

Desenvolvimento de objeto educacional em impressão 3D aplicado à simulação do molde auricular: uma perspectiva multidisciplinar em Design

Development of an educational object in 3D printing applied to the simulation of the earmold: a multidisciplinary perspective in Design

1

Lucas Ferreira Néri, Universidade de São Paulo – FOB/USP.

Deborah Viviane Ferrari, Universidade de São Paulo – FOB/USP.

Wanderléia Quinhoneiro Blasca, Universidade de São Paulo – FOB/USP.

Resumo

A simulação clínica é uma metodologia essencial na formação em saúde, ao proporcionar experiências práticas seguras em contextos realistas. Na Fonoaudiologia, representa uma inovação pedagógica que aprimora habilidades técnicas e comunicacionais, sobretudo em procedimentos de risco, como a moldagem auricular. Este estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo instrucional da orelha externa humana, impresso tridimensionalmente, para apoiar o ensino desse procedimento. O processo de criação baseou-se no Design, utilizando o método Double Diamond para orientar as etapas de ideação, modelagem, impressão e acabamento. O resultado foi um modelo modular, de baixo custo e fácil uso, evidenciando o papel do Design como mediador entre tecnologia e educação na saúde.

Palavras-chave: Design, Impressão Tridimensional, Simulação, Multidisciplinaridade.

Abstract

Clinical simulation is an essential methodology in health education, providing safe practical experiences in realistic contexts. In Speech-Language Pathology and Audiology, it represents a pedagogical innovation that improves technical and communicational skills, especially in risky procedures, such as ear molding. This study aimed to develop an instructional prototype of the human external ear, 3D printed, to support the teaching of this procedure. The creation process was based on Design, using the Double Diamond method to guide the stages of ideation, modeling, printing and finishing. The result was a modular, low-cost and easy-to-use model, evidencing the role of Design as a mediator between technology and health education.

Keywords: Design, Three-Dimensional Printing, Multidisciplinarity.



Introdução

A simulação clínica ganha cada vez mais destaque em cursos da área da saúde, tornando-se uma opção promissora, devido à fidelidade psicológica que é capaz de proporcionar. Sua utilização é de extrema importância para a formação de novos profissionais, criando um cenário controlado que possibilite experiências da representação de um acontecimento real, visando compreender as ações humanas de modo mais participativo e integrado ao participante (GONZÁLEZ GÓMEZ *et al.* 2008).

2

Essa abordagem possibilita a experimentação das consequências de decisões em tempo real, o que fomenta a reflexão crítica sobre o erro, sem causar danos ao paciente ou provocar o sentimento de culpa (CASSIANI, 2010).

Na área da saúde a simulação é de extrema importância, pois permite que os profissionais se preparem para a realização assertiva de procedimentos, mesmo estando na fase inicial da curva de aprendizagem (CONSELHO REGIONAL DE ENFERMAGEM DE SÃO PAULO, 2020).

São-Romão-Preto, Magalhães e Fernandes (2010), expõem que no ensino de habilidades psicomotoras para estudantes dos cursos das áreas da saúde, são utilizadas práticas de simulação em salas de aula, campo clínico e aperfeiçoamento de procedimentos em laboratórios de ensino. Nesses cenários ocorrem as situações simuladas que contribuem para a formação de uma forma mais segura objetivando o aprendizado de maior qualidade.

Robinson *et al.* (2024) demonstram que a Simulação Baseada em Educação (SBE) tem sido implementada com sucesso no treinamento de profissionais de saúde em países de média e baixa renda. Todavia, os autores ressaltam a urgência de expandir as investigações em nações de menor renda, visto que a solidez das evidências científicas varia significativamente entre as diferentes modalidades de simulação.

Nesse movimento crescente da simulação clínica, os resultados apresentam-se positivos e promissores, enfatizando o envolvimento e a participação cada vez maior de diferentes áreas da saúde que objetivam a melhora da formação e capacitação dos profissionais. Sob essa ótica, a Fonoaudiologia, como ciência da saúde que atua na prevenção, avaliação, diagnóstico e tratamento de distúrbios da comunicação humana, também integra esse contexto.

Dentre as áreas de atuação do fonoaudiólogo, a audiologia é uma especialidade voltada aos distúrbios de comunicação provenientes do sistema auditivo. Assim sendo, são realizados desde o diagnóstico, intervenção e a reabilitação do paciente deficiente auditivo nas diferentes faixas etárias. Particularmente, a seleção e adaptação do aparelho de amplificação sonora individual (AASI) tem se evidenciado como uma área de atuação de grande importância no cenário tecnológico, demonstrada pelos avanços da indústria na fabricação dos dispositivos eletrônicos. No contexto da adaptação do AASI, vale ressaltar a importância do molde auricular na fixação do dispositivo eletrônico na orelha externa, assim como, na condução do sinal amplificado até a membrana timpânica. Com esse propósito, cada vez mais a qualidade da pré-impressão do molde auricular tem sido considerada relevante. (ALMEIDA e IORIO, 2003)

