



Avaliando a Adequação de Gestos para a Interação com Sistemas de Realidade Aumentada no Ensino de Medicina Aplicando Visualizações de Dados Médicos

Vitor Gabriel Rodrigues Sousa, UFMA,

vitor.grs@discente.ufma.br, <https://orcid.org/0009-0003-8315-4995>

Sabryna Araujo, UFMA,

sabryna.ra@discente.ufma.br, <https://orcid.org/0009-0001-5460-1261>

Victor Lemos, UFMA,

victorhbl12@nca.ufma.br, <https://orcid.org/0009-0006-4321-4406>

Héber Sousa, UFMA,

hebersousa@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-0123-2194>

Lisle de Paiva, UFMA,

lisle@nca.ufma.br, <https://orcid.org/0000-0002-4594-5628>

Anselmo Cardoso de Paiva, PPGCC, UFMA,

paiva@nca.ufma.br, <https://orcid.org/0000-0003-4921-0626>

Davi Viana, PPGCC, UFMA

davi.viana@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0003-0470-549X>

Luis Jorge Enrique Rivero Cabrejos, PPGCC, UFMA,

luis.rivero@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0001-6008-6537>

Resumo: A visualização de dados médicos por meio de simulações em Realidade Aumentada (RA) surge como uma solução eficaz para o ensino de conteúdos complexos ou de alto risco. Este artigo apresenta um estudo que avalia gestos para interação em RA, com 62 voluntários avaliando 20 gestos em sete tarefas: translação, rotação, escala, play, pause, avançar e voltar. Os gestos mais bem avaliados foram: para translação, o gesto 2, que envolve mover o objeto com o dedo indicador; para escala, o gesto 3, com duas mãos em movimento discordante; e para rotação, o gesto 4, com as mãos em movimento concordante. Para as tarefas de play, pause, avançar e voltar, o gesto 1 foi o mais bem pontuado, envolvendo movimentos circulares, verticais e horizontais dos braços. Esses gestos simples e intuitivos, com baixo esforço motor, favorecem uma interação fluida, reduzindo a carga cognitiva e otimizando o foco no conteúdo, o que impacta positivamente na experiência de aprendizagem em RA.

Palavras-chave: Interação Humano-Computador, Realidade Aumentada, Ensino Médico, Gestos, Usabilidade, Design Participativo.

Evaluation of Gestures for Interaction in Augmented Reality for Medical Education: A Study Using Participatory Design

Abstract: The visualization of medical data through Augmented Reality (AR) simulations emerges as an effective solution for teaching complex or high-risk content. This paper presents a study that evaluates gestures for interaction in AR, with 62 volunteers assessing 20 gestures across seven tasks: translation, rotation, scaling, play, pause, forward, and backward. The highest-rated gestures were: for translation, Gesture 2, which involves moving the object with the index finger; for scaling, Gesture 3, with both hands in discordant motion; and for rotation, Gesture 4, with the hands in concordant motion. For the tasks of play, pause, forward, and backward, Gesture 1 received the highest scores, involving circular, vertical, and horizontal arm movements. These simple and intuitive gestures, with low motor effort, promote fluid interaction, reduce cognitive load, and optimize focus on the content, positively impacting the learning experience in AR.



Keywords: Human-Computer Interaction, Augmented Reality, Medical Education, Gestures, Usability, Participatory Design.

1. Introdução

A pesquisa no campo educacional tem buscado cada vez mais incorporar tecnologias que, embora em fase inicial de desenvolvimento ou adoção, têm o potencial de transformar significativamente setores, mercados e a sociedade com o objetivo de ampliar a compreensão de conceitos complexos por parte dos estudantes e profissionais em formação (Cook *et al.*, 2019). Dentre essas tecnologias, a Realidade Aumentada (RA) tem se destacado por sua capacidade de fundir elementos virtuais com o ambiente físico, permitindo abordagens pedagógicas mais imersivas e práticas, principalmente em áreas como a medicina, onde o treinamento seguro e controlado é essencial (Barsom; Graafland e Schijven, 2016).

Nesse contexto, a visualização de dados médicos através de simulações computacionais em ambientes de RA surge como uma solução eficaz para o ensino de conteúdos que, tradicionalmente, são de difícil acesso ou alto risco para o treinamento em situações reais (Moro; Štromberga e Stirling, 2017). Além disso, a utilização de modelos tridimensionais aliados a técnicas interativas baseadas em gestos manuais oferece aos estudantes uma experiência mais engajadora, intuitiva e não invasiva, promovendo maior retenção de conhecimento.

É importante ressaltar que a eficácia de aplicações educacionais em Realidade Aumentada (RA) está diretamente ligada à escolha adequada dos gestos de interação, que devem prezar pela usabilidade e acessibilidade. Estudos indicam que gestos naturais e fáceis de executar favorecem a aceitação da tecnologia (Piumsomboon *et al.*, 2013). No entanto, ainda há escassez de abordagens sistemáticas que integrem RA à visualização interativa de dados no ensino médico.

O objetivo deste artigo é identificar os gestos mais adequados para interação em sistemas de Realidade Aumentada (RA) aplicados ao ensino médico, com foco na usabilidade e acessibilidade. Através de um estudo conduzido com 62 voluntários, buscamos avaliar a eficácia de diferentes gestos em tarefas específicas, como manipulação, navegação e controle. A pesquisa combina princípios de Interação Humano-Computador (IHC) e métodos quantitativos para determinar quais gestos promovem maior naturalidade, clareza e facilidade de uso, com o intuito de aprimorar a experiência de aprendizagem em RA no contexto educacional.

