

Experimentação acessível: a *design science* na prototipagem de tecnologia assistiva para alunos com deficiência visual

Claudio R. Machado Benite, Florisbello Magalhães Rodovalho, Fernanda Araújo França e Anna M. Canavarro Benite



Para que estudantes com deficiência visual (DV) aprendam, as informações precisam ser acessadas pelos demais sentidos que não a visão. Neste estudo, professores em formação refletem sobre a prática pedagógica no atendimento educacional especializado visando a busca de soluções para a inclusão de estudantes com DV em experimento de transferência de volume. Pautados na pesquisa participante, fundamentamo-nos na *design science* para projetar e fazer a prototipagem de um adaptador de pipetador que auxilie na autonomia dos estudantes com DV nesses experimentos, atuando como tecnologia assistiva. Nossos resultados demonstram que propostas de formação como esta podem auxiliar em atuações docentes mais equitativas, no ensino básico e superior, bem como repensar um perfil de formação que possibilite o atendimento a políticas públicas inclusivas.

► educação especial/inclusiva, STEAM, adaptador de pipetador ◀

Recebido em 04/07/2024; aceito em 10/03/2025

Pipeta: breve relato sobre a origem e constituição

O vidro é um material com diversas propriedades e composições que o fazem ser muito utilizado nas atividades humanas. Segundo Maia (2003), o processo de fabricação do vidro não tem datação conhecida:

o vidro já era utilizado pelos nossos ancestrais na Idade da Pedra sob sua forma natural, que é uma rocha vulcânica, conhecida pelo nome de “Obsidiana” [...], um vidro natural. Foi utilizada para fabricação de pontas de lanças, de flechas e facas. Essas peças feitas de obsidiana têm sido encontradas nas mais diferentes partes do mundo, como Patagônia, México, Estados Unidos, Europa e Ásia (Maia, 2003, p. 3).

Apesar da diversidade de composições e propriedades, o vidro é composto principalmente pelo silício, elemento químico que “está presente em grande abundância na crosta terrestre, seja como sílica, ou óxido de silício, que ocorre naturalmente como areia ou quartzo, ou na forma de silicatos” (Silva e Filgueiras, 2023, p. 491).

Na Química, há séculos o vidro “é o material usado como suporte para uma infinidade de operações” (Silva

e Filgueiras, 2023, p. 491) e no período da Renascença “penetrou maciçamente nos instrumentos e recipientes dos laboratórios alquímicos e químicos” (Silva e Filgueiras, 2023, p. 493). No século XVII, os laboratórios foram se transformando em ambientes mais organizados, amplos, luminosos e ventilados para que os instrumentos de metal, saís e rótulos dos frascos não se deteriorassem e as vidrarias passaram a ser dispostas em prateleiras para que fossem melhor aproveitadas (Viel, 2009). Naquela época, muitos dos instrumentos de laboratório eram feitos por artesãos não especializados, e as vidrarias eram pouco resistentes a calor e frio (Beretta, 2014).

Com o tempo, o vidro passou a ser produzido com maior resistência mecânica, sendo chamado de vidro temperado: esse é um vidro de segurança, produzido por tratamentos químico e térmico que introduz tensões controladas no material, com o objetivo de aumentar sua resistência a impacto e abrasão. Foi utilizado na fabricação de pipetas, instrumentos de vidro dos mais usados em experimentos, auxiliando na medida e transferência de substâncias líquidas com precisão (Silva e Filgueiras, 2023; Maia, 2003).

Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), químico e físico francês, foi quem pela primeira vez adotou a expressão “pipeta” (derivada de *pipe*, que significa flauta em francês)

numa prática de padronização de soluções (Oliveira *et al.*, 2018). Atualmente, as pipetas, como os demais instrumentos de vidro dos laboratórios, são fabricadas com borossilicato (Alves *et al.*, 2001).

As pipetas podem ser de vários tipos (pasteur, monocal, multicanal, digital), mas as graduadas e volumétricas de vidro são as comumente utilizadas em atividades experimentais de ensino e pesquisa. A pipeta graduada “é um tubo longo e estreito, aberto nas duas extremidades, marcado com linhas horizontais que constituem uma escala” (Pinto, 2015, p. 91), possibilitando medidas variadas de volumes. Já a pipeta volumétrica permite escoar com precisão apenas uma quantidade específica de volume.

Para obter uma medida precisa, a substância deve ser sorvida pela pipeta com a ajuda de um pompete, também conhecido como pera (bulbo de borracha que é encaixado na parte superior da pipeta), até alcançar a quantidade necessária do líquido. A precisão na medida do volume está atrelada a aferição visual da curva formada na superfície no líquido, conhecida por menisco (efeito provocado pela atração intermolecular entre as moléculas do vidro e do líquido), atividade que exige habilidades manuais e visuais para atuar nos experimentos.

Experimentação acessível: uma nova perspectiva de formação e ação docente em química

As aulas práticas de laboratório dos cursos de Química, no ensino básico ou superior, ocorrem num espaço “cercado por vidrarias, produtos químicos, instrumentos de medida e equipamentos” (Maggioni *et al.*, 2021, p. 4), um ambiente fascinante voltado para descobertas, apropriação de conhecimentos e desenvolvimento de atitudes científicas, sob condições controladas. No entanto, mesmo com os avanços teóricos, técnicos e tecnológicos que contribuem para o desenvolvimento das Ciências Experimentais e de novas e diversificadas formas de experimentar, a observação visual ainda é o principal canal de obtenção de informações e interpretação teórica dos experimentos, seja para a aprendizagem ou construção de novos conhecimentos (Benite *et al.*, 2017b). Por conseguinte, estudantes com deficiência visual têm dificuldades ou não costumam participar dessas atividades, pois, dentre outras limitações, dificilmente conseguem realizar medições, tornando o experimento uma atividade excludente para esse público.

