

Validação de protótipos para auxílio no ensino de ciências para adolescentes com deficiência visual

Validation of prototypes to help teach science to visually impaired teenagers

¹Johny Rodrigo Yamamoto da Silva, johnnyammoto@estudante.ufscar.br

²Andréa Regina Martins Fontes, afontes@ufscar.br;

¹² Departamento de Engenharia de Produção de Sorocaba, Universidade Federal de São Carlos
Campus Sorocaba - UFSCar, Sorocaba, SP, Brasil

Resumo: A escassez de materiais didáticos acessíveis compromete a inclusão educacional de estudantes com deficiência visual, especialmente no ensino de Ciências no Brasil. Este estudo teve como objetivo validar protótipos táteis desenvolvidos como tecnologia assistiva para o ensino de Química a adolescentes com deficiência visual. Adotou-se a metodologia da pesquisa-ação, com aplicação do questionário *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology* (QUEST 2.0) e entrevistas qualitativas com cinco professores de Química da educação básica. Os resultados indicaram altos índices de satisfação em critérios como durabilidade, facilidade de uso e eficácia, além de percepções positivas sobre a qualidade dos materiais, usabilidade, acessibilidade e relevância pedagógica dos protótipos. Conclui-se que os recursos avaliados possuem potencial para promover uma aprendizagem mais autônoma, sensorial e inclusiva, beneficiando tanto alunos com deficiência visual quanto estudantes em geral.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva; Inclusão; Química; Ensino; Deficiência Visual; Usabilidade

Abstract: *The scarcity of accessible teaching materials compromises the educational inclusion of students with visual impairments, especially in science education in Brazil. This study aimed to validate tactile prototypes developed as assistive technology tools for teaching Chemistry to visually impaired adolescents. An action-research methodology was adopted, involving the application of the Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0) questionnaire and qualitative interviews with five basic education Chemistry teachers. The results indicated high levels of satisfaction in criteria such as durability, ease of use, and effectiveness, as well as positive perceptions regarding material quality, usability, accessibility, and pedagogical relevance of the prototypes. It is concluded that the evaluated resources have the potential to promote more autonomous, sensory, and inclusive learning, benefiting both students with visual impairments and the general student population.*

Palavras-chave: Assistive Technology; Inclusion; Chemistry; Teaching; Visual Impairment; Usability

1 Introdução

A Tecnologia Assistiva (TA) engloba uma variedade de recursos e serviços voltados para aprimorar as habilidades funcionais de indivíduos com deficiência, visando promover sua autonomia e inclusão social (Bersch, 2006). Pessoas com deficiência visual, em particular, enfrentam desafios únicos no processo educacional, sobretudo pela limitação do sentido da visão e pela escassez de materiais pedagógicos adequados.

Segundo Martins (2002), em um sistema capitalista neoliberal, a exclusão social é um traço estrutural que se reproduz também no espaço escolar, onde a inclusão pode ocorrer de forma precária e marginal. Nesse sentido, autores como Amaral (2002) e Patto (2008) alertam para uma inclusão escolar apenas formal, na qual o aluno com necessidades educacionais especiais (NEE) é matriculado, mas não encontra condições reais de permanência e participação efetiva no processo de aprendizagem. Assim, o aumento de matrículas não garante, por si só, a qualidade do ensino oferecido.

Frente a esse cenário, torna-se essencial investigar e desenvolver recursos didáticos específicos que realmente contribuam para uma aprendizagem significativa dos alunos com deficiência visual. No campo das Ciências, em especial da Química, a abstração dos conceitos exige estratégias pedagógicas que favoreçam a compreensão tátil e sensorial do conteúdo.

Este estudo tem como objetivo validar protótipos de materiais didáticos adaptados, elaborados com foco em estudantes com deficiência visual. A pesquisa busca captar a percepção de professores de Química quanto à acessibilidade, usabilidade e efetividade pedagógica desses recursos, além de identificar suas contribuições para a promoção da autonomia e inclusão no ambiente escolar.

A metodologia adotada é a pesquisa-ação, que, conforme Thiollent (2007), envolve a participação ativa dos envolvidos no processo, promovendo transformações na realidade investigada. Para a avaliação dos recursos, é utilizado o instrumento QUEST 2.0, desenvolvido para mensurar a satisfação dos usuários com tecnologias assistivas, segundo Carvalho, Gois Junior e Sá (2014).

O trabalho está organizado em cinco partes: na introdução, apresenta-se o referencial teórico sobre tecnologia assistiva, deficiência visual e ensino de Ciências; em seguida, descreve-se a metodologia utilizada; depois, são apresentados os protótipos desenvolvidos e os resultados obtidos; por fim, discutem-se as conclusões, limitações e possibilidades futuras da pesquisa.

2 Referencial Teórico

O referencial teórico desta pesquisa aborda três eixos interligados: Tecnologia Assistiva, Deficiência Visual e Ensino e Aprendizagem. Serão discutidos os conceitos centrais, os recursos disponíveis para pessoas com deficiência visual e os desafios de integrar esses elementos ao contexto educacional inclusivo.

2.1 Tecnologia Assistiva

Antes do termo Tecnologia Assistiva existir seu conceito e suas aplicações já eram difundidas em vários lugares, inclusive no espaço escolar, através de recursos e adaptações simples, muitas vezes criada pelos próprios professores, chamados como “Ajudas Técnicas”, “Tecnologia de Apoio”, “Tecnologia Adaptativa” e “Adaptações”, conforme Galvão (2009). *Assistive Technology*, o termo não traduzido, foi oficialmente criado em 1988 nos Estados Unidos pela *Public Law 100-407*, parte do *American with Disabilities Act (ADA)* (Bersch, 2017). A regulamentação legal da Tecnologia Assistiva (TA) permitiu que os cidadãos americanos com deficiência recebessem serviços especializados e acesso a diversos recursos, visando uma vida mais independente, produtiva e inclusiva na sociedade (Bersch, 2017).

No Brasil, o anterior Comitê de Ajudas Técnicas - CAT, criado através da portaria nº 142, de 16 de novembro de 2006, apresentou a seguinte definição para tecnologia assistiva:

"Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social" (Brasil 2006)

Conforme indicado por Sartoretto e Bersch (2017), os recursos de acessibilidade abrangem desde itens simples, como bengalas, até tecnologias altamente sofisticadas, como sistemas informatizados avançados. Dentro desse espectro, incluem-se desde brinquedos e vestimentas adaptadas até dispositivos tecnológicos, como computadores com softwares e hardwares específicos, voltados para garantir acessibilidade. Também fazem parte desse conjunto equipamentos que possibilitam ajustes posturais na posição sentada, instrumentos para locomoção, sejam manuais ou motorizados, dispositivos de comunicação alternativa, acionadores e teclas especiais, sistemas de amplificação sonora, auxílios para a visão, materiais protéticos e uma vasta gama de outros recursos, seja de produção artesanal ou de aquisição no mercado.