Este artigo apresenta mais 5 seções. A seção 2 expõe a fundamentação teórica sobre RA no ensino médico, a seção 3 apresenta os trabalhos relacionados, a seção 4 descreve o planejamento e a execução do estudo de avaliação de gestos. Já a seção 5 apresenta os resultados quantitativos obtidos. A seção 6 discute os resultados e suas implicações, enquanto a seção 7 traz as conclusões e as perspectivas futuras de aplicação da ferramenta no contexto educacional.

2. Fundamentação Teórica

Esta seção apresenta os principais conceitos que sustentam o desenvolvimento e a avaliação de aplicações em Realidade Aumentada (RA) voltadas ao ensino médico. São abordados os fundamentos de RA no contexto educacional, as técnicas de visualização e simulação de dados médicos, os princípios de Interação Humano-Computador (IHC) com gestos naturais e os critérios de usabilidade e aceitação tecnológica.



2.1. Realidade Aumentada no Ensino

A Realidade Aumentada (RA) integra objetos virtuais ao ambiente físico em tempo real, criando uma sobreposição interativa entre os mundos real e digital (Azuma, 1997). Com aplicações em diversas áreas, como educação, engenharia, entretenimento e, especialmente, medicina (Manuri; Sanna *et al.*, 2016), a RA tem se destacado no treinamento cirúrgico e no ensino de anatomia, ao permitir simulações seguras e realistas que complementam métodos tradicionais.

Neste artigo, a RA é adotada como base tecnológica para o desenvolvimento de uma aplicação voltada ao ensino médico, com foco na visualização de simulações tridimensionais. A proposta explora não apenas o potencial visual da RA, mas também sua interface gestual, buscando tornar a experiência mais fluida e natural. Considerando o contexto educacional, o estudo analisa a escolha e avaliação de gestos que favoreçam usabilidade, acessibilidade e o engajamento dos estudantes.

2.2. Visualização e Simulação de Dados Médicos

A simulação computacional integrada à RA permite representar, de forma imersiva, dados médicos originados de exames de imagem, como tomografias e ressonâncias magnéticas, em modelos 3D navegáveis (Moro; Štromberga e Stirling, 2017). Isso viabiliza a prática de procedimentos complexos sem riscos reais ao paciente, além de proporcionar repetibilidade e customização do ambiente de aprendizagem. Além do aspecto de segurança, a simulação em RA reduz custos com materiais físicos e infraestrutura de laboratórios, ao mesmo tempo em que oferece feedback imediato sobre desempenho e acurácia das ações dos estudantes. A **Figura 1** ilustra a interação do usuário com a simulação tridimensional por meio de um protótipo em Realidade Aumentada.

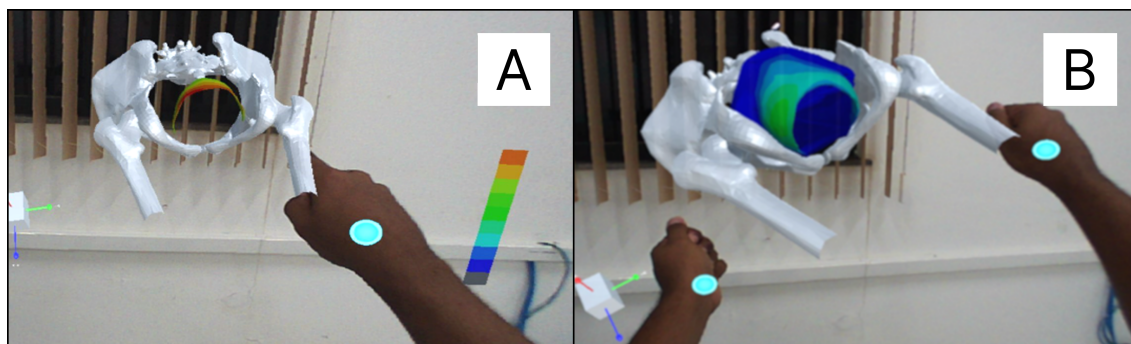


Figura 1. Interagindo com simulação por meio de um protótipo em RA. Translação (A) e Escalar (B) por interação de gestos.

2.3. Interação Humano-Computador e Gestos Naturais

A área de Interação Humano-Computador (IHC) investiga como projetar interfaces que sejam intuitivas, eficientes e acessíveis. Em ambientes de RA, interfaces gestuais ganham destaque por dispensarem periféricos tradicionais e explorarem movimentos naturais para manipulação de objetos virtuais (Piumsomboon *et al.*, 2013). A seleção de gestos eficazes deve considerar a similaridade com ações do mundo real, minimizando carga cognitiva e esforço físico.

Neste trabalho, os princípios de IHC foram aplicados desde a concepção até a avaliação dos gestos utilizados em uma aplicação de RA voltada ao ensino médico. Ao considerar fatores como facilidade de aprendizado, conforto de execução e reconhecimento intuitivo, buscou-se selecionar gestos que favoreçam a adoção da tecnologia no ambiente educacional.



2.4. Usabilidade e Aceitação de Tecnologias Educacionais

A aceitação de uma tecnologia educacional depende da percepção de utilidade e de facilidade de uso pelos seus usuários (Davis, 1989). O Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) é amplamente empregado para mensurar essas dimensões e prever a intenção de uso em contextos acadêmicos (Venkatesh *et al.*, 2003).

Paralelamente, padrões de usabilidade baseados na norma ISO 9241 oferecem métricas de eficiência, eficácia, satisfação e acessibilidade, essenciais para avaliar se a aplicação em RA atende às necessidades de estudantes e docentes. Métodos de avaliação empírica, tais como testes de usabilidade, questionários padronizados e análise de logs de interação que permitem identificar pontos fortes e limitações, orientando melhorias no design dos gestos e da interface.

