

Quadro de representações tridimensionais (QRT): desenvolvimento de um recurso didático inclusivo para o ensino de matemática

Góes, Anderson Roges Teixeira^{*1}; Liberti, Vinícius²; Silva, Aline Cristina Barbosa da³; Nogueira, Clélia Maria Ignatius⁴

1 – Universidade Federal do Paraná, UFPR, artgoes@ufpr.br

2 – Universidade Federal do Paraná, UFPR, vinicius.liberti@ufpr.br

3 – Universidade Federal do Paraná, UFPR, alinecristinapedagogia@gmail.com

4 – Universidade Estadual do Paraná, UNESPAR, voclelia@gmail.com

*Correspondência: Rua Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas - Curitiba -PR.

DOI 10.52050/9788579177132-21

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento e a avaliação do Quadro de Representações Tridimensionais (QRT), recurso tátil inclusivo para apoiar o acesso de estudantes às situações-problema da matemática. Fundamentado no Desenho Universal (DU), o estudo adotou abordagem qualitativa e realizou testes de usabilidade com estudantes e docentes. Os resultados orientaram o redesenho do material e indicaram melhorias na percepção tátil, ergonomia e autonomia de uso. Conclui-se que o QRT apresenta potencial para favorecer práticas matemáticas mais inclusivas, embora ainda demande novas validações.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva Educacional, Acessibilidade Tátil, Inclusão Escolar, Modelagem e Impressão 3D, Usabilidade.

ABSTRACT

This article presents the development and evaluation of the Three-Dimensional Representations Board (QRT), an inclusive tactile resource designed to support students' access to mathematical problem situations. Grounded in the principles of Universal Design (UD), the study adopted a qualitative approach and conducted usability tests with students and teachers. The results informed the redesign of the material and indicated improvements in tactile perception, ergonomics, and user autonomy. It is concluded that the QRT has the potential to foster more inclusive mathematics practices, although further validation is still required.

Keywords: Educational Assistive Technology, Tactile Accessibility, School Inclusion, 3D Modeling and Printing, Usability.

1. INTRODUÇÃO

O Quadro de Representações Tridimensionais (QRT) constitui-se como um produto desenvolvido no âmbito de um estudo de pós-doutorado dedicado à análise das investigações do Grupo de Estudos e Pesquisas em Didática da Matemática (GEPeDiMa). As pesquisas do grupo têm evidenciado que ilustrações visuais presentes em situações-problema favorecem a compreensão dos conceitos matemáticos e dos procedimentos necessários para sua resolução. No entanto, esse tipo de representação impõe barreiras a estudantes com deficiência visual, uma vez que a informação imagética não lhes é acessível, restringindo sua participação em condições equânimes.

Visando superar essa limitação, o QRT foi projetado e desenvolvido segundo os pressupostos do Desenho Universal (DU), que orienta a criação de recursos utilizáveis por qualquer estudante, independentemente de suas condições sensoriais, motoras ou cognitivas. O material é composto por uma placa metálica com elementos protetores e um chanfro tátil no canto superior direito, destinado a indicar a orientação correta de leitura em Braille. As representações tridimensionais que compõem o QRT foram produzidas por impressão 3D, incorporando elementos em relevo, texturas diferenciadas e identificação em Braille, de modo a oferecer informações acessíveis tanto para estudantes videntes quanto para aqueles com deficiência visual.

O desenvolvimento do QRT ocorreu no Laboratório de Tecnologias Assistivas Educacionais (LabTAE) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com apoio do Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva (NAPI-TA) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Esse contexto evidencia o compromisso institucional com a inovação e com a promoção de práticas educacionais inclusivas.

No campo educacional, a Tecnologia Assistiva tem como finalidade eliminar barreiras que limitam o acesso à informação, à comunicação e à participação de estudantes com deficiência (BERSCH, 2017). No LabTAE, tais recursos recebem a denominação de Tecnologia Assistiva Educacional (TAE) quando funcionam como suporte para estudantes público-alvo da Educação Especial, e, simultaneamente, como recursos 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 estudante.

Este artigo é uma ampliação do estudo publicado como Góes et al. (2025), apresentado no 5º Congresso Brasileiro de Tecnologia Assistiva (CBTA), realizado em Curitiba-PR, entre 30/09 e 03/11/2025. A presente versão expande o trabalho original ao apresentar um novo teste de usabilidade, conduzido após modificações estruturais no QRT, possibilitando analisar sua evolução, validar ajustes e caracterizar de maneira mais sistemática sua aplicabilidade pedagógica.

Metodologicamente, este estudo caracteriza-se como uma investigação de natureza aplicada, com abordagem qualitativa, desenvolvida em um ciclo iterativo de modelagem, testagem e aprimoramento do QRT. Foram utilizados procedimentos de observação, registro sistemático das interações dos estudantes, análise de percepções via questionários e avaliação dialógica junto às docentes participantes. Os testes de usabilidade foram realizados em duas etapas, com estudantes atendidos no contraturno em um Centro Municipal de Atendimento Educacional Especializado de Curitiba-PR, permitindo identificar barreiras, refinar o design e validar gradualmente as soluções propostas.

2. REFERENCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

A construção do Quadro de Representações Tridimensionais (QRT) fundamenta-se em referenciais que articulam concepções inclusivas, princípios de acessibilidade e técnicas específicas de modelagem e impressão 3D. Esta seção apresenta os elementos teórico-metodológicos que orientaram o desenvolvimento do recurso. Inicialmente, são discutidos os processos técnicos envolvidos na criação das representações tridimensionais, destacando suas implicações para a acessibilidade tátil. Em seguida, são analisados os princípios do Desenho Universal (DU), relacionando-os à concepção do QRT e ao primeiro teste de usabilidade, que permitiu avaliar a eficácia das soluções adotadas.