De acordo com Sartoretto e Bersch (2017), os serviços relacionados à tecnologia assistiva consistem em ações especializadas voltadas a auxiliar a pessoa com deficiência na escolha, aquisição e uso adequado de recursos tecnológicos. Tais serviços englobam atividades como avaliação individualizada, experimentação prática e capacitação para o manuseio de novos dispositivos. Os autores destacam que essa atuação é, em geral, transdisciplinar, reunindo conhecimentos de múltiplas áreas profissionais. Entre os campos envolvidos estão Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Fonoaudiologia, Educação, Psicologia, Enfermagem, Medicina, Engenharia, Arquitetura, Design, além de técnicos e outros especialistas que contribuem para o processo de inclusão e autonomia da pessoa com deficiência.

Tecnologia Assistiva (TA) vai além das questões de acessibilidade urbana e do uso de espaços sociais (Bastos, 2023). Ela possui uma relação estreita e integrada com os usuários, permeando suas atividades diárias, desde as tarefas mais simples, como alimentação, vestimenta e locomoção, até as atividades educacionais, profissionais, esportivas e sociais (Bastos, 2023). Pessoas com deficiência física, sensorial ou de comunicação, bem como aquelas com mobilidade reduzida ou incapacidades temporárias, enfrentam desafios que dificultam a realização dessas atividades e, por isso, necessitam de tecnologias, estratégias ou suportes que promovam maior capacidade funcional, autonomia e controle do ambiente. Esses elementos são fundamentais para aprimorar sua integração social e participação plena em todas as dimensões de suas vidas (Bastos, 2023). Com isso surge a necessidade de investigar e se aprofundar na criação de instrumentos para o ensino de pessoas com deficiência visual.

2.2 Ensino e Aprendizagem de pessoas com deficiência visual no Brasil

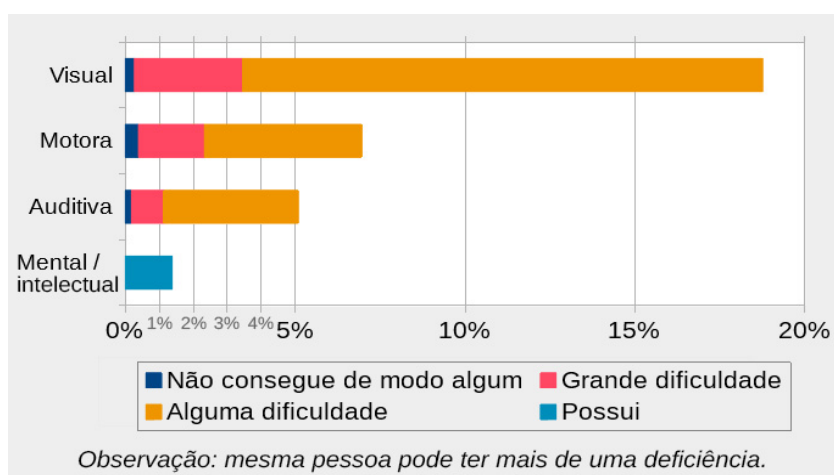
A legislação brasileira (Brasil, 1999) entende a deficiência como uma alteração ou perda em estruturas ou funções anatômicas, fisiológicas ou psicológicas, capaz de comprometer a realização de atividades comumente esperadas no cotidiano humano. Anos mais tarde, a Lei nº 13.146, sancionada em 2015 (Brasil, 2015), introduz uma concepção mais ampla ao definir a Pessoa com Deficiência (PcD) como aquela que apresenta limitações duradouras de ordem física, intelectual, mental ou sensorial. Tais limitações, quando associadas a obstáculos diversos, podem dificultar ou impedir a participação plena e equitativa desse indivíduo na vida em sociedade.

Segundo Nunes (2008), a cegueira é caracterizada pela impossibilidade de reter informações do mundo por meio da visão, enquanto a baixa visão se diferencia em relação à acuidade visual e campo visual. Aqueles considerados cegos têm acuidade visual inferior a 0,1 com menos de 20 graus de campo visual, enquanto os indivíduos com baixa visão possuem

acuidade entre 6/60 e 18/60, com campo visual entre 20 e 50 graus. Nunes (2008) também destaca que a cegueira congênita ocorre em pessoas que se tornam deficientes visuais antes dos cinco anos de idade, ao passo que a cegueira adventícia afeta aqueles que perdem a visão após os cinco anos de idade.

No Brasil, aproximadamente 46 milhões de brasileiros declaram possuir algum tipo de deficiência, dos quais 12,5 milhões (6,7% da população total) relatam enfrentar deficiências graves, como grandes dificuldades ou total incapacidade para enxergar, ouvir ou caminhar. Em relação à deficiência visual, o Brasil abriga aproximadamente 6 milhões de pessoas com deficiência visual grave, representando 3,4% da população total do país (IBGE, 2010). Conforme podemos observar na figura 1.

Figura 1. Porcentagem da população, por tipo e grau de dificuldade e deficiência



Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010

No cenário global, estima-se que mais de um bilhão vivenciem alguma forma de deficiência ou incapacidade, representando cerca de 15% da população global. Aproximadamente 785 milhões de indivíduos com 15 anos ou mais enfrentam algum tipo de deficiência, e, pelo menos, 10% das crianças em todo o planeta nascem ou adquirem limitações físicas, mentais ou sensoriais durante o processo de desenvolvimento, segundo dados do relatório mundial sobre deficiência (OMS 2011).

Uliana e Mól (2017), ao analisarem pesquisas voltadas à trajetória educacional de estudantes com deficiência visual, identificaram uma expressiva escassez de livros em braille e a ausência de materiais adaptados adequados às diversas áreas do conhecimento. Essa realidade evidencia a necessidade urgente de consolidar práticas pedagógicas inclusivas, que se apoiem em recursos e metodologias ajustadas, favorecendo a permanência e o progresso acadêmico

desses estudantes em igualdade de condições com seus colegas videntes, como destacam Cunha e Souza (2013). Assim, a efetivação da inclusão exige o planejamento e a aplicação de estratégias que garantam acesso ao conteúdo, respeitando as especificidades sensoriais de cada aluno.