3. Trabalhos Relacionados

A seleção de gestos em sistemas de realidade aumentada (RA) voltados para a visualização de dados, especialmente na área médica, requer uma abordagem centrada na usabilidade, precisão e adequação ao domínio. Diversos estudos abordam o uso de gestos manuais como interface primária para interação com modelos tridimensionais, com foco na eficácia pedagógica e na viabilidade técnica.

O estudo de Connolly *et al.* (2024) avaliou o uso do HoloLens 2 em aulas clínicas remotas com modelos anatômicos holográficos. Gestos como “air-tap” e movimentos de arrastar foram utilizados para manipulação de estruturas. Apesar da boa aceitação, os autores relataram dificuldades técnicas, como atrasos nas respostas gestuais e limitações na fidelidade visual e sonora da aplicação, impactando a imersão e a efetividade do recurso em contextos educacionais mais exigentes.

Gavgiotaki *et al.* (2023) realizaram uma revisão sistemática sobre sistemas gestuais em RA na área médica, destacando o uso frequente de gestos mid-air por razões de assepsia. No entanto, apontam a falta de padronização nos vocabulários gestuais e a limitada adoção de design centrado no usuário, o que compromete a eficácia das interações.

Dentre as pesquisas mais recentes, Moro *et al.* (2020) conduziram um estudo comparativo entre plataformas de RA, avaliando o desempenho de estudantes da saúde ao utilizarem gestos manuais e comandos de voz no HoloLens para explorar estruturas cerebrais. Os resultados indicaram maior engajamento e percepção de aprendizado, mas destacaram limitações relacionadas à naturalidade dos gestos, sugerindo a necessidade de padronização e testes de usabilidade mais rigorosos.

Em uma abordagem similar, Zhang *et al.* (2021) propuseram um ambiente educacional em RA para experimentos de química, onde estudantes interagiam com objetos virtuais usando gestos simples, como rotação e escala. Embora tenha elevado o interesse e a retenção do conteúdo, os autores apontaram que o conjunto de gestos era limitado, não contemplando interações mais complexas, como combinações ou manipulação de múltiplos objetos, o que reduz sua aplicabilidade em áreas como a medicina.

Swamy e Dasgupta (2018) analisaram o uso de gestos em um aplicativo de RA para o ensino de estereoisomeria em química. A interação gestual aumentou o engajamento e a compreensão espacial, mas o estudo apontou limitações quanto à precisão dos gestos e à sobrecarga cognitiva, especialmente entre estudantes com pouca familiaridade com RA, destacando a necessidade de diretrizes pedagógicas para interfaces mais intuitivas.

A Tabela 1 resume os principais estudos sobre o uso de gestos em sistemas de RA.



realidade aumentada (RA) no ensino médico. Os estudos abordam diferentes tipos de gestos, como gestos manuais, mid-air e gestos de toque, que são usados para interagir com modelos tridimensionais e melhorar a experiência educacional. Além disso, cada pesquisa analisa a eficácia pedagógica dessas interações, os desafios técnicos envolvidos e as limitações observadas.

Os estudos analisados destacam que, embora os sistemas de RA com gestos possam melhorar o engajamento e a percepção de aprendizado, existem várias limitações, como a falta de padronização, adaptação a diferentes perfis de usuários e avaliação do impacto pedagógico. Diante disso, este trabalho propõe uma interface gestual fundamentada em princípios de usabilidade e IHC, desenvolvida por meio de Design Participativo. O objetivo é identificar os gestos mais adequados ao ensino de medicina em RA, priorizando naturalidade e facilidade de uso, para tornar os ambientes imersivos mais eficazes na formação de profissionais da saúde.

Autores	Ano	Tipo de Gesto Avaliado	Principais Conclusões
Connolly et al.	2024	Gestos como “air-tap” e movimentos de arrastar	O uso do HoloLens 2 em tutoriais clínicos remotos demonstrou ser eficaz para melhorar o desempenho dos alunos, mas problemas com áudio e vídeo foram observados. A interação gestual foi útil, mas há desafios com as limitações técnicas e o custo do dispositivo.
Gavgiotaki et al.	2023	Gestos mid-air, gestos de toque	Gestos mid-air são adequados para contextos em que o foco do usuário não deve ser desviado do ambiente físico, como na medicina e educação. O design deve ser centrado no ser humano para garantir uma interação eficiente e natural.
Moro et al.	2021	Gestos manuais e comandos de voz (HoloLens)	O uso do HoloLens para ensino de anatomia e fisiologia mostrou resultados semelhantes aos de AR móvel em termos de desempenho dos alunos, mas o HoloLens foi associado a mais tontura, sugerindo que a tecnologia pode ser desconfortável para alguns usuários.
Zhang et al.	2020	Gestos simples, como rotação e escala.	AR foi eficaz para o ensino experimental, permitindo que os alunos manipulassem objetos virtuais e reais. Professores puderam monitorar as atividades dos alunos em tempo real, mostrando que a AR pode melhorar a aprendizagem prática em ambientes experimentais.
Swamy	2018	Gestos de toque (para visualização de moléculas 3D)	Estudantes enfrentaram dificuldades em conectar as estruturas moleculares com suas propriedades físicas. O aplicativo AR precisaria ser aprimorado para melhorar a compreensão espacial e ajudar na visualização das relações entre estruturas e propriedades moleculares.

Tabela 1. Resumo dos Artigos sobre Interação Gestual em Realidade Aumentada na Educação

4. Metodologia

Este estudo teve como objetivo identificar os gestos mais adequados para aplicações de Realidade Aumentada no ensino de medicina, priorizando naturalidade, clareza e facilidade de uso. Considerando que a eficácia de sistemas imersivos depende da qualidade das interações, a pesquisa avaliou a percepção dos usuários com base nos princípios da Interação Humano-Computador (IHC). A metodologia adotou o Design Participativo para alinhar o desenvolvimento da aplicação às necessidades reais dos usuários.