A confecção do molde auricular envolve não apenas o domínio técnico do procedimento clínico, mas também a compreensão integrada de aspectos anatômicos, funcionais e materiais que influenciam diretamente na adaptação e no desempenho do dispositivo eletrônico. Pequenas variações nas características anatômicas e acústicas do molde, na escolha dos materiais ou na execução da técnica podem comprometer a vedação acústica, o conforto do usuário e o desempenho da amplificação sonora, uma vez que a vedação adequada do molde auricular é considerada um dos fatores mais críticos na adaptação de próteses auditivas, estando diretamente relacionada à ocorrência de microfonia quando insuficiente (PIRZANSKI, 2001).

Trata-se, portanto, de um processo complexo, que exige treinamento prático qualificado e o suporte de estratégias pedagógicas voltadas à visualização, experimentação e repetição segura do procedimento, bem como ao desenvolvimento da escuta ativa para compreender e manejar as queixas de usuários dos AASIs (SOMMER, 2022).

Com esse propósito, evidencia-se a necessidade de abordagens multidisciplinares que integrem conhecimentos da saúde, engenharia e Design, especialmente à luz dos princípios do Design Centrado no Usuário, que preconizam a participação ativa dos usuários ao longo de todo o processo de desenvolvimento. Essa abordagem contribui para a configuração de soluções mais eficazes, ao considerar aspectos como usabilidade, entendida como a facilidade de aprendizagem e uso de um sistema, além de sua eficiência, eficácia e segurança no contexto de tecnologias educacionais em saúde (DABBS *et al.*, 2009).

A atuação integrada de equipes multidisciplinares, nesse sentido, potencializa o desenvolvimento de recursos educacionais mais alinhados às necessidades dos usuários, ao permitir a articulação de diferentes expertises ao longo do processo projetual. Um exemplo dessa abordagem pode ser observado na área da saúde, em que um grupo de pesquisa em Design da informação em educação e saúde da Universidade Federal de Pernambuco investigou a criação de materiais educacionais voltados ao apoio da aprendizagem da metodologia científica e à verificação da aplicação de protocolos e padrões acadêmicos (VASCONCELOS, SIMÕES-BORGIANI e PICHLER, 2022).

Dessa forma, a incorporação de tecnologias digitais no ensino em saúde tem ampliado as possibilidades de desenvolvimento de recursos educacionais mais interativos e eficazes. Dentre essas tecnologias, a impressão tridimensional destaca-se como uma ferramenta promissora, ao permitir a fabricação de modelos físicos a partir de dados digitais, com diferentes níveis de fidelidade anatômica e propriedades mecânicas ajustáveis. Baseada nos princípios da manufatura aditiva, essa tecnologia possibilita a produção de objetos por deposição sucessiva de camadas de material, a partir de modelos digitais desenvolvidos em ambiente CAD (*Computer Aided Design*), viabilizando a criação de protótipos personalizados, replicáveis e de custo relativamente reduzido (JABIR, 2012; EDGAR; TINT, 2015).

Segundo Sun, Wong e Yeong (2023, p. 1), a impressão tridimensional “revolucionou nossa percepção de como as tecnologias avançadas contribuem para a educação médica e a prática clínica, aumentando as ferramentas de visualização atuais ou as abordagens padrão de diagnóstico ou planejamento usadas nos diferentes campos da medicina”.

Na tecnologia de modelagem por deposição fundida (*Fused Deposition Modeling* – FDM), os materiais mais utilizados na impressão tridimensional são o PLA e o ABS, escolhidos principalmente por suas propriedades mecânicas, baixo custo e ampla disponibilidade em ambientes de prototipagem (JABIR, 2012).

No entanto, a versatilidade da impressão tridimensional permite a utilização de diferentes materiais com propriedades distintas, como o poliuretano termoplástico (TPU), de característica flexível, possibilitando a simulação de estruturas anatômicas com diferentes comportamentos mecânicos. Essa característica amplia o potencial da tecnologia para aplicação no desenvolvimento de simuladores educacionais na área da saúde, especialmente aqueles que demandam interação tátil e manipulação manual durante o treinamento de procedimentos clínicos (MARTINEZ *et al.*, 2019; MARTIN *et al.*, 2023).

Além da tecnologia FDM, Araújo e Sousa (2025) destacam que tecnologias de impressão a laser, como *Stereolithography* (SLA), *Digital Light Processing* (DLP) e *Liquid Crystal Display* (LCD), apresentam alta precisão e nível de detalhamento, o que justifica sua ampla aplicação em setores especializados, como odontologia e joalheria.