A esse respeito, Cerqueira e Ferreira (2000) apontam que o uso de materiais didáticos apropriados desempenha papel central na educação de pessoas com deficiência visual, pois a ausência desses recursos compromete tanto o processo de aprendizagem quanto o desenvolvimento da percepção tátil, que é estimulado a partir da manipulação de diferentes objetos. Para enfrentar esses desafios, a proposta de inclusão escolar busca transformar a estrutura do ensino convencional, promovendo ajustes que assegurem o acesso igualitário ao conhecimento e a efetivação dos direitos educacionais, conforme destaca Guijarro (2005), ao enfatizar a importância das adaptações para a construção de um ambiente educativo justo.

Sánchez (2005) reforça que é imprescindível que as escolas estejam preparadas para acolher todos os alunos, o que envolve investimento na qualidade da educação ofertada e na articulação entre os saberes teóricos e as práticas pedagógicas voltadas à superação das barreiras enfrentadas pela educação especial. Essa preparação institucional não se limita à infraestrutura, mas abrange também a formação docente, o planejamento curricular e a disposição para reconhecer e atender as necessidades específicas de cada sujeito em seu processo de aprendizagem.

Como observa Souza (2013), o compromisso com a inclusão educacional demanda de professores e gestores escolares uma postura ativa na adaptação tanto do currículo quanto do espaço físico, de modo a garantir um ambiente educacional que reconheça, valorize e acolha a diversidade humana. Nessa perspectiva, assegurar o direito à aprendizagem implica também fornecer ferramentas e recursos que contribuam diretamente para o processo de construção do conhecimento, sendo estes elementos indispensáveis para o sucesso educacional de alunos com deficiência visual.

A impressão 3D já é utilizada como ferramenta para se produzir instrumentos para auxiliar no ensino de pessoas com deficiência visual, conforme citado por Sobral (2020, p. 11):

“Tactile Picture Books é o nome da proposta liderada pelo professor Tom Yeh, da Universidade do Colorado (EUA), que criou livros impressos em 3D com ilustrações, que permitem as crianças que ainda não aprenderam braille desfrutem de uma nova experiência tátil no processo de alfabetização. As figuras são tridimensionais acompanhada do texto em braille na página, criando uma associação entre figura e texto”.

Deste modo, cada vez mais há a necessidade de entender como evoluir esses instrumentos de ensino especial e também se aprofundar em medidas mais objetivas de validação. Apesar da existência de pesquisas sobre esse assunto, a maioria não aborda especificamente as dificuldades enfrentadas pelas crianças em relação aos materiais e a relação entre as barreiras da Tecnologia Assistiva (TA), conforme Turino (2019), Borrás et al. (2023).

3. Metodologia

A metodologia de pesquisa é definida, do ponto de vista técnico, neste caso, como pesquisa-ação, buscando promover a mudança e a melhoria de uma determinada situação ou contexto por meio da colaboração entre pesquisadores e os sujeitos envolvidos no problema, conforme Thiollent (2007). Ela envolve a realização de ações práticas com o objetivo de investigar, compreender e transformar a realidade em questão, conforme Gil (1991). A pesquisa tem como objetivo exclusivo testar protótipos que já foram previamente desenvolvidos, não estando envolvida no processo de criação desses protótipos. O estudo é estruturado em diversas fases, que são:

- Revisão teórica: análise bibliográfica sobre os temas centrais da pesquisa, como Tecnologias Assistivas, Recursos para deficientes visuais, ensino e aprendizagem. Essa fase inclui a leitura de artigos científicos nacionais e internacionais, utilizando repositórios e portais científicos como SciELO, *Web of Science* e Google Acadêmico;
- Elaboração do Questionário: A partir da revisão teórica, será desenvolvido um questionário com base nos itens 1 a 8 da metodologia QUEST 2.0 (ver Apêndice A), complementado por um formulário adicional destinado à coleta de respostas qualitativas (ver Apêndice B).
- Fase de Entrevistas: Serão realizadas entrevistas com cinco professores de química que lecionam o conteúdo que o material de Tecnologia Assistiva se propõe a apoiar, sendo 4 professores do ensino médio e 1 para nível superior. Durante as entrevistas, os objetivos dos protótipos serão apresentados, e os docentes terão a oportunidade de simular seu uso. Em seguida, responderão aos questionários previamente elaborados.
- Análise de dados: nessa fase, são avaliados os quesitos levantados na pesquisa e são apresentadas as conclusões da pesquisa; e
- Propostas de melhoria: com base nas discussões geradas ao longo da pesquisa, são propostos ajustes no protótipo.

3.1. Instrumento *Quest 2.0*

Os resultados apresentados consistem, em sua maioria, em dados qualitativos resultantes da aplicação de entrevistas com professores de química. Esses dados estão relacionados aos aspectos físicos, cognitivos, perceptivos e funcionais seguindo a metodologia do *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology* (QUEST 2.0) que possui 12 itens para avaliar a satisfação dos usuários, mas neste caso aplicamos apenas até o tópico 8.

As primeiras oito perguntas se concentram em como as pessoas usam tecnologia assistiva, sendo elas: tamanho, peso, ajustes, segurança, durabilidade, facilidade de uso, conforto e eficácia. As quatro perguntas seguintes se relacionam com a qualidade dos serviços relacionados, como entrega, reparos, assistência técnica, serviços profissionais e acompanhamento, o que não se relaciona muito com esta pesquisa. Cada pergunta é avaliada em uma escala de 1 (muito insatisfeito) a 5 (muito satisfeito), conforme exposto por Carvalho, Gois Junior e Sá (2014).

Os dados foram tratados conforme a metodologia original do instrumento, com cálculo de médias de satisfação, confiabilidade interna (Alfa de Cronbach) e comunalidades por meio de análise de componentes principais (PCA).

3.1.1. Cargas Fatoriais

As cargas fatoriais foram extraídas por meio da técnica de componentes principais (Principal Component Analysis - PCA), a partir de uma matriz de dados padronizada (z-score). Cada carga fatorial representa a correlação entre o item e o fator correspondente. Foram extraídos dois fatores principais, e as cargas foram obtidas pela transposição dos vetores de componentes:

- Fator 1: Representa a combinação linear que mais explica a variância nos dados.
- Fator 2: Representa a segunda combinação linear mais relevante e ortogonal ao Fator.