4.1. Identificação de Gestos

O primeiro passo metodológico foi identificar gestos adequados para tarefas de interação em uma aplicação de visualização médica em Realidade Aumentada (RA). Conduziu-se uma revisão sistemática da literatura sobre gestos utilizados em ambientes 3D imersivos, como RA e Realidade Virtual (RV), através de bases como Google Scholar, Scopus, Portal da CAPES e recomendações de especialistas. Foram selecionados 10 estudos com gestos aplicáveis a tarefas específicas em interfaces gestuais.

As tarefas mapeadas foram: transladar, escalar, rotacionar, play, pause, avançar e voltar, totalizando 20 gestos. Na translação, os gestos 2, 4 e 5 eram unimanuais, enquanto os gestos 1 e 3 exigiam o uso das duas mãos. Para escala, todos os gestos eram bimanuais. Em rotação, os gestos 1 e 4 foram bimanuais e os demais, unimanuais. Os gestos de play foram unimanuais; pause contou com um gesto unimanual e outro bimanual. Avançar e voltar também exigiam apenas uma mão. A Tabela 2 detalha os gestos, descrições e referências.

Tabela 2. Gestos identificados na literatura por tarefa.

Tarefa	Gesto	Descrição	Referência
Transladar	1	Uma mão estática define o comando e a outra movimenta o objeto	(Kang <i>et al.</i> , 2013)
	2	Dedo indicador seleciona e movimenta o objeto	(Lopes <i>et al.</i> , 2017)
	3	Duas mãos seguram o objeto e o movem de forma concordante	(Gallo; Placitelli e Ciampi, 2011)
	4	Segurar o objeto com a mão fechada e mover	(Fittkau; Krause e Hasselbring, 2015)
	5	Uma mão aberta que movimenta o objeto	(Wen <i>et al.</i> , 2014)
Escalar	1	Uma mão estática define o comando e a outra escala o objeto	(Kang <i>et al.</i> , 2013)
	2	Ambas as mãos abertas ou fechadas, trazendo o objeto para perto ou longe do usuário	(Fittkau; Krause e Hasselbring, 2015)
	3	Duas mãos seguram o objeto e escalam de forma discordante	(Sousa, 2013)
Rotacionar	1	Uma mão estática define o comando e a outra rotaciona o objeto	(Kang <i>et al.</i> , 2013)
	2	Mão fechada que agarra e rotaciona o objeto	(Lopes <i>et al.</i> , 2017)
	3	Mão aberta que rotaciona o objeto	(Yusoff; Basori e Mohamed, 2013)
	4	Duas mãos que seguram o objeto e rotacionam de forma concordante	(Sousa, 2013)
Play	1	Dedo indicador fazendo movimento circular	(Piumsomboon <i>et al.</i> , 2013)
	2	Movimento de mão aberta e braço recolhido até mão aberta e braço esticado	(Ruiz <i>et al.</i> , 2014)
Pause	1	Dedo indicador e médio fazendo movimento de cima para baixo	(Piumsomboon <i>et al.</i> , 2013)
	2	Braço esticado com a mão aberta por alguns segundos	(Ruiz <i>et al.</i> , 2014)
Avançar	1	Movimento com o braço da esquerda para a direita	(Piumsomboon <i>et al.</i> , 2013)
	2	Movimento da esquerda para a direita com o indicador apontando para frente	(Ruiz <i>et al.</i> , 2014)
Voltar	1	Movimento com o braço da direita para a esquerda	(Piumsomboon <i>et al.</i> , 2013)
	2	Movimento da direita para a esquerda com o indicador apontando para frente	(Ruiz <i>et al.</i> , 2014)

A análise inicial evidenciou que algumas tarefas, como transladar, possuem uma variedade maior de gestos propostos na literatura, enquanto tarefas como play, pause, avançar e voltar apresentaram apenas duas opções cada.

4.2. Planejamento

Com base nos gestos identificados, iniciou-se o planejamento da etapa de avaliação, com o objetivo de verificar quais gestos eram considerados mais adequados para cada tarefa de interação. Para isso, elaborou-se um questionário dividido em duas partes: a primeira voltada à caracterização dos participantes e a segunda à avaliação dos gestos. A estrutura foi inspirada em estudos sobre aceitação de tecnologias gestuais, como o de (Bobeth *et al.*, 2012), fundamentado no *Technology Acceptance Model (TAM)* (Venkatesh e Bala, 2013), que considera fatores como facilidade de uso e intenção de



adoção tecnológica.

4.2.1. Caracterização dos Participantes

A primeira parte do questionário buscou traçar o perfil dos participantes e seu nível de familiaridade com tecnologias de RA/RV e interações gestuais. Foram incluídas perguntas sobre dados básicos, experiência com dispositivos gestuais e conhecimento prévio em RA/RV, visando contextualizar as respostas e possíveis influências da bagagem tecnológica.

Para a caracterização dos participantes, foram levados em consideração os seguintes itens: **Grau de conhecimento sobre RA ou RV:** 1. Nunca ouvi falar sobre o tema; 2. Já ouvi falar, mas não tenho conhecimento aprofundado; 3. Já estudei sobre o tema e/ou tenho conhecimento sobre o tema; 4. Tenho experiência com o tema, desenvolvendo pesquisa na área. **Grau de experiência com sistemas em RA ou RV:** 1. Nunca ouvi falar de um sistema desse tipo; 2. Já ouvi falar, mas nunca usei pessoalmente; 3. Já interagi com esse tipo de sistema, mas de forma esporádica; 4. Tenho experiência, interagindo com gestos nesse tipo de sistema frequentemente. Essas perguntas permitiram entender o grau de exposição dos participantes às tecnologias exploradas na pesquisa, o que é relevante na interpretação dos resultados da avaliação gestual.