Nesse sentido, os autores ressaltam que:

[...] ao contrário da tecnologia FDM, na qual as camadas de impressão são perceptíveis tanto tátil quanto visualmente, a criação de peças com tecnologia a laser resulta em protótipos hiper-realistas, muitas vezes confundidos com produtos finalizados de mercado. (Araújo e Sousa, 2025, p. 25)

Dessa maneira, o desenvolvimento de todos esses processos integrados contribui para solução de problemas de forma mais efetiva às demandas do ensino em saúde.

Ao longo do tempo, apesar dos avanços na utilização de simuladores e tecnologias de impressão tridimensional, observa-se uma lacuna no desenvolvimento de modelos na Fonoaudiologia, especificamente, voltados à prática da pré-impressão do molde auricular, abarcando, aspectos importantes como fidelidade anatômica, modularidade e baixo custo. A ausência de soluções que articulem esses atributos compromete sua aplicabilidade em contextos educacionais, sobretudo em instituições com limitações de infraestrutura, além de dificultar o treinamento das habilidades práticas de forma segura.

Assim, este estudo fundamenta-se na necessidade de compreender e estruturar, sob uma perspectiva multidisciplinar entre Design e Fonoaudiologia, os aspectos projetuais e técnicos envolvidos no desenvolvimento de um simulador físico de baixa fidelidade voltado ao ensino da pré-impressão do molde auricular. Busca-se, com isso, sistematizar parâmetros relacionados à fidelidade anatômica, à seleção de materiais e à usabilidade, de modo a subsidiar a construção de um objeto educacional baseado em impressão tridimensional, capaz de atender às demandas formativas da prática clínica em ambiente simulado.

Metodologia

A estruturação metodológica deste projeto apresentou a junção de etapas descritivas do desenvolvimento do protótipo com a fundamentação da metodologia do *Design Thinking* (DT),

especificamente na utilização da ferramenta *Double Diamond* (DD) representado pela figura 1. Abordando itens presentes no processo de design denominadas de: problemática, produção e testes exposto na figura 2.

Figura 1: Demonstração gráfica da ferramenta Double Diamond.



Fonte: O autor (2025).

Figura 2: Etapas descritivas de desenvolvimento do projeto

Etapas descritivas de desenvolvimento



Fonte: O autor (2025).

Deste modo a partir da união das etapas presentes na ferramenta DD ao processo descritivo de desenvolvimento do protótipo, surge uma terceira solução mais completa e descritiva. Por meio da definição em fases esta união pode ser apresentada como: Fase 1 – Problemática

(Descobrir e Definir), Fase 2 – Produção (Desenvolver) e por fim Fase 3 – Testes e Avaliação (Entregar). Exposto na figura 3:

Figura 3: União da metodologia Double Diamond às etapas descritivas



Fonte: O autor (2025).

A Fase 1, denominada de problemática que contempla a etapa de mesmo nome, tem por objetivo compreender a questão levantada pelo estudo e alinhar as necessidades ao objetivo do projeto de produto abordando os itens descobrir e definir da ferramenta DD.

A Fase 2, denominada de produção contempla as etapas de: modelagem 3D, fatiamento, impressão 3D, colagem e acabamento, *mockup* e protótipo. Abordando o item desenvolver da ferramenta DD.

A Fase 3, e última denominada de testes e avaliação, buscou realizar testes práticos tanto de modelos anatômicos alternativos da orelha quanto do protótipo final com o grupo de pesquisa. Esta fase, contempla as etapas de: testes da anatomia da orelha, avaliação da usabilidade e análise do tempo para a realização do procedimento.

Optou-se pela avaliação junto a profissionais Fonoaudiólogos com titulação mínima de especialista, pelo menos dois anos de experiência na área, e tendo como base critérios elaborados e adaptados para este estudo. Todos os participantes presentes neste estudo formam o grupo de pesquisa de desenvolvimento do projeto e auxiliaram na construção do modelo MASPO.

Este trabalho contou com a participação de seis especialistas (n=6), sendo todos profissionais Fonoaudiólogos especialistas na área de audiolgia com experiência no processo de seleção e adaptação do AASI.

A fim de avaliar a usabilidade do protótipo e, consequentemente, identificar e corrigir possíveis fragilidades em sua construção, foi desenvolvido um questionário adaptado do material elaborado por Almeida (2018). O instrumento foi estruturado como ferramenta de coleta de dados desta pesquisa, composto por 11 questões.

O questionário foi aplicado em formato físico e preenchido individualmente pelos membros do grupo de pesquisa após a realização dos testes com o simulador, garantindo avaliação independente de cada participante.

As questões de 1 a 10 foram respondidas em ordem sequencial e estruturadas em escala Likert (Likert, 1932), com opções variando de 1 a 5, sendo: 1 (ruim), 2 (razoável), 3 (bom), 4 (muito bom) e 5 (excelente). Dessa forma, considerou-se uma escala crescente de avaliação, na qual 1 corresponde à menor pontuação e 5 à maior pontuação atribuída ao item avaliado. Essas questões abrangeram aspectos quantitativos relacionados ao envolvimento com o protótipo, motivação para a utilização, velocidade de adaptação à experiência com o simulador, coerência no contexto da tarefa, qualidade visual do simulador, análise dos diferentes materiais, tempo para a realização do procedimento, facilidade de realização da tarefa, interação com o protótipo e qualidade da pré-impressão do molde auricular.

