas se constrói no caminho com a observação atenta, a identificação de barreiras emergentes, a abertura para transformar o que parecia concluído e, sobretudo, a compreensão de que práticas inclusivas se sustentam em decisões pedagógicas que consideram a diversidade humana desde o início.

A reformulação do material possibilitou perceber que recursos táteis podem não apenas favorecer o acesso conceitual à Citologia, mas também reconfigurar a relação dos estudantes com o aprender: tocar, comparar, explorar e descobrir são ações que fortalecem a autonomia e despertam engajamento, mesmo para aqueles que não apresentam deficiência sensorial. Nesse sentido, o projeto reafirma o potencial das TAE como recursos que não servem apenas a um grupo específico, mas que promovem equidade quando articuladas aos princípios do DU e do DUA.

Os testes de usabilidade reiteraram essa compreensão. Mais do que validar um produto, revelaram nuances do cotidiano escolar que frequentemente passam despercebidas: detalhes de textura que incomodam, cores que confundem, formas que se aproximam demais e dificultam a distinção, tempos diferentes de exploração, modos variados de manuseio. Essas pequenas descobertas mostram que materiais acessíveis não nascem prontos, mas amadurecem na interação com os estudantes, e é justamente nesse movimento de ir e vir que se produz inclusão em sua dimensão mais concreta.

O Fitting Cells não se apresenta apenas como um modelo tátil de células, mas como um convite para que o ensino de Ciências reconheça a potência do multissensorial, da experimentação e do redesenho como princípios estruturantes. O recurso aponta para caminhos possíveis na produção de materiais didáticos que considerem a singularidade de cada estudante e fortaleçam práticas pedagógicas fundamentadas no DUA. A interação com estudantes da educação básica por meio do teste de usabilidade e o contato direto por professores e pesquisadores cegos com o Fitting Cells durante o CBTA demonstraram a robustez do material e sua capacidade de gerar compreensão significativa por diferentes perfis sensoriais. Assim, o projeto reafirma que a acessibilidade se constrói em diálogo constante com os usuários e se renova a cada experiência de uso, ampliando horizontes para a produção de novas TAE comprometidas com participação, autonomia e dignidade no aprender.



Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Fundação Araucária por meio do Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva (NAPI-TA) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

AGUIAR, Bárbara de Cássia Xavier Cassins *et al.* A prototipagem na produção de material didático para pessoas com deficiência visual. *Revista Brasileira de Expressão Gráfica*, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 88-109, 2020.

BERSCH, Rita. *Introdução à Tecnologia Assistiva*. Porto Alegre: Assistiva: Tecnologia e Educação, 2017.

BRASIL. Secretaria Especial dos Direitos Humanos. Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência. *Ata da VII Reunião do Comitê de Ajudas Técnicas – CAT*, realizada nos dias 13 e 14 de dezembro de 2007. Brasília, DF: CORDE/SEDH/PR, 2007. Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Ata_VII_Reuni%C3%A3o_do_Comite_de_Ajudas_T%C3%A9cnicas.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 25 set. 2026.

CARLETTO, Ana Claudia; CAMBIAGHI, Silvana. *Desenho universal: um conceito para todos*. Realização de Mara Gabrilli. São Paulo: [s. n.], 2008.

CARPI, Rafael F. Escassez de material didático em braille prejudica educação inclusiva no Brasil. *In: CARPI, Rafael F. Jornalista Inclusivo*, [s. l.], 20 fev. 2024. Disponível em: <https://jornalistainclusivo.com/denuncia-escassez-de-material-didatico-em-braille-prejudica-educacao-inclusiva-no-brasil/>. Acesso em: 25 de set. de 2026.

GÓES, Anderson Roges Teixeira; BENKENDORF, Isabella Vieira; STRESSER, Daiana Aparecida; GÓES, Heliza Colaço. 3D Fitting Cells: desenvolvimento de modelo tátil acessível para o ensino de citologia no Ensino Fundamental. Trabalho apresentado no 5º Congresso Brasileiro de Tecnologia Assistiva (CBTA), Curitiba, 2026.

GÓES, Anderson Roges Teixeira; COSTA, Priscila Kabbaz Alves da. Do Desenho Universal ao Desenho Universal para Aprendizagem. *In: GÓES, Anderson Roges Teixeira; COSTA, Priscila Kabbaz Alves da (org.). Desenho Universal e Desenho Universal para Aprendizagem: fundamentos, práticas e propostas para educação inclusiva*. São Carlos, SP: Pedro & João Editores, 2022. p. 25-33, v. 1.

GÓES, Anderson Roges Teixeira; COSTA, Priscila Kabbaz Alves; GÓES, Heliza Colaço. Desenho Universal para Aprendizagem: a transformação necessária e urgente na educação. *In: GÓES,*



Anderson Roges Teixeira; COSTA, Priscila Kabbaz Alves da (org.). *Desenho Universal e Desenho Universal para Aprendizagem: fundamentos, práticas e propostas para educação inclusiva*. São Carlos, SP: Pedro & João Editores, 2023. p. 23-30, v. 2.

JUSTINA, Lourdes Aparecida Della; FERLA, Marcio Ricardo. A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética: exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. *Arquivos do Mudi*, Maringá, PR, v. 10, n. 2, p. 35-40, 2006.

KOLITSKY, Michael A. 3D printed tactile learning objects: proof of concept. *Journal of Blindness Innovation and Research*, [s. l.], v. 4, n. 1, 2014.

VERASTO, Estéfano Vizconde; VICENTE, Nathália Elisa Ferreira. Desenvolvimento de atividades de ensino de citologia para alunos com deficiências visuais: ações de educação inclusiva a partir da teoria dos contextos comunicacionais. *Revista de Estudos Aplicados em Educação*, [São Caetano do Sul, SP], v. 2, n. 4, p. 33-48, jul./dez. 2017.

TRAVERSOLI, J. C. *et al.* Desafios dos deficientes visuais no contexto escolar: reflexões sobre a inclusão. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, São Paulo, v. 6, n. 3, 2029. Disponível em: <https://www.isciweb.com.br/revista/?view=article&id=1393-desafios-dos-deficientes-visuais-no-contexto-escolar>. Acesso em 25 de set. de 2026.

ZERBATO, Ana Paula; MENDES, Enicéia Gonçalves. Desenho universal para a aprendizagem como estratégia de inclusão escolar. *Revista Educação Unisinos*, São Leopoldo, RS, v. 22, n. 2, abr./jun. 2018.

Recebido em: 5.2.2026

Revisado em: 30.7.2026

Aprovado em: 8.9.2026