



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

AMANDA CAROLYNE DE LIMA

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO PSEUDO-HÁPTICA EM DISPOSITIVOS DE TELAS
SENSÍVEIS AO TOQUE COM A UTILIZAÇÃO DE CANETAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2026

AMANDA CAROLYNE DE LIMA

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO PSEUDO-HÁPTICA EM
DISPOSITIVOS DE TELAS SENSÍVEIS AO TOQUE COM A
UTILIZAÇÃO DE CANETAS**

**Evaluation of pseudo-haptic perception in touch screen devices
using pens**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientador: Prof. Dr. Cléber Gimenez Corrêa

CORNÉLIO PROCÓPIO
2026



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procopio



AMANDA CAROLYNE DE LIMA

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO PSEUDO-HÁPTICA EM DISPOSITIVOS DE TELAS SENSÍVEIS AO
TOQUE COM A UTILIZAÇÃO DE CANETAS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Informática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Computação Aplicada.

Data de aprovação: 13 de Maio de 2026

Dr. Cleber Gimenez Correa, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Claiton De Oliveira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Leticia Mara Peres, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Dr. Silvio Ricardo Rodrigues Sanches, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 13/05/2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me sustentar nos dias em que seguir em frente exigiu mais do que força, exigiu fé. Por me conceder sabedoria, serenidade e perseverança ao longo de toda essa caminhada e por me permitir concluir esta etapa tão importante da minha trajetória, mesmo quando o cansaço e a dúvida tentaram falar ainda mais alto dentro de mim, colocando à prova minha determinação.

À minha família, agradeço por estar presente de tantas formas, inclusive nos silêncios e nos pequenos gestos do dia a dia. Pelo apoio constante, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo carinho que sempre me acolheu. Em vocês, encontrei não apenas apoio, mas também tranquilidade, força e um lugar seguro para recomeçar sempre que necessário. Saber que podia contar com vocês fez toda a diferença ao longo dessa caminhada e tornou essa conquista ainda mais especial.

Ao meu esposo, agradeço por caminhar ao meu lado com tanta paciência, carinho e companheirismo ao longo de toda essa jornada. Por estar presente em cada etapa, sempre com apoio, compreensão e cuidado, mesmo nos momentos em que a rotina exigiu mais de mim. Por me incentivar, por acreditar em mim quando eu mesma duvidei e por compartilhar comigo tanto os desafios quanto as conquistas desse percurso. Sua presença tornou esse caminho mais leve, mais seguro e muito mais especial, transformando essa realização em algo que também é nosso, construído juntos, dia após dia, com amor e parceria.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cléber Gimenez Corrêa, agradeço pela condução segura e atenta deste trabalho, pela confiança depositada ao longo de todo o percurso e pelas valiosas contribuições que ajudaram a dar forma, consistência e sentido a esta pesquisa. Seu acompanhamento e suas orientações foram fundamentais para o desenvolvimento acadêmico e pessoal proporcionado por este mestrado, ampliando minha visão crítica e fortalecendo minha formação como pesquisadora.

Ao Prof. Dr. Diego Marczal, do campus UTFPR Guarapuava, agradeço pelo apoio ao longo desta trajetória, pela disponibilidade e pela colaboração, especialmente durante a realização dos experimentos, contribuindo de forma significativa para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do programa, agradeço pelo conhecimento compartilhado e pela formação construída ao longo dessa etapa, fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico. Aos colegas, pelas trocas de experiências, pelo apoio constante, pelas conversas ao longo do percurso e pela convivência, que tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora ao longo dessa trajetória.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à Amanda do passado, que teve a coragem de dar o primeiro passo e iniciar este caminho, mesmo sem saber exatamente onde ele levaria. Àquela que, com determinação, seguiu em frente dia após dia, aprendendo, amadurecendo e se reinventando ao longo do percurso. Que enfrentou inseguranças e momentos de dúvida, mas escolheu continuar, acreditando que valeria a pena — e valeu. Cada decisão tomada, cada esforço dedicado e cada pequeno avanço foram essenciais para construir o que hoje se concretiza. Olhar para essa trajetória com respeito e reconhecimento torna este momento ainda mais especial, pois é resultado direto da persistência e da escolha de seguir em frente. Sem ela, nada disso teria sido possível.

“A fé é dar o primeiro passo, mesmo quando você não vê toda a escada.”

Martin Luther King Jr

RESUMO

Este trabalho investiga a eficácia da percepção pseudo-háptica na representação de diferentes níveis de rigidez em dispositivos de tela sensível ao toque, com foco na interação mediada por canetas *stylus*. A percepção pseudo-háptica consiste na simulação de sensações táteis por meio de estímulos visuais e motores, permitindo que usuários interpretem propriedades físicas de objetos virtuais mesmo na ausência de feedback tátil real. Para a realização do estudo, foi desenvolvido um experimento no qual participantes interagiram com objetos virtuais que simulavam diferentes níveis de rigidez por meio de deformações visuais. Foram avaliados três meios de interação: caneta *stylus* com ponta de disco, caneta *stylus* com ponta emborrachada e o uso do dedo. Durante os testes, os participantes deveriam identificar a rigidez dos objetos apresentados, sendo suas respostas analisadas por meio da métrica de acurácia, baseada na proporção de classificações corretas. Os resultados indicam que a percepção pseudo-háptica é capaz de transmitir diferenças de rigidez de forma consistente, com desempenho satisfatório dos participantes, especialmente em cenários com maior contraste entre os níveis simulados. Considerando todos os experimentos realizados, a acurácia geral consolidada foi de 70,6%, indicando que os participantes foram capazes de identificar corretamente os níveis de rigidez na maioria das interações realizadas. Observou-se ainda que o uso de canetas contribui positivamente para a precisão das respostas, sugerindo que a interação mediada por *stylus* pode favorecer maior controle e sensibilidade durante a exploração de objetos virtuais. Conclui-se que a pseudo-háptica representa uma alternativa viável e acessível para a simulação de propriedades táteis em interfaces digitais, ampliando seu potencial de aplicação em áreas como treinamento, educação e *design* interativo. Apesar das limitações relacionadas ao escopo experimental e ao número de participantes, os resultados obtidos contribuem para o avanço das pesquisas em interação humano-computador e indicam caminhos para investigações futuras envolvendo diferentes formas de interação e técnicas de feedback sensorial.

Palavras-chave: Canetas, Dispositivos, Interação, Percepção, Pseudo-háptico.

ABSTRACT

This study investigates the effectiveness of pseudo-haptic perception in representing varying levels of stiffness on touchscreen devices, focusing on stylus-mediated interaction. Pseudo-haptic perception involves simulating tactile sensations through visual and motor stimuli, enabling users to interpret the physical properties of virtual objects even without actual tactile feedback. To conduct the study, an experiment was designed in which participants interacted with virtual objects simulating different stiffness levels via visual deformations. Three interaction methods were evaluated: a stylus with a disc tip, a stylus with a rubber tip, and finger interaction. During the tests, participants were asked to identify the stiffness of the presented objects; their responses were analyzed using an accuracy metric based on the proportion of correct classifications. The results indicate that pseudo-haptic perception can consistently convey differences in stiffness, with participants demonstrating satisfactory performance particularly in scenarios with high contrast between the simulated levels. Across all experiments, the consolidated overall accuracy was 70,6%, indicating that participants correctly identified stiffness levels in the majority of interactions. Furthermore, the use of styluses was found to contribute positively to response accuracy, suggesting that stylus-mediated interaction may facilitate greater control and sensitivity when exploring virtual objects. The study concludes that pseudo-haptics represents a viable and accessible alternative for simulating tactile properties in digital interfaces, expanding potential applications in fields such as training, education, and interactive design. Despite limitations regarding the experimental scope and the number of participants, the findings contribute to the advancement of human-computer interaction research and point toward future investigations involving various interaction methods and sensory feedback techniques.

Keywords: Pens, Devices, Interaction, Perception, Pseudo-haptic.

LISTA DE FIGURAS

1	Interação entre caneta e dispositivo <i>touchscreen</i>	24
2	Tela do aplicativo desenvolvido	63
3	Local dos experimentos	71
4	Participante executando o experimento	72
5	Anotações binárias das respostas dos participantes	77
6	Comparação das médias marginais entre as configurações de interação dos cenários de experimento.	83
7	Comparação das médias marginais entre os dispositivos (<i>tablet</i> e <i>smartphone</i>).	84
8	Apêndice A - Tela inicial	99
9	Apêndice A - Tela do objeto 01	100
10	Apêndice A - Tela do objeto 02	101
11	Apêndice A - Tela do objeto 03	102
12	Apêndice A - Tela do objeto 04	103
13	Apêndice A - Tela do objeto 05	104
14	Apêndice A - Tela de agradecimentos	105
15	Apêndice A - Tela de relatório	106

LISTA DE TABELAS

1	Quantidade de estudos retornados por meio da <i>string</i> de busca	30
2	Estudos retornados por meio da <i>string</i> de busca	31
3	Estudos retornados por meio do <i>Backward Snowballing</i> 01	32
4	Estudos retornados por meio do <i>Backward Snowballing</i> 02	33
5	Estudos retornados por meio do <i>Backward Snowballing</i> 03	34
6	Estudos retornados por meio do <i>Backward Snowballing</i> 04	35
7	Estudos retornados por meio do <i>Forward Snowballing</i> 05	36
8	Tabela comparativa dos cinco estudos analisados	47
9	Tabela comparativa das acurácias por meio de interação ou cenário experimental	79
10	Análise das diferenças significativas entre os objetos, com os p-valores	82

LISTA DE SIGLAS

CI1	Critério de Inclusão 1
CI2	Critério de Inclusão 2
CI3	Critério de Inclusão 3
CI4	Critério de Inclusão 4
CI5	Critério de Inclusão 5
CI6	Critério de Inclusão 6
CE1	Critério de Exclusão 1
CE2	Critério de Exclusão 2
CE3	Critério de Exclusão 3
CE4	Critério de Exclusão 4
CE5	Critério de Exclusão 5
CE6	Critério de Exclusão 6
E1	Estudo 1
E2	Estudo 2
E3	Estudo 3
E4	Estudo 4
E5	Estudo 5
GLMM	Modelo Linear Generalizado Misto
IHC	Interação Humano-Computador
MSE	Erro Médio Quadrático
MSL	Mapeamento Sistemático da Literatura
PPV	Valor Preditivo Positivo
QP1	Questão de Pesquisa 1

QP2	Questão de Pesquisa 2
QP3	Questão de Pesquisa 3
QP4	Questão de Pesquisa 4
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
Se	Sensibilidade
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema	14
1.2	Objetivo Geral	16
1.3	Organização	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Interação Humano-Computador	17
2.2	Interação Háptica	18
2.3	Interação Pseudo-Háptica	19
2.3.1	Percepção Pseudo-Háptica	21
2.4	Dispositivos de Tela Sensível ao Toque	22
2.4.1	Interação com Canetas	23
3	TRABALHOS RELACIONADOS	26
3.1	Protocolo do MSL	27
3.1.1	Questões de Pesquisa	27
3.1.2	<i>String</i> de Busca	28
3.1.3	Bases de Busca	28
3.1.4	Estratégia de Seleção	29
3.1.4.1	CrITÉRIOS de Inclusão	29
3.1.4.2	CrITÉRIOS de Exclusão	30
3.1.5	Estudos Retornados e Seleccionados	30
3.1.5.1	Complemento da Revisão	36

3.1.6 Estudos Analisados	37
3.1.7 Respostas das Questões de Pesquisa	50
3.1.8 Considerações Finais	58
4 DESENVOLVIMENTO	62
4.1 Implementação	62
4.2 Planejamento e execução do experimento	69
4.3 Métricas de Avaliação	73
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
5.1 Resultados	76
5.1.1 Resultados por contexto experimental	77
5.1.2 Resultados por meio de interação	78
5.1.3 Resultados por objeto	80
5.1.4 Resultados por dispositivo	81
5.1.5 Análise estatística	81
5.2 Discussões	84
5.3 Ameaças à Validade do Estudo	88
6 CONCLUSÕES	89
6.1 Trabalhos Futuros	90
REFERÊNCIAS	92
Apêndice A – IMAGENS DAS TELAS DO APLICATIVO	97
Apêndice B – QUESTIONÁRIOS PRÉ E PÓS-EXPERIMENTO	107
Apêndice C – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA	116
Apêndice D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	132

1 INTRODUÇÃO

A interação humano-computador (IHC) tem evoluído rapidamente, impulsionada pelo crescimento do uso de dispositivos de tela sensível ao toque no cotidiano (KUHN, 2020). Desde *smartphones* e *tablets* até quiosques de informação e sistemas de navegação em veículos, esses dispositivos estão presentes em diversos contextos, transformando a forma como a sociedade acessa informações, realiza tarefas e interage com a tecnologia (LÉVY, 2010). Essa presença cada vez maior torna a IHC um elemento central no desenvolvimento de sistemas, com impacto direto na experiência do usuário.

Apesar dos avanços, as interações com telas sensíveis ainda apresentam limitações, principalmente no que diz respeito ao feedback tátil. O feedback háptico, ou sensação de toque e resistência gerada pelos dispositivos, é essencial para tarefas que exigem precisão, como desenho, escrita digital e manipulação de objetos virtuais (MANUEL; ADANIYA, 2024; ROCHA et al., 2016). Sua ausência pode reduzir a eficiência e a naturalidade da interação, afetando a usabilidade de aplicações educacionais, artísticas, médicas e assistivas.

Dispositivos hápticos têm sido amplamente utilizados em áreas como a medicina, permitindo a realização de treinamentos seguros em procedimentos delicados, como punção venosa e cirurgias minimamente invasivas, ao simular sensações físicas de maneira realista e, conseqüentemente, contribuir para a redução de erros em práticas clínicas (JÚNIOR, 2018). Além do campo médico, essas técnicas também apresentam potencial significativo para aprimorar experiências em contextos como educação, arte digital e treinamentos profissionais, ao possibilitar simulações de interação tátil mais imersivas e controladas, mesmo na ausência de materiais físicos.

A percepção pseudo-háptica surge como uma alternativa eficiente para criar a

sensação de toque em dispositivos que não dispõem de tecnologia háptica tradicional (XAVIER et al., 2024). Por meio da manipulação de estímulos visuais e movimentos do usuário, é possível gerar ilusões de resistência, peso ou textura, permitindo que o cérebro interprete essas alterações como sensações táteis (ADI; SULAIMAN, 2009). Essa abordagem pode ser aplicada em diversos contextos, como jogos interativos, simulações educacionais e aplicações artísticas, aumentando o realismo e a eficácia da interação sem necessidade de hardware adicional.

Um exemplo prático da pseudo-háptica é o uso de canetas em telas sensíveis ao toque, que mesmo sem capacidade háptica, permitem que os usuários percebam variações de resistência e controle durante tarefas de precisão (ARASAN et al., 2021). Esse tipo de interação pode melhorar a experiência do usuário em atividades de desenho, escrita e manipulação digital, tornando a interação mais natural e precisa.

Nesse contexto, a utilização de canetas *stylus* em dispositivos de tela sensível ao toque introduz características específicas à interação, como maior precisão nos movimentos, controle mais refinado das ações e uma relação mais próxima com ferramentas tradicionalmente utilizadas no mundo físico, como lápis e canetas convencionais (HASHIMOTO et al., 2018). Diferentemente do toque direto com os dedos, a interação mediada por caneta envolve aspectos motores e perceptivos distintos, incluindo maior coordenação motora fina e diferentes padrões de feedback visual, os quais podem influenciar de maneira significativa a forma como os usuários interpretam estímulos apresentados na interface e controlam suas ações durante tarefas de manipulação mais detalhadas.

1.1 PROBLEMA

A percepção pseudo-háptica, embora apresente grande potencial para enriquecer a interação, ainda é relativamente pouco explorada em contextos que envolvem dispositivos de tela sensível ao toque, especialmente quando associada ao uso de canetas como ferramentas de interação. Atualmente, diversos estudos demonstram a eficácia do feedback háptico tradicional em diferentes áreas de aplicação; entretanto, o feedback pseudo-háptico, baseado na manipulação de

estímulos visuais para induzir sensações táteis, particularmente quando aliado ao uso de canetas para recriar essas percepções em dispositivos móveis desprovidos de atuadores físicos, permanece como um campo com amplo espaço para investigação.

Os efeitos da percepção pseudo-háptica, especialmente quando associados ao uso de uma caneta sensível ao toque, demandam pesquisas mais detalhadas sobre como diferentes movimentos, configurações e técnicas podem influenciar a experiência do usuário (HASHIMOTO et al., 2018).

Embora os dispositivos de tela sensível ao toque tenham simplificado muitas interações digitais, a experiência de toque nesses dispositivos ainda apresenta uma diferença marcante em relação à interação tátil com objetos físicos reais. A ausência de feedback tátil adequado pode impactar negativamente a experiência do usuário e limitar a eficácia de atividades como desenho, escrita à mão e manipulação de objetos virtuais (CHO et al., 2016).

A inserção de uma caneta sensível ao toque como meio de interação adiciona uma camada de complexidade à experiência do usuário, pois afeta a transição entre interações físicas e digitais, exigindo que o usuário interprete estímulos visuais e de movimento sem a presença de feedback tátil real (SIM et al., 2021).

A percepção pseudo-háptica surge como uma alternativa para compensar essa falta de feedback tátil, permitindo que sensações de resistência ou textura sejam simuladas por meio de estímulos visuais e de movimento. Entretanto, um desafio significativo consiste em compreender de que forma diferentes tipos de movimentos e distintas configurações de interação com a caneta influenciam a percepção dos usuários em relação a esses estímulos.

Compreender como esses modos de interação impactam a experiência do usuário é fundamental para aprimorar o *design* das interfaces e aumentar a usabilidade de dispositivos de tela sensível ao toque (ARASAN et al., 2021).

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com o uso de canetas. Para isso, será conduzido um experimento com usuários utilizando um *smartphone* e um *tablet*, comparando diferentes cenários compostos por objetos de variados níveis de rigidez. Em cada cenário serão utilizadas três formas de interação:

- Uso de uma caneta *stylus* física com ponta semelhante a uma borracha;
- Uso de uma caneta *stylus* física com ponta de disco;
- Uso do dedo.

O estudo visa compreender como os participantes percebem diferentes materiais simulados em um ambiente digital por meio do toque, sem o uso de elementos físicos reais, utilizando apenas dispositivos e canetas físicas como instrumentos de interação.

1.3 ORGANIZAÇÃO

O restante do trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a revisão de literatura sobre percepção pseudo-háptica, destacando conceitos essenciais e fornecendo a base teórica necessária para a compreensão das técnicas abordadas. No Capítulo 3 são descritos trabalhos relacionados, juntamente com o protocolo utilizado na pesquisa, permitindo situar o estudo no contexto acadêmico e tecnológico atual.

O Capítulo 4 detalha o desenvolvimento do projeto, incluindo as etapas de implementação e os aspectos técnicos envolvidos. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e suas respectivas discussões, evidenciando a aplicabilidade das técnicas estudadas. Por fim, o Capítulo 6 discute as limitações do estudo e sugere direções para pesquisas futuras, contribuindo para a continuidade e aprimoramento da investigação na área.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os principais tópicos necessários para o entendimento do processo de percepção pseudo-háptica. Esses tópicos fundamentam o presente estudo, que explora a percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com a utilização de canetas como meio de interação.

2.1 INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR

A interação humano-computador (IHC) é uma área que estuda as interações entre pessoas e sistemas computacionais, visando proporcionar experiências de uso mais eficientes, agradáveis e intuitivas (BARBOSA; SILVA, 2010). Além de analisar como os usuários interagem com a tecnologia, a IHC abrange o desenvolvimento e avaliação de interfaces, integração de dispositivos de entrada e saída, e o *design* de ferramentas que favoreçam uma comunicação mais natural entre humanos e máquinas (NETO et al., 2021). Nesse contexto, a área busca não apenas atender às necessidades funcionais dos usuários, mas também aprimorar a experiência de uso em termos de conforto, precisão e satisfação.

A IHC é aplicada em uma ampla variedade de contextos, incluindo educação, saúde, entretenimento, aplicativos de produtividade e arte digital (LÉVY, 2010). Por meio da análise do comportamento do usuário e da adaptação das interfaces às suas capacidades, é possível criar sistemas mais acessíveis e inclusivos, promovendo experiências que vão além da simples execução de tarefas e proporcionando interações mais engajantes (NETO et al., 2021).

Entre as abordagens estudadas pela IHC estão técnicas que simulam sensações táteis e visuais para melhorar a percepção do usuário durante a interação,

como a percepção pseudo-háptica, e a utilização de canetas em dispositivos de tela sensível ao toque (SILVA et al., 2023). Essas estratégias permitem aumentar a precisão em tarefas de desenho, escrita ou manipulação de objetos virtuais, sem a necessidade de dispositivos hápticos complexos (ROCHA et al., 2016). Assim, a IHC não se limita à avaliação estética ou funcional das interfaces, mas também atua diretamente na criação de experiências mais realistas, envolventes e eficientes (ADI; SULAIMAN, 2009).

2.2 INTERAÇÃO HÁPTICA

O termo “háptico” vem sendo utilizado desde a década de 1970 e refere-se a tecnologias que reproduzem sensações táteis, possibilitando aos usuários interagir com dispositivos por meio do canal sensorial do tato, especialmente em interfaces digitais e ambientes virtuais (ZIAT, 2023). Essa interação ocorre por meio de estímulos físicos que simulam sensações de toque, pressão e vibração. A área encontra-se em constante crescimento, impulsionada principalmente pelo avanço dos dispositivos hápticos e das telas sensíveis ao toque (BANTER, 2010).

