

**18<sup>o</sup> ERGODESIGN  
& USIHC 2022**

## Codesign e fabricação digital aplicados ao desenvolvimento de um recurso didático com ênfase no ensino de alunos com deficiência visual

### *Co-design and digital fabrication applied to the development of a didactic resource with an emphasis on teaching visually impaired students*

Aline Kauffmann; Laboratório de Design e Seleção de Materiais; UFRGS  
Mariana Pohlmann; Laboratório de Design e Seleção de Materiais; UFRGS

#### **Resumo**

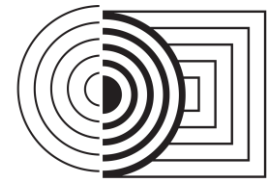
Estima-se que, no mundo, 2,2 bilhões de pessoas vivam com algum tipo de deficiência visual. O princípio da equidade afirma que todos são aptos a aprender, contanto que sejam ofertadas as condições necessárias para tanto. A ampla utilização de referências visuais é uma característica do ensino de Ciências da Natureza, a qual inclui o estudo dos órgãos reprodutivos das plantas. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um recurso didático para o ensino-aprendizado das estruturas reprodutoras das angiospermas, a flor, bem como seu processo de reprodução. A metodologia empregada foi baseada nas propostas de Design Centrado no Humano e Design Thinking da IDEO. Como resultado, foi desenvolvido um kit produzido por fabricação digital e que incorpora peças com audiodescrição. De acordo com a avaliação realizada, a solução atende às necessidades dos usuários, fornece um material inovador para compreensão da flor e suas estruturas e elimina barreiras no acesso ao conhecimento.

Palavras-chave: codesign; impressão 3D; deficiência visual; acessibilidade; biologia.

#### **Abstract**

*Worldwide, about 2.2 billion people live with some type of visual impairment. The principle of equity states that everyone is able to learn as long as the necessary conditions are offered. The wide use of visual references is a characteristic of the teaching of Natural Sciences, which includes the study of the reproductive organs of plants. Thus, the objective of this work is to develop a didactic resource for teaching and learning the reproductive structures of angiosperms, the flower, as well as their reproduction process. The methodology used was based on IDEO's Human-Centered Design and Design Thinking proposals. As a result, a kit produced by digital fabrication and incorporating parts with audio description was developed. According to the evaluation carried out, the solution meets the users' needs, provides an innovative material for understanding the flower and its structures and eliminates barriers to accessing knowledge.*

*Keywords: co-design, 3D printing; visual impairment, accessibility; biology.*



## 1. Introdução

Atualmente, estima-se que, no mundo, 2,2 bilhões de pessoas vivam com algum tipo de deficiência visual (WHO, 2021).

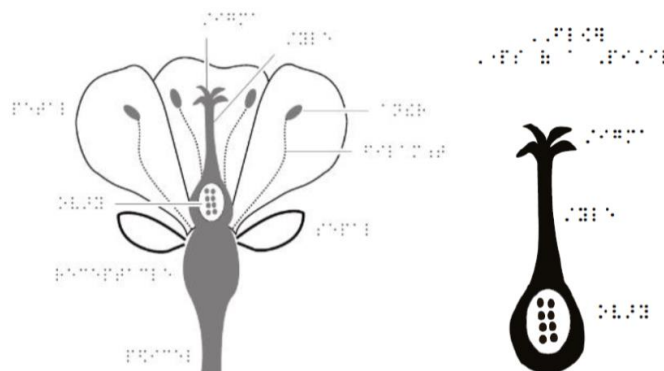
Segundo o Censo Escolar da Educação Básica de 2020, o número de matrículas de alunos de 4 a 17 anos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento ou altas habilidades aumentou significativamente. Em 2016, o percentual de alunos dessa faixa que estavam incluídos em classes comuns era de 89,5%, passando para 93,3% em 2020 (BRASIL, 2021).

O princípio da equidade, que embasa o discurso em prol do processo de inclusão escolar das pessoas com deficiência, afirma que todos são aptos a aprender, contanto que sejam ofertadas as condições necessárias ao processo de aprendizagem (SILVA; SALES, 2017).

Nessa perspectiva, a escassez de recursos didáticos específicos para os alunos com deficiência visual é preocupante. Visto que, além de dificultar a aprendizagem, considerando-se que o aluno pode não compreender certos conteúdos por não poder visualizá-los estruturalmente e espacialmente, a ausência desses materiais pode privilegiar uma prática de estudo que enaltece a memorização de conceitos (SILVA et al., 2014).