3.1.2. Alfa de Cronbach por Fator

O coeficiente Alfa de Cronbach foi calculado para avaliar a consistência interna dos conjuntos de itens que mais contribuíram para cada fator. Foram selecionados os quatro itens com maiores cargas absolutas em cada fator, e a fórmula utilizada foi:

$$\alpha = (N / (N - 1)) * [1 - (\sum \text{variâncias dos itens} / \text{variância total do escore composto})]$$

Esse indicador varia entre 0 e 1, sendo valores superiores a 0,70 geralmente considerados aceitáveis em estudos de validação. No entanto, ressalta-se que, devido ao número reduzido de respondentes e à baixa variabilidade nas respostas, os valores obtidos devem ser interpretados com cautela.

3.1.3. Comunalidades

As comunalidades indicam a proporção da variância de cada item que é explicada pelos dois fatores extraídos. Foram calculadas pela soma dos quadrados das cargas fatoriais de cada item:

$$\text{Comunalidade} = (\text{Carga Fator 1})^2 + (\text{Carga Fator 2})^2$$

De forma geral, a metodologia adotada possibilitou reunir informações importantes para avaliar os protótipos e pensar em melhorias. A participação dos professores foi essencial para compreender como o material pode ser usado em sala de aula e quais ajustes podem torná-lo ainda mais acessível e eficiente no ensino de estudantes com deficiência visual.

4. Descrição dos protótipos

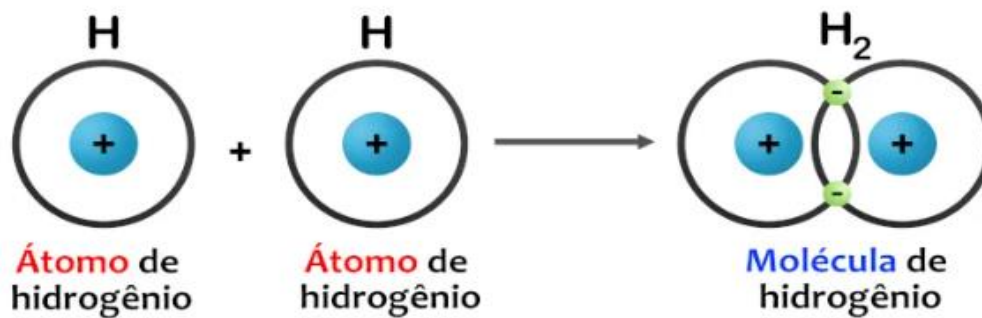
Os recursos didáticos utilizados nesta pesquisa foram desenvolvidos no projeto “Vertátil: Desenvolvimento de recursos didáticos para ensino e aprendizagem de pessoas com deficiência visual” (CNPq 442261/2016-0), que teve como objetivo apoiar o ensino de disciplinas da base curricular do ensino fundamental e médio, como Matemática, Química, Física, Biologia, Artes e Geografia. Neste trabalho, o foco recai sobre os materiais voltados à área de Química.

O desenvolvimento dos recursos partiu das demandas identificadas por professores e usuários. A partir de uma construção coletiva, definiu-se um conjunto de características desejáveis que orientaram a produção dos materiais. Os protótipos foram confeccionados pelo Núcleo de Tecnologia Assistiva (NTA), no Laboratório de Desenvolvimento de Produtos (LaDeP), Processos e Prototipagem da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba (Turino, 2019; Borrás et al., 2023).

Especificamente na área de química, foram produzidos dois protótipos: (1) molécula de hidrogênio e (2) ligação iônica, com o objetivo de representar esses conceitos fundamentais de maneira acessível a estudantes com deficiência visual. Ambos os modelos foram desenvolvidos com tecnologia de impressão 3D e contam com elementos em relevo, texturas e peças móveis que favorecem a exploração tátil e a compreensão dos conteúdos. Os modelos foram baseados

em representações que já são utilizadas atualmente, porém em imagens de livros e conteúdos didáticos não adaptados para pessoas com deficiência visual, conforme a figura abaixo, onde mostra dois átomos de hidrogênio, formando uma molécula e compartilhando o mesmo elétron, modelo representado no protótipo 1:

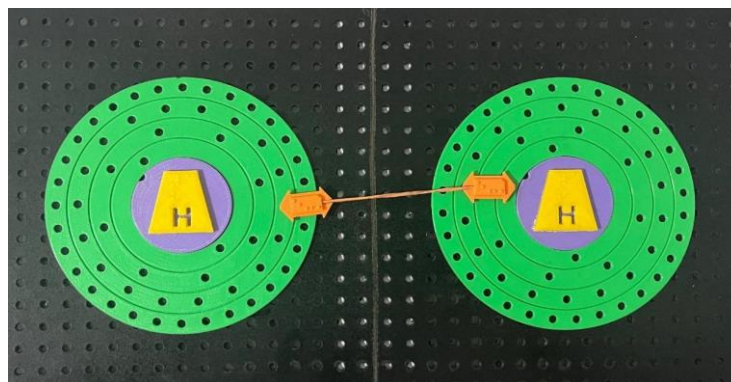
Figura 2. Ligação covalente simples



Fonte: Prepara Enem 2024

O Protótipo 1 representa dois átomos de hidrogênio em processo de formação de uma molécula por ligação covalente. Cada átomo possui um núcleo circular e removível, com um trapézio em alto relevo contendo a letra “H” e o número “1” em Braille, indicando a presença de um próton e um elétron. Círculos ao redor do núcleo representam os níveis de energia. Na figura 2 é apresentado o Protótipo 1.

Figura 3. Protótipo 1 - Representação da Molécula de Hidrogênio (H_2)

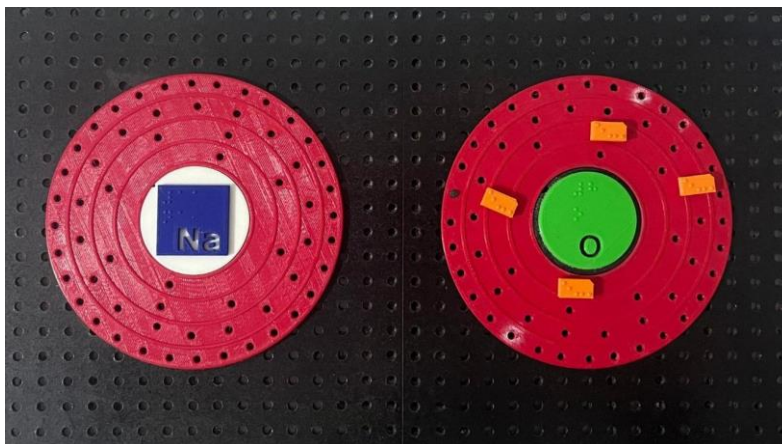


Fonte: Autor

Na região correspondente à eletrosfera (em verde na figura 2), uma peça laranja representa o elétron. Os dois átomos são conectados por um elástico, simbolizando o compartilhamento de elétrons característico da ligação covalente. Essa estrutura permite ao usuário, por meio do tato, identificar os núcleos, os elétrons e a ligação química entre os átomos.