Com esse avanço, a interação háptica expandiu-se para diversas áreas de aplicação, destacando-se os simuladores cirúrgicos, nos quais permite que médicos realizem procedimentos complexos de forma segura. Ao incluir sensações físicas e texturas, esses simuladores ampliam a percepção do profissional, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades técnicas e maior confiança na execução dos procedimentos (LICONA et al., 2020).

O feedback háptico fornece sensações de toque e resistência mesmo na ausência de um estímulo físico real, permitindo que os usuários percebam a textura e a forma de objetos virtuais, o que melhora a experiência de interação. Estudos indicam que o feedback háptico pode aumentar o desempenho e a precisão em tarefas, especialmente em situações em que a percepção visual é limitada, como em ambientes com baixa iluminação ou em atividades que exigem atenção a múltiplos elementos (RONDON; CHEROBIN, 2022).

As tecnologias hápticas também são amplamente utilizadas em dispositivos

móveis, nos quais atuadores vibratórios geram respostas táteis para diferentes ações, como o recebimento de notificações ou a interação com interfaces sensíveis ao toque (JUNIOR; GONÇALVES, 2020). Na área da saúde, além dos simuladores cirúrgicos, o feedback háptico contribui para a realização de procedimentos de forma mais segura, aumentando a precisão sem a necessidade do uso de pacientes reais naquele momento (ARAÚJO et al., 2024).

Apesar do crescimento contínuo, a implementação da tecnologia háptica ainda enfrenta desafios, como a dificuldade de reproduzir texturas e resistências de forma precisa, o que demanda elevado processamento computacional e o uso de sensores especializados. Além disso, a adequada integração entre estímulos táteis e visuais, de modo a manter uma experiência mais imersiva, representa outro obstáculo recorrente (WEE et al., 2021).

Atualmente, existem diferentes tipos de feedback háptico. O feedback tátil concentra-se nas sensações percebidas pela pele, como textura, pressão, temperatura e vibração, sendo amplamente empregado em dispositivos com telas sensíveis ao toque. O feedback de força cinestésica está relacionado à percepção de força e movimento por meio de articulações, tendões e músculos, sendo característico de dispositivos que simulam resistência física. Há ainda o feedback multimodal, que combina diferentes tipos de feedback, podendo integrar estímulos táteis, cinestésicos, visuais e auditivos (JIANG et al., 2024).

Entre esses, destaca-se também o feedback pseudo-háptico, que utiliza estímulos visuais para criar a ilusão de sensações táteis sem a aplicação de estímulos físicos reais diretos (LÉCUYER et al., 2000). O contínuo desenvolvimento da tecnologia háptica tende a ampliar ainda mais suas aplicações, contribuindo de forma significativa para experiências interativas mais imersivas em áreas como entretenimento, saúde e educação (GIRI et al., 2021).

2.3 INTERAÇÃO PSEUDO-HÁPTICA

A interação pseudo-háptica consiste em uma abordagem voltada à simulação de sensações táteis em ambientes digitais por meio de estímulos visuais e motores,

sem a necessidade do uso de dispositivos físicos hápticos. Inicialmente explorada em contextos como a Realidade Virtual (RV) e a Realidade Aumentada (RA), essa técnica permite que usuários percebam propriedades físicas de objetos virtuais, como peso, rigidez ou textura, a partir da manipulação visual do movimento e do comportamento desses objetos (LÉCUYER, 2009).

Os primeiros estudos sobre pseudo-háptica surgiram na década de 1990, com pesquisas que investigavam a substituição do feedback tátil tradicional por estímulos visuais. Essas investigações iniciais demonstraram que a alteração do movimento visual de objetos virtuais poderia induzir sensações táteis, mesmo na ausência de forças físicas reais (UJITOKO; BAN, 2021). Um trabalho de destaque nesse período foi apresentado por Lécuyer et al. (2000), que evidenciou que a percepção de peso poderia ser influenciada de forma significativa exclusivamente pela manipulação visual do deslocamento de objetos em ambientes virtuais.

Com o avanço das pesquisas, estudos posteriores ampliaram o entendimento da pseudo-háptica ao analisar como diferentes características do movimento visual, como velocidade e aceleração, impactam a percepção de forças, resistência e rigidez em objetos virtuais (LI et al., 2016). Esses resultados contribuíram para consolidar a pseudo-háptica como uma técnica eficaz na indução de sensações táteis por meio da integração entre percepção visual e ação motora.

Do ponto de vista teórico, a pseudo-háptica fundamenta-se no princípio da dominância visual, segundo o qual o sistema perceptivo humano tende a priorizar informações visuais na interpretação de estímulos sensoriais diversos. Dessa forma, modificações visuais no comportamento de objetos virtuais podem ser interpretadas pelo cérebro como sensações táteis, resultando na ilusão de interação física percebida (ABTAHI; FOLLMER, 2018).

Com a evolução das tecnologias interativas, a pseudo-háptica passou a ser incorporada em dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*. Nesses dispositivos, a simulação de sensações táteis ocorre principalmente por meio de efeitos visuais aplicados a interfaces sensíveis ao toque, permitindo induzir percepções de resistência ou deformação durante a interação direta do usuário (ARGELAGUET et al., 2019; LÉCUYER, 2009).

Pesquisas mais recentes aprofundaram a aplicação da pseudo-háptica em conjunto com o uso de canetas digitais em telas sensíveis ao toque. A combinação entre estímulos visuais e os movimentos realizados com a caneta possibilita a criação de ilusões táteis mais precisas, ampliando a sensação de controle e realismo na manipulação de objetos virtuais. Esses avanços apresentam impacto significativo em áreas como *design* digital, educação e treinamentos, ao viabilizar experiências interativas mais ricas sem a necessidade de *hardwares* adicionais (CRANDALL; KARADOĞAN, 2021; XAVIER et al., 2024).

2.3.1 PERCEPÇÃO PSEUDO-HÁPTICA

A percepção pseudo-háptica refere-se à forma como o cérebro humano interpreta estímulos visuais e motores como sensações táteis, mesmo na ausência de feedback físico real. Essa capacidade permite que interações digitais, como em RV e RA, transmitam a percepção de peso, rigidez ou textura, criando experiências sensoriais mais ricas e realistas (NUNEZ et al., 2021).

Como apresentado na seção anterior (Seção 2.3), a dominância visual orienta a interpretação de estímulos visuais como sensações táteis. Nesse contexto, ao observar a deformação de um objeto virtual, o cérebro pode perceber alterações visuais como mudanças de resistência ou peso, criando a ilusão de toque (MOOSAVI et al., 2023). Essa capacidade é especialmente relevante em situações nas quais o feedback físico é limitado ou inviável, como em dispositivos móveis, jogos digitais, simulações educacionais ou aplicativos de treinamento profissional.

Pesquisas recentes investigam como diferentes variáveis visuais, como contraste, velocidade do movimento e deformação de objetos, influenciam a intensidade da sensação tátil simulada. Estudos indicam que a combinação desses fatores pode aumentar o realismo e o controle do usuário durante a interação digital, aprimorando a experiência sensorial (KIM; XIONG, 2022). Além disso, a aplicação prática da percepção pseudo-háptica contribui para tornar as interações mais acessíveis e economicamente viáveis, ao reduzir a necessidade de dispositivos hápticos especializados, além de abrir oportunidades em áreas como educação, treinamentos em geral, *design* digital e arte interativa contemporânea.

Dentre as diferentes formas de aplicação dessa abordagem, destaca-se a sua utilização em interações mediadas por instrumentos, nas quais o usuário não interage diretamente com a superfície por meio do toque dos dedos. Nesses casos, a percepção das propriedades simuladas pode ser influenciada não apenas pelos estímulos visuais apresentados, mas também pelas características do instrumento utilizado, como formato, área de contato e modo de manipulação (NUNEZ et al., 2021). Essas particularidades tornam a experiência de interação mais complexa, ao envolver diferentes camadas de interpretação sensorial.

Nesse sentido, compreender como a percepção pseudo-háptica se manifesta em cenários que envolvem o uso de canetas em dispositivos de tela sensível ao toque torna-se relevante para ampliar o entendimento sobre esse tipo específico de interação. A análise dessas variáveis permite investigar como diferentes formas de controle e de movimento influenciam a interpretação de estímulos simulados, contribuindo diretamente para o desenvolvimento de aplicações que demandam maior precisão e naturalidade na interação.

2.4 DISPOSITIVOS DE TELA SENSÍVEL AO TOQUE

Os dispositivos de tela sensível ao toque, ou *touchscreens*, permitem ao usuário controlar o aparelho diretamente com toques na tela do dispositivo. Esses dispositivos incluem *smartphones*, *tablets*, quiosques de autoatendimento e sistemas de navegação em veículos (MISHRA, 2014).

A tecnologia *touchscreen* teve seus primeiros protótipos desenvolvidos na década de 1960, evoluindo progressivamente ao longo dos anos para dispositivos mais precisos e intuitivos. As telas resistivas funcionam por meio da pressão aplicada à superfície, utilizando duas camadas que se tocam quando pressionadas. Essa tecnologia é comum em dispositivos de baixo custo, embora apresente sensibilidade inferior quando comparada a outras tecnologias (NAM et al., 2021). Já a tecnologia capacitiva, presente em dispositivos modernos como *smartphones* e *tablets*, utiliza a condução elétrica do corpo humano para detectar o toque, permitindo maior precisão e suporte eficiente a gestos *multitouch*.

Entre as principais vantagens desses dispositivos está a interatividade, que proporciona experiências mais intuitivas ao usuário, dispensando botões ou teclados físicos (PAN et al., 2022). Recursos como multitoque permitem gestos como o *zoom*, amplamente utilizados em aplicações móveis. Além disso, o *design slim*, baseado na utilização exclusiva da tela para interação, torna os dispositivos mais compactos e portáteis (TURCHIOE et al., 2024). O desenvolvimento contínuo dessa tecnologia também permitiu a integração com canetas digitais e outros instrumentos de precisão, ampliando as possibilidades de uso em atividades educacionais, artísticas e de produtividade (MISHRA, 2014).

2.4.1 INTERAÇÃO COM CANETAS

A interação com canetas em dispositivos de tela sensível ao toque tem se tornado cada vez mais popular, principalmente em tarefas que exigem alta precisão, como edição de imagens, ilustração digital, escrita manual e *design* gráfico (CHO et al., 2016). Desde o surgimento de *tablets* e *smartphones* compatíveis com canetas digitais, esse tipo de interação tem se expandido para diversas áreas, devido à sua capacidade de proporcionar controle mais natural e detalhado sobre os elementos na tela. O uso de canetas permite movimentos mais finos e precisos do que o toque direto com os dedos, sendo especialmente valioso para *designers*, artistas ou qualquer atividade que demande alta precisão (SANTOS; MACIEL, 2021).

Além da precisão, o uso de canetas também proporciona maior controle sobre atributos como pressão, inclinação e velocidade do traço, dependendo do dispositivo utilizado. Esses fatores permitem uma interação mais expressiva e próxima das ferramentas tradicionais, como lápis e pincéis, ampliando as possibilidades de criação e manipulação no ambiente digital. Como resultado, a experiência do usuário tende a se tornar mais fluida e intuitiva, especialmente em aplicações que demandam maior nível de detalhamento e sensibilidade durante a execução das tarefas. Na Figura 1 é apresentado um exemplo dessa interação.

Figura 1 - Interação entre caneta e dispositivo *touchscreen*



Fonte: (MOSCHEN; MOTÉ, 2022)

Apesar das vantagens, a interação com canetas enfrenta desafios, sendo o mais relevante a ausência de feedback tátil (MANUEL; ADANIYA, 2024). Nessa situação, o usuário não percebe adequadamente a textura, resistência ou deformação de objetos virtuais, o que torna a experiência menos natural e pode afetar a precisão em tarefas mais complexas. Para contornar essa limitação, pesquisas desenvolvem diferentes técnicas de feedback tátil, embora nem todos os dispositivos disponíveis possuam essa funcionalidade (SILVA, 2023).

É nesse cenário que se aplica o feedback pseudo-háptico. Por meio de modificações no movimento da caneta ou efeitos visuais, como a alteração da resposta ao se aproximar de áreas “rígidas” ou “macias”, o cérebro interpreta essas alterações como sensações táteis, mesmo sem estímulo físico direto (ACHIBET et al., 2015). Essa abordagem permite que usuários experimentem uma sensação de toque simulada, aumentando a precisão, a naturalidade e o controle sobre objetos virtuais, especialmente em tarefas educacionais, artísticas e de treinamento.

Além de melhorar a experiência do usuário, o feedback pseudo-háptico é uma alternativa acessível e viável quando mecanismos hápticos reais se tornam inviáveis devido a limitações de espaço, custo ou complexidade tecnológica. Ele torna

a interação com canetas em telas sensíveis ao toque mais envolvente e intuitiva, ampliando o potencial de aplicações em *design* digital, criação artística, ensino e simulações interativas, reforçando tanto a relevância científica quanto os benefícios práticos dessa tecnologia (UJITOKO; BAN, 2021).

A eficácia dessas técnicas está diretamente relacionada à forma como os estímulos visuais e motores são apresentados ao usuário durante a interação. Pequenas variações na resposta do sistema, como mudanças na velocidade do cursor ou na deformação de elementos gráficos, podem influenciar significativamente a percepção de propriedades simuladas (UJITOKO et al., 2021). Dessa forma, o ajuste desses parâmetros torna-se um fator importante para garantir que a sensação percebida seja coerente com o comportamento esperado no ambiente virtual.

Além disso, a interação mediada por canetas introduz características específicas que podem impactar essa percepção, como a precisão do movimento e a forma de contato com a superfície da tela. Diferentemente da interação com os dedos, o uso de uma *stylus* pode alterar a maneira como o usuário interpreta os estímulos apresentados, exigindo uma análise mais detalhada sobre como essas variáveis influenciam de forma direta a experiência durante a manipulação de objetos digitais (YOKOSAKA et al., 2023).

Diante disso, investigar como diferentes configurações de interação com canetas afetam a percepção de propriedades simuladas torna-se fundamental para o aprimoramento de interfaces baseadas em toque. Essa compreensão pode contribuir para o desenvolvimento de aplicações mais eficientes e realistas, especialmente em contextos que exigem maior precisão e controle, ampliando as possibilidades de uso dessa abordagem em diferentes domínios (XAVIER et al., 2024).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Para identificar estudos relacionados ao tema deste trabalho foi realizado um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL). O MSL é um método de pesquisa cujo objetivo é identificar, avaliar e simplificar os registros disponíveis em uma determinada área de estudo. Ao contrário de uma revisão tradicional da literatura, que geralmente se concentra em uma pergunta de pesquisa específica e inclui uma análise detalhada de um número limitado de estudos, o MSL procura mapear de forma completa e sistemática todo o corpo de literatura relevante em uma área específica (KITCHENHAM et al., 2009).

Segundo Kitchenham (2004), o processo de MSL envolve várias etapas bem definidas. A primeira delas é a realização da busca em bases de dados bibliográficas, como *SpringerLink*¹, *Scopus*², *ScienceDirect*³, entre outras fontes relevantes, utilizando termos de pesquisa específicos relacionados à área de interesse, chamadas de *strings* de busca. Em seguida, os resultados obtidos na busca são filtrados com base em critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, com o objetivo de identificar os estudos mais relevantes que serão incluídos na análise.

Uma vez que os estudos mais relevantes foram identificados ou selecionados, eles são revisados e avaliados de forma sistemática, utilizando critérios pré-definidos para determinar sua importância ao tema e qualidade metodológica. Isso pode incluir a extração de dados importantes de cada estudo, como métodos utilizados, critérios de inclusão e de exclusão, resultados encontrados e conclusões (SILVA, 2009).

Ao final do processo completo de MSL, os resultados são apresentados de

¹Disponível em: <https://link.springer.com/>

²Disponível em: <https://www.scopus.com/>

³Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>

forma clara e objetiva, geralmente em forma de tabelas, gráficos ou mapas, que destacam as principais tendências, lacunas de conhecimento e áreas para futuras pesquisas (ROCHA et al., 2018). O MSL é particularmente útil em áreas em que o corpo de literatura é extenso e em ainda em crescimento contínuo, como, por exemplo, na ciência da computação, medicina e engenharia (FALBO, 2018). Ele ajuda a compilar e organizar excesso de informações de forma eficiente, proporcionando uma visão total das tendências e debates atuais na área de estudo em questão.

No presente estudo, o mapeamento teve como objetivo responder questões sobre a utilização da interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque, com o auxílio de canetas, levantando o estado da arte sobre o tema.

3.1 PROTOCOLO DO MSL

Para a condução do protocolo do MSL neste trabalho foi empregada a ferramenta *Parsifal*⁴, que possibilitou o emprego de uma abordagem sistemática e transparente na identificação e análise da literatura relevante sobre o tema em questão. Para garantir a transparência e a reprodutibilidade do estudo, todos os dados e artefatos produzidos ao longo das etapas do MSL, incluindo o protocolo, a lista de estudos selecionados e os dados extraídos, foram devidamente disponibilizados em um repositório científico aberto (*Zenodo*⁵), acessível por meio do DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19488071>. Nas dez subseções seguintes são descritas as principais partes do protocolo do MSL, incluindo as etapas de planejamento, seleção e extração de características relevantes.

3.1.1 QUESTÕES DE PESQUISA

Neste estudo foram definidas questões de pesquisa para investigar as abordagens de avaliação e implementação da percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque, principalmente quando canetas são utilizadas

⁴Ferramenta *on-line* projetada para auxiliar os pesquisadores na condução de revisões sistemáticas da literatura. Disponível em: <https://parsif.al/>

⁵*Zenodo* é um repositório científico de acesso aberto, mantido pelo CERN e pela *OpenAIRE*, que permite o compartilhamento e a preservação de dados de pesquisa, atribuindo identificadores persistentes (DOI) aos materiais depositados.

como instrumentos de interação. As questões são:

- **QP1** - Quais são as abordagens (métodos, técnicas e métricas) para a avaliação da percepção pseudo-háptica em dispositivos de telas sensíveis ao toque quando o usuário utiliza uma caneta como instrumento de interação?
- **QP2** - Quais são as abordagens (métodos, técnicas e métricas) para a implementação da percepção pseudo-háptica em dispositivos de telas sensíveis ao toque quando o usuário utiliza uma caneta como instrumento de interação?
- **QP3** - Como as características das canetas, como sensibilidade à pressão e precisão, influenciam a percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque?
- **QP4** - Como a percepção pseudo-háptica afeta a usabilidade e a satisfação do usuário em dispositivos de tela sensível ao toque com o auxílio de uma caneta?

3.1.2 *STRING* DE BUSCA

A busca por estudos relacionados ao tema deste trabalho foi conduzida com base em uma *string* de busca específica. A *string* definida e utilizada foi “**pseudo-haptic” and pen**, que busca por trabalhos que abordam a interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com o auxílio de canetas.

Essa *string* foi escolhida por abranger os principais elementos do estudo, permitindo a identificação de trabalhos que exploram o tema deste trabalho. Palavras-chave relacionadas a dispositivos com telas sensíveis ao toque, tais como *smartphones* ou *tablets*, não foram escolhidas para compor a *string*, pois os trabalhos encontrados em uma busca exploratória revelaram que esses dispositivos são empregados em interações pseudo-hápticas.

3.1.3 BASES DE BUSCA

A busca por estudos relacionados ao tema deste trabalho foi conduzida em bases de dados científicas renomadas, sendo elas: *ACM Digital Library*⁶, *Google*

⁶Disponível em: <https://dl.acm.org/>

*Scholar*⁷, *IEEE Xplore Digital Library*⁸, *ScienceDirect*⁹, *Scopus*¹⁰ e *SpringerLink*¹¹.

Essas plataformas foram escolhidas por sua credibilidade e pela abundância de informações acadêmicas que oferecem. Elas disponibilizam muitas publicações em áreas como computação e engenharia (PETERSEN et al., 2015), possibilitando uma pesquisa aprofundada sobre vários temas, incluindo a interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque usando canetas como meio de interação.

3.1.4 ESTRATÉGIA DE SELEÇÃO

Para definir a estratégia de seleção dos resultados obtidos por meio da *string* de busca, foram estabelecidos critérios de inclusão (CI) e de exclusão (CE) para a seleção dos artigos, os quais são apresentados nas subseções seguintes.

Foram aplicados unicamente os critérios de exclusão para a análise dos estudos, visando eliminar os trabalhos que não atendiam aos requisitos descritos para a presente pesquisa. Mesmo que descritos, os critérios de inclusão não foram utilizados por serem opostos aos critérios de exclusão aplicados, com exceção do critério de exclusão CE6, que se refere a estudos duplicados ou com dados insuficientes para análise, em que o uso foi importante para garantir a consistência e a relevância dos estudos selecionados.

3.1.4.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Os critérios de inclusão definidos orientam a seleção dos estudos que abordam a avaliação e implementação da percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com o uso de canetas como instrumento de interação: **CI1** - Estudos publicados em inglês; **CI2** - Estudos cujo título e resumo remetem ao tema em questão; **CI3** - Estudos publicados em periódicos ou conferências científicas; **CI4** - Estudos que abordam métodos de avaliação da percepção pseudo-háptica em dispositivos sensíveis ao toque, incluindo a utilização de canetas como

⁷Disponível em: <https://scholar.google.com/>

⁸Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/>

⁹Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>

¹⁰Disponível em: <https://www.scopus.com/>

¹¹Disponível em: <https://link.springer.com/>

instrumento de interação; e **CI5** - Estudos que descrevem métodos de implementação da percepção pseudo-háptica em dispositivos sensíveis ao toque, utilizando canetas como instrumentos de interação.