2.1 Tecnologias de modelagem e impressão 3D no desenvolvimento do QRT

A construção das representações tridimensionais do QRT envolveu o emprego de tecnologias de modelagem e impressão 3D orientadas pela necessidade de garantir acessibilidade tátil às situações-problema matemáticas. Para a etapa de modelagem, utilizou-se o software Blender, que possibilitou controle preciso sobre a geometria dos objetos, incluindo o ajuste das normais, a eliminação de malhas sobrepostas e o desenvolvimento de formas orgânicas a partir de curvas Bézier, posteriormente convertidas em malha para extrusão. Objetos mais simples foram estruturados a partir de formas básicas, como cubos

e cilindros, o que permitiu eficiência na produção e coerência visual entre as peças.

A impressão dos modelos foi realizada com o apoio dos softwares de fatiamento Creality Print, OrcaSlicer e UltiMaker Cura, configurados para uso nas impressoras K1MAX e K1C. Foram utilizados filamentos de PLA, com temperaturas de 230 °C no bico e 50 °C na mesa, e de ABS, com 260 °C no bico e 100 °C na mesa. As peças resultantes foram produzidas por extrusão de perfis de 3 mm e receberam posteriormente texturas adicionais em suas superfícies superiores, com o objetivo de ampliar a perceptibilidade tátil. Para possibilitar a organização no quadro metálico, todas as representações foram finalizadas com a inserção de pequenos ímãs na parte posterior.

O design das peças buscou contemplar a complexidade da percepção tátil, evitando ambiguidades decorrentes de silhuetas semelhantes. Representações que poderiam gerar confusão, como limão e laranja, ou copos e pratos circulares quando vistos de cima, foram eliminadas ou redesenhadas. Nessas situações, optou-se por representar os objetos em vistas ortogonais, preferencialmente laterais, a fim de favorecer a clareza das formas durante a exploração tátil. Em objetos temáticos, como peixes ou chapéus de palha, aplicaram-se texturas específicas, como escamas ou tramas, enquanto peças como a maçã do amor se destacavam pela ausência de textura, criando contraste tátil relevante para a diferenciação entre elementos.

Além das representações tridimensionais, foram desenvolvidas plaquinhas de identificação com inscrições em Braille e baixo-relevo, em conformidade com a NBR 9050, produzidas com espessura de 3 mm e chanfro no canto superior direito para indicar o sentido correto de leitura. A integração entre técnicas de modelagem digital, impressão 3D e estratégias de acessibilidade tátil resultou em um recurso flexível, seguro e amplamente acessível, capaz de representar situações-problema matemáticas por meio de múltiplas modalidades sensoriais.

2.2 Estrutura física e componentes do QRT

O QRT é composto por um suporte metálico e por elementos de identificação tátil e visual que, em conjunto, viabilizam sua função pedagógica. O suporte foi confeccionado em chapa de aço com dimensões de 250 mm × 350 mm, testado em duas espessuras, 0,9 mm e 3 mm, com o objetivo de avaliar estabilidade, peso e segurança no uso escolar. Para proteger as bordas e evitar acidentes durante o manuseio, o quadro recebeu uma moldura impressa em 3D, com 10 mm de largura, além de um chanfro localizado no canto superior direito, que favorece a orientação espacial do usuário.

As placas de identificação dos objetos foram modeladas com inscrições em Braille e em baixo-relevo, seguindo as recomendações da NBR 9050 para garantir legibilidade tátil. Cada placa possui um chanfro no canto superior direito, que indica o sentido correto de leitura do Braille e evita interpretações equivocadas. Além disso, foi empregado contraste de cores entre as peças, buscando atender estudantes com baixa visão e ampliar a acessibilidade visual do conjunto.

O sistema de fixação das peças no quadro metálico foi inicialmente realizado com ímãs de neodímio e, posteriormente, aprimorado conforme os resultados do teste de usabilidade. A adoção dessa interface magnética possibilita reorganizações constantes, favorecendo adaptações às demandas da atividade, às preferências do estudante e ao contexto pedagógico. Dessa forma, a configuração estrutural do QRT articula estabilidade, segurança e flexibilidade, constituindo um ambiente propício ao desenvolvimento de situações-problema matemáticas acessíveis.

2.3 Desenho Universal e avaliação preliminar do QRT

O desenvolvimento inicial do QRT ocorreu de forma articulada aos princípios do DU, que orientam a criação de produtos acessíveis desde sua concepção, evitando a necessidade de adaptações posteriores. O DU se estrutura em sete princípios que orientam a formulação de soluções inclusivas e funcionais. São eles (Carletto e Cambiaghi, 2007):

- **Uso Equitativo:** produtos e ambientes devem ser acessíveis a todas as pessoas, evitando exclusões ou estigmas;
- **Flexibilidade de Uso:** as soluções devem se ajustar a diferentes necessidades, preferências e habilidades;
- **Uso Simples e Intuitivo:** o uso deve ser fácil de compreender independentemente da experiência prévia;
- **Informação Perceptível:** a informação deve ser transmitida por múltiplos meios (visuais, táteis, sonoros);
- **Tolerância ao Erro:** o projeto deve reduzir riscos e prevenir danos mesmo em caso de uso incorreto;
- **Mínimo Esforço Físico:** o uso deve ser eficiente e exigir o mínimo de esforço físico;
- **Dimensão e Espaço Apropriados:** o espaço deve permitir uso confortável a pessoas com diferentes capacidades físicas.