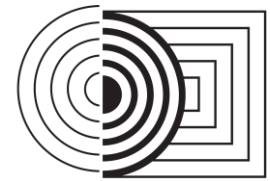
A ampla utilização de referências visuais é uma característica do ensino de Ciências da Natureza (SILVA et al., 2014). A aprendizagem de Ciências da Natureza inclui o estudo dos órgãos reprodutivos das plantas, no caso das angiospermas, a flor. Para os alunos com deficiência visual, essas imagens complementares aos conteúdos presentes nos livros didáticos são adaptadas por meio de representações simplificadas impressas em relevo (figura 1) ou são disponibilizadas por audiodescrição.

Figura 1 – Esquemas adaptados das partes da flor disponíveis para impressão



Fonte: APH (2019).

No entanto, Nuernberg (2010) problematiza a questão de adaptações táteis que partem da experiência visual e das formas videntes de representação da realidade, transformando os contornos das imagens em relevo e ignorando questões como a maneira quase que espontânea com que videntes aprendem a utilizar imagens bidimensionais para representar objetos em três



dimensões. Quanto à audiodescrição, Adam; Macedo (2013) questionam até que ponto as imagens podem ser pormenorizadas mantendo sua essência e facilitando a captação da informação.

Nesse sentido, pergunta-se: como o design, alinhado à fabricação digital, pode auxiliar as crianças com deficiência visual na compreensão de tópicos abordados na disciplina de ciências da natureza, tais como a reprodução das angiospermas?

As tecnologias tridimensionais (3D), ferramentas utilizadas pelo design de produto, viabilizam o desenvolvimento de modelos digitais reproduzíveis por meio de fabricação digital. A partir dos arquivos digitais, os modelos podem ser fabricados pelo processo de impressão 3D. Uma alternativa para os educadores pode ser a utilização de modelos preexistentes em repositórios on-line. Assim, torna-se possível encontrar o recurso necessário para complemento do seu trabalho, diminuindo o tempo utilizado para desenvolvimento de um modelo digital ou de uma ferramenta de maneira artesanal e amplia seu tempo em contato com os alunos.

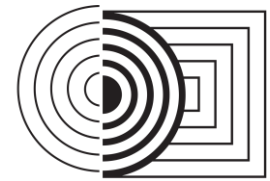
Posto esse cenário, o objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um recurso didático, produzido por meio de técnicas de fabricação digital, que auxilie os alunos com deficiência visual na compreensão do órgão que comporta as estruturas reprodutoras das angiospermas, a flor, bem como, seu processo de reprodução.

## **2. Metodologia**

No presente trabalho, foi utilizada uma estrutura metodológica de abordagem centrada no humano baseada nas propostas de Design Centrado no Humano (HCD) e Design Thinking da IDEO (BROWN, 2008; IDEO, 2015), a qual foi dividida em três etapas: Inspiração, Ideação e Implementação. Considerando que o Kit de Ferramentas para HCD proposto pela IDEO compreende a utilização em conjunto com outras metodologias, também foram utilizadas as etapas de transformação das necessidades em requisitos de usuário e posterior transformação desses requisitos em requisitos de projeto descritas por Back e colaboradores (2008). A união dos métodos possibilitou a composição de uma estrutura metodológica capaz de compreender as necessidades reais dos futuros usuários, e utilizar seu conhecimento e visão do problema como uma lente para o desenvolvimento de cada etapa do trabalho.

Na Inspiração, foram realizados os procedimentos de revisão de literatura, entrevistas com profissionais envolvidos direta e indiretamente na educação de crianças com deficiência e visitas às Salas de Recursos Multifuncionais, bem como levantamento e análise de dispositivos e tecnologias similares.

Na Ideação, os dados obtidos na etapa anterior foram convertidos em requisitos de projeto para a elaboração do conceito. Então, as alternativas foram desenvolvidas e selecionadas. Neste momento, foram realizados encontros de codesign com especialistas para discussão das ideias mais adaptáveis ao contexto deste trabalho e com maior probabilidade de aceitação.



A Implementação consistiu no detalhamento da solução escolhida, modelagem tridimensional e produção de modelos funcionais. Nessa etapa, foi realizada a avaliação por três profissionais, duas delas são pessoas com deficiência visual, que trabalham no desenvolvimento, revisão e adaptações de materiais para alunos com deficiência visual no ensino fundamental e superior.