3.1.4.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Os critérios de exclusão foram definidos para garantir a seleção dos estudos mais relevantes e adequados ao escopo da pesquisa, excluindo aqueles que não atendem aos critérios pré-definidos: **CE1** - Estudos publicados em português ou outro idioma que não seja o inglês; **CE2** - Estudos cujo título e resumo não remetem ao tema em questão; **CE3** - Estudos publicados em livros ou resumos de artigos; **CE4** - Estudos que não abordam métodos de avaliação da percepção pseudo-háptica em dispositivos sensíveis ao toque utilizando canetas como instrumentos de interação; **CE5** - Estudos que não descrevem métodos de implementação da percepção pseudo-háptica em dispositivos sensíveis ao toque utilizando canetas como instrumentos de interação; e **CE6** - Estudos duplicados ou com dados insuficientes para análise.

3.1.5 ESTUDOS RETORNADOS E SELECIONADOS

As pesquisas por meio da *string* de busca (disponível na subseção 3.1.2) ocorreram entre 20/03/2024 e 01/05/2024, em cada uma das bases de busca apresentadas anteriormente (disponível na subseção 3.1.3). Ao todo, foram obtidos 540 (quinhentos e quarenta) estudos, distribuídos conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de estudos retornados por meio da *string* de busca

Bases de Busca	Quantidade
<i>ACM Digital Library</i>	76 resultados
<i>Google Scholar</i>	430 resultados
<i>IEEE Xplore Digital Library</i>	01 resultado *
<i>ScienceDirect</i>	10 resultados
<i>Scopus</i>	06 resultados
<i>SpringerLink</i>	17 resultados

Fonte: Autoria própria (2026)

O resultado encontrado na base *IEEE Xplore Digital Library* foi sinalizada com um asterisco (*) na Tabela 1 para indicar uma variação observada na apresentação dos resultados ao longo das consultas realizadas. Em determinadas execuções da busca, a plataforma retornou um estudo, enquanto em outras execuções, mantendo-se os mesmos parâmetros de consulta (*string* de busca), não foram apresentados resultados. Essa sinalização possui caráter descritivo e não compromete a consistência do processo de seleção adotado. A documentação visual das consultas realizadas foi registrada para fins de controle interno do processo de pesquisa.

Após isso, iniciou-se a seleção desses estudos com base nos critérios de exclusão (disponível na subseção 3.1.4.2). Na Tabela 2 é ilustrado esse processo.

Tabela 2 - Estudos retornados por meio da *string* de busca

Bases de Busca	Retornados	CE6	Ficou	CE1	Ficou	CE2	Ficou	CE3	Ficou	CE4	Ficou	CE5	Ficou	ACEITOS
<i>ACM Digital Library</i>	76	1	75	1	74	73	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>Google Scholar</i>	430	59	371	32	339	338	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>IEEE Xplore Digital Library</i>	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
<i>ScienceDirect</i>	10	1	9	0	9	7	2	0	2	0	2	0	2	2
<i>Scopus</i>	6	2	4	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>SpringerLink</i>	17	4	13	0	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0
	540	67	473	33	440	435	5	0	5	0	5	0	5	5
		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		

Fonte: Autoria própria (2026)

O primeiro tópico avaliado na etapa de seleção consistiu na análise da presença de estudos duplicados ou com dados insuficientes para a análise (CE6). A ferramenta *Parsifal* possibilita a identificação automática de estudos duplicados, facilitando a aplicação dos demais critérios de exclusão nas etapas subsequentes. Com a aplicação do CE6, foram identificados ao todo 67 (sessenta e sete) estudos duplicados entre as seis bases de busca, restando 473 (quatrocentos e setenta e três) estudos disponíveis para a avaliação dos critérios restantes. Posteriormente, a ordem dos critérios de exclusão foi seguida conforme definida no protocolo da pesquisa.

Com a aplicação do CE1, foram removidos 33 (trinta e três) estudos, por se tratarem de publicações em língua portuguesa ou em outro idioma diferente do inglês, o que não se enquadrava nos critérios de inclusão estabelecidos (disponível na subseção 3.1.4.1). Até essa etapa do processo, 440 (quatrocentos e quarenta)

estudos permaneceram disponíveis para verificação. Desses, 435 (quatrocentos e trinta e cinco) estudos foram removidos com a aplicação do CE2, uma vez que a análise do título e do resumo não indicava relação direta com o tema da pesquisa.

Após a aplicação dos três primeiros critérios de exclusão, o número de estudos foi reduzido de 540 (quinhentos e quarenta) para cinco. Esses estudos permaneceram até o final da verificação dos critérios de exclusão subsequentes, sendo, ao término do processo, classificados como aceitos.

Em seguida, foi adotada a técnica denominada *Backward Snowballing*¹², visando identificar estudos adicionais relevantes a partir das referências dos estudos aceitos na etapa anterior. Esse processo não contou com a utilização da ferramenta *Parsifal*. Na Tabela 3 é ilustrado esse processo.

Tabela 3 - Estudos retornados por meio do *Backward Snowballing* 01

Bases de Busca	Retornados	CE6	Ficou	CE1	Ficou	CE2	Ficou	CE3	Ficou	CE4	Ficou	CE5	Ficou	ACEITOS
<i>ACM Digital Library</i>	31	0	31	0	31	28	3	0	3	0	3	0	3	3
<i>IEEE Xplore Digital Library</i>	26	0	26	0	26	26	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>ScienceDirect</i>	45	0	45	0	45	45	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>SpringerLink</i>	2	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Outros	10	0	10	1	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0
	114	0	114	1	113	110	3	0	3	0	3	0	3	3
		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		

Fonte: Autoria própria (2026)

O *Backward Snowballing*, denominado neste processo como *Snowballing* 01, listou 114 (cento e quatorze) estudos adicionais a partir dos estudos selecionados anteriormente. A distribuição dos estudos foi a seguinte: *ACM Digital Library* com 31 (trinta e um) estudos, *IEEE Xplore Digital Library* com 26 (vinte e seis) estudos, *ScienceDirect* com 45 (quarenta e cinco) estudos, *SpringerLink* com dois estudos, e por fim, a categoria “Outros” com dez estudos, que incluíam bases de busca distintas das utilizadas no estudo, como *eCommons*, *Europe PubMed Central*, *Taylor & Francis Online*, entre outras. O período do processo ocorreu de 07/05/2024 a 14/05/2024.

Assim como os estudos da *string* de busca, os 114 (cento e quatorze) estudos retornados nesse processo também foram submetidos à verificação dos critérios de

¹²*Backward Snowballing*: Processo de busca por artigos a partir das referências de estudos selecionados.

exclusão. Desses, nenhum estudo foi removido no CE6, pois não havia estudos duplicados. No uso do CE1, apenas um estudo foi excluído por estar em um idioma diferente do inglês. Com um total de 113 (cento e treze) estudos restantes, 110 (cento e dez) foram removidos com o emprego do CE2, pois o título e o resumo não estavam relacionados ao tema em questão. Assim, restaram três estudos disponíveis, dos quais nenhum foi removido nos critérios seguintes. O processo de *Snowballing* 01 foi finalizado com três estudos categorizados como aceitos.

Seguindo o processo metodológico, foi definido o *Snowballing* 02, realizado a partir das referências dos estudos aceitos no *Snowballing* 01, no período de 15/05/2024 a 29/05/2024. Na Tabela 4 é ilustrado o processo.

Tabela 4 - Estudos retornados por meio do *Backward Snowballing* 02

Bases de Busca	Retornados	CE6	Ficou	CE1	Ficou	CE2	Ficou	CE3	Ficou	CE4	Ficou	CE5	Ficou	ACEITOS
ACM Digital Library	29	3	26	0	26	23	3	0	3	1	2	0	2	2
IEEE Xplore Digital Library	13	0	13	0	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0
ScienceDirect	3	0	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
SpringerLink	5	0	5	0	5	4	1	1	0	0	0	0	0	0
Outros	7	0	7	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0
	57	3	54	0	54	50	4	1	3	1	2	0	2	2
		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		

Fonte: Autoria própria (2026)

Ao todo, 57 (cinquenta e sete) estudos foram retornados, provenientes das mesmas bases de busca do processo de *Snowballing* anterior. Desses, três estudos foram removidos com a aplicação do CE6, não havendo exclusões no CE1. Em seguida, 50 (cinquenta) estudos foram excluídos com o uso do CE2, pois o título e o resumo não estavam relacionados ao tema em questão. Posteriormente, um estudo foi removido na aplicação do CE3 e um estudo foi excluído com o uso do CE4, por não abordar métodos de avaliação da percepção pseudo-háptica em dispositivos sensíveis ao toque utilizando canetas como instrumentos de interação. O processo de *Snowballing* 02 foi finalizado com dois estudos classificados como aceitos.

Para verificar as referências dos estudos aceitos no *Snowballing* 02, foi conduzido o *Snowballing* 03, realizado entre 29/05/2024 a 07/06/2024. Na Tabela 5 é apresentado o processo.

Tabela 5 - Estudos retornados por meio do *Backward Snowballing* 03

Bases de Busca	Retornados	CE6	Ficou	CE1	Ficou	CE2	Ficou	CE3	Ficou	CE4	Ficou	CE5	Ficou	ACEITOS
<i>ACM Digital Library</i>	9	0	9	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>IEEE Xplore Digital Library</i>	4	0	4	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>ScienceDirect</i>	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Outros	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	15	0	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0
		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		

Fonte: Autoria própria (2026)

Nesse processo, nove estudos foram listados na base da *ACM Digital Library*, quatro estudos na *IEEE Xplore Digital Library*, um estudo na *ScienceDirect* e um estudo na categoria “Outros”. Dos 15 (quinze) estudos identificados, todos foram removidos na aplicação do CE2, por não tratarem da percepção pseudo-háptica em dispositivos sensíveis ao toque utilizando canetas como instrumentos de interação. O processo de *Snowballing* 03 foi finalizado sem a inclusão de novos estudos.

Durante o processo de revisão, é comum encontrar artigos adicionais encontrados em buscas exploratórias. Esses são classificados como complementares ao conjunto inicial de estudos (BISPO, 2023). Nesse processo, um estudo foi localizado e adicionado nas revisões. Esse estudo, que foi descoberto acidentalmente ao explorar uma das bases de busca, apresenta o *FeelPen*, uma caneta háptica que pode exibir propriedades táteis multimodais (conformidade, rugosidade, fricção e temperatura) em telas sensíveis ao toque. Os autores Kodak e Vardar (2023) validam a capacidade de renderização de texturas do *FeelPen* por meio de experimentos psicofísicos, confirmando que é possível gerar sensações táteis relevantes.

Por fim, foi conduzido o *Snowballing* 04, entre 13/06/2024 e 29/06/2024, a partir das referências do estudo complementar identificado. A Tabela 6 apresenta o processo correspondente.

Tabela 6 - Estudos retornados por meio do *Backward Snowballing* 04

Bases de Busca	Retornados	CE6	Ficou	CE1	Ficou	CE2	Ficou	CE3	Ficou	CE4	Ficou	CE5	Ficou	ACEITOS
<i>ACM Digital Library</i>	8	2	6	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>IEEE Xplore Digital Library</i>	27	0	27	0	27	27	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>ScienceDirect</i>	2	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>SpringerLink</i>	8	0	8	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Outros	12	0	12	1	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0
	57	2	55	1	54	54	0	0	0	0	0	0	0	0
		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		

Fonte: Autoria própria (2026)

Ao todo, 57 (cinquenta e sete) estudos foram retornados das bases de busca: *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore Digital Library*, *ScienceDirect*, *SpringerLink* e “Outros”. Com a aplicação do CE6 foram excluídos dois desses estudos, com o CE1 foi excluído um, e o CE2 resultou na exclusão de 54 (cinquenta e quatro). Os demais critérios não foram analisados, pois o processo foi finalizado sem artigos restantes.

Durante todo o processo de revisão, 11 (onze) estudos foram classificados como aceitos após a aplicação dos critérios de exclusão. No entanto, após a etapa de seleção final, foi observado que apenas quatro desses estudos abordam especificamente a percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque, utilizando canetas como meio de interação da percepção. Os sete estudos restantes, embora inicialmente classificados como aceitos, estavam mais relacionados ao uso de canetas em geral ou apresentavam modificações que não se alinham com os critérios definidos para o presente estudo.

Após a análise dos quatro estudos classificados na etapa anterior, foi realizado o procedimento de *Forward Snowballing*¹³ entre os dias 17/09/2024 e 20/09/2024. Na Tabela 7 é apresentado esse processo.

¹³*Forward Snowballing*: Processo de busca por artigos que citaram estudos previamente selecionados.

Tabela 7 - Estudos retornados por meio do *Forward Snowballing* 05

Bases de Busca	Citados	CE6	Ficou	CE1	Ficou	CE2	Ficou	CE3	Ficou	CE4	Ficou	CE5	Ficou	ACEITOS
ACM Digital Library	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Google Scholar	16	0	16	0	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0
IEEE Xplore Digital Library	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ScienceDirect	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Scopus	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SpringerLink	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	36	20	16	0	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0
		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		Excluído		0

Fonte: Autoria própria (2026)

Nessa fase, 16 (dezesseis) estudos que citaram os trabalhos selecionados foram identificados no *Google Scholar*, dez na *ScienceDirect* e dez na *Scopus*. Todos os estudos encontrados nas duas últimas bases de busca citadas foram excluídos com o emprego do CE6. Com a aplicação do CE1, nenhum estudo foi removido; contudo, no CE2, todos os 16 (dezesseis) estudos do *Google Scholar* foram excluídos, pois não abordavam especificamente o tema de percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque utilizando canetas como instrumentos de interação.

Com isso, o processo de *Snowballing* 05 foi concluído sem a inclusão de novos estudos, mantendo-se o conjunto final de quatro estudos aceitos (Estudo 01 (E1), Estudo 02 (E2), Estudo 03 (E3) e Estudo 04 (E4)), os quais serviram de base para esta pesquisa e serão apresentados posteriormente.

3.1.5.1 COMPLEMENTO DA REVISÃO

Após a conclusão do processo de busca por estudos relevantes, foi identificado um novo artigo, no ano de 2025, analisando revisão da literatura publicada em 2024 sobre interação pseudo-háptica, não especificamente com o uso de canetas (XAVIER et al., 2024). Após a análise com base nos critérios de inclusão, o estudo foi aceito por tratar diretamente do assunto da pesquisa. A partir dele, foi realizada uma busca direta por referências (*Forward Snowballing*), na qual se observou que os títulos e resumos dos trabalhos encontrados não se conectavam com o tema estudado, em desacordo com os critérios previamente definidos.

Dessa forma, ao final desse processo, o total de trabalhos relacionados à presente pesquisa passou a ser cinco. Isso fortalece a base teórica e amplia a compreensão sobre o tema abordado. O estudo adicionado foi categorizado como Estudo 05 (E5), o qual também será apresentado no decorrer do trabalho.

3.1.6 ESTUDOS ANALISADOS

Nesta subseção, apresentam-se os estudos que investigam diferentes técnicas de pseudo-háptica em ambientes virtuais, com foco na percepção de rigidez, textura e resistência. Os trabalhos analisados destacam métodos, experimentos e resultados relevantes para compreender como estímulos sensoriais podem influenciar a experiência do usuário.

Estudo 01

O Estudo E1 (*Pseudo-haptics for rigid tool/soft surface interaction feedback in virtual environments*) aborda uma técnica de retorno pseudo-háptico em que há a interação entre uma ferramenta rígida e uma superfície macia, usando dispositivos *touchscreen*. A pesquisa se concentrou na avaliação da percepção pseudo-háptica ao adotar diferentes dispositivos, como *tablets* com caneta *S-pen* e interação com o toque direto dos dedos (dedo nu).

A técnica proposta teve como objetivo elevar a eficácia da detecção de inclusões rígidas em superfícies virtuais macias na interação entre usuário e dispositivo *touchscreen*, com oportunidades de aplicação em áreas como jogos e simulações médicas. As inclusões rígidas (termo utilizado pelos autores) mencionadas no estudo representam possíveis tumores, considerando que o domínio de aplicação está direcionado à área da saúde, especificamente para a detecção de tumores.

A abordagem principal do estudo incluiu a simulação de uma superfície macia com inclusões rígidas, que representavam áreas de maior resistência ao toque. Os participantes precisavam analisar essas superfícies virtuais, buscando identificar as inclusões rígidas a partir de sensações visuais e táteis. As interações alternavam entre os métodos de uso com a caneta *stylus*, o toque direto dos dedos (dedo nu) e o *touchpad* sensível à pressão.

Segundo os autores Li et al. (2014), os participantes foram divididos em dois grupos para a realização dos experimentos. O Grupo I era composto por 20 (vinte) pessoas, sendo seis mulheres e 14 (quatorze) homens, com idades variando entre 23 (vinte e três) à 42 (quarenta e dois) anos. O Grupo II, composto por 20 (vinte) pessoas, sendo sete mulheres e 13 (treze) homens, com idades entre 20 (vinte) e 30 (trinta) anos. O primeiro grupo era composto por um participante com experiência em palpação, enquanto no segundo grupo não havia participante com experiência nessa área. Todos os 40 (quarenta) participantes tinham formação em engenharia e, nenhum deles tinha experiência com simuladores de Realidade Virtual (RV).

Durante os experimentos foram utilizados três dispositivos principais. O primeiro, um *tablet* com entrada de caneta *S-Pen* (*Samsung Galaxy Note*), usado para mensurar a eficácia da técnica pseudo-háptica em interações com uma caneta *stylus*, oferecendo maior precisão na detecção de inclusões rígidas. O segundo dispositivo, um *tablet* com toque direto (*Motorola Xoom*), usado para estudar a percepção com o uso dos dedos nu, sem a utilização de dispositivos como a caneta, por exemplo. O terceiro e último dispositivo, um *touchpad* sensível à pressão, foi utilizado para modelar a interação e medir diretamente a força aplicada durante o experimento.

A estratégia apresentada pelos autores consistiu na simulação de dois vetores de força aplicados ao interagir com as superfícies, um no eixo Y (vertical) e outro no eixo X (horizontal). No eixo Y, os participantes pressionavam contra a superfície, simulando a deformação do material macio. No eixo X, o movimento horizontal tornava-se mais lento ao encontrar áreas mais rígidas, simulando resistência. A representação visual do contato foi feita por um avatar esférico, que auxiliava na percepção da rigidez dos objetos.

Outra técnica citada pelos autores foi a de indentação e rolamento deslizante para explorar a superfície virtual. Esse método permitia ao usuário pressionar e deslizar a ferramenta ao longo da superfície, detectando variações de dureza. A indentação refere-se ao movimento no eixo Y, enquanto o rolamento deslizante no eixo X retrata a resistência observada em diferentes áreas. O grau de deformação e a velocidade do movimento permitiam ao usuário diferenciar diversas variações de dureza, indicando a presença de regiões mais rígidas.

No cenário experimental, os pesquisadores analisaram a eficácia da técnica pseudo-háptica por meio de métricas como Sensibilidade (Se) e Valor Preditivo Positivo (PPV), que avaliaram a capacidade dos participantes em detectar corretamente as inclusões rígidas. Os resultados indicaram que o uso da caneta *S-Pen* proporcionou maior precisão na identificação das áreas rígidas em comparação com o toque direto dos dedos e o *touchpad* sensível à pressão. Essa diferença sugere que o uso de um dispositivo intermediário, como a *stylus*, pode melhorar a percepção pseudo-háptica ao interagir com superfícies virtuais.

Estudo 02

O Estudo E2 (*Multisensory texture exploration at the tip of the pen*) propõe e avalia um sistema de simulação de feedback pseudo-háptico voltado para a exploração de texturas em ambientes virtuais por meio do uso de uma caneta *stylus*. A pesquisa insere-se no contexto de interfaces hápticas que não dependem da geração de força mecânica ativa, explorando a integração de estímulos sensoriais para induzir sensações táteis durante a interação com superfícies virtuais.

A principal motivação dos autores Rocchesso et al. (2016) foi investigar de que maneira diferentes modalidades sensoriais poderiam influenciar a percepção de textura durante a exploração ativa com a ponta da caneta. O estudo fundamenta-se no conceito de pseudo-hapticidade, segundo o qual alterações controladas nos estímulos sensoriais podem provocar ilusões táteis mesmo na ausência de força física aplicada diretamente ao usuário. Nesse contexto, a percepção é induzida por meio da modulação sincronizada de estímulos visuais, auditivos e vibratórios associados ao movimento da caneta.

No experimento, foi desenvolvido um ambiente virtual no qual os participantes deveriam percorrer uma trajetória curva delimitada por bordas laterais, representando uma superfície texturizada. A interação ocorreu por meio de uma mesa digitalizadora com tela sensível ao toque e uma caneta *stylus*, capaz de registrar posição bidimensional, inclinação e força normal aplicada. A textura simulada era representada por variações sensoriais distribuídas ao longo do percurso, permitindo que diferentes padrões fossem percebidos conforme o deslocamento da ferramenta.

O sistema possibilitava a combinação de diferentes modalidades sensoriais, visual, auditiva e vibratória, organizadas em condições experimentais unimodais e multimodais. As variações visuais no trajeto eram acompanhadas por estímulos sonoros e vibrotáteis sincronizados, criando uma experiência integrada de exploração textural. Importante destacar que o sistema não empregou atuadores de força ou mecanismos de retorno háptico ativo, sendo a sensação construída exclusivamente pela integração dos estímulos sensoriais apresentados.