A questão 11, de natureza qualitativa, foi destinada ao registro do número de vezes necessárias para a realização da pré-impressão do molde auricular por cada participante. Os dados coletados foram tratados com ênfase na identificação de melhorias iterativas no design do modelo. Nesse processo, destacou-se especialmente o refinamento da geometria do MAE, bem como a avaliação da combinação de materiais (PLA e TPU) para simulação anatômica mais fiel.

Na etapa de pré-impressão do molde auricular, o grupo de pesquisa realizou a análise do tempo aproximado necessário para a execução completa do procedimento. Para fins de documentação e apresentação dos resultados, todos os testes foram cronometrados, e os dados obtidos foram posteriormente registrados e organizados para sessões de registro fotográfico em ambiente controlado (estúdio).

Quanto aos recursos utilizados, foram empregados diferentes materiais e ferramentas. Entre os materiais, incluem-se: software de modelagem tridimensional, software de fatiamento de modelos 3D e filamentos para impressão (PLA, ABS e TPU). Já entre os equipamentos utilizados, destacam-se: impressora tridimensional com tecnologia FDM, computador portátil e micromotor (tipo retífica).

Resultados

Semelhante a estruturação metodológica, os resultados puderam ser categorizados em três grupos: Fase 1 – Problemática (Descobrir e Definir), Fase 2 – Produção (Desenvolver) e por fim Fase 3 – Testes e Avaliação (Entregar).

Fase 1 – Problemática (Descobrir e Definir)

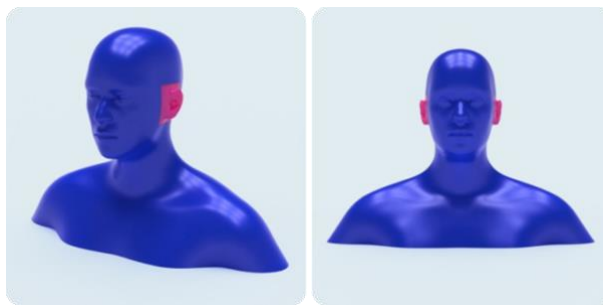
O desenvolvimento do MASPO (Modelo de Aprendizado à Simulação de Procedimentos em Otoplastica) foi conduzido por um grupo de pesquisa de caráter multidisciplinar, integrando conhecimentos das áreas de Fonoaudiologia, Design e Engenharia, com o objetivo de promover uma abordagem colaborativa na construção do objeto educacional instrucional.

O protótipo, com dimensões e características morfológicas semelhantes às do corpo humano, foi concebido a partir dos princípios do Design Centrado no Usuário, buscando-se a empatia com o público-alvo e a compreensão das necessidades reais do processo de ensino-aprendizagem.

Nesse contexto, buscou-se aproximar o estudante de graduação em Fonoaudiologia dos desafios encontrados na rotina clínica do especialista em Fonoaudiologia durante o procedimento de pré-impressão do molde auricular, incluindo aspectos como precisão técnica, adaptação a diferentes materiais e tomada de decisão durante o processo.

A Figura 4 apresenta a representação do protótipo desenvolvido no contexto desta pesquisa.

Figura 4: Renderização virtual do objeto de simulação MASPO



Fonte: O autor (2025).

Fase 2 – Produção (Desenvolver)