Todas as peças utilizadas durante o desenvolvimento do recurso didático, bem como a solução final, foram confeccionadas por fabricação digital. A partir de arquivos gerados em softwares de modelagem, foram utilizados os equipamentos de corte a laser e de impressão 3D por Fabricação por Filamento Fundido (FFF) da Oficina de Modelos e Protótipos da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O sistema de audiodescrição foi desenvolvido utilizando uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre a qual permite automatizar a reprodução das faixas de áudio.

### **3. Inspiração**

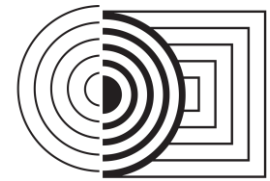
A primeira etapa teve início com a revisão de literatura para fundamentação do projeto. Então, foram realizadas visitas a Salas de Recursos Multifuncionais (SRMs), levantamento e análise de recursos didáticos similares e entrevistas semiestruturadas.

A revisão de literatura possibilitou o aprimoramento das questões que seriam utilizadas nas entrevistas e os conhecimentos necessários para a produção do dispositivo. Foi realizado levantamento sobre as legislações e normas brasileiras, para verificar os direitos das pessoas com deficiência visual. Para compreender as áreas em que já estavam disponíveis recursos elaborados com ênfase nos alunos com deficiência visual, foi desenvolvida uma busca específica e foram mapeadas as áreas de ensino e qual a porcentagem de recursos por área de ensino: Química, com 24%; Ciências da Natureza, com 23%; Geografia, com 23%; e Matemática, com 21%.

Foram visitadas três SRMs de escolas da rede pública estadual de ensino do RS localizadas na cidade de Porto Alegre. Com as visitas, foi possível compreender quais eram os recursos didáticos disponíveis aos alunos com deficiência visual, conforme a lista de recursos para Salas de Recursos Multifuncionais do Ministério da Educação (BRASIL, 2012). Cabe ressaltar que as salas eram bem iluminadas, com amplo espaço para desenvolvimento das atividades, e os materiais disponíveis aos alunos estavam em bom estado de conservação.

Dentre os recursos didáticos similares analisados, pode-se destacar: o livro didático adaptado no Sistema Braille; recursos produzidos artesanalmente (CERQUEIRA et al., 2017); imagens e mapas táteis (NOGUEIRA, 2009; GUAL et al., 2014); soroban (SÁ et al., 2010); Braille Bricks; réplicas poliméricas; recursos produzidos por fabricação digital (D'AGNANO et al., 2015; POHLMANN et al., 2016).

As entrevistas semiestruturadas foram realizadas com duas professoras de uma instituição de apoio a pessoas com deficiência visual do estado de Santa Catarina, a Associação Catarinense para Integração do Cego (ACIC). Também foi entrevistada a equipe do Centro de Apoio Pedagógico às Pessoas com Deficiência Visual do Rio Grande do Sul (CAP-RS), uma professora e psicopedagoga



da Faculdade de Educação da UFRGS e três professores do Atendimento Educacional Especializado (AEE) da rede pública estadual do Rio Grande do Sul.

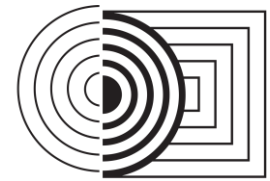
As entrevistas possibilitaram a expansão dos conhecimentos obtidos com a revisão de literatura e a compreensão de particularidades sobre as necessidades dos educadores e profissionais de apoio. Os profissionais entrevistados relataram suas percepções sobre os recursos disponíveis e as possibilidades de aprimoramento por meio da fabricação digital, principalmente com a tecnologia de impressão 3D. Os educadores entrevistados e a psicopedagoga e professora da Faculdade de Educação da UFRGS consideraram que os modelos impressos seriam benéficos para todos os alunos, não somente para os estudantes com deficiência visual.

Sobre o conteúdo a ser desenvolvido (as partes da flor e a reprodução das angiospermas), a psicopedagoga destacou a complexidade de desenvolver a explicação para os alunos com deficiência visual. Segundo a entrevistada, há um nível de complexidade em conteúdos que contém esquemas explicativos complementares com desenhos de vistas de um corte, como nas tradicionais ilustrações nos livros didáticos representando as partes internas da flor, que dificulta que os alunos com deficiência visual compreendam a explicação. A psicopedagoga também lembrou a importância da inserção de informações complementares, em faixas de audiodescrição e Braille, para promover a autonomia dos alunos na interpretação das peças. No entanto, ressaltou a necessidade de síntese destas informações, evitando detalhes que dificultassem a leitura tátil.