Para validação da proposta, o estudo contou com 14 (quatorze) participantes, que realizaram tarefas de condução da caneta ao longo do percurso virtual. O objetivo era completar o trajeto o mais rapidamente possível, mantendo precisão e evitando ultrapassar os limites estabelecidos. As métricas empregadas incluíram o tempo de execução da tarefa, o erro de trajetória, calculado a partir do desvio em relação ao caminho ideal, e o controle da força normal aplicada durante a interação.

Todos os dados foram analisados por meio de ANOVA (análise de variância) de medidas repetidas, permitindo comparar o desempenho entre as diferentes condições sensoriais. Além das medidas objetivas, foram aplicados questionários com escalas do tipo *Likert*, com o intuito de avaliar a percepção subjetiva dos participantes quanto ao realismo e à eficácia da textura simulada.

Os resultados indicaram que as condições multimodais proporcionaram melhor desempenho, com redução significativa do erro de trajetória e do tempo de execução quando comparadas às condições unimodais. Os participantes relataram percepção clara das variações texturais e avaliaram positivamente a experiência de interação. Observou-se ainda que os usuários ajustaram seu comportamento motor conforme os estímulos apresentados, evidenciando integração perceptiva entre as modalidades sensoriais.

Como limitações, os autores destacam que o sistema depende diretamente da qualidade da apresentação sensorial, podendo ser impactado por fatores como latência, resolução e desempenho geral do dispositivo utilizado. Ademais, por não envolver a geração de força física real, a abordagem pode não ser adequada para aplicações que demandem elevada precisão tátil ou respostas físicas mais realistas. Ainda assim, o estudo demonstra um alto potencial das técnicas pseudo-hápticas

multimodais para enriquecer significativamente a experiência de exploração textural em interfaces digitais, indicando possibilidades promissoras para futuras aplicações.

Estudo 03

O Estudo E3 (*Supporting Precise Manual-handling Task using Visuo-haptic Interaction*) investiga o uso da interação visuo-háptica como estratégia de suporte a tarefas manuais de alta precisão, tais como desenho e manipulação fina, sem o emprego de dispositivos hápticos mecânicos. A proposta central do trabalho consiste em explorar ilusões pseudo-hápticas geradas exclusivamente por manipulações visuais em um ambiente de realidade mista, visando corrigir reflexivamente o movimento da mão do usuário durante a execução de trajetórias predefinidas.

A abordagem fundamenta-se no princípio de que a expansão visual do desvio entre a posição real da mão e a trajetória-alvo induz uma sensação implícita de força em sentido oposto ao movimento realizado. Como resposta reflexiva a essa força pseudo-háptica, o usuário tende a ajustar espontaneamente o movimento da mão, reduzindo gradualmente o erro de execução ao longo da tarefa. Para implementar essa estratégia, os autores Nomoto et al. (2016) desenvolveram um sistema de realidade mista do tipo *vídeo see-through*, no qual a imagem real da mão do usuário é capturada por uma câmera e reexibida em um *head-mounted display* (HMD), com deslocamentos visuais artificiais aplicados dinamicamente conforme o desvio em relação ao caminho-alvo estabelecido.

O cenário experimental foi composto por um *head-mounted display Oculus Rift Development Kit 2*, equipado com uma câmera (*Logicool HD Pro Webcam C920*) acoplada por meio de uma lente grande-angular de fator zero vírgula seis. O sistema operava com uma taxa de quadros de aproximadamente 28 (vinte e oito) quadros por segundo e um atraso visual médio de cerca de zero vírgula um segundo. O espaço físico de trabalho consistia em uma mesa com dimensões de 800 (oitocentos) milímetros de largura por 400 (quatrocentos) milímetros de profundidade, sobre a qual os participantes realizavam as tarefas de desenho manual.

Participaram do estudo nove voluntários no experimento de desenho de linhas, seis no experimento de desenho de círculos e dez no experimento de desenho

de arestas, todos destros. Antes da coleta dos dados, os participantes realizaram sessões de treinamento para familiarização com o sistema. Durante os experimentos, os sujeitos foram instruídos a executar os movimentos de forma contínua e suave, evitando interrupções voluntárias.

Ao todo, três tipos de tarefas manuais foram avaliados: desenho de segmentos de reta, desenho de círculos e desenho de arestas em formato triangular. Em todas as condições experimentais, o sistema aplicava diferentes níveis de ganho visual, responsáveis por ampliar ou reduzir o desvio entre a posição real da mão e a trajetória-alvo. Os valores de ganho variaram de zero a quatro, dependendo da tarefa, sendo apresentados em ordem aleatorizada para minimizar efeitos de aprendizagem.

As métricas utilizadas para avaliação incluíram a precisão do traçado, definida como a soma dos quadrados das distâncias normais entre a trajetória executada e a trajetória-alvo, e o tempo total de execução da tarefa proposta. Os valores obtidos foram devidamente normalizados em relação à condição de ganho igual a um, considerada como referência padrão sem modificação visual aplicada.

Análises estatísticas também foram conduzidas por meio de testes *t* com correção de *Bonferroni*, adotando nível de significância de 05% (cinco por cento). A correção de *Bonferroni* é um método estatístico para controlar o erro Tipo I (falso positivo) ao realizar múltiplas comparações ou testes no mesmo conjunto de dados, dividindo o nível de significância (alfa, geralmente 0,05 (zero vírgula cinco)) pelo número de testes, tornando o critério mais rigoroso e conservador para cada teste individual, embora possa reduzir o poder estatístico (BLAND; ALTMAN, 1995).

Os resultados indicaram que ganhos moderados, próximos de 2,5 (dois vírgula cinco), proporcionaram o melhor equilíbrio entre precisão e tempo de execução da tarefa, com melhorias de até 50% (cinquenta por cento) para segmentos e círculos e cerca de 40% (quarenta por cento) para arestas específicas. Para ganhos mais elevados, observou-se um aumento no tempo de execução, indicando uma possível sobrecarga na adaptação do usuário ao estímulo visual aplicado. O estudo conclui que a interação pseudo-háptica visual é eficaz para o suporte a tarefas de precisão, oferecendo baixo custo de implementação e alta liberdade de movimento durante a execução das atividades.

Os autores concluem que o uso de pseudo-háptica baseada exclusivamente em manipulação visual é eficaz para o suporte de tarefas manuais de precisão em ambientes reais, oferecendo uma alternativa de baixo custo, com alta liberdade de movimento e grande potencial de aplicação em contextos como treinamento, aprendizado motor e reabilitação. Além disso, essa abordagem se mostra promissora por não depender de dispositivos hápticos especializados, ampliando sua viabilidade em diferentes cenários de uso.

Estudo 04

O Estudo E4 (*What you feel is what you see: inverse dynamics estimation underlies the resistive sensation of a delayed cursor*) apresentado por Takamuku e Gomi (2015), investiga os mecanismos perceptivos responsáveis pela sensação de resistência induzida por atrasos visuais no movimento de um cursor controlado por uma caneta. O trabalho se enquadra da pseudo-háptica e busca compreender como o sistema perceptivo humano interpreta pistas visuais dinâmicas como indícios de força, mesmo na ausência de qualquer feedback háptico físico.

A metodologia adotada baseou-se em experimentos controlados nos quais os participantes manipulavam uma caneta sobre uma mesa digitalizadora enquanto observavam, em uma tela, um cursor visualmente atrasado em relação ao movimento real da mão. Esse atraso temporal era manipulado sistematicamente para criar diferentes condições experimentais, induzindo a percepção de resistência ao movimento do cursor.

Participaram do estudo 37 (trinta e sete) voluntários adultos, os quais realizaram tarefas de comparação perceptiva entre condições com diferentes atrasos visuais. O protocolo experimental exigia que os participantes julgassem, de forma subjetiva, qual condição produzia maior sensação de resistência. Como métrica principal, os autores utilizaram a probabilidade de cada condição ser escolhida como aquela associada à maior resistência percebida, permitindo uma quantificação indireta da percepção pseudo-háptica.

Além das avaliações subjetivas, o estudo analisou variáveis cinemáticas do movimento do cursor, incluindo posição, velocidade e aceleração. Essas variáveis

foram correlacionadas com os julgamentos perceptivos a fim de identificar quais parâmetros visuais estariam mais fortemente associados à sensação resistiva. Os resultados demonstraram que a percepção de resistência não se correlacionou de forma significativa com erros de posição, velocidade ou aceleração física do movimento real da mão.

Em contrapartida, foi observada uma forte relação entre a sensação resistiva percebida e a aceleração visual do cursor atrasado. Os autores interpretam esse achado como evidência de que o sistema perceptivo humano realiza uma estimativa implícita de força com base na dinâmica visual observada, fenômeno descrito como uma forma de estimação inversa da dinâmica do movimento.

A implementação da pseudo-háptica neste estudo foi inteiramente baseada em manipulação visual, sem o uso de atuadores mecânicos, motores ou dispositivos de geração de força. Essa abordagem possibilitou liberdade total de movimento ao usuário, baixo custo de implementação e ausência de restrições físicas durante a interação, reforçando o potencial da pseudo-háptica visual como uma alternativa viável para a simulação de forças em interfaces homem-computador.

Os autores concluem que atrasos visuais adequadamente manipulados são capazes de induzir sensações robustas de resistência, sustentadas por mecanismos perceptivos de inferência dinâmica. Esses resultados contribuem para a compreensão dos fundamentos da pseudo-háptica e indicam aplicações promissoras em interfaces baseadas em caneta, ambientes de realidade virtual e sistemas interativos que demandam percepção de força sem hardware háptico dedicado.

Estudo 05

Por fim, o Estudo E5 (*Presenting Static Friction Sensation at Stick-slip Transition using Pseudo-haptic Effect*), apresentado por Ujitoko et al. (2019), visa investigar a possibilidade de induzir a sensação de atrito estático em superfícies virtuais por meio do efeito pseudo-háptico. A proposta central consiste em simular a transição do estado de aderência (*stick*) para o estado de deslizamento (*slip*) com base exclusivamente em manipulações visuais, sem a presença de qualquer tipo de feedback tátil físico, buscando avaliar se os usuários são capazes de

perceber resistência ao movimento por meio de estímulos visuais que distorcem o comportamento esperado de um ponteiro controlado com uma caneta *stylus*.

Para isso, os autores desenvolveram um sistema experimental que associa os movimentos de uma caneta sobre um *touchpad* ao deslocamento de um ponteiro virtual em uma tela. A manipulação visual do ponteiro, incluindo pausas e deformações na trajetória, foi projetada para simular o comportamento do atrito estático, frequentemente presente quando se inicia o movimento de um objeto sobre uma superfície resistente. O experimento investigou se esse tipo de manipulação visual poderia, de fato, gerar uma sensação de resistência semelhante à física.

O experimento envolveu dez participantes, sendo oito homens e duas mulheres, com idades entre 22 (vinte e dois) e 25 (vinte e cinco) anos, todos destros. Para garantir a qualidade perceptiva dos dados, os pesquisadores avaliaram os voluntários previamente para assegurar que não apresentavam sinais de cansaço ou estresse, pois essas condições poderiam comprometer a acurácia sensorial, que foi uma métrica utilizada no estudo. O protocolo experimental foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade de Tóquio e todos os participantes assinaram termo de consentimento informado.

Durante a tarefa, os participantes utilizavam uma caneta *stylus* física (não especificada como digital ou com sensoramento avançado), fazendo o movimento da esquerda para a direita sobre o *touchpad* de um *MacBook Pro* com tela de 2880 x 1800 *pixels*. O movimento da caneta era mapeado para controlar a posição de um ponteiro virtual preto exibido no centro da tela. A tarefa consistia em mover esse ponteiro 70 (setenta) *pixels* para a direita e, em determinadas condições experimentais, uma “corda virtual” aparecia estendida a partir do ponteiro, reforçando visualmente a noção de resistência ao movimento. Já em outros momentos, essa corda não era exibida, permitindo comparar os efeitos da presença ou ausência do estímulo visual auxiliar.

O controle da movimentação do ponteiro era feito por um sistema de manipulação visual que provocava pequenos travamentos e vez ou outra, oscilações, simulando a dificuldade inicial de movimentação típica do atrito estático. Os participantes executaram as tarefas enquanto usavam fones de ouvido com cancelamento de ruído para bloquear sons do ambiente e manter o foco

exclusivamente na interação visual-tátil com o sistema.

A principal métrica utilizada para análise dos dados foi a acurácia na percepção da resistência simulada, ou seja, os participantes precisavam relatar se sentiram resistência no início do movimento da caneta, indicando se perceberam corretamente o atrito estático sugerido visualmente. Os resultados mostraram que a manipulação visual proposta foi positiva, capaz de induzir a percepção do atrito estático com sucesso, e que a presença da corda visual reforçou essa sensação. Em comparação às condições sem manipulação visual, os usuários relataram maior sensação de resistência nas condições com pseudo-háptico aplicado, o que confirma a eficácia da técnica.

A Tabela 8, apresentada na sequência, retrata uma síntese comparativa dos estudos analisados e descritos anteriormente, organizando dispositivos, experimentos, implementações pseudo-hápticas, métricas e principais resultados. A identificação completa dos artigos correspondentes a cada estudo (E1–E5) é apresentada na sequência.

- **Estudo 01** – *Pseudo-haptics for rigid tool/soft surface interaction feedback in virtual environments*, dos autores Li et al. (2014).
- **Estudo 02** – *Multisensory texture exploration at the tip of the pen*, dos autores Rocchesso et al. (2016).
- **Estudo 03** – *Supporting precise manual-handling task using visuo-haptic interaction*, dos autores Nomoto et al. (2016).
- **Estudo 04** – *What you feel is what you see: inverse dynamics estimation underlies the resistive sensation of a delayed cursor*, dos autores Takamuku e Gomi (2015).
- **Estudo 05** – *Presenting static friction sensation at stick-slip transition using pseudo-haptic effect*, dos autores Ujitoko et al. (2019).

Tabela 8: Tabela comparativa dos cinco estudos analisados

Características	Estudo 01	Estudo 02	Estudo 03	Estudo 04	Estudo 05
Dispositivo e caneta	<i>Samsung Galaxy Note 10.1</i> e <i>Motorola Xoom</i> , sem atuadores hápticos; interação por <i>S-Pen</i> ou toque direto	Mesa digitalizadora com display (<i>Wacom Cintiq</i>) e caneta sem atuadores hápticos; registro 2D, força normal e inclinação	Sistema de realidade aumentada <i>video see-through</i> com <i>Oculus Rift DK2</i> , câmera e superfície física; caneta sem atuadores hápticos	Mesa digitalizadora com caneta; atraso controlado do cursor; sem atuadores hápticos	<i>MacBook Pro</i> (2880×1800), <i>touchpad</i> e caneta; sem atuadores
Cenário e grupos	40 participantes; 3 condições: mão direta, <i>tablet touchscreen</i> , <i>touchpad</i>	14 participantes; condições visual, sonora, vibratória e multimodais	25 participantes; tarefas: linhas (9), círculos (6), arestas (10)	37 participantes; múltiplos atrasos visuais; delineamento intra-sujeitos	10 participantes; condição pseudo-háptica virtual

Características	Estudo 01	Estudo 02	Estudo 03	Estudo 04	Estudo 05
Superfícies e objetos	Superfícies virtuais macias com inclusões rígidas	Trajectoria curva com bordas laterais; textura virtual	Superfície física plana com rotas geométricas virtuais	Cursor bidimensional em tela; sem superfície física diferenciada	Superfícies virtuais com simulação de atrito estático inicial
Variação de objeto virtual	Regiões com diferentes níveis de rigidez	Padrões sensoriais distribuídos espacialmente	Variação do ganho visual lateral	Manipulação do atraso temporal do cursor	Variação da resistência inicial ao movimento
Implementação pseudo-háptica	Deformação visual + redução da velocidade do indentador em regiões rígidas	Deformação visual + feedback vibratório e sonoro sincronizados	Amplificação visual do desvio entre a caneta real e a trajetória	Atraso temporal entre o movimento real e o visual	Feedback visual com pausas e oscilações do cursor
Característica háptica	Rigidez aparente e resistência ao movimento	Textura simulada multimodal	Força corretiva lateral pseudo-háptica	Resistência percebida por atraso visual	Atrito estático na transição <i>stick-slip</i>

Características	Estudo 01	Estudo 02	Estudo 03	Estudo 04	Estudo 05
Tarefas	Varredura para identificar inclusões rígidas	Condução da caneta com rapidez e precisão	Desenho de trajetórias-alvo	Comparação pareada de resistência percebida	Identificação de resistência inicial ao movimento
Métricas e testes	Sensibilidade, Valor Preditivo Positivo (VPP) e teste de <i>Wilson</i>	Tempo, erro de trajetória e força normal; ANOVA de medidas repetidas	Erro de trajetória e precisão e tempo	Julgamentos comparativos; ajuste psicométrico	Análise descritiva com 10 participantes
Resultados	Desempenho comparável à detecção manual; aumento da sensibilidade e da VPP	Condições multimodais reduziram o erro e o tempo	Ganho de $\approx 2,5$, apresentando melhor equilíbrio entre precisão e velocidade	Atrasos induziram resistência à aceleração do cursor	Percepção de atrito estático confirmada e variações individuais identificadas

Fonte: Autoria própria (2026)

A organização desses estudos em formato tabular permite uma análise comparativa mais clara e estruturada entre diferentes abordagens adotadas na literatura. Por meio dessa estrutura, torna-se possível identificar padrões relevantes relacionados aos tipos de dispositivos utilizados, às estratégias de implementação da pseudo-háptica e às métricas empregadas para avaliação da experiência do usuário em diferentes contextos. Essa visão facilita a compreensão das convergências e divergências entre os trabalhos analisados, além de evidenciar distintas perspectivas metodológicas adotadas para investigar a percepção tátil simulada.

De maneira geral, os estudos demonstram que a pseudo-háptica pode ser aplicada efetivamente em interações com dispositivos *touchscreen*, utilizando apenas estímulos visuais e manipulação do movimento para simular sensações táteis como resistência, atrito e rigidez. Todos os experimentos mostraram que é possível induzir percepções táteis precisas sem recorrer a atuadores físicos, reforçando o potencial dessa abordagem para aplicações em treinamento, simulações médicas, interfaces interativas e ambientes virtuais que exigem alta sensibilidade tátil.

3.1.7 RESPOSTAS DAS QUESTÕES DE PESQUISA

Nessa subseção são apresentadas as respostas às questões de pesquisa formuladas, com base na análise dos cinco estudos selecionados e apresentados anteriormente. Cada estudo foi analisado individualmente a fim de identificar as abordagens, técnicas, métricas e resultados relacionados à percepção pseudo-háptica em dispositivos de telas sensíveis ao toque com o uso de canetas como instrumento de interação. As respostas estão organizadas para esclarecer como cada pesquisa contribui para o entendimento dos métodos de implementação e avaliação da percepção pseudo-háptica, bem como os impactos das características das canetas e os efeitos dessa percepção na usabilidade e satisfação dos usuários.

Estudo 01

Para o Estudo 01 (E1), a QP1 buscou identificar as abordagens utilizadas para a avaliação da percepção pseudo-háptica em dispositivos de telas sensíveis ao toque com o uso de uma caneta. O estudo analisado realizou essa avaliação por meio de

métricas objetivas de desempenho, especialmente a sensibilidade (Se) na detecção de inclusões rígidas e o valor preditivo positivo (PPV), considerando a ocorrência de verdadeiros positivos, falsos positivos e falsos negativos durante a execução das tarefas propostas aos participantes.

Os resultados indicaram que o uso do *tablet* com a caneta *S-Pen* atingiu uma sensibilidade de 91,7% (noventa e um vírgula sete por cento), demonstrando alto desempenho na identificação de inclusões rígidas em superfícies macias simuladas. A análise estatística foi conduzida utilizando intervalos de confiança de *Wilson*¹⁴ com nível de confiança de 95% (noventa e cinco por cento), permitindo comparação entre diferentes dispositivos de entrada (caneta, dedo e *touchpad*). Contudo, o estudo não contemplou métricas subjetivas relacionadas à usabilidade ou satisfação do usuário, restringindo-se a medidas objetivas de desempenho perceptivo.

No que se refere à QP2, o estudo apresentou uma abordagem detalhada para implementação da percepção pseudo-háptica baseada na integração de pistas visuais e modulação do comportamento do avatar. A técnica pseudo-háptica foi implementada por meio da alteração da velocidade do avatar (atraso temporal controlado) quando este se aproximava de regiões virtualmente mais rígidas, criando a ilusão de resistência ao movimento.

Além disso, foi implementada a deformação visual da superfície virtual em tempo real, calculada com base na profundidade de indentação e em um modelo geométrico deformável fundamentado em dados previamente obtidos por método de indentação por rolamento/deslizamento. A renderização gráfica foi realizada com a biblioteca *OpenGL*, permitindo a visualização da deformação da superfície em perspectiva. Diferentemente de modelos massa-mola, o estudo utilizou matrizes de distribuição de força adquiridas experimentalmente e interpolação linear para mapear força aplicada e profundidade de deformação.

Quanto à QP3, os resultados evidenciaram que características da caneta, como sensibilidade à pressão e precisão na detecção do contato, influenciam diretamente o desempenho da percepção pseudo-háptica. A *S-Pen*, com 1024 (mil e vinte e quatro) níveis de sensibilidade à pressão, apresentou desempenho superior

¹⁴Método estatístico para calcular intervalo de confiança para proporções.

em comparação ao uso do dedo na tela sensível ao toque e ao *touchpad*. O estudo também contou com 40 (quarenta) participantes, divididos em dois grupos de 20 (vinte) indivíduos cada. O estudo discutiu limitações associadas à detecção de força baseada na área de contato (no caso do dedo), ressaltando a importância da calibração e da qualidade do sensor de pressão para garantir maior precisão na interação.