Assim, acessibilidade, segurança, flexibilidade e clareza perceptiva guiaram tanto o desenvolvimento das peças quanto sua primeira avaliação com usuários. Esse primeiro teste de usabilidade teve como objetivo verificar a legibilidade tátil

e visual das representações, a ergonomia das peças, a facilidade de manipulação e o potencial pedagógico do recurso em situações-problema matemáticas.

Nesse sentido, cada elemento do QRT foi projetado para promover acesso equitativo, clareza perceptiva e segurança no manuseio, considerando diferentes perfis sensoriais e cognitivos. O processo envolveu etapas de modelagem 3D, impressão, ajustes progressivos e um primeiro teste de usabilidade com estudantes e professoras da educação básica, cujos resultados foram essenciais para orientar as melhorias implementadas na versão subsequente.

No processo de modelagem, buscou-se diferenciar tatilmente objetos semelhantes, evitando ambiguidades perceptivas. Ainda assim, a primeira versão apresentou limitações relevantes. As peças não possuíam texturas distintas, exceto a colher, cuja concavidade era naturalmente perceptível ao toque. Objetos como a banana, inicialmente representada de forma isolada, eram facilmente confundidos com outras formas curvas, o que levou ao redesenho da peça como um cacho, ampliando sua distinção tátil. Situação semelhante ocorreu com as laranjas impressas em verde, que não ofereciam diferenças táteis suficientes para diferenciá-las de limões, evidenciando a insuficiência de depender exclusivamente da cor. Esses aspectos iniciais estão ilustrados na Figura 1.

Figura 1 - 1ª versão do QRT



Fonte: Acervo GEPETel (2025).

#ParaTodosVerem: Quadro de representações tridimensionais em fundo preto, coberto por diversas peças em relevo, coloridas em tons vibrantes como roxo, vermelho, azul, amarelo e verde. As peças estão agrupadas em seções e representam formas geométricas (triângulo, círculo, retângulo, losango), frutas (morango, uva, abacaxi, laranja, banana), objetos cotidianos (carro, garfo, faca, colher, relógio, óculos, chapéu) e vestuário (camiseta, calça). Um elemento crucial são as plaquinhas com texto, presente em conjunto com as peças, escrito em baixo relevo e acompanhado de escrita em Braille. No centro do painel, há uma placa cinza/branca inclinada com símbolos abstratos em relevo preto, como círculos, setas e pontos de interrogação. [Fim da descrição]

Para aprimorar a identificação, foram incorporadas plaquinhas de identificação com inscrições em baixo-relevo e Braille, seguindo as recomendações da NBR 9050. Cada placa foi confeccionada com 3 mm de espessura e recebeu um chanfro no canto superior direito, permitindo que pessoas cegas identifiquem o sentido correto de leitura do Braille. Na etapa seguinte, objetos temáticos, como peixes e chapéus de palha, receberam texturas características, enquanto figuras como bandeirinhas foram modeladas com padrões geométricos simples. Em contraste, itens sem textura, como a maçã do amor, passaram a se destacar pela ausência de relevo, ajudando na distinção sensorial. As melhorias dessa segunda versão podem ser observadas na **Figura 2**.

Figura 2 - 2ª Versão com Representações de tema junino e aplicação de texturas



Fonte: Os Autores (2025).

#ParaTodosVerem: Fotografia de Figuras táteis coloridas impressas em 3D, dispostas sobre uma placa preto fosco, que parece ser um quadro emoldurado. A imagem apresenta objetos temáticos de Festa Junina e outros itens lúdicos. Os elementos visuais incluem: um chapéu de palha em amarelo vibrante, um pirulito azul, uma maçã do amor vermelha, três balões verdes, uma flor amarela e um algodão doce azul. Na parte inferior, há Figuras humanas um menino em amarelo e uma menina em roxo, uma bandeirinha de São João cinza escura e uma Figura de peixe azul. [Fim da descrição]

O projeto também incluiu a criação de números tridimensionais com Braille acoplado. A principal dificuldade consistiu em integrar o Braille sem comprometer a identificação imediata dos algarismos. Para isso, foram criadas extensões laterais de até 1,5 mm, capazes de comportar o Braille sem alterar o formato característico do número. Essa solução está apresentada na **Figura 3**.

Figura 3 - Números com anexos em Braille



Fonte: Os Autores (2025).

#ParaTodosVerem: Fotografia de peças impressas em 3D de cor cinza-claro, dispostas horizontalmente sobre um quadro de cor preta escura emoldurado em preto. As peças representam os dez algarismos cardinais (números de 0 a 9). Os números são tridimensionais, têm uma fonte clara e estão alinhados em uma única fileira no centro da placa, com uma pequena base retangular em cada algarismo contendo a escrita em Braille. [Fim da descrição]

Por outro lado, representações abstratas ou envolvendo figuras humanas em movimento não foram modeladas tridimensionalmente, devido ao risco de ambiguidades táteis; nesses casos, optou-se pela produção exclusiva das plaquinhas com os termos correspondentes, como ilustrado na **Figura 4**.

Figura 4 - Plaquinhas com termos



Fonte: Os autores (2025).