#### **4. Ideação**

As informações obtidas na etapa anterior foram convertidas em necessidades dos usuários, para posterior conversão em requisitos dos usuários e requisitos de projeto. Para tanto, foram consideradas as necessidades dos educadores e dos alunos. Os requisitos do projeto, conforme necessidades dos dois grupos, foram: ser multissensorial; com dimensões adequadas para possibilitar a explicação para a turma e a compreensão do significado das peças; estrutura de fácil transporte; modelo tridimensional dos elementos contidos na imagem; conter as informações sobre o conteúdo e as peças adaptadas para o Sistema Braille; audiodescrição exploratória das peças; audiodescrição do conteúdo referente às peças; elementos coloridos com cores contrastantes alinhadas ao significado tátil; dimensões adequadas para compreensão do significado das peças; elementos e acabamento superficial seguros; material resistente à exploração tátil e de manuseio simplificado.

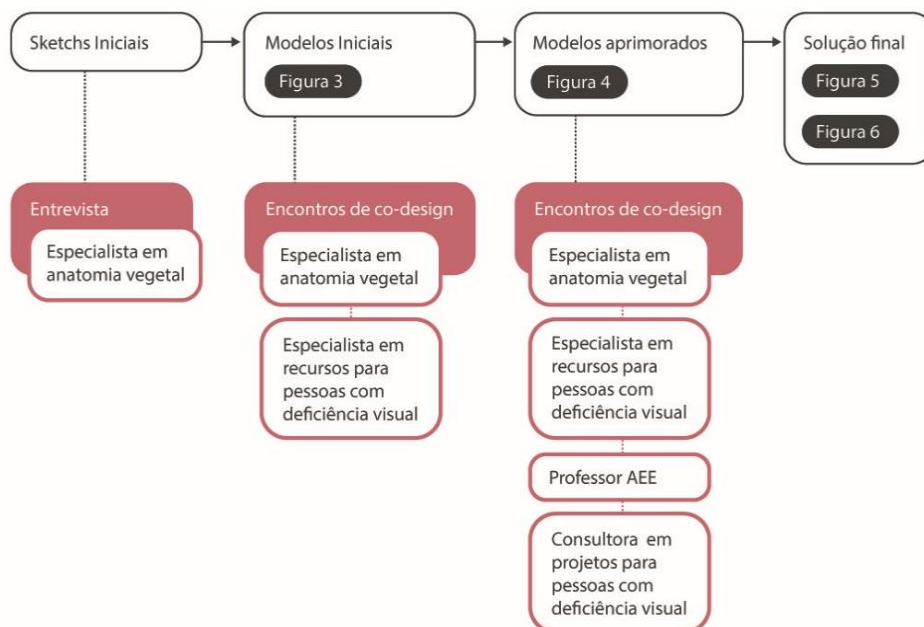
Para estabelecer o conceito do projeto, foi desenvolvido um mapa mental. No mapa desenvolvido foram selecionadas três palavras: ensinar, descobrir e incluir. O conceito do projeto corresponde ao conjunto dessas três palavras e a frase de Paulo Freire (1996): [...] ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção. Para van Boeijen (2014), o conceito corresponde ao raciocínio criativo que sustenta um projeto. O conceito é a ideia orientadora da ação de projetar.



A etapa de geração de alternativas iniciou com a produção de sketches iniciais. Considerando a complexidade das adaptações necessárias, foi realizada uma entrevista com uma docente dos cursos de Ciências Biológicas da UFRGS, especialista em anatomia vegetal, para apoio durante o desenvolvimento do projeto. O assessoramento durante os encontros de codesign contribuiu para a produção de uma adaptação para a tridimensionalidade que fosse capaz de atender também às necessidades dos professores de Ciências. A professora reforçou a inevitabilidade do desenvolvimento de abstrações durante a construção dos modelos. Conforme supracitado, essas abstrações são perceptíveis ao consultarmos as produções acadêmicas sobre o tema e as explicações disponíveis nos livros didáticos.