Em relação à QP4, o artigo não investigou diretamente aspectos relacionados à usabilidade ou satisfação do usuário. Embora tenha demonstrado que o desempenho com *tablet* e *S-Pen* foi comparável à interação manual direta com o objeto físico (considerada como referência), a pesquisa não aplicou instrumentos específicos de avaliação subjetiva nem analisou fatores ergonômicos ou de experiência do usuário. O foco permaneceu na eficácia perceptiva e na validação técnica da abordagem pseudo-háptica em ambiente experimental controlado, com potencial aplicação futura em áreas como treinamento médico e jogos digitais.

Estudo 02

Para a QP1 do Estudo 02 (E2), a avaliação da percepção pseudo-háptica foi realizada por meio de experimentos controlados com usuários, em um ambiente virtual voltado à exploração de texturas ao longo de um percurso delimitado. Diferentemente de abordagens baseadas em simulação de força física, a técnica empregada fundamenta-se na manipulação coordenada de estímulos sensoriais, especialmente visuais, auditivos e vibratórios, sem aplicação de força mecânica ativa. A percepção tátil é induzida a partir da modulação desses estímulos conforme o movimento da caneta *stylus* sobre a superfície virtual.

A avaliação do desempenho dos participantes envolveu métricas objetivas, como o tempo de execução da tarefa e o erro de trajetória, calculado a partir do desvio entre o percurso realizado pelo usuário e o trajeto ideal previamente definido no ambiente virtual. Também foi considerada a força normal aplicada durante a interação, registrada pelo dispositivo de entrada. Os dados foram analisados estatisticamente por meio de ANOVA de medidas repetidas, a fim de comparar as diferentes condições sensoriais propostas no experimento. Além das medidas quantitativas, foram aplicados questionários subjetivos com escalas do tipo *Likert*,

buscando identificar a percepção dos participantes quanto ao realismo, à clareza e à eficácia da sensação de textura simulada.

No que se refere à QP2, a implementação da pseudo-haptividade no estudo foi baseada na integração multimodal de estímulos sensoriais. A interação ocorreu por meio de uma caneta *stylus* utilizada em uma mesa digitalizadora com tela sensível ao toque, capaz de registrar posição bidimensional, inclinação e força normal aplicada. A técnica consistiu na sincronização entre o movimento da caneta e variações visuais no percurso apresentado na tela, complementadas por estímulos sonoros e vibratórios. Essa combinação permitiu induzir a percepção de textura ao longo da trajetória explorada, sem a necessidade de atuadores de força ou mecanismos hápticos ativos.

Em relação à QP3, o estudo não se aprofunda na caracterização técnica detalhada da caneta utilizada; contudo, a metodologia evidencia que a precisão espacial do dispositivo e a capacidade de registrar variações sutis de movimento e força são fundamentais para o desempenho do sistema. A fidelidade na captura dos dados de posição e pressão influencia diretamente a consistência dos estímulos sensoriais apresentados, o que impacta a qualidade da experiência perceptiva. Assim, ainda que a sensibilidade à pressão não seja utilizada para gerar força real, ela contribui para o controle e análise da interação do usuário com o ambiente virtual.

Por fim, no contexto da QP4, os resultados indicaram que a integração multimodal de estímulos sensoriais favoreceu o desempenho dos participantes, com redução significativa do erro de trajetória e do tempo de execução em comparação às condições unimodais. Os participantes relataram percepção clara das variações texturais simuladas e avaliaram positivamente a experiência de interação. Observou-se, ainda, que os usuários ajustaram seu comportamento motor conforme as condições sensoriais apresentadas, demonstrando adaptação às pistas perceptivas fornecidas pelo sistema. Dessa forma, o estudo evidencia que abordagens pseudo-hápticas multimodais podem contribuir para enriquecer a experiência de exploração tátil em interfaces digitais, mesmo na ausência de geração de força física real.

Estudo 03

Para o Estudo 03 (E3), a QP1 buscou entender as abordagens para a

avaliação da percepção pseudo-háptica em tarefas manuais de precisão utilizando um sistema de realidade mista. O estudo investigou a eficácia do feedback visuo-háptico na melhora da precisão de desenhos de linhas, círculos e arestas, utilizando métricas objetivas, como a diferença ao quadrado entre a posição real da ponta da caneta e a rota alvo, além do tempo necessário para completar a tarefa. Os resultados mostraram que a expansão visual da posição da mão do usuário em relação à rota alvo aumentou a precisão em até 50% (cinquenta por cento), dependendo do tipo de figura e do ganho aplicado, confirmando que o feedback visuo-háptico pode ser eficaz para medir e melhorar o desempenho manual.

Na QP2, o estudo se concentrou na implementação da percepção pseudo-háptica por meio de um dispositivo de visualização montado na cabeça do usuário, que deslocava visualmente a mão do participante, representada em ambiente virtual, para criar a ilusão de força durante a interação. Ao ajustar a posição visual dessa mão virtual em direção à expansão do desvio, o usuário era induzido a corrigir reflexivamente sua trajetória. Diferentes níveis de ganho foram testados, variando de zero a quatro, e o sistema não dependia de dispositivos mecânicos, garantindo liberdade de movimento, baixo custo e manutenção mínima. A implementação permitiu a manipulação em tempo real das figuras e ajustes visuais imediatos durante a tarefa, sem restrição física da mão do usuário.

A QP3 tratou da influência das características da caneta na percepção pseudo-háptica. O estudo utilizou apenas uma caneta como dispositivo de entrada, não realizando comparações entre diferentes modelos ou níveis de sensibilidade. Dessa forma, não é possível estabelecer relações diretas entre parâmetros técnicos da caneta e a eficácia da técnica proposta. Entretanto, os resultados indicaram que a precisão do controle manual do participante foi determinante para o funcionamento adequado do redirecionamento visual aplicado.

Em condições com níveis elevados de ganho, alguns participantes relataram sensação de desconforto ou percepção de arrasto, sugerindo que deslocamentos visuais excessivos podem comprometer a naturalidade da interação. Assim, mais do que características específicas da caneta, o equilíbrio entre a manipulação visual e a capacidade de adaptação motora do usuário mostrou-se um fator relevante para a

eficácia da pseudo-haptividade no sistema investigado.

Por fim, a QP4 abordou como a percepção pseudo-háptica afetou a usabilidade e a satisfação do usuário. O estudo não realizou medições formais dessas dimensões, mas registrou comentários qualitativos dos participantes. Foi observado que, apesar do desconforto ocasionado por vibrações visuais ou sensação de arrasto, os usuários perceberam melhora significativa na precisão dos desenhos e maior controle manual. O sistema permitiu uma interação mais natural do que dispositivos mecânicos, mostrando potencial para aplicação em treinamento e prática de habilidades manuais precisas, como desenho ou caligrafia.

Estudo 04

Para a QP1 no Estudo 04 (E4), o estudo investigou as abordagens utilizadas para a avaliação da percepção pseudo-háptica a partir da análise de sensações resistivas percebidas durante a manipulação de um cursor com atraso visual. A avaliação foi conduzida com experimentos controlados, nos quais os participantes comparavam subjetivamente a intensidade da sensação de resistência entre diferentes condições de atraso visual. Como métrica principal, foi utilizada a probabilidade de cada condição ser julgada como aquela que produzia maior sensação de resistência, permitindo uma quantificação indireta da percepção pseudo-háptica.

Além disso, o estudo analisou variáveis cinemáticas, como posição, velocidade e aceleração do cursor, correlacionando essas medidas com os relatos perceptivos dos participantes ao longo da interação. Os resultados indicaram que a sensação resistiva não se correlacionou com erros de posição, velocidade ou aceleração do cursor, mas sim com a aceleração visual do cursor atrasado, interpretada como um indicativo consistente de força implícita percebida pelo usuário.

Na QP2, o estudo concentrou-se na implementação da percepção pseudo-háptica por meio da manipulação de atrasos no retorno visual do cursor durante a interação com uma caneta em uma mesa digitalizadora. A caneta era utilizada para realizar movimentos controlados, enquanto o cursor exibido em tela apresentava um atraso temporal proposital. Essa diferença entre o movimento real da mão e o movimento visual do cursor gerava uma ilusão de resistência, sem a utilização de

qualquer dispositivo mecânico ou atuador físico.

A implementação baseou-se exclusivamente em alterações visuais dinâmicas, explorando a aceleração do cursor atrasado como um indício visual de força contrária ao movimento do usuário. Dessa forma, a percepção pseudo-háptica foi implementada de maneira puramente visual, permitindo liberdade de movimento, baixo custo e ausência de restrições físicas ao usuário.

Em relação à QP3, o estudo analisou indiretamente a influência das características da caneta na percepção pseudo-háptica. Foi utilizada apenas uma caneta, sem sensibilidade à pressão ou recursos avançados. Ainda assim, os resultados mostraram que a precisão do traçado e a estabilidade do movimento manual foram essenciais para que a ilusão de resistência fosse percebida de forma consistente. Movimentos mais controlados favoreceram a interpretação do cursor atrasado como uma carga mecânica, enquanto variações excessivas no movimento poderiam comprometer a clareza da sensação.

Embora o estudo não tenha comparado diferentes tipos de canetas, os achados indicam que a qualidade do controle motor proporcionado pela caneta influencia diretamente a eficácia da percepção pseudo-háptica.

Já para a QP4, o estudo abordou os efeitos da percepção pseudo-háptica sobre a usabilidade e a satisfação do usuário durante a interação. O estudo não aplicou instrumentos formais de avaliação dessas dimensões, como questionários padronizados ou escalas validadas, mas coletou julgamentos subjetivos dos participantes ao longo das tarefas experimentais. Os relatos indicaram que a sensação de resistência foi percebida de forma consistente e realista, especialmente quando associada a determinados padrões de aceleração visual do cursor.

Apesar de a sensação desaparecer após exposição prolongada ao atraso visual, os participantes relataram uma experiência perceptiva clara e diferenciada durante os testes iniciais realizados. Esses resultados sugerem que a percepção pseudo-háptica baseada exclusivamente em pistas visuais possui potencial significativo para enriquecer a interação com dispositivos de entrada baseados em caneta, especialmente em contextos que demandam a percepção de força ou

resistência sem o uso de hardware háptico dedicado.

Estudo 05

Para o Estudo 05 (E5), na QP1, o estudo utilizou uma abordagem experimental baseada em tarefas de movimentação controlada da caneta sobre um *touchpad*, enquanto os participantes observavam a movimentação de um ponteiro virtual exibido na tela de um *laptop*. Os autores buscaram investigar se era possível induzir a sensação de atrito estático, aquele que impede o movimento inicial de um objeto, por meio exclusivamente de manipulações visuais. Durante a atividade os participantes realizavam movimentos horizontais com a caneta, e o sistema distorcia a resposta visual do ponteiro, criando pequenas pausas ou desacelerações que imitavam a transição do estado de aderência para o de deslizamento.

A percepção da resistência foi avaliada com base nas respostas subjetivas dos usuários, que indicavam se sentiram ou não esse tipo de resistência ao executar a tarefa. Como métrica principal de análise, foi utilizada a acurácia, ou seja, a capacidade dos participantes de identificar corretamente a presença do atrito simulado em diferentes condições experimentais. O ambiente foi controlado cuidadosamente, com o uso de fones com cancelamento de ruído e ruído branco para eliminar distrações auditivas e garantir foco total na tarefa.

Para a QP2, a percepção pseudo-háptica foi implementada por meio da modificação do comportamento visual do ponteiro controlado pela caneta. A principal técnica consistia em simular a resistência de atrito estático ao manipular a movimentação do ponteiro com pequenas interrupções no início do deslocamento. Essas pausas visuais criavam a ilusão de que havia uma força impedindo o movimento da caneta, mesmo que fisicamente o toque no *touchpad* permanecesse suave.

Além disso, os pesquisadores utilizaram uma corda visual que se estendia do ponteiro durante a movimentação, visível em determinadas condições, para reforçar ainda mais a ilusão de resistência. A presença ou ausência dessa corda foi usada como uma variável independente no experimento, permitindo comparar os efeitos da manipulação visual com e sem esse reforço gráfico.

No que diz respeito à QP3, o artigo não apresenta informações detalhadas sobre a caneta utilizada em termos técnicos, como sensibilidade à pressão, resolução ou taxa de amostragem. Não há menção à utilização de uma *stylus* com sensores sofisticados ou qualquer sistema ativo de feedback. A caneta foi utilizada simplesmente como uma ferramenta de entrada física para permitir a movimentação controlada sobre o *touchpad*, sendo o controle da percepção tátil feito inteiramente por meio de manipulação visual na tela. Dessa forma as características da caneta, como pressão ou precisão, não foram consideradas variáveis influentes na experiência perceptiva dos usuários, e não há evidência de que tenham impactado a eficácia da pseudo-haptividade simulada.

Por fim, para a QP4, os resultados obtidos demonstraram que os usuários foram capazes de perceber resistência ao movimento mesmo na completa ausência de feedback tátil físico. Isso evidencia o potencial das manipulações visuais para criar sensações táteis convincentes, sem a necessidade de atuadores físicos ou dispositivos complexos. A simulação do atrito estático foi considerada eficaz, especialmente nas condições em que a corda visual era exibida o que sugere que elementos visuais adicionais podem fortalecer a ilusão tátil.

Apesar de o estudo não empregar instrumentos padronizados para avaliar usabilidade ou satisfação do usuário, como questionários ou entrevistas qualitativas, os relatos coletados e a taxa de detecção correta do atrito simulado indicam que os participantes reagiram positivamente à técnica. Dessa forma a percepção pseudo-háptica contribuiu para uma experiência de interação mais realista, com potencial aplicação em interfaces sensíveis ao toque, principalmente em sistemas que demandam baixo custo e não podem incluir dispositivos físicos de feedback.

3.1.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no MSL descrito neste capítulo, foram identificados e analisados os cinco estudos relacionados à interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque, todos utilizando canetas (*stylus*) como principal forma de entrada. Todos forneceram importantes *insights* sobre como diferentes técnicas de simulação tátil podem ser aplicadas na IHC, especialmente em ambientes virtuais que exigem

elevados níveis de precisão e sensibilidade durante a execução das tarefas.

O primeiro estudo (E1) investigou a detecção de inclusões rígidas em superfícies virtuais macias utilizando a caneta *S-Pen*, com resultados que mostraram desempenho comparável ao método manual tradicional. O segundo estudo (E2) avaliou a percepção de resistência e deformação em superfícies virtuais por meio de manipulação visual da caneta, permitindo variar a sensação tátil sem necessidade de hardware háptico adicional. O terceiro estudo (E3) explorou tarefas manuais de alta precisão em um ambiente de realidade mista, demonstrando que a expansão visual do desvio entre a posição real da mão e a trajetória-alvo induz correções reflexivas do movimento, reforçando a sensação de força simulada.

Já o quarto estudo (E4) analisou a percepção de resistência ao movimento de um cursor atrasado, evidenciando que atrasos visuais manipulados de forma adequada podem induzir sensações robustas e consistentes de resistência sem o uso de atuadores físicos. Por fim, o quinto estudo (E5) investigou a sensação de atrito estático e sua transição para o deslizamento, utilizando exclusivamente efeitos visuais combinados com o movimento da caneta digital durante a interação.

Em todos os cinco estudos, os resultados foram positivos, demonstrando que a percepção pseudo-háptica é eficaz para transmitir informações táteis por meio de estímulos visuais e manipulação de movimento. As limitações observadas, como variação de percepção entre usuários, fidelidade reduzida da simulação e dependência de feedback visual, indicam oportunidades para futuros aprimoramentos. Ainda assim, os estudos reforçam o potencial da pseudo-háptica para aplicações em contextos como diagnósticos médicos, treinamentos em ambientes simulados e interfaces interativas que exigem precisão tátil.

Apesar dos avanços apresentados pelos estudos analisados, observa-se uma diversidade significativa nas abordagens experimentais, nos tipos de interação e nas formas de avaliação da percepção pseudo-háptica. Essa questão dificulta a comparação direta entre os resultados e evidencia a necessidade de investigações que adotem cenários controlados e critérios de avaliação bem definidos. Nesse contexto, o presente trabalho busca contribuir ao propor uma análise sistemática da percepção de rigidez em objetos virtuais, considerando diferentes formas de interação

com canetas em dispositivos de tela sensível ao toque.

Nem todos os estudos analisados utilizaram métricas objetivas de desempenho, mas no presente estudo será empregada a acurácia, que permite avaliar de forma clara e objetiva a habilidade dos participantes em perceber corretamente a rigidez de objetos virtuais apresentados na tela. Diferente de métricas subjetivas, a acurácia fornece uma medida direta da precisão do participante, possibilitando comparações entre diferentes condições experimentais.

Para obtenção do valor final da acurácia, será utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Acurácia} = \frac{\text{Número de respostas corretas}}{\text{Número total de respostas}} \times 100 \quad (1)$$

A fórmula será usada para comparar as classificações feitas durante os experimentos, com a rigidez correta dos objetos simulados. O “número de respostas corretas” refere-se ao número de vezes que o participante classificou corretamente a rigidez de um objeto virtual em comparação com a rigidez real ou esperada do objeto. Já o “número total de respostas” refere-se ao total de objetos apresentados ao participante para classificação, sendo que cada objeto virtual apresenta uma classificação de rigidez, e cada resposta é uma tentativa de classificar esse objeto.

O resultado dessa divisão, por fim, é multiplicado por 100 (cem), para ser expresso como uma porcentagem para facilitação da interpretação dos dados. A acurácia ajudará a avaliar a precisão com que os participantes são capazes de perceber as diferentes rigidezes dos objetos apresentados. Quanto maior for a acurácia, melhor será a habilidade dos participantes em distinguir e classificar corretamente os objetos virtuais conforme a percepção tátil fornecida pela caneta sensível ao toque. No experimento, a acurácia será medida por rodada de interação, ou seja, para cada objeto virtual apresentado ao participante.

Além disso, a utilização da acurácia permite uma análise quantitativa dos resultados, reduzindo a subjetividade da percepção humana. Essa abordagem possibilita a comparação entre condições experimentais e a identificação de padrões de desempenho, contribuindo para a compreensão da percepção pseudo-háptica em interações com canetas e para o desenvolvimento de interfaces mais precisas.

Como métrica complementar, também foi utilizado o Erro Médio Quadrático (MSE - *Mean Squared Error*), com o objetivo de avaliar a magnitude dos erros de classificação cometidos pelos participantes. Diferentemente da acurácia, que considera apenas se a resposta está correta ou incorreta, o MSE leva em consideração a diferença, por exemplo, entre o nível de rigidez esperado e o informado pelo participante, considerando todas as respostas. Dessa forma, respostas classificadas em níveis adjacentes ao esperado resultam em menor penalização do que respostas com diferenças acentuadas, permitindo uma análise mais detalhada da distribuição dos erros observados durante os experimentos.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do sistema proposto, bem como o planejamento, a execução dos experimentos e as métricas de avaliação utilizadas para a análise dos dados obtidos. Além disso, descreve de forma detalhada as etapas metodológicas adotadas, permitindo a compreensão completa do processo experimental e dos critérios utilizados na avaliação dos resultados.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO

Para a realização dos experimentos, foi desenvolvido um aplicativo utilizando a plataforma *Unity 3D*, denominado *RigidityObjectsApp*. O aplicativo foi projetado para execução em dispositivos móveis, especificamente *tablets* e *smartphones*, possibilitando a interação direta dos participantes com os objetos virtuais durante os testes, o que se mostrou adequado à proposta experimental deste trabalho.

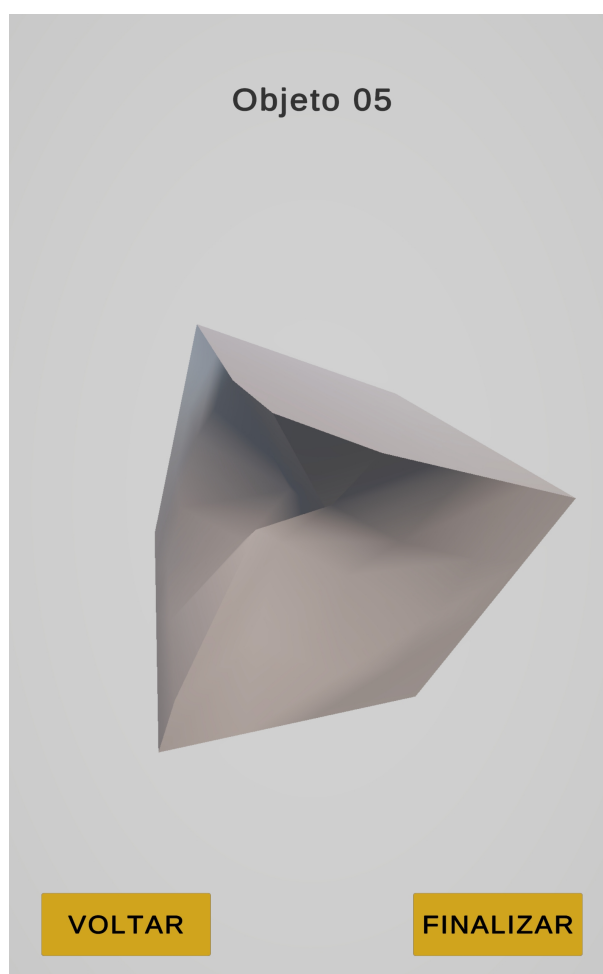
Os experimentos com essa aplicação foram realizados em dois tipos de dispositivos móveis. Em Guarapuava, foi utilizado um *tablet Xiaomi Pad 5* (modelo 21051182G), equipado com processador *octa-core* de até 2,96 GHz, 6 GB de memória RAM, 256 GB de armazenamento interno e tela de aproximadamente 11 polegadas. Em Cornélio Procópio, foi utilizado um *smartphone Samsung Galaxy M54* (modelo SM-M546B/DS), equipado com processador *Samsung Exynos 1380 (octa-core)*, 8 GB de memória RAM e tela de 6,7 polegadas. A utilização de dispositivos distintos permitiu avaliar a técnica proposta em diferentes formatos de tela e contextos de interação, mantendo a mesma aplicação e os mesmos parâmetros experimentais.