Situação posta, alertamos para o fato de que já se passaram quase três décadas dos primeiros documentos oficiais (Brasil, 1996; 2002) apontarem “a relevância do desenvolvimento de um processo de ensino e aprendizagem

que contemple as necessidades educacionais especiais” (Gonçalves *et al.*, 2013, p. 264) e ainda são poucas as contribuições de pesquisas voltadas para a formação e ação docente no âmbito da educação especial/inclusiva.

Dentre as políticas públicas para pessoas com deficiência implementadas em instituições federais de ensino, o Programa de Acessibilidade na Educação Superior (Incluir), publicado em 2005 pelo Governo Federal, ganhou amplitude nacional em 2012, fomentando editais de apoio a ações com o objetivo de garantir o acesso, permanência e sucesso de pessoas com deficiência na educação superior, bem como a “aquisição e desenvolvimento de material didático e pedagógico acessíveis e adequação de mobiliários para acessibilidade” (Guedes e Maciel, 2022, p. 55). Outros dispositivos legais são a Lei nº. 12.711 de 2012 (conhecida como Lei de Cotas), a Lei nº. 13.146 de 2015 que institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência) e a Lei nº. 14.723 de 2023 que revisa a Lei 12.711 e dispõe acerca do programa especial de mecanismo de ingresso do cotista em instituições federais de educação superior e de ensino técnico de nível médio, possibilitando o acesso a “estudantes pretos, pardos, indígenas e quilombolas e de pessoa com deficiência, bem como daqueles que tenham cursado integralmente o ensino médio ou fundamental em escola pública” (Brasil, 2023, p. 1).

A Lei de Cotas e demais leis citadas são os resultados da luta de movimentos sociais em defesa do acesso aos ensinos técnico e superior das referidas instituições por meio da reserva de vagas, por curso e turno, em cada processo seletivo, ou seja, concedendo oportunidade aos excluídos na tentativa de reparação dos danos causados por uma injusta cultura educacional (Rodrigues *et al.*, 2019, p. 79).

Em face do exposto, surge o seguinte questionamento: de

[...] a observação visual ainda é o principal canal de obtenção de informações e interpretação teórica dos experimentos, seja para a aprendizagem ou construção de novos conhecimentos (Benite *et al.*, 2017b). Por conseguinte, estudantes com deficiência visual têm dificuldades ou não costumam participar dessas atividades, pois, dentre outras limitações, dificilmente conseguem realizar medições, tornando o experimento uma atividade excludente para esse público.

que maneira os cursos de Química podem repensar suas ações para atendimento a políticas públicas, incentivando professores a refletirem sobre a presença de pessoas com deficiência nas aulas para a significação de novas concepções de práticas pedagógicas que atendam a educação inclusiva?

Defendemos neste estudo que um dos papéis do professor é levantar discussões que ponderem a importância de atendimento à diversidade de sala de aula e pensar em estratégias que propor-

cionem um ensino equitativo. Um exemplo é a inclusão de estudantes com deficiência visual (DV) em todas as etapas das aulas experimentais, possibilitando a utilização dos demais sentidos como meio de acesso aos dados empíricos a partir da manipulação autônoma de instrumentos de laboratório visando a interpretação teórica do fenômeno reproduzido objetivando a compreensão do conteúdo estudado (Benite *et al.*, 2017a).

Baseados em Vygotsky (2005), argumentamos que as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos instrumentos de laboratório são atributos que devem servir para agir sobre a matéria, de acordo com as exigências dos experimentos, mas, também, das características dos sujeitos que os manipulam (Benite *et al.*, 2017a). Posto isto, como os DV vão manipular e transferir líquidos em pipetas convencionais se o volume pipetado depende da visão para conferir precisão?

Em face de tais conjecturas, este estudo visa desvelar contribuições da *design science* na formação de professores de Química para atuarem no âmbito da educação especial/inclusiva. Pautados em reflexões da prática pedagógica na educação especial, professores (formador e em formação) se basearam na *design science* para criar estratégias de ensino e recursos didáticos que incluam DV em experimentos. Como resultado dessa investigação, serão discutidos aspectos do *design* e a prototipagem rápida de um adaptador de pipetador criado por professores em formação inicial que serve de tecnologia assistiva (TA) para a inclusão de DV em experimentos de medida e transferência de volumes.

Articulando a pesquisa participante e a *design science* como proposta formativa de professores de química

Fundamentados em Le Boterf (1999), este estudo contém elementos da pesquisa participante, pois, ao se propor investigações na ação docente, “a análise crítica da realidade e a realização de ações programadas conduzem a descobertas de outras necessidades e de outras dimensões da realidade” (p. 68). A escolha pela Pesquisa Participante é por oportunizar ao professor investigar e compreender situações singulares da prática docente visando transformá-la, pois o domínio do saber empodera e fomenta o projeto de transformação social, atendendo as necessidades reais das populações oprimidas (Tandon, 2005).