4.2.2. Avaliação dos Gestos

A segunda parte do questionário teve como objetivo validar os gestos coletados na revisão de literatura. Para isso, foi elaborado um conjunto de perguntas com base no Modelo TAM, avaliando a *Perceived Ease of Use* (PEOU), ou seja, a facilidade percebida no uso de cada gesto. Cada gesto, associado a uma tarefa, foi avaliado por quatro afirmações obrigatórias, respondidas em escala Likert de 1 (Discordo totalmente) a 5 (Concordo totalmente), sendo elas: **PEOU1:** Minha interação com o gesto foi clara e de fácil entendimento; **PEOU2:** Achei fácil aprender a fazer o gesto; **PEOU3:** Achei o gesto fácil de usar; e **PEOU4:** Achei fácil de usar o gesto para executar a tarefa.

Essas perguntas permitiram mensurar aspectos de clareza, usabilidade e esforço percebido na execução de cada gesto. Vale ressaltar que todas as perguntas foram obrigatórias e aplicadas para cada gesto apresentado. A apresentação dos gestos foi dividida por tarefa, e para cada gesto, foi disponibilizado um vídeo explicativo simulando sua execução.

4.2.3. Ordenação de Preferência dos Gestos

Após avaliar cada gesto individualmente, os participantes os ordenaram por preferência dentro de cada tarefa, do mais ao menos adequado. A ordenação foi realizada por meio de uma tabela interativa, em que cada gesto recebia uma posição única, de 1º a 5º lugar. Essa abordagem permitiu uma comparação direta entre os gestos, fornecendo dados adicionais para a análise quantitativa, utilizados na etapa de pontuação.

O questionário foi construído no Google Forms, permitindo a inclusão de vídeos curtos que demonstravam visualmente a execução dos gestos, com base nas descrições extraídas da literatura. Todos os vídeos foram produzidos no mesmo ambiente e com a mesma qualidade de imagem, garantindo uniformidade nas condições de gravação. Embora a duração dos vídeos não tenha sido igual, já que gestos diferentes exigem tempos de execução variados, todos foram cuidadosamente ajustados para refletir a execução natural dos gestos, facilitando a compreensão dos participantes, mesmo sem a implementação prática dos gestos.



4.3. Aplicação do Estudo

Antes da aplicação principal, foi conduzido um estudo piloto com três voluntários para verificar o tempo médio de preenchimento do questionário e sinais de fadiga. Os tempos registrados variaram de 12 a 34 minutos, confirmando a viabilidade do instrumento em termos de clareza e duração, sem necessidade de ajustes.

A aplicação completa ocorreu ao longo de cinco dias. Os voluntários foram instruídos sobre os objetivos da pesquisa e responderam ao questionário individualmente em computadores, com apoio de um aplicador. A amostra foi composta por estudantes de disciplinas de Computação e participantes de laboratórios de pesquisa da Universidade, garantindo diversidade de perfis.

5. Resultados

A aplicação do estudo contou com a participação de 62 voluntários, número considerado satisfatório dentro dos objetivos propostos, tendo como meta superar a quantidade de participantes do estudo de Piumsomboon et al. (2013). Os resultados obtidos são apresentados em duas frentes principais: a caracterização dos participantes e a avaliação dos gestos, com base nas respostas coletadas por meio dos questionários.

5.1. Caracterização dos Participantes

O estudo contou com 62 voluntários, com idades entre 18 e 39 anos (média de 22, mediana 21, desvio padrão 3,16), sendo 80,6% homens e 19,4% mulheres. Quanto à escolaridade, 95,16% tinham ensino médio completo, e apenas 4,83% algum nível de ensino superior.

Quanto à experiência com gestos, 82,3% já utilizaram smartphones com tela sensível ao toque, enquanto 4,8% nunca usaram dispositivos com interação gestual. Em relação à RA/RV, 71% já haviam ouvido falar, mas sem aprofundamento, e 1,6% nunca ouviram os termos. Além disso, 77,4% já interagiram com sistemas de RA/RV, ainda que de forma esporádica.

5.2. Avaliação dos Gestos

A avaliação dos gestos foi realizada com base na ordem de preferência atribuída pelos participantes a cada tarefa. Cada conjunto de gestos foi pontuado conforme sua posição, utilizando uma escala ponderada: gestos mais bem avaliados receberam pesos positivos (até 2), enquanto os menos preferidos foram penalizados com pesos negativos (até -2). A complexidade e o número de opções por tarefa determinaram os valores atribuídos. A Tabela 3 apresenta os pesos aplicados por colocação.

Tabela 3. Pesos atribuídos por colocação em cada tarefa

Colocação	Translação	Rotação	Escala	Play	Pause	Avançar	Voltar
1 ^a	2	2	1	1	1	1	1
2 ^a	1	1	0	-1	-1	-1	-1
3 ^a	0	-1	-1	—	—	—	—
4 ^a	-1	-2	—	—	—	—	—
5 ^a	-2	—	—	—	—	—	—

Na tarefa de **translação**, o gesto mais bem avaliado foi o gesto 2, em que o usuário utiliza o dedo indicador para mover o objeto, com 88 pontos. Em contraste, o gesto 3, que usa ambas as mãos em movimento concordante, foi o mais rejeitado, somando -65 pontos. Os demais gestos tiveram pontuações intermediárias conforme a preferência dos participantes. A Tabela 4 apresenta a pontuação detalhada por colocação, sendo a soma total de cada gesto usada para determinar sua classificação final. O mesmo procedimento foi aplicado às demais tarefas.