O objetivo principal do aplicativo consistiu na simulação de diferentes níveis de rigidez por meio da deformação de objetos virtuais, permitindo, assim, a avaliação

da percepção dos usuários em relação a essas variações. Nesse contexto, buscou-se implementar um ambiente controlado no qual a variável de interesse (rigidez) pudesse ser isolada e analisada com maior precisão. O código-fonte do aplicativo encontra-se disponível em um repositório público na plataforma *GitHub*¹⁵, com o intuito de garantir a transparência e a reprodutibilidade do estudo.

Na Figura 2 é apresentada uma das telas do aplicativo desenvolvido, ilustrando a interface e a forma de interação disponibilizada aos participantes. Ressalta-se que outras telas e variações da interface também foram implementadas. Entretanto, para fins de organização do texto, as demais imagens são apresentadas no Apêndice A, onde é possível observar as diferentes telas do sistema.

Figura 2 - Tela do aplicativo desenvolvido



Fonte: Autoria própria (2026)

¹⁵Disponível em: <https://github.com/amandaacarolyne/RigidityObjectsApp>

No que se refere à implementação dos estímulos experimentais, foram desenvolvidos cinco objetos virtuais apresentados aos participantes ao longo dos testes. Todos os objetos possuíam características visuais idênticas e eram representados por cubos de tamanho, cor e aparência iguais. A escolha do formato cúbico se deu pela necessidade de adotar um sólido geométrico comum, visto que o objetivo do estudo não estava relacionado à influência da forma geométrica na percepção pseudo-háptica.

Da mesma forma, a cor adotada foi selecionada por ser uma cor neutra e proporcionar contraste adequado com o plano de fundo da aplicação, favorecendo a visualização dos objetos durante a interação. O tamanho dos cubos foi definido de modo a ocupar uma área significativa da tela sem comprometer a visualização completa do objeto e de sua deformação. Essa padronização foi adotada com o objetivo de minimizar possíveis influências visuais na percepção dos participantes, garantindo que a distinção entre os objetos ocorresse exclusivamente em função das deformações aplicadas durante a interação.

Cada um dos cinco objetos foi configurado para apresentar um nível distinto de deformação, de forma aleatória em cada execução. A definição desses níveis foi baseada em analogias com objetos da área médica, utilizadas como referência tanto durante a implementação quanto na etapa de instrução dos participantes. Essa abordagem teve como objetivo facilitar a compreensão dos diferentes níveis de rigidez por meio de associações com elementos do mundo real, sem a necessidade de apresentação visual dos objetos reais.

Nesse sentido, o objeto com maior nível de deformação foi associado a uma luva utilizada na área médica, caracterizada por sua alta flexibilidade. Em seguida, o segundo objeto, com deformação ligeiramente inferior, foi relacionado a um garrote, ainda considerado um material maleável. O terceiro objeto, com deformação intermediária, foi associado a uma cânula de aspiração, representando um comportamento intermediário entre flexibilidade e rigidez. O quarto objeto, com baixa deformação, foi relacionado a uma seringa, caracterizada por maior rigidez estrutural. Por fim, o quinto objeto, com deformação zero, foi associado a um bisturi, representando um material altamente rígido.

As informações referentes a essas associações foram utilizadas não apenas na modelagem dos objetos virtuais, mas também na orientação dos participantes, sendo disponibilizadas em material impresso, juntamente com questionários, conforme apresentado no Apêndice B. Essas informações serviram para apoiar a explicação do experimento aos participantes, fornecendo instruções sobre objetos com diferentes níveis de rigidez.

Com relação à implementação da deformação dos objetos virtuais, foram definidos parâmetros responsáveis por controlar o comportamento da deformação durante a interação do usuário. A implementação da deformação foi realizada por meio de *scripts* desenvolvidos na linguagem C#, sendo a lógica principal concentrada no arquivo *DeformOnTouch.cs*, responsável por controlar os parâmetros e o comportamento da malha durante a interação do usuário. Esses parâmetros incluem a intensidade da força aplicada (*force*) e o raio de influência da deformação (*radius*), os quais atuam diretamente sobre os vértices da malha do objeto.

Além disso, tais parâmetros foram configurados de acordo com o nível de rigidez associado a cada objeto, permitindo diferenciar materiais mais flexíveis de materiais mais rígidos. Dessa forma, objetos classificados como mais moles apresentam maior intensidade de deformação e maior área de influência, enquanto objetos mais rígidos apresentam deformações reduzidas ou inexistentes. A deformação é aplicada dinamicamente a partir do ponto de contato do usuário, deslocando os vértices da malha na direção da normal da superfície, conforme a proximidade em relação ao ponto de interação.

Os valores dos parâmetros de deformação foram definidos empiricamente durante o desenvolvimento da aplicação, por meio de sucessivos testes e ajustes e comparando com deformações de objetos reais, como luvas cirúrgicas, garrote, cânula, seringa e bisturi. Esse processo teve como objetivo produzir diferenças visualmente perceptíveis entre os níveis de rigidez simulados, resultando em configurações consideradas adequadas para a condução dos experimentos. O trecho de código a seguir exemplifica tanto a definição desses parâmetros quanto sua variação em função do nível de rigidez, bem como o cálculo aplicado para a deformação do objeto.

Código 1 - Script *DeformOnTouch.cs*, Método *SetForceByRigidity()*

```
[Header("Informacoes do Objeto")]
public string objectName = "Objeto";
[Range(1,5)] public int rigidity = 1;
[Header("Deformacao")]
public float force = 0.35f;
public float radius = 0.2f;
public bool pushInward = true;
[Range(1f,4f)] public float falloffPower = 2f;
[Range(0,4)] public int subdivisions = 2;
public void SetForceByRigidity(){
    switch (rigidity){
        case 1:
            force = 1.0f;
            radius = 0.35f;
            falloffPower = 1f;
            break;
        case 2:
            force = 0.80f;
            radius = 0.25f;
            falloffPower = 1.5f;
            break;
        case 3:
            force = 0.30f;
            radius = 0.20f;
            falloffPower = 2.5f;
            break;
        case 4:
            force = 0.10f;
            radius = 0.15f;
            falloffPower = 3.5f;
            break;
        case 5:
            force = 0.00f;
            radius = 0.1f;
            falloffPower = 5f;
            break;
        default:
```

```

        force = 0.2f;
        radius = 0.2f;
        falloffPower = 2f;
        break;
    }
}

```

Fonte: Autoria própria (2026)

A deformação dos objetos foi implementada por meio da manipulação direta dos vértices da malha tridimensional, considerando a posição do ponto de interação e a distância entre esse ponto e cada vértice do objeto. Dessa forma, apenas os vértices localizados dentro de uma determinada região de influência são afetados, resultando em uma deformação localizada e proporcional à interação realizada pelo usuário. O trecho de código a seguir ilustra esse processo.

Código 2 - Script *DeformOnTouch.cs*, Método *CreateHole()*

```

void CreateHole(Vector3 centerLocal, Vector3 normalLocal){
    float r = Mathf.Max(0.0001f, radius);
    for (int i = 0; i < displacedVertices.Length; i++){
        float dist = Vector3.Distance(displacedVertices[i], centerLocal);
        if (dist > r) continue;
        float t = 1f - (dist / r);
        float falloff = Mathf.Pow(t, falloffPower);
        displacedVertices[i] += normalLocal * (force * falloff);
    }
}

```

Fonte: Autoria própria (2026)

Este trecho demonstra como a deformação é aplicada de maneira localizada e proporcional ao ponto de interação do usuário. Para cada vértice da malha, é calculada a distância em relação ao ponto de contato, e somente os vértices dentro do raio de influência são deslocados. A intensidade do deslocamento é modulada pelos parâmetros *force* e *falloffPower*, garantindo que vértices mais próximos sofram maior deslocamento, enquanto vértices mais distantes são menos afetados. A abordagem permite simular de forma realista diferentes níveis de rigidez para os objetos, de modo

que materiais mais flexíveis apresentam deformações maiores e materiais mais rígidos deformações menores ou quase nulas, proporcionando ao usuário uma experiência tátil coerente com a realidade dos materiais.

Durante a execução dos experimentos, os objetos foram apresentados aos participantes em ordem aleatória, de modo que a sequência de exibição não se repetisse entre diferentes indivíduos. Essa estratégia foi adotada com o objetivo de minimizar possíveis efeitos de ordem e aprendizagem, contribuindo para a obtenção de resultados mais confiáveis e consistentes. O método responsável por implementar essa aleatoriedade está no *script ExperimentManager.cs* (*SetupScene()*). A lógica utilizada consiste em embaralhar a lista de índices dos objetos, garantindo que cada participante receba uma sequência única de apresentação dos objetos. O trecho de código a seguir ilustra esse procedimento.

Código 3 - Script *ExperimentManager.cs*, Método *SetupScene()*

```
void SetupScene(){
    string sceneName = SceneManager.GetActiveScene().name;
    currentIndex = System.Array.IndexOf(cenas, sceneName);
    if (currentIndex == -1) return;
    if (currentIndex == 0){
        randomOrder = new List<int>();
        for (int i = 0; i < objetos.Length; i++){
            randomOrder.Add(i);
        }
        for (int i = randomOrder.Count - 1; i > 0; i--){
            int rand = Random.Range(0, i + 1);
            int temp = randomOrder[i];
            randomOrder[i] = randomOrder[rand];
            randomOrder[rand] = temp;
        }
        objectsShownThisRound = new string[objetos.Length];
        for (int i = 0; i < objetos.Length; i++){
            objectsShownThisRound[i] = objetos[randomOrder[i]].name;
        }
        SpawnObject();
    }
}
```

Dessa forma, a implementação garante uma ordem de apresentação imprevisível, preservando a validade experimental e permitindo que os dados reflitam a percepção dos participantes sobre os diferentes níveis de rigidez dos materiais.

4.2 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO

Antes da realização dos experimentos na UTFPR, foi conduzido um experimento piloto com membros da família, com o objetivo de validar o funcionamento do aplicativo, bem como verificar a clareza das instruções e a adequação do protocolo experimental. Todas as etapas desse estudo preliminar foram devidamente documentadas, incluindo a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e o preenchimento dos questionários de coleta de dados, garantindo a consistência metodológica adotada também nas fases posteriores.

Os experimentos principais foram realizados em dois locais distintos: na cidade de Guarapuava e na cidade de Cornélio Procopio, ambos envolvendo a infraestrutura da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Em Guarapuava, os testes ocorreram tanto em ambiente doméstico (experimento piloto) quanto nas dependências da universidade, enquanto em Cornélio Procopio os experimentos foram conduzidos exclusivamente na UTFPR.

Ao todo, participaram do estudo 82 (oitenta e dois) indivíduos, sendo 60 (sessenta) participantes em Guarapuava, dos quais seis em ambiente doméstico e 54 (cinquenta e quatro) entre alunos e professores da UTFPR, e 22 (vinte e dois) participantes em Cornélio Procopio. Cada participante realizou três execuções do experimento, correspondentes a diferentes cenários de interação: dois utilizando canetas como instrumento de interação (com ponta de borracha e ponta de disco) e um utilizando o próprio dedo.

Quanto ao perfil dos participantes, observou-se diversidade em relação à faixa etária, formação acadêmica e experiências prévias com tecnologias digitais. Participaram 18 (dezoito) mulheres e 64 (sessenta e quatro) homens. A faixa etária dos participantes variou de 18 (dezoito) anos até mais de 55 (cinquenta e cinco) anos, com predominância de indivíduos entre 18 (dezoito) e 24 (vinte e quatro) anos. Foram

44 participantes com idades entre 18 e 24 anos, 14 com idades entre 25 e 34 anos, 10 (dez) com idades entre 35 e 44 anos, 12 com idades entre 45 e 54 anos e 2 com 55 ou mais anos de idade.

Em relação à escolaridade, participaram tanto pessoas sem graduação quanto graduados e estudantes de graduação em andamento. Também foram coletadas informações sobre experiências prévias com realidade virtual, jogos digitais, dispositivos móveis e conhecimento sobre percepção háptica, evidenciando um grupo heterogêneo quanto à familiaridade com tecnologias interativas. Em Cornélio Procópio, participaram alunos, professores e técnicos administrativos da UTFPR, sendo cinco participantes do gênero feminino, contribuindo igualmente para a diversidade do público avaliado.

Destaca-se ainda que, entre os participantes do experimento piloto, havia duas pessoas com formação na área de enfermagem. Embora não tenham participado como especialistas no estudo, sua presença contribuiu para verificar a compreensão das analogias utilizadas para representar os diferentes níveis de rigidez, as quais foram baseadas em objetos e instrumentos comumente encontrados no contexto médico, como luvas, garrotes, cânulas, seringas e bisturis.

Todos os procedimentos experimentais foram conduzidos em conformidade com os aspectos éticos exigidos. O estudo foi submetido e aprovado por comitê de ética em pesquisa, cuja documentação encontra-se disponível no Apêndice C. Além disso, foi realizada a aplicação do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), o qual foi apresentado, lido e assinado por todos os participantes antes do início das atividades. O modelo do termo encontra-se disponível no Apêndice D.

O ambiente experimental foi organizado de modo a garantir conforto e padronização das condições de interação. Os participantes eram posicionados sentados em uma cadeira, em frente a uma mesa sobre a qual o dispositivo móvel era disposto, sendo ele um *tablet* em Guarapuava, e um *smartphones* em Cornélio Procópio, juntamente com as canetas utilizadas. Todos os materiais, incluindo o dispositivo e as canetas, eram devidamente higienizados antes de cada utilização, assegurando condições adequadas de uso.

A disposição do ambiente experimental pode ser observada na Figura 3, que ilustra a disposição dos elementos utilizados durante a execução dos testes.

Figura 3 - Local dos experimentos



Fonte: Autoria própria (2026)

O processo experimental iniciava-se com a recepção do participante no local dos experimentos, seguida da orientação para leitura e assinatura do TCLE. Após essa etapa, eram fornecidas instruções sobre o funcionamento do aplicativo e as características dos objetos apresentados. Especificamente, os participantes eram informados de que interagiriam com cinco objetos visualmente idênticos, da mesma cor, tamanho e formato, diferenciando-se exclusivamente pelo comportamento de deformação, sendo apresentados em ordem aleatória.

Em seguida, o participante era instruído sobre com que meio de interação deveria iniciar o experimento, que era selecionado aleatoriamente pelo pesquisador. No caso de uma caneta, ela seria devidamente higienizada. Durante a interação, o participante podia manipular os objetos livremente, utilizando os botões de navegação do aplicativo para avançar ou retornar entre eles, caso desejasse reavaliar algum estímulo antes de registrar sua resposta no formulário impresso.

A forma de interação e execução do experimento por um participante pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 - Participante executando o experimento



Fonte: Autoria própria (2026)

Para cada objeto apresentado, o participante deveria classificar o nível de rigidez percebido, registrando sua resposta em um questionário impresso previamente fornecido. As classificações seguiam uma escala de cinco níveis: **muito mole (1), mole (2), médio (3), duro (4) e muito duro (5)**. O modelo do questionário utilizado encontra-se disponível no Apêndice B para consulta.

Após a conclusão do primeiro cenário, o participante prosseguia para o segundo cenário, utilizando a caneta ou o dedo, porém, no caso da caneta, com

o outro tipo de ponta disponível. Esse segundo seguia exatamente o mesmo procedimento anterior. Por fim, era realizado o último cenário, no qual o participante utilizava a terceira forma de interação, permitindo a comparação entre diferentes modalidades de entrada.

Em todos os cenários, os objetos eram apresentados automaticamente em ordem aleatória pelo próprio aplicativo, garantindo a não repetição da sequência entre participantes. Ao final de cada execução, o sistema gerava um relatório contendo a ordem correta dos níveis de rigidez dos objetos, o qual foi utilizado posteriormente para comparação com as respostas fornecidas pelos participantes nos formulários. Todas as imagens das telas do aplicativo desenvolvido, incluindo a tela de relatórios, encontram-se disponíveis no Apêndice A.

Não foi estabelecido um tempo limite para a realização das tarefas experimentais. No entanto, considerando todas as etapas do procedimento, incluindo a leitura e assinatura do TCLE, a apresentação das instruções iniciais, a execução dos três cenários experimentais propostos e o preenchimento dos formulários de avaliação, observou-se que cada participante levou, em média, aproximadamente dez minutos para concluir todo o experimento, variando de acordo com o ritmo individual.

4.3 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

Para a análise dos dados obtidos nos experimentos, foi inicialmente construída uma base de dados consolidada a partir das respostas registradas nos formulários preenchidos pelos participantes. Essas informações foram organizadas em formato tabular, permitindo a organização das respostas de acordo com variáveis como participante, objeto avaliado, dispositivo de interação e cenário experimental.

A partir dessa organização, foram definidas métricas de avaliação com o objetivo de mensurar o desempenho dos participantes na tarefa de identificação dos níveis de rigidez dos objetos virtuais. A principal métrica adotada foi a acurácia, definida como a proporção de respostas corretas em relação ao total de respostas fornecidas durante os experimentos.

Para o cálculo da acurácia, as respostas dos participantes foram previamente

classificadas de forma binária, atribuindo-se valor 1 (um) para respostas corretas e valor 0 (zero) para respostas incorretas. Dessa forma, a acurácia pode ser formalmente expressa como:

$$\text{Acurácia} = \frac{\text{Número de respostas corretas}}{\text{Número total de respostas}} \times 100 \quad (2)$$

Nessa formulação, o número de respostas corretas corresponde à quantidade de vezes em que o participante classificou adequadamente o nível de rigidez de um objeto virtual, de acordo com a referência previamente estabelecida no sistema de experimentação. Por sua vez, o número total de respostas refere-se ao conjunto completo de classificações realizadas, considerando todos os objetos avaliados em um determinado cenário experimental.

A multiplicação do resultado por 100 (cem) expressa a acurácia em termos percentuais, facilitando a interpretação dos dados obtidos. Dessa forma, valores mais elevados de acurácia indicam maior concordância entre as classificações realizadas pelos participantes e os níveis de rigidez esperados, refletindo uma melhor capacidade de percepção das diferenças de deformação entre os objetos.

Com base nessa definição, foram realizadas diferentes análises de acurácia, considerando agrupamentos distintos dos dados, com o objetivo de investigar o desempenho sob diferentes perspectivas. Entre os agrupamentos analisados, destacam-se: (i) acurácia geral, considerando todos os testes realizados; (ii) acurácia por cenário, com cada meio de interação, distinguindo entre caneta com ponta de disco, caneta com ponta emborrachada e interação por meio do dedo; (iii) acurácia por objeto, associada aos diferentes níveis de rigidez representados; e (iv) acurácia por dispositivo, considerando o tipo de equipamento utilizado nos experimentos.

Além das análises descritivas de acurácia, foi empregado um modelo estatístico do tipo Modelo Linear Generalizado Misto (MLGM)¹⁶, com o objetivo de avaliar o efeito das variáveis independentes sobre a probabilidade de acerto nas respostas dos participantes, considerando a natureza binária da variável dependente. Esse tipo de modelo permite incorporar tanto efeitos fixos, associados

¹⁶Os Modelos Lineares Generalizados Mistos combinam efeitos fixos e aleatórios, sendo utilizados para modelar dados com estruturas de dependência ou variabilidade entre grupos.

às condições experimentais, quanto efeitos aleatórios, relacionados às variações entre participantes. Os grupos foram os cenários de interação (caneta com ponta emborrachada, caneta com ponta de disco e dedo), os objetos (cinco objetos com diferentes níveis de deformação) e os dispositivos (*tablet* e *smartphone*).

Todas as análises estatísticas por meio do MLGM foram realizadas utilizando o software R¹⁷. Essa ferramenta possibilitou a aplicação dos modelos propostos, bem como a organização e o processamento dos dados de forma reproduzível.

A escolha deste modelo mostra-se adequada ao contexto deste estudo, uma vez que os dados apresentam estrutura hierárquica, com múltiplas observações associadas a cada participante. Esse tipo de abordagem permite lidar com a dependência entre as respostas individuais, evitando vieses que poderiam surgir em modelos que assumem independência entre as observações. Além disso, a utilização de efeitos aleatórios possibilita capturar variações individuais no desempenho dos participantes, tornando a análise mais robusta e representativa.

Adicionalmente, a combinação entre essas análises contribui para uma avaliação mais abrangente dos dados coletados. Enquanto a acurácia fornece uma visão direta do desempenho dos participantes em diferentes condições, o modelo estatístico permite investigar a significância dos fatores experimentais e suas interações. Dessa forma, torna-se possível não apenas descrever os resultados obtidos, mas também compreender os efeitos das variáveis envolvidas na percepção dos níveis de rigidez, fortalecendo a interpretação dos achados do estudo.

¹⁷R é uma linguagem de programação e ambiente de software livre utilizado para computação estatística, análise de dados e geração de gráficos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados, bem como a discussão dos principais achados. Inicialmente, são apresentados os resultados descritivos das métricas de acurácia, seguidos de uma análise interpretativa dos dados, considerando os diferentes cenários experimentais (meios de interação), dispositivos de interação e níveis de rigidez avaliados.