#ParaTodosVerem: Fotografia de peças retangulares brancas em impressas em 3D, dispostas em duas fileiras sobre um quadro de cor preta escura emoldurado em preto. As peças contêm palavras escritas em baixo relevo e representadas em Braille no centro de cada peça, funcionando como material didático tátil. As palavras visíveis na primeira fileira são: “Sentado”, “Dançando” e “Criança”. Na segunda fileira, as palavras são: “Cavalheiro”, “Em Pé”, “Professora” e “Dama”. [Fim da descrição]

A avaliação preliminar da primeira versão do QRT ocorreu de forma exploratória, durante sessões de uso que permitiram observar o manuseio, a

clareza das representações e a adequação tátil do material. Essa etapa revelou desafios significativos para o aperfeiçoamento. A dependência de cores para diferenciar representações mostrou-se insuficiente; algumas peças apresentavam cantos agudos que exigiram refinamento no acabamento; as placas metálicas mais espessas demonstraram peso excessivo para uso infantil; e os ímãs de neodímio utilizados inicialmente ofereciam resistência elevada à remoção das peças, comprometendo o conforto no manuseio. A identificação de quantidades por meio da combinação entre um objeto e um algarismo também se revelou pouco intuitiva, reforçando a importância de representar a quantidade total por meio da multiplicidade de objetos.

3. PRIMEIRA AVALIAÇÃO DE USABILIDADE DO QRT

A primeira avaliação de usabilidade do Quadro de Representações Táteis (QRT) teve como objetivo verificar sua acessibilidade, clareza perceptiva, funcionalidade tátil, segurança e potencial pedagógico no contexto da educação básica. Para essa etapa, foram elaborados questionários distintos para estudantes (Quadro 01) e docentes (Quadro 02), contendo itens voltados à análise da manipulação das peças, da compreensão das representações e da adequação do material aos princípios do DU.

Os aspectos a serem avaliados foram definidos a partir de questionários específicos destinados a estudantes, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 01 - Questionário para produção de dados para o teste de usabilidade dos estudantes

Questionário de Usabilidade – Estudantes	
1.	O quanto você acha que este material é fácil de usar?
2.	Você acredita que este material lhe fornece diferentes maneiras de aprender sobre o assunto?
3.	Você acha que este material é acessível para todos? Incluindo colegas com diferentes necessidades?
4.	As cores estão contrastantes entre si, adequadas para compreensão?
5.	Algum dos elementos não foi possível compreender, se sim qual? e por quê?
6.	Caso tenha visto algum colega enfrentando dificuldades, nos conte como foi e como vocês lidaram com ela?
7.	Este material deixou a aula mais divertida e interessante?
8.	Você acha que este material é seguro de usar? Ou você acha que alguém pode se machucar com ele?
9.	Este material é do tamanho certo e é fácil de alcançar e usar
10.	O tamanho das representações foi adequado? Teve alguma inadequada, Qual?
11.	Alguma representação ficou melhor? Por quê?
12.	O que você mais gostou neste material?
13.	O que você acha que poderia ser melhorado neste material?

Fonte: Os Autores (2025).

Já os aspectos avaliados junto aos professores foram definidos por meio de questionários próprios, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 02 - Questionário para produção de dados, para o teste de usabilidade dos professores

Questionário de Usabilidade – professores	
1.	Em sua opinião, qual é o grau de eficácia deste material didático em facilitar a aprendizagem dos alunos?
2.	Qual foi o impacto deste material na motivação dos alunos para aprender?
3.	Em sua observação, os alunos demonstraram uma compreensão melhor do conteúdo ao usar este material?
4.	O material é flexível o suficiente para atender as necessidades individuais dos alunos?
5.	Como o material lidou com a diversidade de habilidades e necessidades dos alunos em sua sala de aula?
6.	O material é compatível com a sua abordagem pedagógica? Foi necessário fazer adaptações?
7.	O material é tolerante a erros e acidentes, proporcionando um ambiente seguro para os alunos aprenderem?
8.	Como os alunos reagiram ao uso deste material? Eles expressaram satisfação?
9.	Quanto à pergunta anterior, compartilhe um pouco sobre a experiência dos alunos ao utilizarem o material.
10.	Houve algum desafio ou limitação significativa no uso deste material?
11.	Caso tenham sido observados desafios e/ou limitações, compartilhe um pouco sobre a sua percepção destes.

Fonte: Os Autores (2025).

O instrumento destinado aos estudantes foi respondido por cinco participantes, identificados pela sigla E# (Estudante #), enquanto o questionário voltado às docentes foi respondido por duas professoras, identificadas como P# (Professora #). O uso dessas siglas busca assegurar o anonimato das pessoas participantes.

Essa primeira avaliação integrou o ciclo contínuo de modelagem, aprimoramento e validação do QRT, possibilitando identificar limitações, reconhecer potencialidades e orientar ajustes necessários. As representações utilizadas nesse teste correspondem à primeira versão do material, produzidas por modelagem tridimensional no software Blender, impressas em PLA e ABS, e fixadas ao quadro metálico por meio de ímãs, conforme descrito na seção anterior.

3.1 Principais resultados do primeiro teste

De modo geral, professores e estudantes consideraram o QRT um recurso de fácil manipulação e potencialmente promissor para diversificar formas de aprendizagem matemática. Entretanto, diversas limitações foram identificadas,

especialmente relacionadas à interpretação das situações-problema e ao manuseio físico do material.

Um dos principais desafios relatados pelos estudantes diz respeito à compreensão de problemas que combinavam um único objeto com um algarismo para representar quantidades elevadas (por exemplo, um chapéu acompanhado do número 9). Essa configuração mostrou-se pouco intuitiva, sobretudo para crianças habituadas à contagem concreta e sequencial. A professora P1 destacou que a associação entre objeto simbólico e número tendia a gerar confusão, sendo mais efetiva a representação da quantidade total por meio da multiplicidade de objetos. Essa observação tornou-se um ponto essencial para o redesign posterior.