Além da especialista em anatomia vegetal, a etapa de geração e seleção de alternativas contou com a participação de outros especialistas e consultores. Participaram dos encontros iniciais a especialista em anatomia vegetal e um especialista no desenvolvimento de recursos para pessoas com deficiência visual. Duas pessoas com deficiência visual também foram consultadas durante essa etapa de desenvolvimento do projeto, um professor de AEE que havia sido entrevistado na etapa inicial e uma consultora e revisora de projetos para pessoas com deficiência visual. A figura 2 apresenta um esquema visual dos encontros e aprimoramento dos modelos durante esta etapa.

Figura 2 – Esquema visual das etapas de Geração e Seleção de Alternativas



Fonte: as autoras.

As representações gráficas foram adaptadas por meio de um modelo 2D (figura 3a) e de modelos 3D de um estame (figura 3b), de um pistilo com o ovário vazio (figura 3c) e de um pistilo contendo o ovário da flor com seis óvulos (figura 3d).

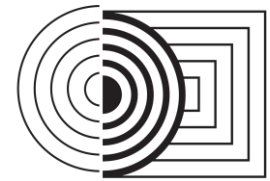
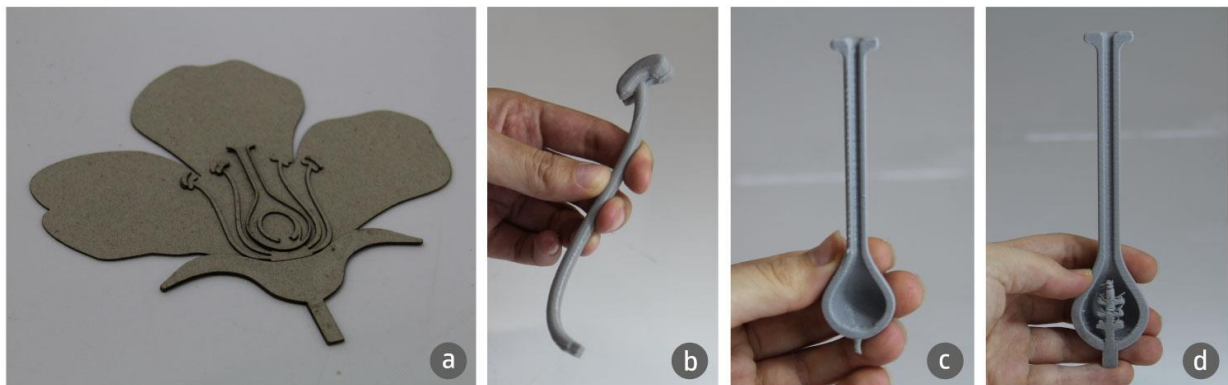


Figura 3 – Geração de alternativas bidimensionais e tridimensionais: modelo bidimensional da flor (a); estame (b); pistilo com ovário sem óvulos (c); pistilo com ovário e óvulos (d).



Fonte: as autoras.

A avaliação e o aprimoramento das alternativas geradas foram possíveis pela interação de especialistas e professores com os modelos. Nesse momento, foi discutida a complexidade de compreensão dos diferentes elementos contidos em um modelo 3D desmontável e a necessidade de descrever cada um dos elementos separadamente e estabelecer meios para a compreensão de cada uma das peças que estariam representando uma parte da flor.

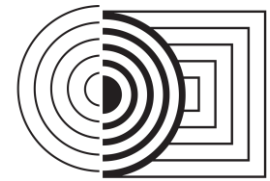
Os modelos aprimorados após estes encontros são apresentados na figura 4 e foram utilizados para os encontros de codesign subsequentes. Participaram dos encontros subsequentes os dois profissionais que haviam participado dos encontros anteriores, um professor com deficiência visual e uma consultora com deficiência visual, que trabalha na avaliação de projetos para pessoas com deficiência visual.

Figura 4 – Modelos aprimorados durante os encontros de codesign.



Fonte: as autoras.

Dentre as cinco alternativas apresentadas, os profissionais optaram pela solução que possuía a forma de uma caixa na qual cada parte da flor está disposta em um mesmo plano. Desta maneira, ao retirar a tampa da caixa, todas as peças ficam facilmente acessíveis aos usuários.