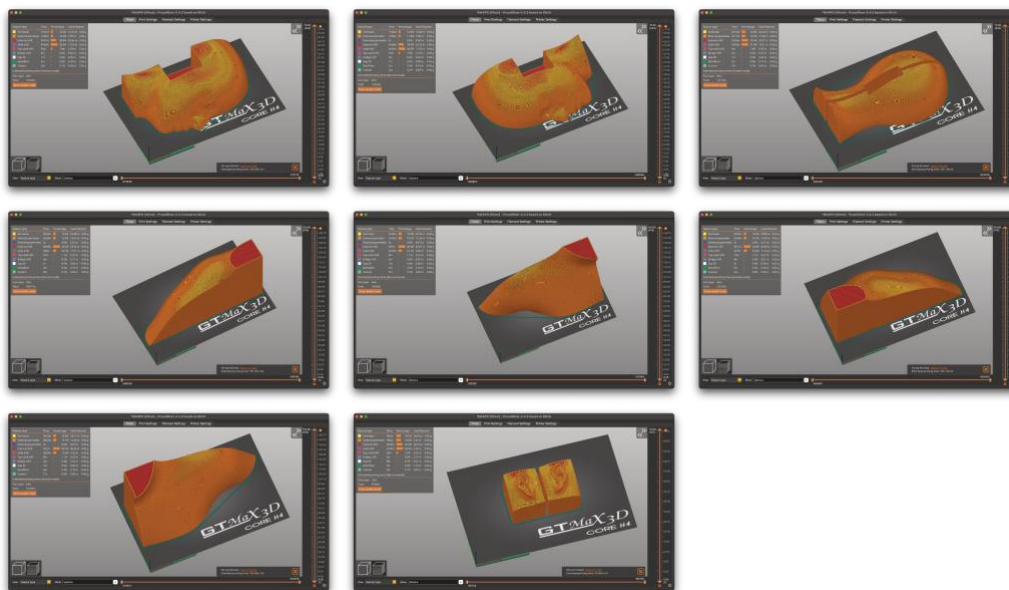
Como resultado, foi possível obter o protótipo com medidas de 40cm x 55cm x 21cm (Escala: 1:1) o protótipo final impresso no tamanho aproximado ao do corpo humano em material ABS possui 5% de preenchimento interno para cada peça garantindo sustentação das partes, as características em camadas presentes na superfície são geradas pelo método de impressão aditiva que possui aspecto rígido. Seu peso aliado às ranhuras facilitam o manuseio e sensação de um membro aproximado à realidade, este modelo contou com o tempo de impressão total estipulado em 84 horas e 53 minutos. Os resultados podem ser visualizados nas figuras 5 e 6:

Figura 5: Protótipo em escala 1:1 impresso tridimensionalmente em material ABS



Fonte: O autor (2025).

Figura 6: Visualização de fatiamento virtual do protótipo na mesa de impressão



Fonte: O autor (2025).

Fase 3 – Testes e Avaliação (Entregar)

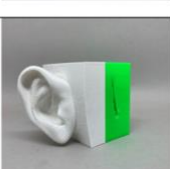
Impressos de forma inteiriça no material PLA, o bloco do MAE contou com o total de seis impressões e quatro alterações anatômicas até alcançar sua forma ideal. Todos os modelos foram testados levando em consideração a fisionomia de medidas aproximadas do pavilhão auricular.

Com o auxílio do grupo de pesquisa foi possível definir a altura correta para a divisão em camadas dos materiais PLA e TPU, com função de simular a cartilagem e região óssea presentes

no pavilhão auricular, sendo o material TPU de característica flexível a cartilagem e o PLA de característica rígida a região óssea.

A proximidade do MAE com o real do corpo humano foi sendo aprimorada entre os modelos impressos baseado nas observações realizadas pelo grupo de pesquisa, os testes enumerados podem ser conferidos na figura 7 a seguir:

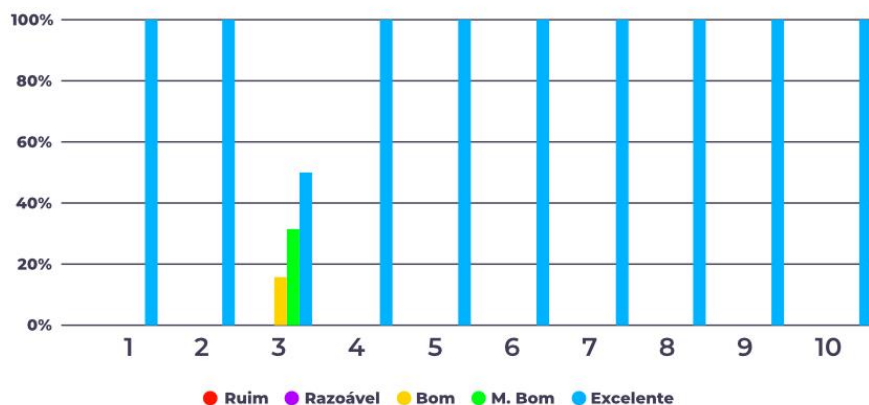
Figura 7: Documentação do processo de testes do bloco da orelha

Teste	Resultado	Descrição
1		Bloco impresso sem nenhuma alteração, visando testar o encaixe ao busto Anatomia do pavilhão auricular inicial original do modelo Material rígido (PLA)
2		Bloco impresso com a primeira inserção da modelagem do MAE. Anatomia do pavilhão auricular inicial original do modelo Este modelo apresentou pouca reprodução do pavilhão auricular Material rígido (PLA)
3		Bloco impresso com a segunda inserção da modelagem do MAE. Troca da anatomia do pavilhão auricular Este modelo apresentou pouca reprodução do pavilhão auricular com o conduto estreito se comparado ao anterior. Material rígido (PLA)
4		Bloco impresso com a terceira inserção da modelagem do MAE. Troca da anatomia do pavilhão auricular Este modelo apresentou melhor reprodução do pavilhão auricular porém com o conduto estreito semelhante ao anterior. Material rígido (PLA)
5		Bloco impresso com a quarta inserção da modelagem do MAE. Troca da anatomia do pavilhão auricular Este modelo apresentou superior reprodução do pavilhão auricular porém com o conduto estreito semelhante ao anterior. Material rígido (PLA)
6		Bloco impresso com a quinta inserção da modelagem do MAE. Manteve a anatomia do pavilhão auricular Este modelo apresentou superior reprodução do pavilhão auditivo com todas as estruturas MAE. Divisão de materiais flexíveis e rígidos (TPU e PLA)

Fonte: O autor (2025).