Sendo a educação um direito de todos e levando em conta a heterogeneidade da sala de aula comum (ensino básico e superior) defendemos como essenciais nos cursos de licenciatura propostas de formação e ação docente por meio de projetos de pesquisas que discutam as demandas da inclusão considerando as especificidades dos estudantes e as características das Ciências a serem ensinadas. Além disso,

precisamos buscar conhecimento para trabalhar com os mais diversos recursos tecnológicos, para que possamos escolher quais são os mais adequados às necessidades de cada aluno. Portanto, temos de estar sempre “antenados” nos novos recursos e nas novas metodologias de trabalho, desenvolvendo nosso senso de curiosidade e nosso espírito de pesquisa (Kleina, 2012, p. 31).

Design science é a “Ciência que procura desenvolver e projetar soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas, ou ainda, criar novos artefatos que contribuam para melhor atuação humana, seja na sociedade, seja nas organizações” (Dresch, 2013, p. 85).

Segundo Simon (1996), as Ciências da Natureza abrangem conhecimentos sobre a matéria, suas transformações e os fenômenos no mundo. Tratam de suas características e propriedades e como as coisas, os corpos e objetos se comportam e interagem uns com os outros. Contudo, o mundo também é composto por constructos artificiais, artefatos desenvolvidos e aprimorados para atenderem e satisfazerem as necessidades humanas. Ou seja, se as Ciências da Natureza se preocupam em explicar como são as coisas, a Ciência do Artificial (que envolve áreas do conhecimento como Sistemas de Informação, Engenharia e *Design*) se ocupa de como as coisas devem ser para atender a necessidades específicas.

Neste estudo, propomos a articulação entre a Química e as áreas de Engenharia e *Design* para discutir estratégias de ensino e para projetar artefatos com propriedades específicas que atendam as necessidades da inclusão. Para isso, apoiamos-nos na *design science* como caminho estrutural da relação teoria-prática para a produção de conhecimentos acerca do ensino de Química e criação de TA para a inclusão de DV em aulas experimentais.

Segundo o Comitê de Ajudas Técnicas do Ministério da Educação, a TA é uma área do conhecimento que reúne recursos, metodologias, estratégias e práticas que auxiliem as ações de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida a atuarem com autonomia, visando a inclusão e a qualidade de vida (Benite *et al.*, 2017a). *Design science* é a “Ciência que procura desenvolver e projetar soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas, ou ainda, criar novos artefatos que contribuam para melhor atuação humana, seja na sociedade, seja nas organizações” (Dresch, 2013, p. 85).

Neste escopo reiteramos a pesquisa participante como via de sistematização metodológica de investigação que, articulada à *design science*, possibilita uma formação docente (Figura 1) que contribua com a construção de conhecimentos científicos e tecnológicos com foco no público da educação especial (setor minorizado da sociedade) comumente invisibilizados nas instituições de ensino básico e superior, objetivando novas práticas orientadas e transformadoras.

Para a coleta de dados, aulas de Química para DV foram ministradas semanalmente, em uma instituição pública de atendimento educacional especializado, por professores em formação continuada e inicial, ambos do nosso Laboratório de Pesquisas, gravadas em áudio e vídeo para posterior transcrição e análise da conversação (Marcuschi, 2003).

Acompanhados pelos professores formador e da educação especial da instituição, reflexões teóricas sobre as dificuldades enfrentadas pelos DV em experimentos viram pressupostos para a elaboração de projetos de pesquisa (1ª e 2ª fases da pesquisa participante - montagem institucional e metodológica da pesquisa e estudo da população envolvida,

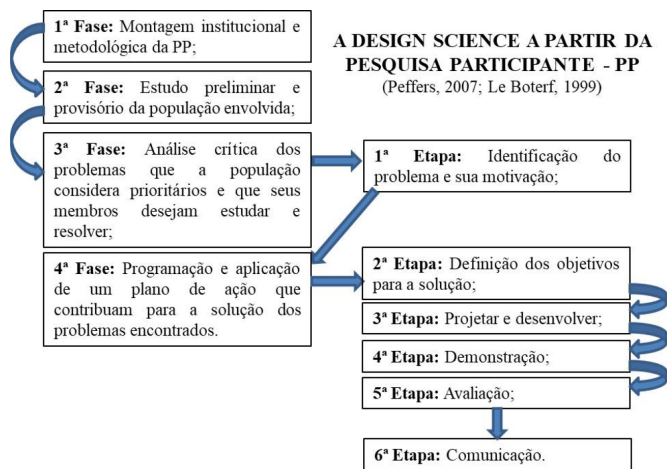


Figura 1: Articulação entre a pesquisa participante e a *design science* como proposta de formação docente em Química pela pesquisa. Fonte: Peffers *et al.*, 2007; Le Boterf, 1999.

respectivamente). Se para os professores em formação inicial e continuada tais reflexões intervêm na constituição docente para atuar numa perspectiva inclusiva, para os professores formadores elas podem fundamentar uma possível ressignificação da formação ofertada pelo curso.

Baseados em Simon (1996, p. 198), as dificuldades identificadas por professores em formação continuada e inicial na análise das transcrições (3ª fase da pesquisa participante - análise crítica dos problemas considerados prioritários) orientam “o quê e como as coisas devem ser, a concepção de artefatos que realizem objetivos” (1ª etapa da *design science* - identificação dos problemas e motivações para resolvê-los); o planejamento de estratégias de ensino e recursos didáticos inclusivos.