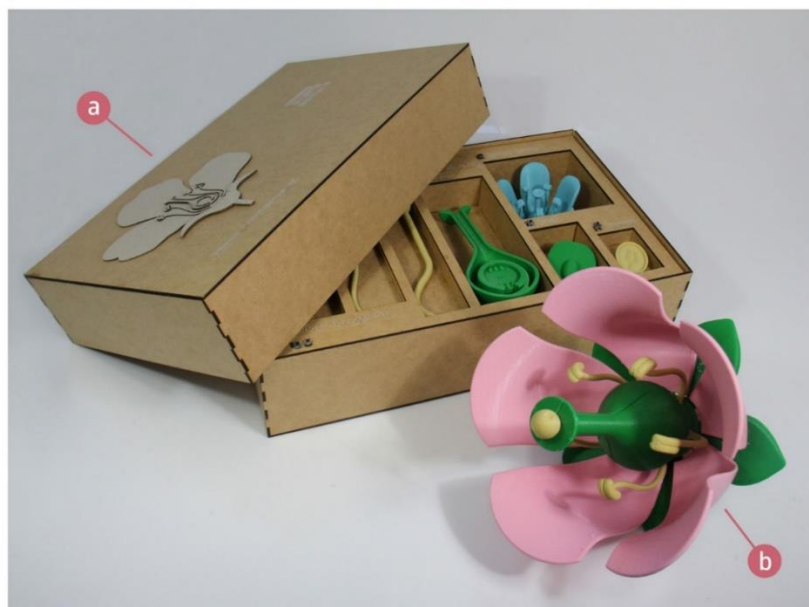


## 5. Implementação

A última etapa consistiu no detalhamento da solução escolhida, na modelagem tridimensional e no desenvolvimento de modelos funcionais para validação dos requisitos.

O recurso didático desenvolvido é composto por um modelo 3D de representação da flor e um conjunto contendo as partes da flor separadas, além de um sistema de audiodescrição. Os materiais que compõem o kit foram denominados como "Conjunto de Peças Individuais" (figura 5a) e "Modelo 3D Desmontável" (figura 5b).

Figura 5 - Conjunto de Peças Individuais (a) e Modelo 3D Desmontável (b).

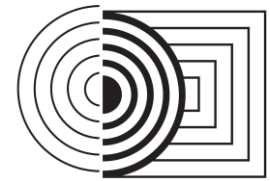


Fonte: as autoras.

O Conjunto de Peças Individuais (Figura 6) é um material para o estudo e amparo das necessidades e particularidades de cada aluno durante o acompanhamento da aula. O conjunto contém oito modelos impressos em 3D representando as partes da flor: cálice, sépala, pétala, estame, grão de pólen com o tubo polínico, pistilo, fruto e semente, semente e embrião. Além dessas oito partes, que podem ser exploradas separadamente, o Conjunto ainda dispõe de um modelo completo (figura 6m) que auxilia na compreensão da localização das partes na estrutura da flor. As peças estão organizadas em uma caixa com tampa – produzida por corte a laser – que acomoda os modelos e o sistema de audiodescrição. A flor em alto-relevo afixada na tampa também foi produzida por corte a laser.

A audiodescrição compreende informações sobre a reprodução das angiospermas e, também, sobre como as peças podem ser utilizadas em conjunto para aprimorar a compreensão do





conteúdo. As informações foram adaptadas em Braille e em fonte ampliada pelo Núcleo de Inclusão e Acessibilidade INCLUIR/UFRGS.

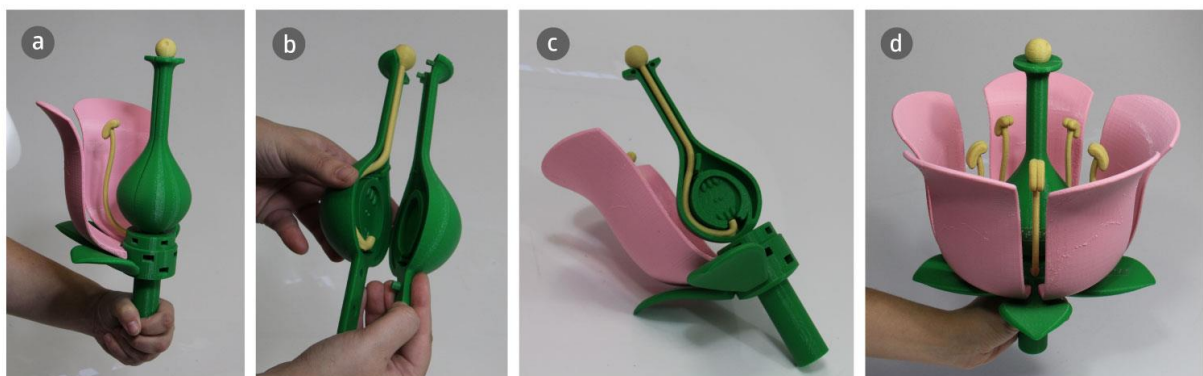
Figura 6 - Conjunto de Peças Individuais. (a) flor em alto-relevo; (b) cálice; (c) pétala; (d) conector para áudio; (e) controle de volume; (f) legenda em Braille; (g) grão de pólen e tubo polínico; (h) pistilo; (i) fruto e semente; (j) semente e embrião; (l) botão para faixa de audiodescrição; (m) modelo completo da flor; (n) sépala.