O Protótipo 2 apresenta uma representação tátil de uma ligação iônica entre os elementos sódio (Na) e oxigênio (O). Cada átomo tem um núcleo removível: o sódio é representado por um quadrado em alto relevo e o oxigênio por um círculo, diferenciação que facilita a identificação tátil por pessoas com deficiência visual. Na figura 3 é apresentado o Protótipo 2.

Figura 4. Protótipo 1 - Representação de Ligação Iônica (Na e O)



Fonte: Autor

Nos núcleos representados na figura 3 estão gravadas, em Braille, a letra do elemento químico (“Na” ou “O”) e a quantidade de prótons. Círculos concêntricos ao redor dos núcleos indicam os níveis de energia. Próximo aos átomos de sódio, encontram-se pequenas peças móveis na cor laranja, que representam os elétrons e podem ser transferidas para o átomo de oxigênio.

No modelo apresentado, está ausente um segundo átomo de oxigênio, de modo que a representação corresponde à formação do composto Na_2O (óxido de sódio). Esse arranjo permite simular o processo de formação de uma ligação iônica, com a transferência de elétrons do sódio para o oxigênio, resultando na criação de íons com cargas opostas que se atraem e formam uma estrutura estável.

A proposta dos protótipos é tornar o aprendizado mais acessível por meio da exploração tátil, utilizando diferentes formas, texturas, cores e informações em Braille. Dessa forma, os recursos contribuem para uma experiência de ensino mais inclusiva e sensorial, beneficiando estudantes com deficiência visual.

5. Resultados

Esta etapa da pesquisa contou com a participação de cinco professores de Química, com idades entre 30 e 55 anos, todos com experiência no ensino da disciplina na educação básica. A maioria atua no Ensino Médio, embora alguns também tenham vivência com turmas do 9º ano do Ensino Fundamental II. Todos possuem formação em Licenciatura em Química, sendo que ao menos três relataram experiências anteriores com a inclusão de estudantes com deficiência, ainda que em níveis distintos.

A aplicação do formulário ocorreu após as entrevistas voltadas à apresentação e demonstração dos protótipos. As análises foram organizadas com base nas categorias do instrumento QUEST 2.0: Qualidade do Produto, Usabilidade, Acessibilidade, Relevância Pedagógica e Pontos de Melhoria (Carvalho; Gois Junior; Sá, 2014). A seguir, apresentam-se os resultados quantitativos e qualitativos, com destaque para falas representativas dos docentes e comentários analíticos acerca de cada dimensão investigada.

5.1. Análise de fatores dos itens 1 a 8 do Quest 2.0

A seguir são apresentados os resultados estatísticos obtidos a partir da aplicação parcial do instrumento *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology* (Carvalho; Gois Junior; Sá, 2014), considerando os oito primeiros itens voltados à avaliação do recurso em si: dimensões, peso, ajustes, segurança, durabilidade, facilidade de uso, conforto e eficácia. Os resultados estão organizados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do questionário QUEBEC 2.0 - Itens 1 a 8.

Item	Média	Carga Fator 1	Carga Fator 2	Alfa Cronbach 1	Alfa Cronbach 2	Comunalidade
Dimensões	4.60	-0.325	-0.553	-5.333	-0.571	0.411
Peso	4.80	-0.501	0.005	-5.333	—	0.251
Ajustes	3.40	0.501	-0.005	-5.333	—	0.251
Segurança	4.80	-0.501	0.005	-5.333	—	0.251
Durabilidade	5.00	0.000	-0.000	—	—	0.000
Facilidade de Uso	4.80	0.234	0.111	—	-0.571	0.067
Conforto	4.60	0.274	-0.466	—	-0.571	0.293
Eficácia	4.20	-0.103	0.682	—	-0.571	0.476

Fonte: Dados do autor

Os itens com maiores médias foram Durabilidade (5,00), Facilidade de uso (4,80) e Peso (4,80), evidenciando que os protótipos se destacaram em termos de resistência,

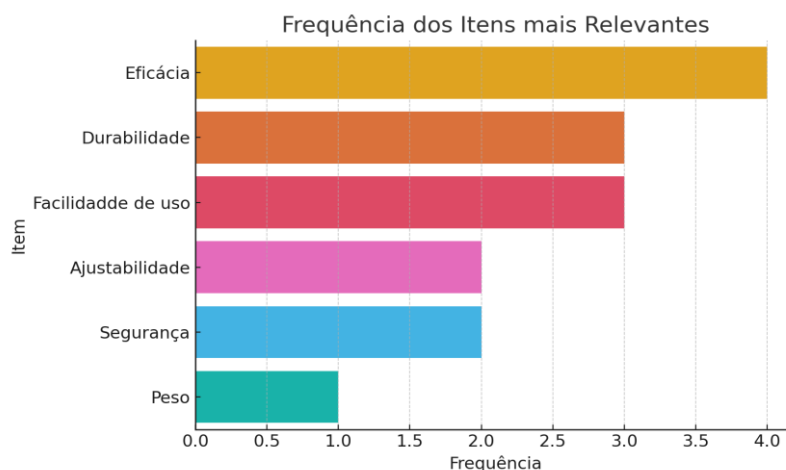
manuseabilidade e leveza. Por outro lado, o item Ajustes, com média 3,40, indicou possíveis limitações nos mecanismos de fixação ou montagem, sugerindo oportunidades de aprimoramento.

Para aprofundar a análise das relações entre os itens, foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA), que permitiu identificar padrões de agrupamento e extrair dois fatores principais. O Fator 1 esteve associado a aspectos físicos e estruturais do protótipo, como Ajustes, Durabilidade e Segurança; já o Fator 2 reuniu características funcionais, como Eficácia e Facilidade de uso.

Também foi calculada a comunalidade de cada item, indicando o quanto da variância das respostas é explicada pelos dois fatores extraídos. O item Eficácia apresentou a maior comunalidade (0,476), demonstrando forte alinhamento com a estrutura fatorial identificada. Em contraste, Conforto apresentou uma das menores comunalidades (0,067), sugerindo que pode estar relacionado a uma dimensão não capturada nesta análise.