Tabela 4. Pontuação por colocação para a tarefa de Translação

Gesto	1ª (peso = 2)		2ª (peso = 1)		3ª (peso = 0)		4ª (peso = -1)		5ª (peso = -2)	
	Votos	Pontos	Votos	Pontos	Votos	Pontos	Votos	Pontos	Votos	Pontos
1	11	22	21	21	10	0	12	-12	8	-16
2	40	80	10	10	11	0	0	0	1	-2
3	2	4	5	5	12	0	12	-12	31	-62
4	6	12	15	14	12	0	22	-22	7	-14
5	3	6	11	11	17	0	16	-16	15	-30

A Tabela 5 apresenta a pontuação total dos gestos em cada tarefa, com base na ordenação feita pelos participantes. De forma geral, observou-se uma tendência clara de aceitação por gestos simples, especialmente o gesto 2 de translação (uso do dedo indicador para mover o objeto) e o gesto 1 das tarefas de controle, como play, pause, avançar e voltar (movimentos diretos e intuitivos, como circular com o dedo ou mover o braço lateralmente). Por outro lado, gestos como o 3 de translação (duas mãos movendo o objeto em sincronia) e o 3 de rotação (mão aberta girando o objeto) tiveram as menores pontuações, refletindo menor naturalidade ou dificuldade de execução. Na tarefa de escala, destacou-se o gesto 3 (duas mãos em movimento oposto para aumentar ou reduzir o objeto) como o mais apropriado, reforçando a preferência por ações que imitam movimentos reais. Esses dados serviram de base para a seleção final dos gestos implementados na aplicação.

Tabela 5. Pontuação total dos gestos por tarefa com base nas preferências dos participantes

Gesto	Translação	Escala	Rotação	Play	Pause	Avançar	Voltar
1	15	13	28	28	6	26	26
2	88	-24	17	-28	-6	-26	-26
3	-65	10	-31	—	—	—	—
4	-24	—	-12	—	—	—	—
5	-29	—	—	—	—	—	—

De modo geral, os resultados indicam uma preferência por gestos que requerem menor esforço motor e são mais intuitivos, especialmente em tarefas que exigem precisão ou repetição. Esses dados foram fundamentais para guiar a implementação dos gestos na aplicação final, respeitando tanto a viabilidade técnica quanto a aceitação do usuário. A Tabela 6 resume os gestos selecionados para implementação na aplicação, considerando os critérios de aceitação e viabilidade técnica.

Tabela 6. Gestos escolhidos para implementação por tarefa

Tarefa	Gesto Selecionado	Descrição Resumida
Translação	Gesto 2	Dedo indicador para selecionar e mover o objeto
Escala	Gesto 3	Duas mãos em movimento discordante para aumentar/reduzir o objeto
Rotação	Gesto 4	Duas mãos em movimento concordante para rotacionar o objeto
Play	Gesto 1	Movimento circular com o dedo indicador
Pause	Gesto 1	Movimento vertical com os dedos indicador e médio
Avançar	Gesto 1	Movimento do braço da esquerda para a direita
Voltar	Gesto 1	Movimento do braço da direita para a esquerda

Esses gestos foram implementados no protótipo final da aplicação e representam as opções mais eficazes para cada tarefa de interação proposta. A seguir, a Figura 2 ilustra visualmente cada um desses gestos escolhidos, facilitando a compreensão de suas características e reforçando o alinhamento entre os dados quantitativos obtidos e as decisões de design adotadas na construção da interface gestual.

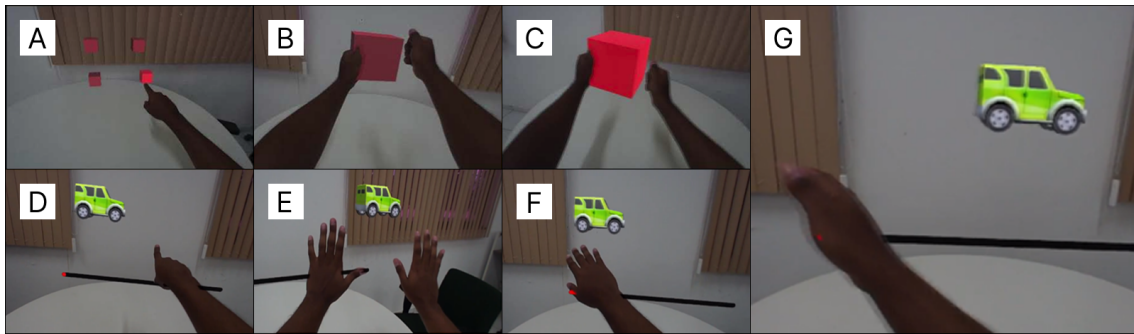


Figura 2. Gestos escolhidos por tarefa: (A) Translação – Gesto 2; (B) Escala – Gesto 3; (C) Rotação – Gesto 4; (D) Play – Gesto 1; (E) Pause – Gesto 1; (F) Avançar – Gesto 1; (G) Voltar – Gesto 1.

Para complementar a análise quantitativa, a Figura 3 apresenta gráficos boxplot com a distribuição das pontuações totais dos participantes para cada gesto avaliado, agrupados por tarefa. A visualização permite observar a mediana, a variação e possíveis outliers nas avaliações, oferecendo uma perspectiva clara sobre a consistência e a preferência relativa entre os gestos de uma mesma tarefa.