5.1 RESULTADOS

Conforme descrito no Capítulo 4, as respostas dos participantes foram previamente classificadas de forma binária, atribuindo-se valor 1 às respostas corretas e valor 0 às respostas incorretas.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos, os valores de acurácia foram organizados de modo a evidenciar o desempenho dos participantes sob diferentes condições experimentais. Essa organização permite uma análise inicial da distribuição das respostas, bem como a identificação de variações associadas aos cenários ou meios de interação, aos dispositivos utilizados e aos cenários avaliados. A representação gráfica desses dados contribui para uma compreensão mais clara do comportamento geral observado nos experimentos.

A partir dessa classificação, foi possível calcular as métricas de acurácia para diferentes agrupamentos dos dados, conforme apresentado na Figura 5. As colunas de valores representadas na figura referem-se aos níveis de rigidez considerados no experimento. As classificações seguiram uma escala de cinco níveis: **muito mole (1)**, **mole (2)**, **médio (3)**, **duro (4)** e **muito duro (5)**.

Figura 5 - Anotações binárias das respostas dos participantes

	Cenário de teste		Resposta certa	Valor representado	Valor representado	Resposta dada	Correto (0/1)
Participante 01	Caneta disco	1º objeto	Muito mole	1	2	Mole	0
Participante 01	Caneta disco	2º objeto	Muito duro	5	5	Muito duro	1
Participante 01	Caneta disco	3º objeto	Mole	2	2	Mole	1
Participante 01	Caneta disco	4º objeto	Duro	4	5	Muito duro	0
Participante 01	Caneta disco	5º objeto	Médio	3	3	Médio	1
Participante 01	Caneta borracha	1º objeto	Muito duro	5	5	Muito duro	1
Participante 01	Caneta borracha	2º objeto	Muito mole	1	1	Muito mole	1
Participante 01	Caneta borracha	3º objeto	Mole	2	2	Mole	1
Participante 01	Caneta borracha	4º objeto	Duro	4	3	Médio	0
Participante 01	Caneta borracha	5º objeto	Médio	3	3	Médio	1
Participante 01	Dedo	1º objeto	Mole	2	2	Mole	1
Participante 01	Dedo	2º objeto	Muito duro	5	5	Muito duro	1
Participante 01	Dedo	3º objeto	Muito mole	1	1	Muito mole	1
Participante 01	Dedo	4º objeto	Duro	4	4	Duro	1
Participante 01	Dedo	5º objeto	Médio	3	3	Médio	1

Fonte: Autoria própria (2026)

Como cada usuário realizou os experimentos três vezes, utilizando a caneta com ponta de borracha, a caneta com ponta de disco e o dedo, os dados foram organizados considerando essa separação por tipo de interação. Essa abordagem permitiu uma melhor visualização das respostas corretas, em conjunto com a identificação da deformação correta gerada pelo aplicativo e a resposta fornecida por cada participante. Essa forma de anotação, utilizada para verificar as respostas corretas e incorretas, foi aplicada a todos os 82 (oitenta e dois) participantes do estudo, abrangendo o teste-piloto e os dois campus da UTFPR.

5.1.1 RESULTADOS POR CONTEXTO EXPERIMENTAL

Inicialmente, analisando o experimento piloto realizado em ambiente doméstico, na cidade de Guarapuava, obteve-se uma acurácia geral de 47,8% (quarenta e sete vírgula oito por cento). Esse resultado indica que os participantes apresentaram dificuldade na identificação correta dos níveis de rigidez, uma vez que menos da metade das respostas foi correta.

Nos experimentos conduzidos na UTFPR em Guarapuava, a acurácia geral foi de 70% (setenta por cento), indicando uma melhora significativa no desempenho dos participantes em relação ao experimento piloto. Esse resultado sugere que, em um ambiente controlado e com maior número de participantes, houve melhor

compreensão da tarefa e maior consistência nas respostas.

Ao considerar a consolidação dos dados de Guarapuava (ambiente doméstico e UTFPR), a acurácia geral foi de 67,8% (sessenta e sete vírgula oito por cento). Já nos experimentos realizados na UTFPR em Cornélio Procópio, foi obtida uma acurácia geral de 78,2% (setenta e oito vírgula dois por cento), representando o melhor desempenho entre todos os contextos analisados.

Por fim, considerando todos os experimentos realizados (ambiente doméstico, UTFPR Guarapuava e UTFPR Cornélio Procópio), a acurácia geral consolidada foi de 70,6% (setenta vírgula seis por cento), indicando que os participantes foram capazes de identificar corretamente os níveis de rigidez em aproximadamente sete a cada dez interações realizadas ao longo dos testes.

Além disso, foi realizada uma avaliação geral do Erro Médio Quadrático (MSE), considerando o conjunto total de 1.230 (mil duzentas e trinta) respostas coletadas, resultando em um valor de 0,655. Do total de respostas, 82 (oitenta e duas) apresentaram diferenças superiores a 2 na escala em relação à resposta correta. Isso evidencia que, quando ocorreram erros de classificação, estes se concentraram predominantemente entre níveis de rigidez adjacentes.

5.1.2 RESULTADOS POR MEIO DE INTERAÇÃO

Ao analisar os resultados por meio de interação, observa-se que o desempenho dos participantes variou entre os diferentes contextos experimentais. No teste piloto realizado em ambiente doméstico, a interação com o dedo apresentou a maior acurácia (56,6%, cinquenta e seis vírgula seis por cento), seguida pela caneta com ponta emborrachada (50,0%, cinquenta por cento) e pela caneta com ponta de disco (36,6%, trinta e seis vírgula seis por cento). Esses resultados indicam que, nessa etapa, os participantes encontraram maior dificuldade para identificar corretamente os níveis de rigidez, especialmente ao utilizar a caneta com ponta de disco.

Nos experimentos realizados na UTFPR em Guarapuava, a mesma tendência foi observada, porém com desempenho superior. A interação com o dedo apresentou acurácia de 78,5% (setenta e oito vírgula cinco por cento), seguida pela caneta com

ponta emborrachada (68,1%, sessenta e oito vírgula um por cento) e pela caneta com ponta de disco (63,7%, sessenta e três vírgula sete por cento). Esse resultado sugere que a interação direta com a tela favoreceu a percepção das deformações visuais dos objetos, enquanto o uso das canetas também permitiu níveis satisfatórios de identificação dos diferentes graus de rigidez.

Em Cornélio Procópio, os resultados apresentaram comportamento distinto. A maior acurácia foi obtida com a caneta de ponta de disco (80,0%, oitenta por cento), seguida pela interação com o dedo (75,5%, setenta e cinco vírgula cinco por cento) e pela caneta com ponta emborrachada (74,5%, setenta e quatro vírgula cinco por cento). Embora as diferenças entre os meios de interação tenham sido pequenas, os resultados demonstram que todos proporcionaram desempenho elevado na identificação dos níveis de rigidez.

Considerando o conjunto de todos os experimentos, a interação com o dedo apresentou a maior acurácia geral, sendo ela de 76,1% (setenta e seis vírgula um por cento), seguida pela caneta com ponta emborrachada (68,5%, sessenta e oito vírgula cinco por cento) e pela caneta com ponta de disco (66,1%, sessenta e seis vírgula um por cento). De modo geral, os resultados indicam que a interação direta com a tela favoreceu a percepção das deformações visuais associadas à rigidez, embora o desempenho observado na UTFPR, em Cornélio Procópio, demonstre que as canetas também podem proporcionar resultados equivalentes em determinadas condições experimentais.

Na Tabela 9 é apresentada a distribuição das acurácias por meio de interação, ou seja, em diferentes contextos experimentais, permitindo observar de forma detalhada a variação do desempenho entre os cenários analisados.

Tabela 9 - Tabela comparativa das acurácias por meio de interação ou cenário experimental

Meio de interação	Casa	UTFPR-GP	UTFPR-CP	Consolidado
Ponta disco	36,6%	63,7%	80,0%	66,1%
Ponta borracha	50,0%	68,1%	74,5%	68,5%
Dedo	56,6%	78,5%	75,5%	76,1%

Fonte: Autoria própria (2026)

5.1.3 RESULTADOS POR OBJETO

A análise da acurácia por objeto permite observar quais níveis de rigidez foram mais facilmente identificados pelos participantes em cada contexto experimental. No teste piloto realizado em ambiente doméstico, o objeto correspondente à luva, associado à rigidez muito mole, apresentou a maior acurácia (61,1%, sessenta e um vírgula um por cento), seguido pelo bisturi, associado à rigidez muito dura (50,0%, cinquenta por cento). Os menores índices de acerto foram observados para o garrote e a cânula de aspiração, ambos com 44,4% (quarenta e quatro vírgula quatro por cento), e para a seringa, com 38,9% (trinta e oito vírgula nove por cento), evidenciando dificuldades na distinção dos níveis intermediários de rigidez.

Nos experimentos realizados na UTFPR em Guarapuava, o bisturi apresentou a maior acurácia (84,6%, oitenta e quatro vírgula seis por cento), seguido pela luva (74,1%, setenta e quatro vírgula um por cento). Os demais objetos apresentaram valores mais próximos entre si: seringa com 66,7% (sessenta e seis vírgula sete por cento), garrote com 63,6% (sessenta e três vírgula seis por cento) e cânula de aspiração com 61,7% (sessenta e um vírgula sete por cento). Esses resultados reforçam a tendência de maior facilidade para identificar os níveis extremos de rigidez.

Em Cornélio Procópio, observou-se comportamento semelhante. O bisturi apresentou a maior taxa de acertos (89,4%, oitenta e nove vírgula quatro por cento), seguido pela luva (81,8%, oitenta e um vírgula oito por cento). Para os objetos intermediários, as acurácias foram de 72,7% (setenta e dois vírgula sete por cento) para a cânula de aspiração, 71,2% (setenta e um vírgula dois por cento) para o garrote e 59,1% (cinquenta e nove vírgula um por cento) para a seringa, sendo este último o objeto com menor percentual de acertos nesse grupo.

Considerando o conjunto de todos os experimentos, os resultados demonstram que os níveis extremos de rigidez foram identificados com maior facilidade pelos participantes. O objeto bisturi, da rigidez muito dura, apresentou a maior acurácia (83,3%, oitenta e três vírgula três por cento), seguido pela luva, associada à rigidez muito mole (75,2%, setenta e cinco vírgula dois por cento).

Em contraste, os objetos de rigidez intermediária apresentaram menores

taxas de acerto, com 64,2% (sessenta e quatro vírgula dois por cento) para o garrote, 63,4% (sessenta e três vírgula quatro por cento) para a cânula de aspiração e 62,6% (sessenta e dois vírgula seis por cento) para a seringa. Isso sugere que as diferenças perceptuais foram mais evidentes nos extremos da escala de rigidez, enquanto os níveis intermediários geraram maior dificuldade de distinção entre os participantes.

5.1.4 RESULTADOS POR DISPOSITIVO

Em relação aos dispositivos utilizados, os experimentos realizados em Guarapuava utilizaram exclusivamente um *tablet*. No teste piloto, conduzido em ambiente doméstico, a acurácia geral obtida foi de 47,8% (quarenta e sete vírgula oito por cento). Já nos experimentos realizados na UTFPR em Guarapuava, utilizando o mesmo dispositivo, a acurácia geral foi de 70,0% (setenta por cento). Considerando conjuntamente os dados dessas duas etapas, a acurácia associada ao *tablet* foi de 67,8% (sessenta e sete vírgula oito por cento).

Em Cornélio Procopio, os experimentos foram conduzidos utilizando um *smartphone*, resultando em uma acurácia geral de 78,2% (setenta e oito vírgula dois por cento). Esse foi o maior valor observado entre os contextos experimentais analisados. Considerando todos os experimentos realizados, independentemente do dispositivo utilizado, a acurácia geral foi de 70,6% (setenta vírgula seis por cento).

Ressalta-se, entretanto, que essas diferenças não podem ser atribuídas exclusivamente ao tipo de dispositivo empregado. Além das diferenças entre os grupos de participantes e dos contextos de aplicação dos experimentos, a percepção da rigidez ocorreu por meio das deformações visuais dos objetos virtuais, e não por meio de feedback físico direto fornecido pelos dispositivos. Com isso, os resultados devem ser interpretados com cautela, não permitindo concluir que um dispositivo seja superior ao outro para a percepção pseudo-háptica investigada neste trabalho.

5.1.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Além das análises por acurácia, foi aplicado o Modelo Linear Generalizado Misto (MLGM) para avaliar o efeito das variáveis independentes sobre a probabilidade

de acerto nas respostas, permitindo investigar de forma mais robusta a influência simultânea dos fatores considerados no experimento. Esse modelo possibilita identificar se há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos analisados (cenários de interação, objetos e dispositivos), levando em conta a estrutura de dependência dos dados e controlando variações aleatórias. Dessa forma, a abordagem adotada contribui para uma interpretação mais precisa dos efeitos associados a cada fator no desempenho observado.

Comparando os cenários de interação (caneta com a ponta emborrachada, caneta com a ponta de disco e dedo), foi possível observar diferenças significativas em relação ao dedo. Entre dedo e caneta com a ponta emborrachada, o $p - \text{valor}$ é de 0,0158, e entre dedo e caneta com ponta de disco é de 0,0009.

Na comparação dos cinco objetos, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa. Na Tabela 10 é apresentada a comparação de cada par de objetos virtuais, considerando que um $p - \text{valor} \leq 0,05$ indica diferença significativa. No caso dos dispositivos (*tablet* e *smartphone*), também não foi encontrada diferença significativa, com $p - \text{valor}$ de 0,1208.

Tabela 10 - Análise das diferenças significativas entre os objetos, com os p-valores

Par de objetos	p-valor
Objeto 01 e Objeto 02	0,9783
Objeto 01 e Objeto 03	0,9581
Objeto 01 e Objeto 04	0,9782
Objeto 01 e Objeto 05	0,1603
Objeto 02 e Objeto 03	1,0000
Objeto 02 e Objeto 04	1,0000
Objeto 02 e Objeto 05	0,4449
Objeto 03 e Objeto 04	1,0000
Objeto 03 e Objeto 05	0,5176
Objeto 04 e Objeto 05	0,4451

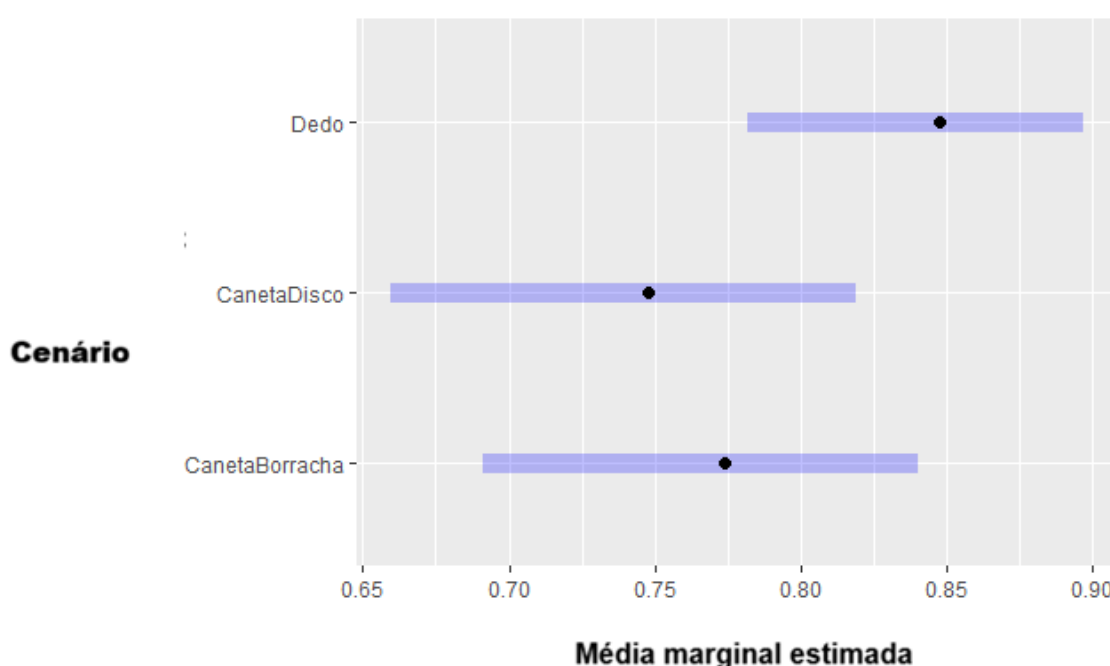
Fonte: Autoria própria (2026)

As médias marginais extraídas do modelo estatístico correspondem às médias estimadas da variável resposta, cujo valor deve variar entre 0 (zero) e 1 (um), considerando as demais variáveis do modelo mantidas constantes. O modelo

considerou as variáveis cenário, objetos e dispositivos como fatores explicativos na análise. Dessa forma, as médias marginais permitem uma interpretação mais robusta dos efeitos isolados de cada fator sobre a variável resposta.

Na Figura 6 é apresentada a comparação das médias marginais entre as configurações de interação dos cenários experimentais. Observa-se que as diferenças entre os cenários indicam variações no desempenho médio estimado da variável resposta, sugerindo influência do contexto experimental nos resultados obtidos.

Figura 6 - Comparação das médias marginais entre as configurações de interação dos cenários de experimento.

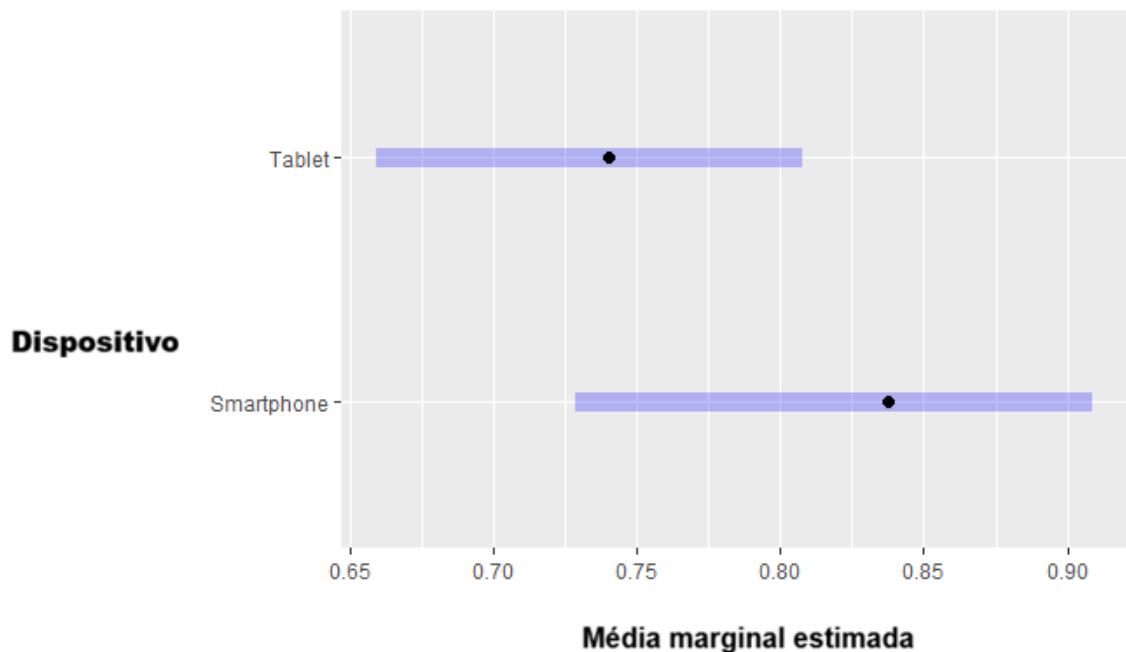


Fonte: Autoria própria (2026)

Em seguida, na Figura 7 é apresentada a comparação das médias marginais entre os dispositivos utilizados na interação (*tablet* e *smartphone*). Nota-se a existência de variações entre os dispositivos, o que sugere possível influência do tipo de plataforma sobre a variável resposta analisada. Essa diferença indica que características específicas de cada dispositivo, como o tamanho da tela, podem impactar o desempenho dos participantes. Assim, os resultados apontam para a relevância de considerar o dispositivo utilizado como um fator importante na análise do comportamento observado, visto que ele pode contribuir para alterações sistemáticas

na probabilidade de acerto.

Figura 7 - Comparação das médias marginais entre os dispositivos (*tablet* e *smartphone*).



Fonte: Autoria própria (2026)

De forma geral, a análise das médias marginais evidencia que tanto os cenários experimentais quanto os dispositivos utilizados exercem influência sobre a variável resposta, ainda que em magnitudes distintas. Esses resultados reforçam a importância de considerar os fatores contextuais e tecnológicos de forma conjunta na interpretação do comportamento observado, contribuindo para uma compreensão mais ampla dos efeitos associados ao modelo estatístico aplicado.

5.2 DISCUSSÕES

Os resultados obtidos indicam que os participantes foram, de modo geral, capazes de perceber variações de rigidez em objetos virtuais a partir de pistas visuais de deformação, mesmo na ausência de feedback háptico físico. Esse resultado sugere que as informações visuais fornecidas pelo sistema desempenharam papel central na construção da percepção de rigidez, permitindo que os participantes diferenciasssem os estímulos apresentados apenas com base na observação das deformações

simuladas. Ressalta-se ainda que os participantes utilizaram predominantemente o dedo indicador na interação, e que foi recorrente a tentativa de pressionar a tela do dispositivo com o intuito de inferir a rigidez dos objetos virtuais, evidenciando uma expectativa de resposta tátil associada ao comportamento interativo.