O coeficiente Alfa de Cronbach foi calculado com o objetivo de avaliar a consistência interna dos grupos de itens mais associados a cada fator. Contudo, os valores encontrados foram negativos, o que é comum em amostras pequenas com baixa variabilidade, e, por isso, devem ser considerados apenas como indicativos exploratórios, sem força estatística conclusiva. Na figura 4 são apresentados os itens mais relevantes apontados pelos professores.

Figura 4. Gráfico de itens mais relevantes para os professores



Fonte: Autor

As respostas reforçam que os aspectos mais valorizados pelos professores foram a durabilidade, a facilidade de uso, a segurança e a eficácia do recurso, em consonância com os resultados médios observados. Esses atributos emergem como centrais na avaliação da qualidade e aplicabilidade dos protótipos.

5.2. Percepções qualitativas do protótipo

Apresentam-se a seguir as percepções dos docentes em relação à qualidade do produto, usabilidade, acessibilidade e relevância pedagógica, bem como sugestões de aperfeiçoamento discutidas durante a pesquisa.

5.2.1. Qualidade do Produto

A percepção dos professores em relação à construção física e conceitual do material envolveu aspectos como acabamento, resistência, clareza das representações e adequação dos recursos táteis, conforme relatos a seguir:

“A estrutura do protótipo me surpreendeu positivamente. Ele é simples no visual, mas extremamente funcional. As formas em relevo são bem delimitadas, o que facilita o reconhecimento tátil. Além disso, os materiais usados parecem resistentes e leves, o que é essencial para o manuseio frequente em sala de aula.”

Professor 2

“Percebe-se um cuidado na escolha dos elementos visuais e táteis. As formas geométricas foram bem pensadas para representar conteúdos abstratos, como ligações químicas e estruturas moleculares. O material, mesmo sendo artesanal, não transmite improviso — ao contrário, mostra planejamento e atenção ao detalhe.”

Professor 4

Os comentários indicam que, mesmo com materiais não industrializados, o cuidado na confecção artesanal foi altamente valorizado. A capacidade de representar conceitos químicos complexos por meio de formas simples reforça a qualidade e a efetividade dos protótipos.

5.2.2. Usabilidade

A usabilidade foi avaliada com base na facilidade de compreensão, manipulação e inserção dos protótipos em atividades pedagógicas reais.

“O recurso é de fácil entendimento. Ao primeiro contato, o professor já consegue imaginar várias formas de aplicá-lo em sala. Ele permite abordagens variadas: pode ser usado em explicações iniciais, revisões, ou até em avaliações práticas. A leveza e o formato acessível ajudam muito.”

Professor 1

“O que mais me chamou atenção foi a fluidez com que o estudante pode interagir com o material. Mesmo sem enxergar, ele pode construir o raciocínio ao tocar os modelos. Isso é o que define uma boa usabilidade: o aluno aprende interagindo, e o professor consegue guiar esse processo com tranquilidade.”

Professor 3

Os protótipos foram percebidos como ferramentas dinâmicas e versáteis, promovendo tanto a autonomia dos alunos quanto a praticidade para os docentes. A usabilidade foi apontada como fator essencial para uma inclusão efetiva, que vai além do acesso, integrando o aluno ao processo pedagógico de forma ativa.

5.2.3. Acessibilidade

A acessibilidade foi entendida como a adequação do recurso às necessidades de estudantes com deficiência visual, promovendo independência e equidade no aprendizado, conforme pode ser visto nos seguintes relatos:

“O ponto mais forte é justamente a acessibilidade. O estudante não depende mais só da explicação oral ou da mediação constante do professor. Ele pode explorar o conteúdo de forma autônoma, o que eleva muito sua autoestima e sensação de pertencimento.”

Professor 2

“É raro encontrar materiais assim. O que se vê, na maioria das vezes, são adaptações improvisadas feitas pelo próprio professor. Aqui temos um recurso pensado desde o início para o aluno com deficiência visual, e isso faz toda a diferença.”

Professor 4

Os docentes destacaram o caráter propositivo do recurso, que rompe com a lógica de adaptações improvisadas. A possibilidade de exploração tátil autônoma foi vista como um avanço concreto no sentido da equidade educacional.

5.2.4. Relevância Pedagógica

Foram discutidas as contribuições do protótipo para o ensino de Química, sua relação com o currículo e seu potencial de promover aprendizagem significativa.

“O conteúdo químico, por natureza, é muito abstrato. Quando conseguimos trazer uma representação concreta, especialmente para alunos com deficiência visual, conseguimos alcançar algo que nem sempre é possível com os alunos videntes: o envolvimento sensorial no raciocínio químico. Isso gera compreensão de verdade.”

Professor 1

“Esse tipo de recurso não apenas complementa a aula, ele transforma o jeito de ensinar. Ele nos força a pensar a Química para além do quadro e do livro. Isso amplia as possibilidades pedagógicas e abre portas para práticas mais inovadoras e inclusivas.”

Professor 3

A relevância pedagógica foi amplamente reconhecida. Os professores consideraram que o recurso não apenas complementa a aula, mas transforma o modo de ensinar e aprender, ao proporcionar vivências sensoriais e concretas de conceitos abstratos.

5.2.5. Pontos de melhoria discutidos

A última etapa das entrevistas foi dedicada à coleta de sugestões dos professores para o aprimoramento dos protótipos. Abaixo, destacam-se os principais apontamentos:

- Camadas e átomos removíveis: sugeriu-se que as camadas eletrônicas e os átomos fossem destacáveis, o que permitiria uma interação mais dinâmica com o protótipo. Essa modificação evitaria interpretações equivocadas, como a ideia de que todos os átomos possuem quatro camadas, e possibilitaria a montagem de diferentes configurações, facilitando a compreensão das variações entre os elementos químicos;
- Uso de ímãs no lugar de encaixes: uma das dificuldades relatadas foi o manuseio dos elétrons nos encaixes atuais. A adoção de ímãs foi apontada como alternativa mais prática, que facilitaria a inserção e remoção das peças, além de contribuir para a durabilidade do protótipo, minimizando o desgaste decorrente do uso contínuo;
- Formas geométricas no núcleo: os participantes destacaram a importância de uniformizar as formas geométricas presentes no núcleo dos átomos, de modo que essas representações táteis indiquem os grupos ou famílias químicas. Isso auxiliaria os estudantes com deficiência visual na identificação de padrões entre os elementos;
- Átomos em formato redondo: foi sugerido que os modelos atômicos adotem um formato mais arredondado, o que tornaria o manuseio mais confortável e intuitivo. Além disso, essa modificação os aproximaria das representações visualmente convencionais utilizadas no ensino da estrutura atômica;
- Material com instruções de uso: embora o protótipo tenha sido considerado intuitivo, os docentes indicaram que a presença de um guia com orientações práticas e sugestões de atividades pedagógicas seria fundamental. Tal material auxiliaria, sobretudo, professores com pouca familiaridade com recursos adaptados, permitindo explorar melhor o potencial didático dos protótipos em sala de aula.