A avaliação da usabilidade, contou com seis especialistas da área de fonoaudiologia membros do grupo de pesquisa, sendo possível adquirir respostas de acordo com a visão de cada profissional. Para a interpretação dos dados obtidos das respostas presentes no questionário de usabilidade. Foi desenvolvido um gráfico que pode ser identificado pela figura 8 em seguida:

Figura 8: Resultado do questionário de usabilidade



Fonte: O autor (2025).

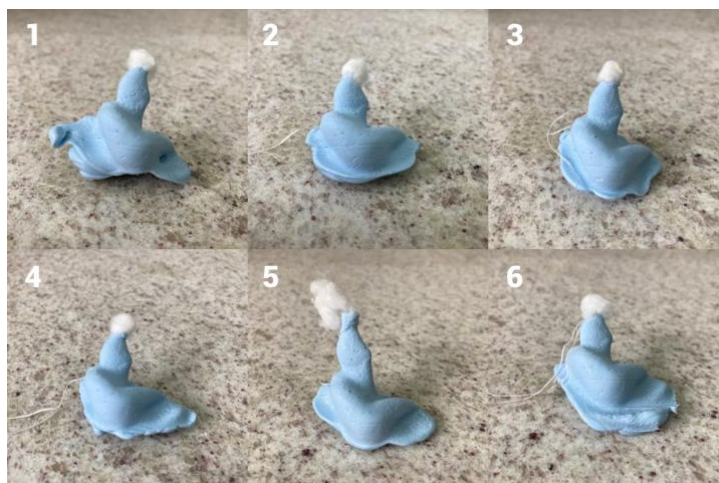
O gráfico demonstra que, para as questões 1 (envolvimento com o protótipo), 2 (motivação para a utilização), 4 (coerência no contexto da tarefa), 5 (qualidade visual do simulador), 6 (análise dos diferentes materiais), 7 (tempo para a realização do procedimento), 8 (facilidade de realização da tarefa) e 9 (interação com o protótipo), os participantes avaliaram a usabilidade como excelente. Esse resultado também se reflete na questão 10 (qualidade da pré-impressão do molde auricular), a qual foi igualmente classificada como excelente pelos membros do grupo de pesquisa (100%).

Apenas na questão 3, relacionada à velocidade de adaptação à experiência com o simulador, observou-se maior variabilidade nas respostas: um participante (16,7%) classificou como bom, dois (33,3%) como muito bom e três (50%) como excelente.

Quanto à questão final, referente ao número de tentativas necessárias para a realização da pré-impressão do molde auricular, os resultados indicaram que cinco participantes (83,3%) realizaram o procedimento apenas uma vez, enquanto um participante (16,7%) precisou repeti-lo duas vezes.

Considerando o tempo máximo estipulado de vinte minutos para a execução do procedimento, os testes realizados por cada membro da equipe de pesquisa foram cronometrados, registrados e organizados para posterior documentação fotográfica em ambiente laboratorial. Os resultados das pré-impressões do molde auricular, em ordem numérica encontram-se apresentados na figura 9:

Figura 9: Resultado das pré-impressões do molde auricular



Fonte: O autor (2025).

12

O tempo de execução do procedimento foi registrado individualmente para cada participante. Os tempos obtidos foram: Participante 1 – 13 minutos e 02 segundos; Participante 2 – 9 minutos e 32 segundos; Participante 3 – 12 minutos e 11 segundos; Participante 4 – 8 minutos e 39 segundos; Participante 5 – 12 minutos e 16 segundos; e Participante 6 – 5 minutos e 56 segundos.

Discussão

O presente estudo insere-se no contexto do crescente uso de recursos tecnológicos aplicados ao ensino em saúde, no qual o Design se destaca como uma área transdisciplinar relevante para o desenvolvimento de soluções educacionais inovadoras. Nesse cenário, a integração entre Design e Fonoaudiologia evidencia o potencial de abordagens colaborativas na construção de dispositivos voltados à formação profissional, especialmente em ambientes de simulação clínica.

O MASPO foi desenvolvido dentro de uma perspectiva multidisciplinar, integrando conhecimentos de engenharia, design e ciências da saúde. Essa articulação reforça a tendência contemporânea de formação em saúde baseada na colaboração entre diferentes áreas do conhecimento, contribuindo para o desenvolvimento de competências clínicas de forma segura e controlada.