Nessa dinâmica, para além da apropriação de novas concepções acerca do trabalho docente para atuar na inclusão (4ª fase da pesquisa participante - programação e aplicação de um plano de ação para a solução dos problemas encontrados), a análise serve de pressuposto para a criação de TA (2ª etapa da *design science* - definição dos objetivos da TA para a solução) fundamentando o *design*, a prototipagem 3D (*hardware*) e a funcionalidade (*software*) de artefatos (3ª etapa da *design science* - projetar e desenvolver TA) que são testados e avaliados *in loco* (4ª e 5ª etapas da *design science* - testagem e avaliação) e, posteriormente, validados pelos próprios DV em aulas experimentais (6ª etapa da *design science* - comunicação/validação pelo público a quem foi destinado o artefato).

Assim, os professores em formação têm a oportunidade de planejar intervenções e criar artefatos que atendam às necessidades dos DV nos experimentos, no ensino básico e superior, auxiliados por uma equipe multidisciplinar do Laboratório de Pesquisas em Educação Química e Inclusão (LPEQI), minimizando as barreiras impostas pela deficiência e promovendo a autonomia de ambos no processo de ensino.

Neste estudo, o artefato criado foi um adaptador de pipetador visando a autonomia dos DV na transferência de líquidos com precisão. O artefato foi testado *in loco* por

um dos membros da equipe multidisciplinar do LPEQI que possui deficiência visual. Posteriormente, o mesmo foi usado numa aula de atendimento educacional especializado e validado por seis DV com variados graus de deficiência e cegueira total.

Design e prototipagem 3D: projetando tecnologia assistiva para a experimentação acessível

A Química é uma Ciência teórico-prática que usa ferramentas culturais específicas (modelos, vidrarias e equipamentos) para a obtenção de dados empíricos para a construção de conhecimentos, estudos e desenvolvimento de habilidades técnicas (Benite *et al.*, 2017b). Em aulas práticas, os estudantes comumente são distribuídos em grupos para a realização de experimentos guiados por roteiros experimentais. Em um primeiro momento da aula ocorre a realização do experimento pelos alunos que anotam os dados empíricos do fenômeno reproduzido, coletados, geralmente, por observação visual, tipo de linguagem não verbal. No segundo momento ocorre a interpretação teórica dos dados obtidos que vão contribuir para a elaboração conceitual, com o auxílio do professor, por meio da linguagem verbal (Villani e Nascimento, 2003; Souza *et al.*, 2014).

Sobre os dois tipos de linguagem, apesar de ambas expressarem sentidos, a verbal é constituída de palavras e frases, signos escritos ou falados – como nas discussões conceituais e nos roteiros experimentais. A linguagem não verbal é composta por signos como sons, formas, texturas e imagens – como da observação audiovisual da ocorrência do fenômeno (Souza *et al.*, 2014). Em aulas de Química para DV envolvendo experimentos, dentre os vários desafios da docência, destacamos a dificuldade do estabelecimento da comunicação envolvendo os dois tipos de linguagem que comumente exploram a visão como canal perceptual, necessitando, assim, de estímulos para o acesso por outros sentidos.

Para a compreensão do formato de comunicação professor-DV argumentamos como essencial a realização de estudos *in loco* que nos permitirão compreensões mais minuciosas acerca das necessidades desse público. Na escolha da TA para um DV, “devemos sempre considerar as peculiaridades e as reais condições que essa pessoa apresenta [...] para podemos definir com maior probabilidade de acerto o dispositivo, o equipamento ou o programa que será mais adequado” (Kleina, 2012, p. 34-35).

O estudante com visão subnormal comumente apresenta dificuldades de acesso às informações dos roteiros experimentais e de observação e interpretação da dinâmica audiovisual do fenômeno reproduzido no experimento e suas variáveis, como: cores, volumes, quantidades, medidas, entre outros. Por isso, devem ser usados recursos especiais, ópticos e não ópticos.

Os recursos ópticos são equipamentos que aumentam as imagens, como óculos com lentes especiais e lupas (manuais e eletrônicas). Os recursos não ópticos são modificações

realizadas nos materiais, como ampliação de textos e imagens, configuração de fontes e contrastes em computadores, aumento da iluminação local, distância adequada da fonte de informação e uso da escrita braille.

Para estudantes cegos são necessários equipamentos específicos, domínio dos códigos de escrita e leitura tátil, como o braille e o sorobã pra cálculos básicos, e dispositivos como gravador de voz e *softwares* específicos (Kleina, 2012).

Em vista disso, defendemos que uma proposta de formação docente em Química para a inclusão deve ir além da compreensão de como trabalhar com a diversidade (dificuldades, particularidades e potencialidades). Os professores também devem aprender a “lidar com os desafios contemporâneos, ajudando a pensar uma educação que, sem abandonar a excelência acadêmica, também desenvolva competências importantes, como a criatividade, o pensamento crítico, a comunicação e a colaboração” (Bacich e Holanda, 2020, p. 2), aspectos da abordagem STEAM – acrônimo da integração entre as áreas de Ciências, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática, que deve focar a formação crítica e o desenvolvimento de habilidades para a criação de soluções coletivas e inovadoras para problemas reais (Quigley e Herro, 2016).