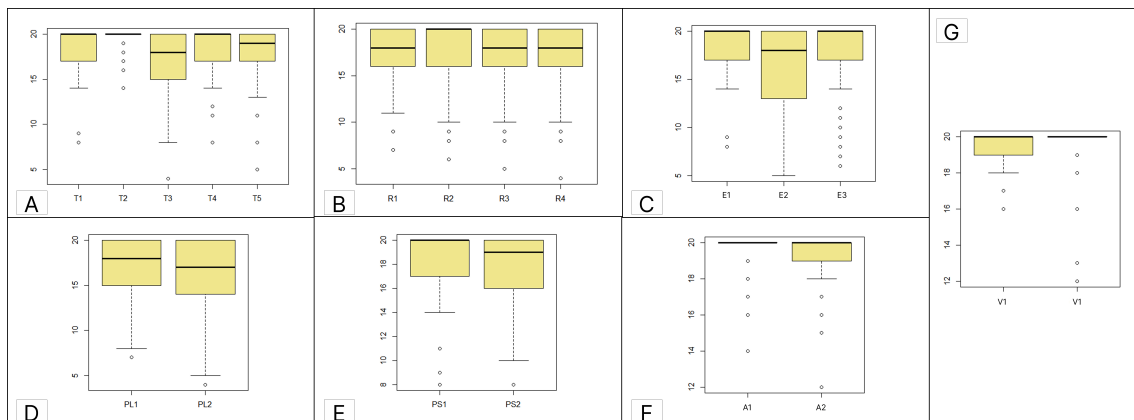


Figura 3. Gestos escolhidos por tarefa: (A) Translação; (B) Escala; (C) Rotação; (D) Play; (E) Pause; (F) Avançar; (G) Voltar.

Na tarefa de translação, o gesto T2 (uso do dedo indicador) teve a maior mediana e menor variação, refletindo forte preferência. Já T3, que usava duas mãos em movimento concordante, obteve a menor avaliação e maior dispersão. Para escala, os gestos E1 e E3 apresentaram pontuações próximas e estáveis, enquanto E2 foi o menos bem avaliado. Na rotação, R1 e R4 (bimanuais) se destacaram, ao contrário de R3, que teve maior variação. Nas tarefas de controle, PL1, PS1, A1 e V1, todos com movimentos simples, mostraram medianas elevadas e baixa variabilidade. Os gráficos confirmam a correlação entre usabilidade percebida e a preferência dos participantes, reforçando a seleção dos gestos implementados.

6. Discussão

Os resultados deste estudo indicam uma clara preferência por gestos simples e intuitivos, com baixo esforço motor, características essenciais para a eficácia de interfaces de Realidade Aumentada (RA) no ensino médico. Gestos como o uso do dedo indicador para translação (gesto 2) e movimentos bimanuais para escala (gesto 3) foram os mais



bem avaliados, alinhando-se com a literatura que destaca a importância da naturalidade nas interações gestuais (Piumsomboon *et al.*, 2013); (Gavgiotaki *et al.*, 2023). Esses gestos, que exigem menor esforço cognitivo e físico, são fundamentais para manter o foco do estudante no conteúdo e não nas interações com a interface.

Por outro lado, gestos mais complexos ou ambíguos, como o gesto 3 de translação (movimento sincronizado com duas mãos) e o gesto 3 de rotação (movimento com mão aberta), foram consistentemente rejeitados. Esse padrão de rejeição corrobora a necessidade de uma maior padronização dos gestos e a importância de testes de usabilidade mais rigorosos antes da implementação em ambientes educacionais (Moro *et al.*, 2020); (Zhang *et al.*, 2021). A simplicidade é, portanto, uma característica crucial em gestos que buscam ser naturais e intuitivos, pois a complexidade não só aumenta o esforço motor, como também pode interferir na experiência de aprendizagem ao gerar distrações cognitivas.

6.1. Impacto Educacional da Escolha dos Gestos

A análise dos resultados obtidos na avaliação dos gestos destaca conclusões importantes do ponto de vista educacional. Pois os participantes demonstraram preferência clara por gestos simples, intuitivos e com baixo esforço motor, como o uso do dedo indicador para mover objetos (translação) ou movimentos bimanuais bem definidos para escala e rotação. Esses gestos se destacaram por sua naturalidade e clareza de execução, características essenciais para ambientes de aprendizagem imersiva.

Na prática pedagógica, esse tipo de interação favorece o foco do estudante no conteúdo, ao invés de na operação da interface. Em tarefas que exigem manipulação precisa, como a simulação de estruturas anatômicas ou procedimentos clínicos, a escolha de gestos fáceis de compreender e reproduzir reduz a carga cognitiva e melhora a assimilação das informações. Os dados também indicam rejeição a gestos mais complexos ou ambíguos, o que reforça a necessidade de padronização e validação prévia antes de sua adoção em contextos de ensino.

6.2. Implicações Práticas

Este estudo possui importantes implicações práticas para o desenvolvimento de interfaces gestuais em RA para o ensino médico. Com base nos resultados, recomenda-se a implementação de gestos mais simples e intuitivos em ambientes educacionais imersivos. Tais gestos não só aumentam a eficiência da interação, como também melhoram a experiência de aprendizagem, mantendo os estudantes focados no conteúdo e não na interface. Além disso, os resultados sugerem que as plataformas de RA para o ensino médico devem investir em estudos de usabilidade e testes com um público mais diversificado para garantir a acessibilidade e a eficácia da interação.

7. Conclusão

Este estudo teve como objetivo identificar os gestos mais adequados para aplicações de Realidade Aumentada (RA) voltadas ao ensino médico, com foco na naturalidade, clareza e facilidade de uso percebida. Através da participação de 62 voluntários e da análise de 20 gestos em sete tarefas interativas, foi possível estabelecer critérios objetivos para a aceitação e rejeição dos gestos com base na experiência do usuário. A relevância deste estudo para o ensino médico é destacada, pois oferece um mapeamento empírico dos gestos mais apropriados para tarefas como manipulação, navegação e controle de simulações, contribuindo para ambientes educacionais mais acessíveis e imersivos.