Do ponto de vista perceptivo, estudantes E1 a E4 avaliaram positivamente o contraste visual entre a placa e as peças, demonstrando preferência pela placa metálica preta, considerada a que oferecia melhor distinção entre elementos. Em contrapartida, o suporte confeccionado em chapa de 3 mm foi percebido como excessivamente pesado, sendo classificado como potencialmente perigoso para uso infantil. O modelo de 0,9 mm foi considerado mais leve, seguro e adequado ao trabalho pedagógico.

Em relação ao sistema de fixação, verificou-se que os ímãs de neodímio utilizados na versão inicial apresentavam força excessiva, dificultando a remoção das peças e tornando a manipulação pouco confortável. Os estudantes apontaram como preferência o uso de papel imantado, que oferece aderência suficiente sem comprometer o fluxo de exploração tátil.

Questões de segurança emergiram durante o teste. A estudante E5 observou a presença de cantos agudos em algumas peças, sugerindo a necessidade de acabamento adicional. No caso específico desta estudante, que utiliza a boca para realizar manipulações, indicou-se a criação de um cavalete e de um palito adaptado, de modo a ampliar sua autonomia e prevenir riscos. A docente P# reconheceu o alinhamento do QRT com sua abordagem pedagógica e observou que a exploração prévia do material pode favorecer a familiarização e ampliar a eficácia do recurso.

3.2 Implicações para o redesenho do QRT

A interpretação dos dados coletados nos questionários evidenciou elementos cruciais para aprimorar o QRT à luz dos princípios do Desenho Universal. Entre os pontos que demandaram ajustes, destacam-se:

- Necessidade de reduzir o peso do quadro, priorizando a chapa metálica de 0,9 mm;
- Substituição dos ímãs de neodímio por papel imantado;

- Suavização e arredondamento dos cantos das peças;
- Inclusão de texturas para ampliar a distinção tátil;
- Revisão das estratégias de representação numérica;
- Aperfeiçoamento da legibilidade tátil das formas.

Em contrapartida, os resultados confirmaram a pertinência de aspectos como o contraste visual, a interação lúdica, a clareza das representações com cor e a potencialidade pedagógica do recurso.

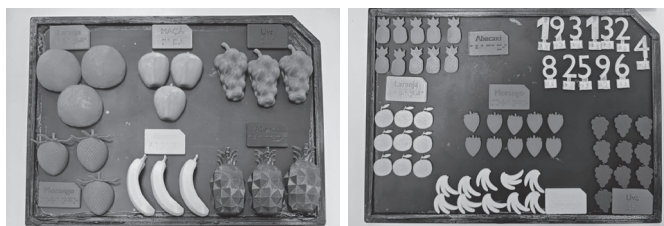
A partir dessa primeira avaliação de usabilidade, o QRT passou por uma reformulação significativa, culminando no desenvolvimento de uma segunda versão mais segura, leve, tatilmente informativa e coerente com os preceitos do DU. Essa etapa de ampliação é apresentada na seção seguinte.

4. SEGUNDO TESTE DE USABILIDADE: AMPLIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS MELHORIAS DO QRT

O segundo teste de usabilidade teve como objetivo avaliar a eficácia das modificações implementadas no QRT a partir dos resultados do primeiro teste, validando as soluções adotadas e identificando novos aspectos para o refinamento. Esta etapa constitui a ampliação inédita em relação ao trabalho apresentado por Góes et al. (2025) no Congresso Brasileiro de Tecnologia Assistiva (CBTA), ao aprofundar a análise do desempenho das versões revisadas das representações tridimensionais.

Para esta fase, foram apresentadas aos estudantes duas versões das peças: (a) as representações da versão inicial, constituídas por perfis extrudados, e (b) as versões aprimoradas, com volume, texturas e ajustes de forma. (Figura 5)

Figura 5 - Materiais testados na segunda fase



Fonte: Os Autores (2025)

#ParaTodosVerem: Montagem com duas imagens lado a lado, ambas mostrando tabuleiros pretos organizados com frutas táteis coloridas impressas em 3D e etiquetas com nomes em baixo relevo e braille. O tabuleiro preto da esquerda exibe frutas grandes distribuídas em grupos, cada qual acompanhada de sua etiqueta: quatro laranjas com a etiqueta laranja “Laranja”, três maçãs verdes com a etiqueta verde “MAÇÃ”, três cachos de uvas roxas com a etiqueta roxa “Uva”, três morangos vermelhos com a etiqueta vermelha “Morango”, três bananas amarelas com a etiqueta amarela

“Banana” e três abacaxis verdes com a etiqueta verde “Abacaxi”. O tabuleiro preto da direita contém versões menores das mesmas frutas, organizadas em fileiras por tipo. No topo direito há números grandes em cinza: 1, 9, 3, 1, 3, 2, 4 e abaixo 8, 2, 5, 9, 6, todos com braille na base. As frutas pequenas incluem: abacaxis azuis com a etiqueta “Abacaxi”, laranjas verdes com a etiqueta “Laranja”, morangos vermelhos com a etiqueta “Morango”, bananas amarelas com a etiqueta “Banana” e uvas roxas com a etiqueta “Uva”. Cada grupo tem sua respectiva etiqueta com a mesma cor da fruta com texto em baixo relevo e braille. [Fim da descrição]

As modificações incorporadas incluíram a introdução de texturas, a ampliação volumétrica das peças, a substituição dos ímãs de neodímio por papel imantado, a adoção da placa metálica de 0,9 mm na cor preta e o arredondamento dos cantos.