De posse dos resultados da análise acerca das dificuldades apresentadas pelos DV na pipetagem, diversas reuniões foram realizadas entre os professores em formação e a equipe multidisciplinar do LPEQI para se chegar ao modelo de artefato que atuasse como TA. Segundo Gill e Hevner (2011), um artefato é “uma representação simbólica ou uma instanciação física dos conceitos de design” (p. 238). Para Simon (1996), um artefato é algo artificial construído pelo ser humano, mas submetido às leis naturais que são fundamentadas pelas Ciências tradicionais e pensados em termos descritivos e imperativos. Os termos descritivos se referem ao detalhamento e informações dos componentes do artefato e os imperativos dizem respeito às normativas de sua construção e aplicação.

No *design*, “forma segue a função”, frase criada pelo arquiteto Louis H. Sullivan, em 1896, que é um dos princípios da arquitetura moderna, entendendo que o *design*

deve ser orientado pela sua função e propósito. A função diz respeito ao “desempenho, incluindo todos os aspectos inerentes ao utilizador, desde as aptidões às limitações do mesmo; e aos aspectos físicos de produção, desde a seleção do material à construção, portanto os custos e a realização do produto” (Palhais, 2015, p. 35). Quanto ao propósito, o artefato assume o papel de interface entre seu objetivo, seu caráter e o ambiente de funcionamento.

Sobre a criação de um artefato, Gill e Hevner (2011) argumentam que ele deve atender a quatro aspectos: viabilidade – se o artefato é passível de implementação; utilidade – os benefícios para os usuários; representação – formato mais adequado para comunicação dos conceitos; e construção – orientação para implementação no contexto real.

Sobre a criação de um artefato, Gill e Hevner (2011) argumentam que ele deve atender a quatro aspectos: viabilidade – se o artefato é passível de implementação; utilidade – os benefícios para os usuários; representação – formato mais adequado para comunicação dos conceitos; e construção – orientação para implementação no contexto real.

Após procuras na internet, um pipetador comercial foi selecionado pelos professores em formação como instrumento adequado para adaptação (a *viabilidade*) devido a suas características de manuseio, custo, facilidade de ajustes e disponibilidade no mercado, características da *design science*. O adaptador (Figura 2) foi projetado

para limitar o volume sorvido pelo pipetador, identificado por meio do tato do DV (a *representação*).

O modelo foi elaborado num *software* modelador FreeCAD, livre e de código aberto, e a prototipagem, em impressão 3D (a *construção*), buscando resultados que satisfizessem ao contexto no qual o problema se instaurou: a experimentação no ensino de Química com a participação ativa de DV (a *utilidade*) (Gill e Hevner, 2011).

Prototipagem é o termo usado para “designar um processo de construção. O resultado é um modelo sobre o qual podem ser efetuadas análises e que eventualmente irá ser a base do produto final” (Palhais, 2015, p. 31). Como ferramenta do design, os *softwares* CAD são um tipo de desenho técnico digital que modela o projeto em três dimensões de maneira detalhada no computador e que se comunica com a impressora 3D para a prototipagem do artefato. Sobre a qualidade da impressão 3D, Paula e Del Vecchio (2020) argumentam que ela provém da “complexidade com que o objeto tridimensional é desenhado” (p. 110). Para os autores, todo artefato 3D é baseado em formas geométricas poligonais que,

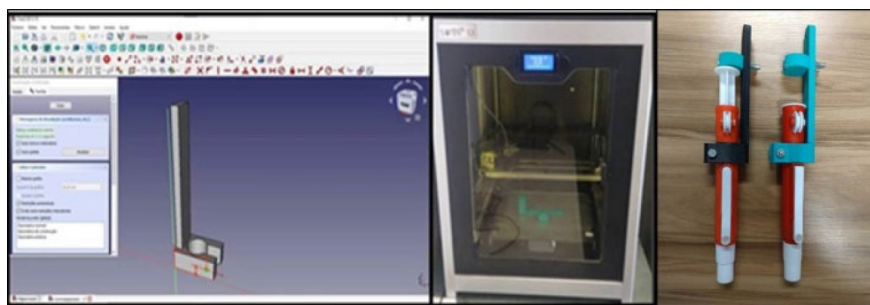


Figura 2: *Design* e impressão 3D do adaptador de pipetador. Fonte: autoria própria.

juntas, formam seus detalhes (ou seja, os polígonos são o menor elemento de uma forma 3D). Na prática, quanto mais polígonos são usados, maior a complexidade do objeto e, conseqüentemente, maior a necessidade de processamento por parte do computador, ou de precisão por parte da impressora (Paula e Del Vecchio, 2020, p. 110).

O protótipo criado tem dimensões de 15cm x 3cm x 5cm e, preso ao pipetador, atua como limitador de volumes. Para isso, deve ser calibrado previamente pelo técnico (em aulas de laboratório) ou professor (na sala de aula comum), de acordo com o volume previsto para o experimento. Para aspirar o reagente basta girar a roldana do pipetador até o êmbolo encostar na trava, permitindo ao aluno perceber pelo tato o limite do volume necessário. Para escoar o líquido basta apertar a trava abaixo da roldana e aguardar o término da transferência. Por fim, para retornar a roldana à posição original, é só girá-la no sentido inverso até que o êmbolo alcance o fim do curso.