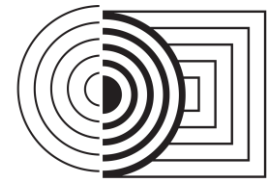
Fonte: as autoras.

Por sua vez, o Modelo 3D Desmontável (figura 7) é composto por: suporte, sépala, pétala, estame, grão de pólen com tubo polínico. Além destas, também há duas peças que, ao serem encaixadas, formam o pistilo (figura 7b).

Figura 7 – Fotos do modelo 3D desmontável da flor.



Fonte: as autoras.



A avaliação do kit "Conjunto de Peças Individuais" e "Modelo 3D Desmontável" foi realizada por três profissionais que trabalham na produção e revisão de materiais para alunos com deficiência visual da rede pública de ensino fundamental e superior. De acordo com os profissionais, a solução desenvolvida no projeto atende às necessidades dos usuários, fornece um material inovador para compreensão da flor e suas estruturas e elimina barreiras no acesso ao conhecimento.

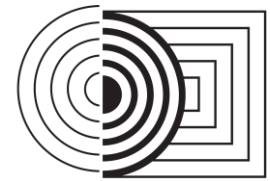
## **6. Considerações finais**

Apesar de assegurado por lei, o direito das pessoas com deficiência visual ao acesso à educação inclusiva em todos os níveis de ensino necessita da utilização de recursos adaptados. Os recursos didáticos disponíveis para os alunos com deficiência visual, majoritariamente, fornecem a adaptação do conteúdo por meio do Sistema Braille e da audiodescrição. Porém, em determinadas disciplinas, existem conteúdos cuja explicação é complementada por imagens, como no caso do ensino da flor e da reprodução das angiospermas. Então, para compreensão dessas imagens, os alunos com deficiência visual recebem uma descrição simplificada em Sistema Braille, o conteúdo audiodescrito, ou esquemas simplificados em alto relevo. Considerando as limitações da representação de um objeto somente por seus contornos ou descrição, torna-se essencial a utilização de um recurso que explore a tridimensionalidade e, ao mesmo tempo, estimule o desenvolvimento das habilidades táteis. A fabricação digital pode facilitar o desenvolvimento e o acesso a esses recursos.

O produto desenvolvido nesse trabalho consiste em um kit multissensorial para auxílio ao ensino da reprodução das angiospermas produzível por meio de fabricação digital. O kit permite o auxílio ao processo de ensino da flor e da reprodução das angiospermas, proporcionando ao professor duas ferramentas que auxiliam a explicação e oferecem novas possibilidades para o desenvolvimento de aulas inclusivas. Ao aluno, o produto fornece diferentes possibilidades de exploração de um material para compreensão e estudo do conteúdo ensinado.

A solução desenvolvida, da mesma forma como ocorre com os materiais de auxílio ao ensino disponíveis atualmente, não pretende substituir a presença do professor. Mesmo contendo características que permitem a exploração de maneira autônoma, o material utilizado pressupõe tal mediação.

Os encontros de codesign com profissionais de formações diversas foram essenciais para o aprimoramento das ideias e da adaptação das informações para que pudessem ser efetivas. O material foi desenvolvido de modo que possa ser disponibilizado em repositórios on-line e reproduzido por técnicas de fabricação digital. As partes que compõem o Conjunto de Peças e o Modelo 3D Desmontável podem ser fabricadas por meio de técnicas de impressão 3D. As peças que compõem a caixa que comporta os modelos e o sistema de audiodescrição podem ser fabricadas por meio do corte a laser. A solução desenvolvida demonstra o potencial da fabricação



digital para produção e aprimoramento de ferramentas de ensino e redução do tempo de produção destes recursos, que são habitualmente elaborados manualmente.