O teste foi realizado em um Centro Municipal de Atendimento Educacional Especializado (CMAEE) de Curitiba-PR, espaço destinado ao atendimento de estudantes da rede pública no contraturno da escola comum. Participaram oito estudantes dos Anos Iniciais do Ensino Fundamental, organizados em duplas, que passaram a ser identificados pela sigla E#, iniciando em E7 e seguindo até E14. As interações ocorreram em sala que favorecia a exploração manipulativa, a observação individualizada e o diálogo espontâneo entre pesquisador e participantes.

A análise das interações buscou compreender como os estudantes identificaram, manipularam e estabeleceram correspondências entre as representações tridimensionais e as plaquinhas identificadoras, bem como as estratégias espontâneas utilizadas para categorização, organização e comparação entre as versões antiga e revisada. Durante o teste, os estudantes foram incentivados a explorar livremente as peças, associá-las às plaquinhas, comparar diferenças entre versões, agrupar objetos por critérios próprios e interagir com os algarismos tridimensionais. Esse procedimento permitiu observar tanto a acurácia do reconhecimento quanto aspectos relacionados à intuição perceptiva, ao uso espontâneo do material e ao potencial pedagógico das novas configurações.

A primeira dupla era composta por E7 e E8, ambos do 4º ano do Ensino Fundamental, porém com níveis distintos de alfabetização. Eles reconheceram as frutas sem dificuldades significativas, embora o abacaxi tenha exigido maior tempo de identificação. Como estudantes videntes, utilizaram principalmente as cores para relacionar as peças às plaquinhas, que haviam sido produzidas com cores próximas às frutas reais. E8 não reconheceu a maçã. Quando uma placa com cor discrepante – por exemplo, azul com o termo “abacaxi” – era posicionada ao lado do abacaxi volumétrico verde-escuro, ambos demonstraram dificuldade em estabelecer a correspondência. Nenhum dos estudantes identificou cantos pontiagudos nas peças. A interação é ilustrada na Figura 6.

Figura 6 - Primeira dupla manuseando o material



Fonte: Os Autores (2025)

#ParaTodosVerem: Fotografia de uma atividade em mesa amarela, onde uma criança manipula frutas táteis coloridas impressas em 3D e etiquetas com texto em tinta e braille. Sobre um tabuleiro preto, estão organizados uma laranja com a etiqueta "Laranja", um abacaxi com a etiqueta verde "Abacaxi" e uma maçã verde com a etiqueta "MAÇÃ". A criança segura uma etiqueta vermelha "Morango" ao lado de um morango vermelho. Ao redor da mesa há outras frutas soltas como laranjas, morangos, uvas roxas, uma banana amarela e uma maçã verde junto de etiquetas coloridas correspondentes às frutas. [Fim da descrição]

E9 (3º ano) e E10 (5º ano), ambos alfabetizados, reconheceram todas as frutas, embora E9 tenha confundido o abacaxi azul e apresentado dificuldade na identificação da maçã. Ele também percebeu o morango como levemente pontiagudo. Os estudantes demonstraram apreço pelas diferentes versões (com e sem volume) e organizaram as frutas por critérios de cor. E10 observou a coerência visual entre a fruta laranja e sua respectiva cor, além de mencionar pequenas extremidades agudas, sem considerá-las perigosas.

As estudantes E11 e E12, ambas do 3º ano, não encontraram dificuldades de identificação, nem relataram presença de partes pontiagudas. Demonstraram entusiasmo ao organizar as representações e utilizaram majoritariamente a cor para estabelecer correspondências entre peças e plaquinhas. Apresentaram compreensão plena do material, interagindo de maneira autônoma.

A última dupla era composta por E13 (1º ano, não alfabetizada) e E14 (2º ano, alfabetizado). E13, que possui Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), interagiu de forma mais lúdica e dispersa, explorando as peças como objetos de brincadeira. Considerou a uva e o abacaxi pouco interativos e demonstrou curta permanência nas tarefas propostas. E14, por outro lado, manteve foco contínuo, associou corretamente as representações às plaquinhas e demonstrou capacidade de formar números, incluindo suas idades, utilizando os Algarismos Tridimensionais. A interação da dupla é mostrada na Figura 7.

Figura 7 - Quarta dupla, montando seus anos.



Fonte: Os Autores (2025)

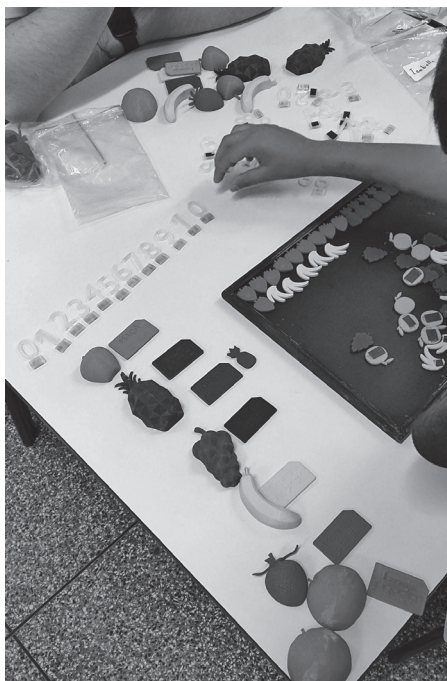
#ParaTodosVerem: Crianças participam de uma atividade manipulativa com números e frutas táteis impressas em 3D. Uma delas segura um tabuleiro preto na vertical, onde estão fixados números tridimensionais na cor cinza, formando as sequências "2018", "2025", "0" e "7", todos com braille abaixo. Ao redor, sobre a mesa clara, há diversas frutas táteis pequenas bananas amarelas, uvas roxas, maçãs verdes, morangos vermelhos e laranjas, além de etiquetas coloridas correspondentes às frutas, também com texto em baixo relevo e braille. Outro tabuleiro preto aparece na parte inferior da imagem, parcialmente visível, contendo o número "20" em relevo. [Fim da descrição]

De modo unânime, os estudantes utilizaram a cor como principal referência para associar representações e plaquinhas, comportamento esperado em participantes videntes. Ao serem questionados sobre a relação entre um número

e um objeto, por exemplo, “o que significa o número 1 ao lado do abacaxi?”, todos responderam “um abacaxi”. A interpretação manteve-se consistente mesmo com a variação do algarismo. Quando questionados sobre preferência entre visualizar três abacaxis individuais ou um único abacaxi acompanhado do número 3, a maioria optou pela representação concreta, reforçando a importância de estratégias visuais explícitas.