O processo de validação do pipetador por DV

Os resultados apresentados aqui demonstram que a dinâmica de criação de um artefato (modelo sendo transformado em TA) de laboratório a partir de uma investigação realizada por professores de Química em formação continuada e inicial já é parte de sua validade. Isso porque refletem vivências de práticas de laboratório com o propósito de entender as funções do sistema visual na realização do experimento e interpretação teórica dos dados empíricos obtidos que são “permitir a construção de um modelo de representação interna do mundo que serve como fundamento perceptual de todo o pensamento derivado da visão e nos fornecer controle sensorial distal das nossas ações visualmente guiadas” (Marques e Mendes, 2014, p. 17), barreiras que dificultam as participações dos DV nessas atividades.

Todavia, o artefato precisa atender aos objetivos desejados, cumprindo sua função e, por isso, deve ser avaliado. Para este estudo usamos, inicialmente, a avaliação experimental que, segundo Hevner e colaboradores (2004), pode ser realizada no laboratório por meio de experimentos controlados ou simulados, utilizando “*mock-ups* (modelos construídos em tamanho real) que visam representar um ambiente real a fim de verificar e demonstrar o comportamento do artefato a ser avaliado” (Dresch, Lacerda e Antunes Jr., 2015, p. 97).

Os testes *in loco* do pipetador com adaptador foram feitos pelo membro da equipe multidisciplinar do LPEQI que possui baixa visão, permitindo identificar o quanto os recursos tecnológicos (TA) podem auxiliar os DV na “superação de barreiras que impedem ou restringem o acesso à informação, à comunicação, à apropriação e à construção de novos conhecimentos. Esses recursos possibilitam o desenvolvimento de atividades de forma mais rápida e eficaz” (Sá *et al.*, 2010, p. 39). A sequência de imagens a seguir demonstra as etapas

do teste de pipetagem atendendo ao propósito do modelo pensado pelos professores em formação com a ajuda da equipe multidisciplinar LPEQI (Figura 3).

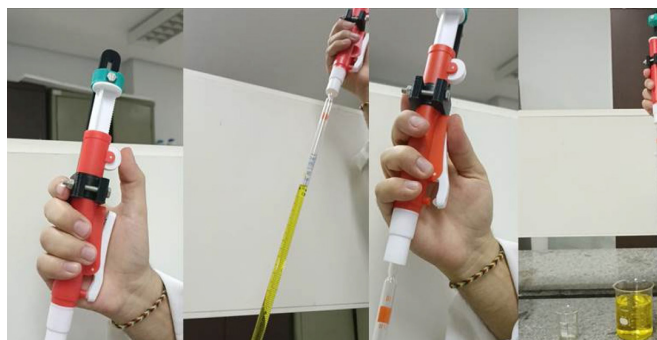


Figura 3: Pipetagem realizada por DV como simulação/avaliação experimental. Fonte: autoria própria.

Após a simulação realizada no laboratório foi planejada uma aula com o uso do artefato para a avaliação descritiva por professores em formação continuada e inicial que buscou “demonstrar a utilidade do artefato desenvolvido. Para tanto, o pesquisador poderá fazer uso de argumentos existentes na literatura ou construir cenários para procurar demonstrar a utilidade do artefato em diferentes contextos” (Dresch, Lacerda e Antunes Jr., 2015, p. 98).

Uma aula foi planejada pelos professores em formação continuada e inicial (PFC e PFI) para ser realizada na instituição de atendimento educacional especializado, objetivando discutir medidas volumétricas dos líquidos. Pautada no sentido tátil, a atividade permitiu aos DV praticarem transferências de líquidos para atuarem de maneira ativa nesses experimentos, como apresentado no diálogo a seguir:

Extrato 1

Turno 25 - PFC: A1, com uma das mãos você vai sentir e segurar a pipeta, com a outra você vai pipetar. Gire a roldana até travar.

Turno 27 - DV1: Essa rodinha em cima é para girar, né? Travou.

Turno 28 - PFC: Então, tem 10mL. Agora, você vai transferir para o béquer. Sinta o béquer do lado, coloca a pipeta dentro e gire ao contrário.

Turno 30 - DV3: Pode tirar a pipeta daqui, professora?

Turno 31 - PFC: A3, pode tirar. Você fez três vezes, quantos mL têm no béquer agora?

Turno 34 - A2: 30mL.

Nessa aula, PFC e PFI exploraram o tato, sensibilidade cutânea e sentido cinestésico (Figura 4), para entender a estrutura do equipamento e como manuseá-lo (Turno 25, 28 e 31).

A sensibilidade cutânea possibilita aos DV perceberem tamanhos, formas e texturas daquilo que estimula a pele com o contato (Turno 27). Já o sentido cinestésico, sentido de movimento (Turno 30) ou proprioceptivo, auxilia na

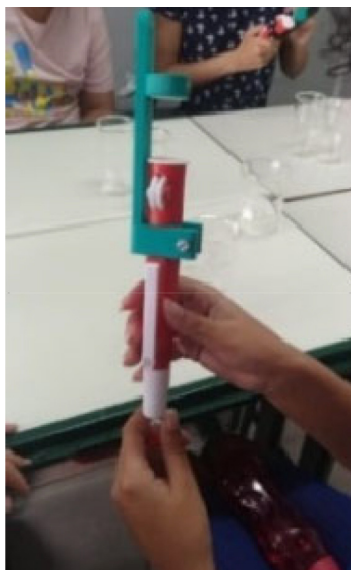


Figura 4: Validação do artefato pelos DV no atendimento educacional especializado. Fonte: autoria própria.

investigação sensorial ajudando na precisão das características do objeto ao tocar com os dedos, mãos ou ao perceber o peso. “Essa investigação sensorial gera impulsos nervosos que são conduzidos ao longo das fibras aferentes dos neurônios de primeira ordem até o sistema nervoso central” (Oliveira *et al.*, 2020).