### Agradecimentos

As autoras gostariam de agradecer pelas contribuições de todos os profissionais que auxiliaram no desenvolvimento deste projeto. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## 7. Referências Bibliográficas

ADAM, Dominique Leite; MACEDO, Claudia Mara Scudelari de. A imagem como veículo de acesso à informação em objetos de aprendizagem para deficientes visuais. **InfoDesign-Revista Brasileira de Design da Informação**, v. 10, n. 2, p. 176-192, 2013. DOI: doi.org/10.51358/id.v10i2.197

APH. Tactile Graphic Image Library, American Printing House, (APH), 2019. Disponível em: <https://imagelibrary.aph.org/aphb/>

BACK, Nelson *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Malone, p. 435-482, 2008.

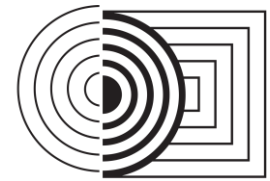
BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Censo da educação básica 2020: Resumo Técnico – Brasília: Inep, 2021. 70 p. Disponível em: [https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas\\_e\\_indicadores/resumo\\_tecnico\\_censo\\_escolar\\_2020.pdf](https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2020.pdf).

BRASIL. Ministério da Educação, Documento orientador programa de implantação de salas de recursos multifuncionais. 2012. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=11037-doc-orientador-multifuncionais-pdf&category\\_slug=junho-2012-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=11037-doc-orientador-multifuncionais-pdf&category_slug=junho-2012-pdf&Itemid=30192)

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Censo da educação básica 2020: Resumo Técnico – Brasília: Inep, 2021. 70 p.** Disponível em: [https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas\\_e\\_indicadores/resumo\\_tecnico\\_censo\\_escolar\\_2020.pdf](https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2020.pdf).

BROWN, Tim. Design Thinking. **Harvard Business Review**, Cambridge, EUA, p. 8492, 2008. Disponível em: <https://www.ideo.com/post/design-thinking-inharvardbusiness-review>.

CERQUEIRA, Bruno Rafael Santos *et al.* O ensino da primeira lei de Mendel: uma proposta multissensorial para inclusão de estudantes com baixa visão. **Enseñanza de las ciencias**, n. Extra, p. 5401-5408, 2017.



D'AGNANO, F. *et al.* Tooteko: A case study of augmented reality for an accessible cultural heritage. Digitization, 3D printing and sensors for an audio-tactile experience. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, n. 5, p. 207, 2015. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-207-2015

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática docente*. São Paulo: Paz e Terra, p. 25, 1996.

IDEO. **Human-Centered Design: Kit de Ferramentas**. 2. ed. IDEO, 2009. 105 p.

GUAL, Jaume; PUYUELO, Marina; LLOVERAS, Joaquim. Three-dimensional tactile symbols produced by 3D Printing: Improving the process of memorizing a tactile map key. **British Journal of Visual Impairment**, v. 32, n. 3, p. 263-278, 2014. DOI: doi.org/10.1177/0264619614540291

NOGUEIRA, Ruth Emilia. Mapas táteis padronizados e acessíveis na web. **Revista Benjamin Constant**, Rio de Janeiro, v. 15, p. 16-27, 2009.

POHLMANN, Mariana *et al.* Fabricação digital para auxiliar no ensino-aprendizado de alunos com deficiência visual: estudo de caso dos sistemas nanoestruturados. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 9, p. 2389-2396, 2016. DOI: 10.5151/despro-ped2016-0204

SÁ, Elizabet Dias De; SILVA, Myriam Beatriz Campolina; SIMÃO, Valdirene Stiegler. **Atendimento educacional especializado do aluno com deficiência visual**. 1 ed. São Paulo: Moderna, 2010.

SILVA, Regiana Sousa (org.); SALES, Fábio Henrique Silva (org.). **Um olhar inclusivo sobre o ensino das ciências e da matemática**. 1 ed. Curitiba: Editora Appris Ltda, 2017.

SILVA, Tatiane Santos; LANDIM, Myrna Friederichs; SOUZA, Verônica dos Reis Mariano. A utilização de recursos didáticos no processo de ensino e aprendizagem de ciências de alunos com deficiência visual. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC)**, v. 13, n.1, p. 32-47, 2014.

VAN BOEIJEN, Annemiek *et al.* **Delft design guide: Design strategies and methods**, 2014.

WHO. *Blindness and vision impairment*, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>