Embora o peso da placa metálica tenha sido percebido, os estudantes não a classificaram como perigosa. Validaram amplamente a cor preta da placa, que oferecia bom contraste visual. Todos organizaram as representações de maneira autônoma e demonstraram facilidade na utilização das plaquinhas. A organização geral é ilustrada na Figura 8.

Figura 8 - Exemplo de organização dos estudantes.



Fonte: Os Autores (2025)

#ParaTodosVerem: Mesa clara onde estão organizados diversos materiais do (QRT), na parte superior há frutas grandes impressas em 3D como maçãs verdes, abacaxis verdes, laranjas, bananas amarelas, um morango vermelho e um cacho de uva roxa, acompanhadas de etiquetas coloridas com o nome da fruta em tinta e braille. No centro inferior da mesa está alinhada uma sequência de números táteis transparentes com base cinza, indo de **0 a 10**, cada um com braille abaixo. Perto dessa sequência, mais frutas e etiquetas estão distribuídas: maçã com placa “MAÇÃ”, abacaxi com “Abacaxi”, uva com “Uva”, banana com “Banana”, morango com “Morango” e laranja com “Laranja”, á

direita, um tabuleiro preto contém diversas frutas pequenas coloridas organizadas por tipo: fileiras de morangos vermelhos, bananas amarelas, uvas roxas e maçãs verdes, todas em formato plano. Uma criança manipula números táteis, enquanto outra pessoa aparece parcialmente na lateral da imagem observando ou participando da atividade. [Fim da descrição]

Apesar das melhorias significativas, algumas ambiguidades persistiram, variando entre estudantes. Entre elas:

- Maçã verde-clara com volume, confundida com outras frutas claras;
- Abacaxi azul sem volume, com risco de confusão;
- Laranja volumétrica confundida com tangerina;
- Laranja verde-clara sem volume confundida com maçã ou limão.

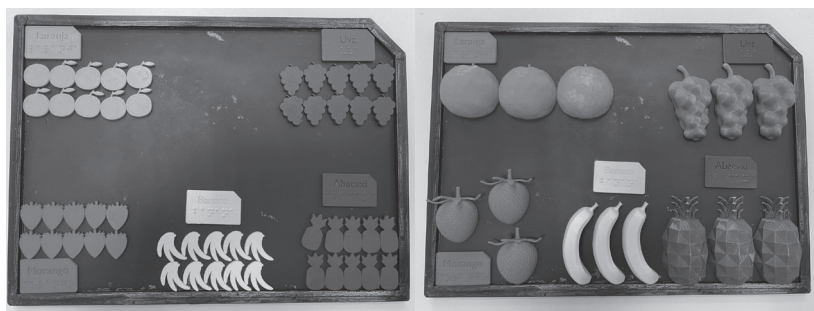
Os estudantes avaliaram as texturas como agradáveis e identificaram apenas poucas peças com leve pontiagudez residual. Consideraram o material adequado para uso contínuo e seguro.

Os estudantes demonstraram compreensão clara das representações e facilidade de manipulação, evidenciando a efetividade das melhorias implementadas. Os dados reforçam que:

- O volume e as texturas ampliaram a distinção tátil e visual;
- A placa metálica de 0,9 mm é mais adequada;
- O papel imantado substituiu satisfatoriamente os ímãs de neodímio;
- O contraste visual da placa preta fortaleceu a leitura;
- O arredondamento dos cantos aprimorou a segurança.

Entretanto, as representações tridimensionais ampliadas passaram a ocupar mais espaço no quadro, chegando a dimensões aproximadamente três vezes maiores do que na versão inicial, o que reduz a quantidade de peças utilizáveis simultaneamente. Esse aspecto é ilustrado na Figura 9 e indica a necessidade de ajuste de escala em futuras versões.

Figura 9 - Versão sem volumetria e texturas e a versão volumétrica e texturizada



Fonte: Os Autores (2025)

#ParaTodosVerem: Montagem composta por duas imagens lado a lado, ambas mostrando tabuleiros pretos organizados com frutas táteis impressas em 3D coloridas em versão pequena (esquerda) e grande (direita). Cada grupo de frutas está acompanhado por uma etiqueta colorida com o nome em baixo relevo e braille. Imagem da esquerda (frutas pequenas): No canto superior esquerdo há maçãs verdes pequenas acompanhadas da etiqueta verde “Maçã”. No topo direito há uvas roxas pequenas com etiqueta roxa “Uva”. Na parte inferior esquerda estão morangos vermelhos com etiqueta vermelha “Morango”. Ao centro inferior há bananas amarelas pequenas com a etiqueta amarela “Banana”. No canto inferior direito há abacaxis azuis com etiqueta azul “Abacaxi”. Imagem da direita (frutas grandes): No canto superior esquerdo há três laranjas grandes com a etiqueta laranja “Laranja”. À direita delas estão três cachos de uvas roxas com a etiqueta roxa “Uva”. Na parte inferior esquerda aparecem três morangos grandes acompanhados da etiqueta vermelha “Morango”. Ao centro inferior há três bananas grandes com etiqueta amarela “Banana”. No canto inferior direito estão três abacaxis verdes grandes com a etiqueta verde “Abacaxi”. [Fim da descrição]