Sendo assim, os resultados deste estudo sinalizam que é possível e necessário o desenvolvimento de projetos de pesquisa voltados para a formação de professores e criação de TA que atendam à inclusão. Que estes tenham como foco as especificidades daqueles que compõem a diversidade da sala de aula comum, visando a apropriação de conhecimentos e construção científica por professores formadores e em formação que possibilitem o atendimento as políticas de inclusão, o repensar de propostas formativas mais equitativas e o desenvolvimento de recursos de laboratório mais adequados a serem oferecidos pelos cursos de Química, bem como contribuições para um novo modelo de ação docente mais igualitário, no ensino básico e superior (Benite *et al.*, 2017b).

Referências

- ALVES, O. L.; GIMENEZ, I. F. e MAZALI, I. O. Vidros. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 2, p.13-24, 2001.
- BACICH, L. e HOLANDA, L. *STEAM em sala de aula: a aprendizagem baseada em projetos integrando conhecimento na educação básica*. Porto Alegre: Penso, 2020.
- BENITE, C. R. M.; BENITE, A. M. C.; BONOMO, F. A. F.; VARGAS, G. N.; ARAÚJO, R. J. S. e ALVES, D. R. Observação inclusiva: o uso da tecnologia assistiva na experimentação no ensino de química. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 2, p. 94-103, 2017a.
- BENITE, C. R. M.; BENITE, A. M. C.; BONOMO, F. A. F.; VARGAS, G. N.; ARAÚJO, R. J. S. e ALVES, D. R. A

Algumas considerações

Neste estudo tratamos da relação entre a prática pedagógica e científica e a atuação política em defesa da visibilidade acadêmica e escolar do público da educação especial desafiando o professor-pesquisador formador e em formação a enxergá-lo e compreendê-lo para estabelecer razões formativas e investigativas, bem como suas legitimações no domínio do conhecimento científico.

Apesar dos atuais avanços tecnológicos, a Química ainda utiliza práticas excludentes para estudantes com deficiência visual (DV). Diante disso, defendemos neste estudo a necessidade da inserção de discussões acerca da inclusão na formação docente e propostas de investigações que incentivem o professor a refletir sobre a prática pedagógica no atendimento educacional especializado na busca de compreender sobre estratégias e recursos didáticos para as aulas de Química numa perspectiva inclusiva.

Corroborando a literatura, os resultados ressaltam que é possível criar recursos didáticos que atuem como TA em atividades de laboratório e apontam a *design science* como proposta de sistematização para projetar e fazer a prototipagem de artefatos que auxiliem os DV em participações autônomas nos experimentos, como o adaptador de pipetador.

Agradecimentos

Ao CNPq e a FAPEG.

Claudio R. Machado Benite (claudiobenite@ufg.br) é licenciado em Química e especialista em Ensino de Ciências pela UERJ, mestre em Educação em Ciências e Matemática e doutor em Química pela UFG. Atualmente é professor do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás e coordenador do núcleo de tecnologia assistiva do Laboratório de Pesquisas em Educação Química e Inclusão (LPEQI-UFG). **Florisbela Magalhães Rodovalho** (florisbelorodovalho@discente.ufg.br) é licenciada em Química pela UFG. **Fernanda Araújo França** (fernandaaf@discente.ufg.br) é licenciada em Química, mestre e doutora em Educação em Ciências e Matemática pela UFG. **Anna M. Canavarro Benite** (anna@ufg.br) é licenciada em Química, mestre e doutora em Ciências - Química pela UFRJ. Atualmente é professora do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás e coordenadora do Laboratório de Pesquisas em Educação Química e Inclusão (LPEQI-UFG).

experimentação no ensino de química para deficientes visuais com o uso de tecnologia assistiva: o termômetro vocalizado. *Química Nova na Escola*, v. 39, n. 3, p. 245-249, 2017b.

BERETTA, M. Between the workshop and the laboratory: Lavoisier's network of instrument makers. *Osiris*, v. 29, p. 197-214, 2014.

BRASIL. *Lei nº 14.723, de 13 de novembro de 2023* que altera a Lei nº 12.711, de 29 de agosto de 2012. Brasília: Secretaria Especial para Assuntos Jurídicos, 2023.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. *Parecer CNE/CES Nº1*. Brasília, 2002.

BRASIL. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*. Lei n. 9.394, 20 de dezembro de 1996. Brasília: Ministério da Educação, 1996.

DRESCH, A. *Design Science e Design Science Research*

como artefatos metodológicos para engenharia de produção. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P. e ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design science research. In: *Design science research: a method for science and technology advancement*. Dordrecht: Springer, 2015. p. 67-102.

GILL, T. G. e HEVNER, A. R. A fitness-utility model for design science research. In: JAIN, H.; SINHA, A. P. e VITHARANA, P. (Eds.) *Service-oriented perspectives in design science research*. 6th. International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology. Berlin: Springer, 2011. p. 237-252.