A aplicação de um modelo de pontuação ponderada permitiu comparar quantitativamente os gestos, facilitando uma análise precisa das preferências dos usuários. No ensino médico, onde é necessário manipular modelos anatômicos tridimensionais com precisão, como no estudo de estruturas intracranianas, simulação de cirurgias ou visualização de órgãos, uma interface gestual natural e funcional pode aumentar a imersão, reduzir a carga cognitiva e melhorar o aprendizado prático, em ambientes simulados onde erros não representam riscos reais.

Os achados deste estudo reforçam a importância da participação ativa dos usuários no desenvolvimento das interfaces gestuais e sugerem que soluções educacionais em RA devem priorizar a usabilidade e simplicidade das interações. No entanto, é crucial reconhecer a limitação deste estudo em ter sido realizado em um ambiente simulado com vídeos para avaliação dos gestos, em vez de uma validação prática direta em um protótipo de RA, além de contar com um público predominantemente da área de computação. Como próximos passos, sugere-se a testagem dos gestos em ambiente real de aula, especificamente no contexto da medicina, por meio de gestos combinados, além da integração de mecanismos de feedback háptico ou visual para aprimorar ainda mais a experiência do usuário em ambientes imersivos.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio do Código de Financiamento 001. Também expressamos nossa gratidão à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio essencial à realização deste estudo. Agradecemos ainda ao Núcleo de Computação Aplicada (NCA) pela colaboração e suporte técnico durante o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Azuma, R. T. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997.
- Barsom, E. Z.; Graafland, M.; Schijven, M. P. Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training. **Surgical endoscopy**, Springer, v. 30, n. 10, p. 4174–4183, 2016.
- Bobeth, J. *et al.* Evaluating performance and acceptance of older adults using freehand gestures for tv menu control. In: ACM. **Proceedings of the 10th European Conference on Interactive TV and Video**. [S.l.], 2012. p. 35–44.
- Connolly, M. *et al.* Delivering clinical tutorials to medical students using the microsoft hololens 2: A mixed-methods evaluation. **BMC Medical Education**, v. 24, p. 498, 2024.
- Cook, D. A. *et al.* Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. **JAMA**, American Medical Association, v. 319, n. 9, p. 978–988, 2019.
- Davis, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. **MIS Quarterly**, v. 13, n. 3, p. 319–340, 1989.
- Fittkau, F.; Krause, A.; Hasselbring, W. Exploring software cities in virtual reality. In: IEEE. **2015 IEEE 3rd Working Conference on Software Visualization (VISSOFT)**. [S.l.], 2015. p. 130–134.
- Gallo, L.; Placitelli, A. P.; Ciampi, M. Controller-free exploration of medical image data: Experiencing the kinect. In: IEEE. **2011 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)**. [S.l.], 2011. p. 1–6.



- Gavgiotaki, D. *et al.* Gesture-based interaction for ar systems: A short review. In: **Proceedings of the 16th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '23)**. [S.l.]: ACM, 2023.
- Kang, J. *et al.* Instant 3d design concept generation and visualization by real-time hand gesture recognition. **Computers in Industry**, Elsevier, v. 64, n. 7, p. 785–797, 2013.
- Lopes, D. S. *et al.* On the utility of 3d hand cursors to explore medical volume datasets with a touchless interface. **Journal of Biomedical Informatics**, Elsevier, v. 72, p. 140–149, 2017.
- Manuri, F.; Sanna, A. *et al.* A survey on applications of augmented reality. **ACSIJ Advances in Computer Science: an International Journal**, v. 5, n. 1, p. 18–27, 2016.
- Moro, C. *et al.* Hololens and mobile augmented reality in medical and health science education: A randomised controlled trial. **British Journal of Educational Technology**, v. 52, n. 2, p. 680–694, 2020.
- Moro, C.; Štromberga, Z.; Stirling, A. Virtualisation devices for student learning: Comparison between desktop-based (oculus rift) and mobile-based (gear vr) virtual reality in medical and health science education. **Australasian Journal of Educational Technology**, v. 33, n. 6, p. 1–10, 2017.
- Piumsomboon, T. *et al.* User-defined gestures for augmented reality. In: Springer. **IFIP Conference on Human-Computer Interaction**. [S.l.], 2013. p. 282–299.
- Ruiz, G. A. R. *et al.* Multi-viewer gesture-based interaction for omni-directional video. In: ACM. **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. [S.l.], 2014. p. 4077–4086.
- Sousa, H. P. **Segmentação de Nódulos Pulmonares Através de Interações Baseadas em Gestos**. Tese (Dissertação (Mestrado)) — Universidade Federal do Maranhão (UFMA), 2013.
- Swamy, K. N.; Dasgupta, C. Investigating the nature of students' reasoning in connecting molecular structures of stereoisomers with their physical properties using an ar app. In: **IEEE 9th International Conference on Technology for Education (T4E)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 53–60.
- Venkatesh, V.; Bala, H. Tam 3: Advancing the technology acceptance model with a focus on interventions. Manuscript in preparation. 2013.
- Venkatesh, V. *et al.* User acceptance of information technology: Toward a unified view. **MIS Quarterly**, v. 27, n. 3, p. 425–478, 2003.
- Wen, R. *et al.* Hand gesture guided robot-assisted surgery based on a direct augmented reality interface. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, Elsevier, v. 116, n. 2, p. 68–80, 2014.
- Yusoff, Y. A.; Basori, A. H.; Mohamed, F. Interactive hand and arm gesture control for 2d medical image and 3d volumetric medical visualization. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, Elsevier, v. 97, p. 723–729, 2013.
- Zhang, Z. *et al.* An augmented reality-based multimedia environment for experimental education. **Multimedia Tools and Applications**, v. 80, p. 575–590, 2021.