6. Conclusão

Esta pesquisa teve como objetivo validar protótipos táteis desenvolvidos como tecnologia assistiva para o ensino de Química a estudantes com deficiência visual, a partir da

perspectiva de professores da educação básica. Os resultados indicaram satisfação com os recursos, especialmente nos quesitos durabilidade, facilidade de uso, peso e eficácia, apontando que, na visão dos docentes, reúnem características relevantes para sua utilização em contextos pedagógicos.

A análise estatística dos dados permitiu identificar dois agrupamentos principais entre os itens avaliados: um relacionado a aspectos físicos do material, como estrutura e resistência; e outro associado a aspectos funcionais, como desempenho e aplicabilidade em sala de aula. Esses achados, ainda que exploratórios, reforçam a compreensão de que a qualidade de um recurso didático, segundo os professores, envolve tanto sua usabilidade quanto seu potencial de favorecer o processo de ensino e aprendizagem.

Embora os protótipos tenham sido concebidos com foco na acessibilidade de estudantes com deficiência visual, os participantes também os reconheceram como ferramentas úteis para o ensino de Ciências em turmas regulares. O caráter tátil e concreto do material foi apontado como um diferencial capaz de beneficiar todos os alunos, ao estimular uma aprendizagem mais sensorial, ativa e inclusiva. Dessa forma, conclui-se que a percepção dos professores sobre os recursos avaliados foi amplamente positiva, destacando seu potencial pedagógico tanto em contextos inclusivos quanto no ensino geral de Química. A pesquisa contribui, assim, com subsídios relevantes para a reflexão e o aprimoramento de materiais acessíveis, ao mesmo tempo em que evidencia a importância de envolver docentes no processo avaliativo, considerando que sua experiência prática e visão pedagógica são fundamentais para orientar o desenvolvimento de recursos mais eficazes e equitativos.

Entretanto, algumas limitações devem ser consideradas. O número reduzido de participantes compromete a generalização dos resultados e limita a robustez de análises estatísticas, como o coeficiente Alfa de Cronbach, que apresentou instabilidade. Além disso, os professores não chegaram a utilizar os protótipos diretamente em atividades com os estudantes, baseando suas avaliações apenas em observações e projeções de uso. Também se ressalta a aplicação parcial do instrumento QUEST 2.0, que deixou de contemplar dimensões como suporte técnico e manutenção. Recomenda-se, portanto, que estudos futuros ampliem o número de participantes, envolvam a aplicação prática do recurso em sala de aula e utilizem o instrumento completo, de modo a viabilizar uma avaliação mais abrangente, precisa e representativa.

Referências

AMARAL, L.A. **Diferenças, estigma e preconceito: O desafio da inclusão.** In: OLIVEIRA, M.K.; SOUZA, D.T.R.; REGO, T.C. (orgs.). Psicologia, educação e as temáticas da vida contemporânea. São Paulo: Moderna, 2002. p. 233-248.

Bastos, L. S., P. A., Silva, M. S., Ribeiro, N. M., Mota, R. de S., & Galvão Filho, T. (2023). **Tecnologia assistiva e políticas públicas no Brasil.** Cadernos Brasileiros De Terapia Ocupacional, 31, e3401. <https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoAO260434011>

BERSCH, R. **Introdução à Tecnologia Assistiva**, 2017. Disponível em <https://ria.ufrn.br/jspui/handle/123456789/1059>. Acesso em 09 jul. 2025.

BERSCH, R. **Tecnologia assistiva e educação inclusiva.** In: Ensaio Pedagógicos, Brasília: SEESP/MEC, p. 89-94, 2006.

BERSCH, R. C.; SARTORETTO, M. L. **Tecnologia Assistiva (T.A.) e Processo de Avaliação nas escolas.** Porto Alegre, 2017. Disponível em: . Acesso em: 09 jul. 2025.

Brasil (2006) - **Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) - Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência (CORDE)** - Secretaria Especial dos Direitos Humanos - Presidência da República). Disponível em: https://www.assistiva.com.br/Ata_VII_Reuni%C3%A3o_do_Comite_de_Ajudas_T%C3%A9cnicas.pdf. Acesso em 02/08/2023.

CARVALHO, K. E. C.; Gois Júnior, M. B.; Sá, K. N; **Tradução e validação do Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST 2.0) para o idioma português do Brasil.** Revista Brasileira de Reumatologia. 2014; 54(4):260–267. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbr/a/VNrVQRdX9Wxh8TZSDVJmKvy/?lang=pt&format=pdf>

CERQUEIRA, J. B.; FERREIRA, E. M. B. **Recursos didáticos na educação especial.** Benjamin Constant, Rio de Janeiro, n. 15, p. 1-6, 2000. Disponível em: http://antigo.ibc.gov.br/images/conteudo/revistas/benjamin_constant/1996/edicao-05-novembro/RECURSOS_DIDATICOS_NA_EDUCACAO_ESPECIAL_5_1996.pdf. Acesso em 01/08/2023.

CUNHA, M. S.; SOUZA, V. R. M. **O ensinar e o aprender na escola: considerações sobre sistema braille e as novas tecnologias.** In: FERRETE; A. A. S. S.; SOUZA, V. R. M.; FERRETE, R. B. A inclusão escolar da pessoa com deficiência. São Cristóvão: Ed. UFS, 2013. p. 97-112

Galvão Filho, T. A. (2009). **A Tecnologia Assistiva: de que se trata?** In G. J. C. Machado & M. N. Sobral (Eds.), *Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade* (pp. 207-235). Porto Alegre: Redes Editora.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo. Atlas. 1991.

GUIJARRO, M. R. B. **Inclusão: um desafio para os sistemas educacionais.** In: BLANCO, R. et al. *Ensaio pedagógicos: construindo escolas inclusivas.* Brasília: MEC, 2005. p. 7-14.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pessoas com deficiência.** Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/20551-pessoas-com-deficiencia.html>. Acesso em: 22/07/2023.