GONÇALVES, F. P.; REGIANI, A. M.; AURAS, S. R.; SILVEIRA, T. S.; COELHO, J. C. e HOBMEIR, A. K. T. A educação inclusiva na formação de professores e no ensino de Química: a deficiência visual em debate. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 4, p. 264-271, 2013.

GUEDES, E. M. e MACIEL, C. E. Acesso e permanência da pessoa com deficiência na educação superior: balanço de produção em teses e dissertações (2013-2017). In: CORDEIRO, M. J. J. A.; LANDA, B. S. e DIALLO, C. S. (Orgs.) *Diversidade na educação: desafios para a produção do conhecimento na formação inicial*. Dourados: Editora UEMS, 2022.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J. e RAM, S. Design Science in information systems research. *MIS Quarterly*, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

KLEINA, C. *Tecnologia assistiva em educação especial e educação inclusiva*. Curitiba: InterSaberes, 2012.

LE BOTERF, G. Pesquisa Participante: propostas e reflexões metodológicas. In: BRANDÃO, C. R. *Repensando a Pesquisa Participante*. São Paulo: Brasiliense, 1999. p. 51-81.

MAGGIONI, M. C. C.; MAGGIONI, I. C. e NÓBILE, M. F. Laboratório de química e metodologia ativa no processo de aprendizagem escolar. *Revista Brasileira de Pós-Graduação - RBPG*, v. 17, n. 37, p. 1-15, 2021.

MAIA, S. B. *O vidro e sua fabricação*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

MARCUSCHI, L. A. *Análise da conversação*. São Paulo: Ática, 2003.

MARQUES, L. C. e MENDES, E. G. *O aluno com deficiência visual cortical: teoria e prática*. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

OLIVEIRA, I. T.; ZUCCHERATTO, K. M. C.; GRANADO, I. Z.; HOMEM-DE-MELLO, P. e OLIVEIRA, H. P. M. De onde vêm os nomes das vidrarias de laboratório? *Química Nova*, v. 41, n. 8, p. 933-942, 2018.

OLIVEIRA, M. S. G.; FRANÇA, F. A.; FARIA, B. A.; BENITE, A. M. C. e BENITE, C. R. M. Estudos acerca da participação guiada de alunos cegos ou com deficiência visual

em experimento sobre destilação alcoólica. In: ADAMS, F. W.; FALEIRO, W. e SILVA, L. C. *Processos educativos em ciência da natureza na educação especial*. Goiânia: Kelps, 2020. p. 168-186.

PALHAIS, C. B. C. *Prototipagem: uma abordagem ao processo de desenvolvimento de um produto*. Mestrado em Design de Equipamentos, Faculdade de Belas Artes, Universidade de Lisboa, 2015.

PAULA, B. H. e DEL VECHIO, G. H. Impressão 3D como tecnologia emergente: estudo de conceitos essenciais, hardwares, softwares e aplicações na área médica. *Interface tecnológica*, v. 17, n. 1, p. 107-117, 2020.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A. e CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PINTO, J. R. Pipeta graduada. *Revista de Ciência Elementar*, v. 3, n. 1, p. 91, 2015.

QUIGLEY, C. e HERRO, D. "Finding the Joy in the Unknown": Implementation of STEAM teaching practices in Middle School Science and math classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, v. 25, p. 410-426, 2016.

RODRIGUES, F. P.; SILVA, L. M. A. e MANGABA, M. A. A importância de cotas raciais universitárias no contexto brasileiro. *Revista do Instituto de Políticas Públicas de Marília*, v. 5, n. 1, p. 75-82, 2019.

SÁ, E. D.; SILVA, M. B. C. e SIMÃO, V. S. *Atendimento Educacional Especializado do aluno com deficiência visual*. São Paulo: Moderna, 2010.

SILVA, W. T. e FILGUEIRAS, C. A. L. O vidro e a sua importância na vida e na Química. *Química Nova*, v. 46, n. 5, p. 491-501, 2023.

SIMON, H. A. *The sciences of the artificial*. 3^a ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

SOUZA, A. L. V.; CAMPOS, M. L. e BENITE, A. M. C. Estudos sobre a utilização da comunicação não verbal na aula de Química. *Química Nova na Escola*, v. 36, n. 2, p. 150-161, 2014.

TANDON, R. Participatory research: main concepts and issues. In: TANDON, R. (Ed.) *Participatory research: revisiting the roots*. New Delhi: Mosaic Books, 2005. p. 22-39.

VIEL, C. L'évolution du laboratoire et des instruments de chimie vue au travers des ouvrages à planches, du XVII^e à la fin de la première moitié du XIX^e siècle. *Revue D'Histoire de La Pharmacie*, v. 57, n. 363, p. 277-294, 2009.

VILLANI, C. E. P. e NASCIMENTO, S. S. A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório de física do ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 8, n. 3, p. 187-209, 2003.

VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

Abstract: *Accessible experimentation: design science in assistive technology prototyping for students with visual impairment.* For visually impaired (VI) students to learn, information needs to be accessed through senses other than vision. In this study, pre-service teachers reflect on pedagogical practices in specialized educational services, aiming to find solutions for including VI students in volume transfer experiments. Based on participatory research, we used *design science* to design and prototype a pipettor adapter acting as assistive technology that would help VI students to be autonomous in these experiments. Our results demonstrate that training proposals such as this can help in more equitable teaching practices in primary and higher education, as well as rethink a training profile that enables compliance with inclusive public policies.

Keywords: special/inclusive education, STEAM, pipettor adapter