Os resultados demonstram que o QRT revisado alcançou um estágio promissor de desenvolvimento, apresentando melhorias perceptíveis em termos de acessibilidade, segurança e clareza perceptiva. Contudo, como o teste não envolveu estudantes cegos ou com baixa visão, permanece necessária uma etapa específica de validação tátil para esse público, especialmente no que se refere ao Braille e às texturas. Ainda assim, o desempenho observado indica que o QRT possui elevada aplicabilidade nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental e flexibilidade para atender diferentes demandas pedagógicas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ampliação deste estudo, em continuidade ao trabalho apresentado por Góes et al. (2025) no CBTA, evidencia que o desenvolvimento do QRT não se limita ao aprimoramento técnico de um recurso didático, mas constitui um exercício permanente de reflexão sobre acessibilidade, aprendizagem e design pedagógico. Cada modificação realizada, seja a inclusão de texturas, a alteração das cores, o redesenho das formas ou a mudança dos sistemas de fixação, revela que a acessibilidade não emerge de soluções prontas, mas de um processo investigativo situado, dialógico e atento às respostas concretas dos sujeitos que interagem com o material.

O segundo teste de usabilidade mostrou que a clareza tátil e visual das representações não é resultado apenas de tecnologias de modelagem e impressão 3D, mas de decisões conceituais mais profundas sobre o que significa representar um objeto, uma quantidade ou uma ação de forma acessível. As ambiguidades identificadas, como frutas semelhantes ou a relação entre Algarismos e quantidades, convidam a reconsiderar, continuamente, como os estudantes constroem sentido a partir das representações. Esse movimento reafirma que acessibilidade pedagógica implica reconhecer os limites da

abstração e, sobretudo, compreender que diferentes estudantes acionam diferentes estratégias cognitivas, sensoriais e culturais na leitura do material.

Os achados desta fase também evidenciam que o DU, enquanto princípio estruturante, não funciona como um checklist, mas como uma lente que provoca o redesenho permanente dos recursos. O DU permite compreender que um objeto acessível não é aquele que atende a um perfil específico, mas aquele que oferece múltiplas portas de entrada para a aprendizagem, visuais, táteis, conceituais, narrativas e espaciais. Nesse sentido, o QRT se fortalece como um dispositivo que não apenas apoia o ensino da matemática, mas convoca novas formas de pensar a mediação pedagógica e a experiência sensorial da aprendizagem.

Por outro lado, as limitações do estudo devem ser tomadas como oportunidades. A ausência de estudantes cegos nesta etapa não invalida o avanço obtido, mas aponta para a necessidade de ampliar a testagem para públicos que fazem uso da informação tátil como canal perceptivo. Assim será possível validar o uso do Braille, a adequação das texturas e a distinção tátil das formas, dimensões que, embora aprimoradas, ainda carecem de confirmação empírica. Da mesma forma, a preferência dos estudantes por representações concretas em detrimento de relações simbólicas sugere reflexões pedagógicas mais amplas sobre alfabetização matemática, modos de contar, abstração e construção de sentido.

Assim, o QRT não deve ser compreendido apenas como um produto, mas como um processo de formação, no qual pesquisadores, estudantes e docentes reinterpretam continuamente o que significa ensinar matemática de forma inclusiva. Sua evolução material reflete, ao mesmo tempo, a evolução conceitual do próprio projeto: quanto mais o recurso se transforma, mais ele explicita que a inclusão não se produz por mera adaptação, mas por escolhas intencionais que integram tecnologia, pedagogia e ética.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação Araucária (FA) para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

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

CARLETTO, A. C.; CAMBIAGHI, S. *Desenho Universal: um conceito para todos*. Brasil, [2007]. Disponível em https://www.maragabrilli.com.br/wpcontent/uploads/2016/01/universal_web-1.pdf Acesso em 26 maio. 2025.

CAST. *Universal Design for Learning Guidelines version 2.2*. Wakefield, MA, 2019. Disponível em: <http://udlguidelines.cast.org>. acesso: 15 out. 2023.

GÓES. Anderson Roges Teixeira; COSTA, Priscila Kabbaz Alves da. (Organizadores) *Desenho Universal e Desenho Universal para Aprendizagem: fundamentos, práticas e propostas para Educação Inclusiva – vol 1*. São Carlos: Pedro & João Editores, 2022.

GÓES. Anderson Roges Teixeira; COSTA, Priscila Kabbaz Alves da. [Orgs.] *Desenho Universal e Desenho Universal para Aprendizagem: fundamentos, práticas e propostas para Educação Inclusiva*. Vol 2. São Carlos: Pedro & João Editores, 2023.

GOÉS, Anderson Roges Teixeira; COSTA, Priscila Kabbaz Alvez da; GOÉS, Heliza Colaço. *A proposal for initial and continuing education based on the Universal Design for Learning approach: an experience in Brazilian higher education*. The Educational Review, USA, v. 9, n. 3, p. 262–273, 2025.

SEBASTIÁN-HEREDERO, E. Diretrizes para o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA). *Revista Brasileira de Educação Especial*, [s.l.], v. 26, n. 4, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347821251_Diretrizes_para_o_Desenho_Universal_para_a_Aprendizagem_DUA. Acesso em: 26 maio. 2025.