No que se refere ao desenvolvimento do protótipo, a escolha de materiais como PLA e TPU mostrou-se adequada para representar diferentes propriedades mecânicas, sendo o TPU particularmente relevante por sua flexibilidade e viabilidade econômica. Contudo, a literatura aponta limitações desses materiais na reprodução fiel das propriedades biomecânicas dos tecidos humanos, apesar de sua contribuição para a simulação funcional e o processo de ensino-aprendizagem (SUN; WONG; YEONG, 2023).

Adicionalmente, a fidelidade tátil dos modelos impressos tridimensionalmente constitui um fator relevante para a experiência do usuário, uma vez que busca aproximar a simulação das condições clínicas reais, ainda que de forma simplificada (SUN; WONG; YEONG, 2023). Nesse sentido, ajustes realizados no protótipo, especialmente relacionados ao material flexível (TPU) e à sua apresentação visual, foram fundamentais para aprimorar sua usabilidade.

Os achados deste estudo estão alinhados com a literatura que evidencia os benefícios da simulação no ensino em saúde, incluindo o desenvolvimento de habilidades técnicas e a tomada de decisão em ambiente controlado antes da prática clínica real (ROBINSON *et al.*, 2024). De forma complementar, a simulação contribui para a redução de riscos e para uma aprendizagem mais ativa e significativa, conforme destacado pelo Conselho Regional de Enfermagem de São Paulo (2020).

No processo de avaliação do MASPO, os resultados obtidos por meio de questionário de usabilidade indicaram elevada satisfação dos participantes em relação ao envolvimento com o protótipo, coerência das tarefas, qualidade visual, interação e facilidade de uso, com predominância de avaliações classificadas como “excelente”. A qualidade da pré-impressão do molde auricular também foi avaliada positivamente por todos os membros do grupo de pesquisa.

Observou-se, entretanto, variabilidade na velocidade de adaptação ao simulador, com respostas distribuídas entre “bom”, “muito bom” e “excelente”. Quanto ao número de tentativas para realização da pré-impressão do molde auricular, a maioria dos participantes (83,3%) realizou o procedimento apenas uma vez, enquanto 16,7% necessitaram de duas tentativas.

O tempo de execução do procedimento apresentou variação entre os participantes, com mínimo de 5 minutos e 56 segundos e máximo de 13 minutos e 02 segundos, refletindo diferenças individuais de execução dentro do limite estabelecido de tempo para a atividade.

Como resultados qualitativos, os participantes apontaram principalmente a necessidade de ajustes na coloração do material (branco) e de melhoria na flexibilidade do TPU, visando maior similaridade com as propriedades dos tecidos humanos e melhor desempenho na simulação, além do apontamento de melhorias funcionais na região da cabeça e pescoço em uma futura versão de testes.

Por fim, destaca-se que o MASPO se diferencia por sua proposta de simulação aplicada à pré-impressão do molde auricular, contribuindo para o treinamento de estudantes de Fonoaudiologia em um ambiente controlado. Ressalta-se, ainda, que as dimensões do protótipo não correspondem a medidas antropométricas reais, sendo intencionalmente adaptadas para favorecer a compreensão do usuário e a interação com o sistema simulado.

Conclusão

O presente estudo demonstrou a viabilidade do desenvolvimento de um objeto educacional instrucional baseado na simulação tridimensional da anatomia da orelha externa, destinado ao ensino e ao aprimoramento clínico do procedimento de confecção do molde auricular.

Todas as etapas do projeto foram estruturadas a partir da metodologia Design Thinking, por meio do modelo Double Diamond, o que garantiu coerência processual e alinhamento às necessidades formativas ao longo do desenvolvimento. Os resultados indicaram que a integração entre modelagem anatômica, escolha de materiais (PLA e TPU) e processo iterativo de design contribuiu de forma significativa para a construção do simulador MASPO,

especialmente no que se refere à usabilidade, fidelidade funcional e adequação ao contexto educacional.

Além disso, a atuação de uma equipe multidisciplinar mostrou-se fundamental para a qualificação do processo, integrando diferentes áreas e fortalecendo a consistência técnica da solução proposta. Embora o protótipo tenha atingido seus objetivos iniciais, destaca-se a necessidade de estudos adicionais para avaliação de sua eficácia em discentes de graduação em Fonoaudiologia, bem como aprimoramentos pontuais relacionados ao desempenho e refinamento do modelo, reforçando seu potencial como ferramenta educacional aplicada ao ensino em Fonoaudiologia.

Referências

ALMEIDA, A. L. M. de. **Avaliação da eficácia de avisos de segurança em diferentes níveis de carga cognitiva num simulador em realidade virtual**. 2018. Tese (Doutorado em Motricidade Humana, especialidade em Ergonomia) – Faculdade de Motricidade Humana, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.