MARTINS, J.S. **A sociedade vista do abismo: novos estudos sobre exclusão, pobreza e classes sociais.** 2 ed. Petrópolis: Vozes, 2002. 228 p.

NUNES, S. S. **Desenvolvimento de conceitos em cegos congênitos: caminhos de aquisição do conhecimento.** Revista Semestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-85572008000100009>. Acesso em: 12/07/2023.

OMS. **Relatório mundial da saúde, 2011.** Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44575/9788564047020_por.pdf. Acesso em 03/08/2023.

PATTO, M.H.S. **Políticas atuais de inclusão escolar: Reflexão a partir de um recorte conceitual.** In: BUENO, J.G.S.; MENDES, G.M.L.; SANTOS, R.A. *Deficiência e escolarização: novas perspectivas de análise.* Araraquara: Junqueira e Marin; Brasília: CAPES, 2008. 25-42.

PREPARA ENEM. **Ligações covalentes.** Disponível em: <https://www.preparaenem.com/quimica/ligacoes-covalentes.htm>. Acesso em: 21 jul. 2025.

SÁNCHEZ, P. A. **A educação inclusiva: um meio de construir escolas para todos no século XXI**. Inclusão: revista da educação especial, Brasília, p. 7-18, out. 2005.

SOBRAL, João E. C.; EVERLING, Marli T.; CAVALCANTI, Anna L. M. S. **Ver com as mãos e dar à luz um mundo: a Tecnologia 3D e suas possibilidades cognitivas para pessoas cegas**. Cuad. Cent. Estud. Diseñ. Comun., Ensayos, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, n. 83, p. 162-175, sept. 2020. Disponível em http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-35232020000600162&lng=es&nrm=iso. Acesso em 01/08/2023. <http://dx.doi.org/10.18682/cdc.vi83.3737>.

SOUZA, F. L. **Desvelando a educação inclusiva: reflexões de um acadêmico com deficiência visual**. In: SOUZA, R. C. S.; BARBOZA, J. S. L. Educação inclusiva, tecnologia e tecnologia assistiva. Aracaju: Criação, 2013. p. 119-132

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2007

TURINO, T. A. S. **Validação de material didático para pessoas com deficiência visual: construção mútua entre usuários e projetistas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11636>. Acesso em: 09 jul. 2025

Turino, T. A. S. **VALIDAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL: CONSTRUÇÃO MÚTUA ENTRE USUÁRIOS E ROJETISTAS**. Dissertação de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11636>.

ULIANA, M. R.; MÓL, G. S. **O processo educacional de estudante com deficiência visual: uma análise dos estudos de teses na temática**. Revista Educação Especial, Santa Maria, v. 30, n. 57, p. 145-162, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1984686X20289>

APÊNDICE A - Questionário QUEBEC 2.0 adaptado

Questionário: Validação de Protótipo para Ensino de Ciências a Adolescentes com Deficiência Visual (com base na metodologia QUEST 2.0)

Nome do professor: _____

Idade: _____

Série/Ano que leciona: _____

Data da avaliação: ____ / ____ / ____

Objetivo do questionário:

Este instrumento tem por finalidade avaliar o nível de satisfação dos professores de química ao protótipo desenvolvido como tecnologia assistiva para o ensino de química. As questões seguem os princípios do instrumento QUEST 2.0, conforme proposto por Carvalho, Gois Junior e Sá (2014), buscando compreender aspectos físicos, funcionais e perceptivos do recurso.

Instruções:

Para cada uma das 8 questões abaixo, avalie sua satisfação com o protótipo utilizado nas aulas de Ciências. Utilize a escala de 1 a 5, conforme o grau de satisfação:

- 1 – Muito insatisfeito
- 2 – Pouco satisfeito
- 3 – Mais ou menos satisfeito
- 4 – Satisfeito
- 5 – Totalmente satisfeito

Marque com um X a alternativa que melhor representa sua experiência. Caso se sinta à vontade, utilize os campos de comentário para explicar sua escolha, principalmente em casos de insatisfação.

A. Recurso de Tecnologia Assistiva (Protótipo utilizado):

1. Qual é sua satisfação com as dimensões do protótipo (tamanho, altura, largura, comprimento)?
 1 2 3 4 5
2. O peso do protótipo foi adequado para você?
 1 2 3 4 5
3. Os ajustes e formas de fixação do protótipo foram satisfatórios?
 1 2 3 4 5
4. Como você avalia a estabilidade e segurança durante o uso do protótipo?
 1 2 3 4 5
5. A resistência e durabilidade do protótipo atenderam às suas expectativas?
 1 2 3 4 5
6. Considera fácil utilizar o protótipo durante as atividades de Ciências?
 1 2 3 4 5
7. O protótipo é confortável para uso?
 1 2 3 4 5
8. O recurso atendeu bem às suas necessidades no processo de aprendizagem?
 1 2 3 4 5

B. Priorização de Itens Importantes (marque os três itens mais relevantes para você):

- 1) Dimensões
- 2) Peso

- 3) Ajustabilidade
- 4) Segurança
- 5) Durabilidade
- 6) Facilidade de uso
- 7) Conforto
- 8) Eficácia

Folha de Pontuação (uso do pesquisador):

Número de respostas inválidas: _____

Pontuação subtotal do recurso (itens 1 a 20):

(Soma dos valores válidos ÷ número de itens válidos) = _____

APÊNDICE B - Questionário dissertativo

1. Qualidade do produto

1.1 Como você descreveria a qualidade dos materiais utilizados na fabricação do protótipo?

1.2 Você percebeu algo no acabamento (como textura, bordas ou superfície) que dificultou ou facilitou o uso?

2. Usabilidade

2.1 O que facilitou ou dificultou o uso do protótipo pela primeira vez?

2.2 Durante o uso, houve alguma parte do protótipo que causou insegurança ou confusão? Por quê?

3. Acessibilidade

3.1 As informações e funcionalidades do protótipo aparentam ser fáceis de identificar apenas pelo tato? Explique.

3.2 Você conseguiria utilizar o protótipo de forma autônoma? O que ajudou ou dificultou essa autonomia?

4. Relevância Pedagógica

4.1 De que forma o protótipo contribui para o ensino de química e compreensão dos conteúdos abordados?

4.2 Você acha que esse recurso pode melhorar o aprendizado de outros estudantes com deficiência visual? Por quê?

5. Melhorias propostas

5.1 Que melhorias você sugeriria no protótipo para torná-lo mais eficiente no ensino de conteúdos de Química, especialmente no estudo dos átomos?