ALMEIDA, K. de; ÍÓRIO, M. C. M. **Próteses auditivas: fundamentos teóricos e aplicações clínicas**. 2. ed. São Paulo: Lovise, 2003.

ARAÚJO, C. C.; SOUSA, C. S. M. de. Diretrizes de projeto para desenvolvimento de texturas tridimensionais poliméricas aplicadas a produtos do cotidiano. **Estudos em Design**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 2, p. 48–77, 2025.

CASSIANI, S. H. D. B. Enfermagem e a Pesquisa sobre Segurança dos Pacientes. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 23, n. 6, p. vii–viii, 2010.

CONSELHO REGIONAL DE ENFERMAGEM DE SÃO PAULO. **Manual de simulação clínica para os profissionais de enfermagem**. São Paulo: Coren-SP, 2020.

DABBS, A. D. et al. User-centered design and interactive health technologies for patients. **Computers, Informatics, Nursing**, v. 27, n. 3, p. 175–183, 2009.

EDGAR, J.; TINT, S. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, 2nd edition: by Ian Gibson, David Rosen and Brent Stucker. **Johnson Matthey Technology Review**, v. 59, n. 3, p. 193–198, 2015.

GONZÁLEZ GÓMEZ, J. M. et al. Nuevas metodologías en el entrenamiento de emergencias pediátricas: simulación médica aplicada a pediatría. **Anales de Pediatría**, [s. l.], v. 68, n. 6, p. 612–620, 2008.

JABIR, M. A. A Comprehensive review of medical simulation. **The Internet Journal of Medical Simulation**, [s. l.], v. 3, n. 2, 2012.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, New York, v. 22, n. 140, p. 1-55, 1932.

MARTIN, M.-S. et al. Evaluation of a medical grade thermoplastic polyurethane for the manufacture of an implantable medical device: the impact of FDM 3D-printing and gamma sterilization. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 2, p. 456, 2023.



MARTINEZ, A. C. P. et al. Avaliação do comportamento mecânico dos polímeros ABS e PLA em impressão 3D visando simulação de desempenho estrutural. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 125–141, 2019.

PIRZANSKI, C. Earmolds: are soft materials superior? **Hearing Journal**, v. 54, n. 7, p. 36–42, 2001.

ROBINSON, J. S. et al. A virtual reality simulation-based training for managing postpartum hemorrhage: a pilot study in Bihar, India. **Global Health: Science and Practice**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. e2400187, 2024.

SÃO-ROMÃO-PRETO, L.; MAGALHÃES, C. P.; FERNANDES, A. A simulação de cuidados complexos: uma nova ferramenta formativa. **Educação, Gestão e Sociedade: revista da faculdade de educação e artes do Vale do Paraíba**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1-13, 2010.

SOMMER, A. Classroom to clinic connections: enhancing student education in hearing aid troubleshooting. **Hearing Journal**, v. 75, n. 11, p. 18–20, nov. 2022.

SUN, Z.; WONG, Y. H.; YEONG, C. H. Patient-specific 3D-printed low-cost models in medical education and clinical practice. **Micromachines**, v. 14, n. 2, p. 464, 2023.

VASCONCELOS, C. B. de; SIMÕES-BORGIANI, D. S.; PICHLER, R. F. Design para a multiplicidade: uma proposta de integração de diferentes áreas com contribuições mútuas. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. e44111125253, 2022.

Sobre os autores

Lucas Ferreira Néri

Bacharel em Design pela FIB - Faculdades Integradas de Bauru (2016 - 2019). Mestre em Ciências pelo Programa de pós-graduação em fonoaudiologia - Área: Processos e Distúrbios da Comunicação. Faculdade de Odontologia de Bauru FOB/USP (2020 - 2023). Doutorando em Ciências pelo Programa de pós-graduação em Fonoaudiologia - Área: Processos e Distúrbios da Comunicação. Faculdade de Odontologia de Bauru FOB/USP (2023 - Atual).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1283-7858>

Deborah Viviane Ferrari

Graduada em Fonoaudiologia pela Faculdade de Odontologia de Bauru (FOB) - Universidade de São Paulo (1995). Mestre em Distúrbios da Comunicação pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (1999). Doutora em Neurociências e Comportamento pelo Instituto de Psicologia - Universidade de São Paulo (2003). Livre docente em Fonoaudiologia - FOB-USP (2014). Docente do Departamento de Fonoaudiologia da FOB-USP desde 2002.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6582-2115>

Wanderléia Quinhoneiro Blasca

Graduada em Fonoaudiologia (1987) pela Universidade do Sagrado Coração. Mestrado em Educação: Distúrbios da Comunicação - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (1994). Doutorado em Ciências - Distúrbios da Comunicação - HRAC - Universidade de São Paulo (2002) e Livre Docência pela FOB-USP (2012). Docente do Departamento de Fonoaudiologia da FOB-USP na Graduação e Pós-Graduação.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2634-0607>