Além disso, observou-se que alguns participantes utilizaram também as canetas para interagir com a interface como um todo, realizando movimentos de deslocamento sobre a tela, enquanto outros mantiveram a estratégia de pressão direta no dispositivo, unicamente sobre o objeto, mesmo diante da limitação inerente ao uso de telas *touchscreen* sem retorno háptico. A possibilidade de navegar livremente pelos objetos virtuais e realizar comparações entre diferentes estímulos foi amplamente explorada, funcionando como um recurso adicional de apoio à tomada de decisão. Esse comportamento indica uma estratégia ativa de exploração do ambiente virtual, na qual os participantes combinaram observação visual e interação repetida para refinar suas respostas perceptuais.

A acurácia geral consolidada foi de 70,6% (setenta vírgula seis por cento). Em comparação com um dos estudos do MSL (E5), que reporta níveis superiores a 90% (noventa por cento) de identificação da sensação de atrito, a acurácia obtida neste trabalho (70,6%, setenta vírgula seis por cento) é inferior. Esse contraste pode estar associado ao menor número de participantes (10 participantes) e ao perfil dos participantes do estudo comparativo, além de o dispositivo utilizado ser um *touchpad*, que possui retorno físico, o que tende a influenciar a estabilidade dos resultados.

No que se refere aos meios de interação, os resultados indicam que o uso de canetas, especialmente com ponta emborrachada, tende a proporcionar certo desempenho; no entanto, inferior em comparação com o uso do dedo. Isso sugere que instrumentos intermediários podem favorecer a percepção das deformações visuais, possivelmente por oferecerem maior precisão e controle durante a interação.

A análise por objeto revelou que níveis extremos de rigidez (muito mole e muito duro) foram facilmente identificados, enquanto os níveis intermediários apresentaram maior taxa de erro. Esse padrão sugere que a distinção perceptiva torna-se mais eficiente quando há diferenças mais acentuadas nas características visuais dos objetos, uma vez que os contrastes mais evidentes facilitam a comparação e a tomada

de decisão. Por outro lado, valores intermediários tendem a gerar maior ambiguidade perceptual, o que pode dificultar a categorização correta e aumentar a incerteza nas respostas. Esse comportamento indica uma possível limitação na sensibilidade discriminativa para variações mais sutis de rigidez no contexto avaliado.

Esses resultados estão alinhados com o conceito de percepção pseudo-háptica, no qual estímulos visuais são capazes de induzir sensações táteis percebidas pelo usuário. Esse fenômeno reforça a ideia de que o sistema perceptivo pode integrar informações visuais para inferir propriedades físicas dos objetos, mesmo na ausência de feedback háptico real. Nesse sentido, os achados também indicam que a abordagem proposta possui potencial para aplicações em diferentes áreas, especialmente naquelas que envolvem treinamento e simulação, nas quais a representação convincente de propriedades táteis pode contribuir para a efetividade da experiência interativa e para o aprendizado do usuário.

No contexto da área médica, por exemplo, a possibilidade de simular diferentes níveis de rigidez por meio de deformações visuais pode ser explorada em sistemas de treinamento para procedimentos minimamente invasivos, nos quais a percepção de propriedades mecânicas dos tecidos é fundamental. Nesse tipo de aplicação, a representação visual da resposta dos tecidos à interação pode contribuir para o desenvolvimento de habilidades perceptivo-motoras em ambientes controlados, auxiliando na familiarização com variações de consistência e resistência. Dessa forma, a abordagem pode atuar como um recurso complementar aos métodos tradicionais de treinamento, apoiando o ensino de habilidades técnicas.

Além disso, o uso de canetas como meio de interação se mostra particularmente relevante, uma vez que esses dispositivos podem simular, em certa medida, instrumentos utilizados em práticas clínicas, permitindo maior precisão e controle durante a interação. Embora o dispositivo *tablet* possua uma tela maior, contribuindo para a visualização dos objetos e das deformações, os resultados no dispositivo *smartphone* foram melhores. Essa ocorrência provavelmente foi devida à familiarização de todos os participantes com esse dispositivo, o que mostra a viabilidade da sua utilização em aplicações com interação pseudo-háptica.

Dessa forma, os resultados deste trabalho sugerem que é possível utilizar

dispositivos móveis e técnicas baseadas em percepção pseudo-háptica para o desenvolvimento de sistemas de baixo custo voltados ao treinamento e à simulação, reduzindo a dependência de equipamentos hápticos especializados e, conseqüentemente, ampliando o acesso a soluções interativas mais acessíveis e escaláveis. De modo geral, os resultados demonstram que:

- A maioria dos participantes conseguiu identificar os níveis de rigidez, indicando que as pistas visuais fornecidas foram suficientes para sustentar a discriminação perceptiva dos estímulos;
- Níveis extremos de rigidez são mais facilmente percebidos do que níveis intermediários, sugerindo que maiores contrastes visuais favorecem a acurácia nas respostas;
- Observou-se uma tendência de melhor desempenho com o dedo, que é amplamente utilizado nas interações entre usuários e dispositivos;
- A abordagem baseada em deformação visual mostrou-se eficaz mesmo sem feedback háptico físico, reforçando o potencial da percepção visual como substituto parcial de estímulos táteis;
- Observa-se potencial de aplicação em contextos reais, especialmente para auxiliar na área médica, na qual as simulações podem contribuir para o treinamento de habilidades técnicas e perceptivas.

Assim, os resultados apresentados consolidam uma base consistente para a compreensão do fenômeno investigado, ao mesmo tempo em que indicam a relevância de abordagens alternativas para a simulação de sensações físicas em ambientes virtuais. Nesse sentido, o estudo contribui para a ampliação do conhecimento na área e estabelece fundamentos que podem orientar o desenvolvimento de soluções futuras mais refinadas e aplicáveis em diferentes contextos.

5.3 AMEAÇAS À VALIDADE DO ESTUDO

Este estudo apresenta algumas limitações relacionadas ao mapeamento sistemático da literatura. A estratégia de busca foi construída com base em termos centrais do tema, o que pode ter impedido a recuperação de estudos relevantes devido a variações terminológicas. Além disso, a adoção exclusiva de critérios de exclusão, embora adequada ao caráter exploratório, pode ter influenciado a composição final do conjunto de trabalhos analisados. Também deve ser considerada como limitação, a inclusão de estudos publicados em português, o que pode ter restringido o alcance internacional da revisão e introduzido vieses relacionados à disponibilidade de publicações em determinados idiomas.

A escolha das bases de dados também pode ter impactado os resultados. Em especial, na *IEEE Xplore Digital Library*, observou-se uma quantidade reduzida de estudos, além de variações nas consultas realizadas com os mesmos parâmetros, nas quais ora um estudo era retornado e ora nenhum resultado era apresentado. Essas inconsistências podem estar relacionadas a aspectos de indexação ou atualização da base, afetando a recuperação de trabalhos relevantes.

No que se refere ao experimento, o número de participantes, aliado à limitada diversidade de perfis, pode restringir a generalização dos resultados para diferentes contextos de uso e para públicos mais amplos. Além disso, o estudo foi conduzido em um ambiente controlado, o que, embora necessário para garantir maior controle das variáveis experimentais, pode não representar adequadamente as condições encontradas em situações reais de uso.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo investigar a eficácia da percepção pseudo-háptica na representação de diferentes níveis de rigidez em ambientes digitais. Os resultados obtidos indicam que a abordagem proposta permite aos usuários perceber variações de rigidez mesmo na ausência de feedback tátil físico, demonstrando a viabilidade do uso de pistas visuais como mecanismo de suporte à percepção.

De modo geral, observou-se melhor desempenho na identificação de níveis extremos de rigidez, sugerindo que a técnica apresenta maior eficácia em situações com maior contraste perceptivo. Além disso, o uso de dispositivos intermediários, como canetas, mostrou-se favorável ao desempenho dos participantes, possivelmente por proporcionar maior precisão e controle durante a interação.

Os resultados obtidos contribuem para o avanço da área de interação humano-computador ao evidenciar que abordagens baseadas em percepção pseudo-háptica podem ser utilizadas como alternativas viáveis e de baixo custo para a simulação de propriedades físicas em ambientes digitais. Nesse sentido, a técnica investigada apresenta potencial para aplicação em diferentes contextos, como treinamento e apoio ao aprendizado.

Por fim, conclui-se que a percepção pseudo-háptica constitui uma abordagem promissora para o desenvolvimento de interfaces mais intuitivas e acessíveis, ampliando as possibilidades de interação em sistemas que não dispõem de dispositivos hápticos especializados.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, sugere-se a ampliação do número de participantes e a inclusão de perfis mais diversos, de forma a possibilitar análises mais representativas e robustas. Também seria relevante a realização de experimentos em contextos não controlados, permitindo avaliar o comportamento dos usuários em situações mais próximas do uso real.

Outra direção interessante consiste em investigar diferentes configurações de deformação visual, variando parâmetros como intensidade, tempo de resposta e formas de representação, a fim de compreender melhor seu impacto na percepção de rigidez. Além disso, a integração de feedback háptico físico com pistas visuais pode ser explorada, bem como a utilização de estímulos sonoros, visando analisar possíveis ganhos na precisão perceptiva e na qualidade da experiência do usuário. Nesses estudos, outras características hápticas poderiam ser exploradas, como fricção.

Adicionalmente, estudos futuros podem avaliar o desempenho dos usuários em tarefas mais complexas, bem como investigar métricas complementares, incluindo tempo de resposta, carga cognitiva e nível de confiança nas respostas fornecidas. Outra possibilidade consiste na adoção de métricas de avaliação que considerem o erro absoluto entre a classificação esperada e a resposta fornecida pelo participante. Nessa abordagem, classificações adjacentes ao nível correto podem ser tratadas de forma diferenciada em relação a erros mais distantes, permitindo uma análise mais refinada da percepção de rigidez.

Além disso, estudos futuros podem investigar a utilização de escalas numéricas explícitas de 1 (um) a 5 (cinco) para a classificação dos níveis de rigidez, buscando reduzir ambiguidades na interpretação das categorias e fornecer maior sensibilidade à análise dos resultados. Também pode ser relevante incluir, nos questionários de caracterização dos participantes, perguntas relacionadas à experiência prévia com canetas *stylus*, permitindo investigar possíveis influências da familiaridade com esse tipo de dispositivo sobre o desempenho nas tarefas de percepção pseudo-háptica.

Por fim, a aplicação da percepção pseudo-háptica pode ser explorada em

diferentes domínios, como treinamento profissional e simulações educacionais, por exemplo, para treinamento médico, contribuindo para a ampliação do escopo de uso da abordagem proposta em contextos diversos. Nesse caso, os experimentos devem ser conduzidos com a participação de especialistas da área médica.

REFERÊNCIAS

- ABTAHI, P.; FOLLMER, S. Visuo-haptic illusions for improving the perceived performance of shape displays. In: **Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)**. ACM, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3173574.3173724>>.
- ACHIBET, M.; GIRARD, A.; TALVAS, A.; MARCHAL, M.; LÉCUYER, A. Elastic-arm: Human-scale passive haptic feedback for augmenting interaction and perception in virtual environments. p. 63–68, 2015.
- ADI, W.; SULAIMAN, S. Haptic texture rendering based on visual texture information: a study to achieve realistic haptic texture rendering. In: SPRINGER. **International Visual Informatics Conference**. [S.l.], 2009. p. 279–287.
- ARASAN, A.; BASDOGAN, C.; SEZGIN, T. M. Haptistylus: A novel stylus capable of displaying movement and rotational torque effects. **arXiv preprint arXiv:2104.01088**, 2021.
- ARAÚJO, M. M. de; SILVA, L. L. M. da; MEDEIROS, F. A. de A.; SILVA, A. K. de V.; MEDEIROS, N. M. H. de; ALMEIDA, E. P. de O. Aprendizagem com a utilização de simuladores cirúrgicos e virtuais no ensino da saúde: Uma revisão sistemática. **ID on line. Revista de psicologia**, v. 18, n. 73, p. 298–311, 2024.
- ARGELAGUET, F.; JÁUREGUI, D. A. G.; MARCHAL, M.; LÉCUYER, A. Touchy: A visual approach for simulating haptic effects on touchscreens. **Frontiers in Virtual Reality**, v. 1, p. 1–13, 2019. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fict.2019.00001/full>>.
- BANTER, B. **Touch screens and touch surfaces are enriched by haptic force-feedback**. [S.l.]: Wiley Online Library, 2010. 26–30 p.
- BARBOSA, S.; SILVA, B. **Interação humano-computador**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2010.
- BISPO, M. d. S. Um olhar crítico sobre a prática de revisão de literatura. **Revista de Administração Contemporânea**, SciELO Brasil, v. 27, n. 6, 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/rac/a/HMMQVbFTTrVD6gkftKmmt3yd/>>.
- BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Multiple significance tests: the bonferroni method. **BMJ**, v. 310, p. 170, 1995.
- CHO, Y.; BIANCHI, A.; MARQUARDT, N.; BIANCHI-BERTHOUE, N. Realpen: Providing realism in handwriting tasks on touch surfaces using auditory-tactile feedback. In: **Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology**. New York, NY, USA: Association for Computing

Machinery, 2016. (UIST '16), p. 195–205. ISBN 9781450341899. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2984511.2984550>>.

CRANDALL, R.; KARADOĞAN, E. Designing pedagogically effective haptic systems for learning: A review. **Applied Sciences**, v. 11, n. 14, p. 6245, 2021.

FALBO, R. de A. Mapeamento sistemático. **Retrieved October**, v. 7, 2018.

GIRI, G. S.; MADDAHI, Y.; ZAREINIA, K. An application-based review of haptics technology. **Robotics**, v. 10, n. 1, 2021. ISSN 2218-6581. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2218-6581/10/1/29>>.

HASHIMOTO, T.; NARUMI, T.; NAGAO, R.; TANIKAWA, T.; HIROSE, M. Content-aware browsing by pseudo-haptic feedback on touch screens. **Transactions of the Virtual Reality Society of Japan**, v. 23, n. 3, p. 139–148, 2018.

JIANG, X.; WANG, F.; LI, Y.; TAO, L.; XI, Q.; WU, J. A multimodal haptic rendering system combining force and vibrotactile feedback. **IEEE Sensors Journal**, v. 24, n. 12, p. 19167–19174, 2024.

JUNIOR, D. G. V.; GONÇALVES, B. Realidade aumentada em catálogos para dispositivos móveis. **Design e Tecnologia**, v. 10, n. 21, p. 101–111, 2020.

JÚNIOR, V. D. d. S. Simulação de realidade virtual imersiva no procedimento de punção venosa periférica para coleta de sangue a vácuo. 2018.

KIM, W.; XIONG, S. Pseudo-haptic button for improving user experience of mid-air interaction in vr. **International Journal of Human-Computer Studies**, Elsevier, v. 168, p. 102907, 2022.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele, UK, Keele University**, Citeseer, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.

KITCHENHAM, B.; BRERETON, O. P.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; BAILEY, J.; LINKMAN, S. Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. **Information and software technology**, Elsevier, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009.

KODAK, B.; VARDAR, A. Feelpen: Haptic stylus displaying multimodal texture feels. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 28, n. 5, p. 2930 – 2940, October 2023. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10105612>>.

KUHN, P. Interação humano-computador mediada pela inteligência artificial: a experiência de usuário com assistentes pessoais virtuais. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2020.

LÉCUYER, A. Simulating haptic feedback using vision: A survey of research and applications of pseudo-haptic feedback. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 18, n. 1, p. 39–53, 02 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1162/pres.18.1.39>>.

LÉCUYER, A.; COQUILLART, D.; KHEDDAR, P.; RICHARD, R.; COIFFET, M. Pseudo-haptic feedback: Simulating virtual touch using visual information. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, 2000. Disponível em: <https://people.rennes.inria.fr/Anatole.Lecuyer/presence_lecuyer_draft.pdf>.

LÉVY, P. **As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. [S.l.]: Editora 34, 2010.

LI, M.; RIDZUAN, M. B.; SAREH, S.; SENEVIRATNE, L. D.; DASGUPTA, P.; ALTHOEFER, K. Pseudo-haptics for rigid tool/soft surface interaction feedback in virtual environments. **Mechatronics**, v. 24, n. 8, p. 1092–1100, 2014. ISSN 0957-4158. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415814001093>>.

LI, M.; SAREH, S.; XU, G.; RIDZUAN, M. B.; LUO, S.; XIE, J.; WURDEMAN, H.; ALTHOEFER, K. Evaluation of pseudo-haptic interactions with soft objects in virtual environments. **PLoS One**, Public Library of Science, v. 11, n. 6, p. e0157681, 2016.

LICONA, A. R.; LIU, F.; PINZON, D.; TORABI, A.; BOULANGER, P.; LELEVÉ, A.; MOREAU, R.; PHAM, M. T.; TAVAKOLI, M. Applications of haptics in medicine. **Haptic Interfaces for Accessibility, Health, and Enhanced Quality of Life**, Springer, p. 183–214, 2020.

MANUEL, D. A.; ADANIYA, M. H. A. da C. Programação tátil. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 40, n. especial, p. 229–246, 2024.

MISHRA, U. Inventions on gui for touch sensitive screens. **arXiv preprint arXiv:1404.6761**, 2014.

MOOSAVI, M. S.; RAIMBAUD, P.; GUILLET, C.; PLOUZEAU, J.; MERIENNE, F. Weight perception analysis using pseudo-haptic feedback based on physical work evaluation. **Frontiers in Virtual Reality**, Frontiers Media SA, v. 4, p. 973083, 2023.

MOSCHEN, V.; MOTÉ, W. **Como funciona uma caneta stylus?** 05 2022. Acessado em: 16 jan. 2025. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/acessorios/como-funciona-uma-caneta-stylus-215575/>>.

NAM, H.; SEOL, K.-H.; LEE, J.; CHO, H.; JUNG, S. W. Review of capacitive touchscreen technologies: Overview, research trends, and machine learning approaches. **Sensors**, MDPI, v. 21, n. 14, p. 4776, 2021.

NETO, N. G. da S.; MEDEIROS, F. P. A. de; ARAÚJO, R. P.; SILVA, A. M. da. Acessibilidade em dispositivos móveis: uma análise sob a perspectiva das pesquisas em interação humano computador no brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 34137–34150, 2021.

NOMOTO, A.; BAN, Y.; NARUMI, T.; TANIKAWA, T.; HIROSE, M. Supporting precise manual-handling task using visuo-haptic interaction. In: **AH 2016: Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Augmented Human**. Geneva, Switzerland: ACM, 2016. p. 1–10. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1145/2875194.2875216>><http://dx.doi.org/10.1145/2875194.2875216>.

NUNEZ, O. J. A.; ZENNER, A.; STEINICKE, F.; DAIBER, F.; KRÜGER, A. Holitouch: Conveying holistic touch illusions by combining pseudo-haptics with tactile and proprioceptive feedback during virtual interaction with 3duis. **Frontiers in Virtual Reality**, v. 2, p. 00021, 2021. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/virtual-reality/articles/10.3389/frvir.2022.879845/full>>.

PAN, Z.; PAN, Z.; LUO, T.; ZHANG, M. Exploring the use of smartphones as input devices for the mixed reality environment. In: **Proceedings of the 18th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–7.

PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. **Information and software technology**, Elsevier, v. 64, p. 1–18, 2015.

ROCCHESSO, D.; Delle Monache, S.; PAPETTI, S. Multisensory texture exploration at the tip of the pen. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 85, p. 47–56, 2016. ISSN 1071-5819. Data Sonification and Sound Design in Interactive Systems. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581915001238>>.

ROCHA, E. M. C.; PADOVANI, S. et al. Usabilidade e acessibilidade em smartphones: identificação de características do envelhecimento e suas implicações para o design de interface de smartphone. **Blucher Design Proceedings**, Blucher Proceedings, v. 2, n. 9, p. 3192–3204, 2016.

ROCHA, F. G.; NASCIMENTO, B. A. R. et al. Um modelo de mapeamento sistemático para a educação. **Cadernos da FUCAMP**, v. 17, n. 29, 2018.

RONDON, L. H. M.; CHEROBIN, R. Examinando os tipos de feedbacks no design de jogos digitais. **Anais do Computer on the Beach**, v. 13, p. 081–088, 2022.

SANTOS, R.; MACIEL, F. Estilos de interação em interfaces para dispositivos móveis. **Revista Ação Ergonômica**, ABERGO-Associação Brasileira de Ergonomia, v. 5, n. 3, p. 21–27, 2021.

SILVA, É. R. P. d. Métodos para revisão e mapeamento sistemático da literatura. 2009.

SILVA, J. Análise do feedback tátil em dispositivos de tela sensível ao toque. 2023. Disponível em: <<https://www.proquest.com/openview/15e7ca86d5c4550a3823cb709ca7742a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>>.

SILVA, J.; OLIVEIRA, M.; SANTOS, P. Explorando pseudo-haptics para a conformidade de objetos em realidade virtual. **Revista Brasileira de Interação Humano-Computador**, v. 15, n. 2, p. 45–58, 2023. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/151953/2/636671.pdf>>.

SIM, J.; YIM, Y.; KIM, K. A review of the stylus system to enhance usability through sensory feedback. **The South African Journal of**

Industrial Engineering, v. 32, n. 1, p. 71–85, May 2021. Disponível em: <<https://sajie.journals.ac.za/pub/article/view/2300>>.

TAKAMUKU, S.; GOMI, H. What you feel is what you see: inverse dynamics estimation underlies the resistive sensation of a delayed cursor. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, The Royal Society, v. 282, n. 1818, p. 20150864, 2015. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2015.0864>>.

TURCHIOE, M. R.; LAI, A. M.; SIEK, K. A. Designing and deploying mobile health interventions. In: **Human Computer Interaction in Healthcare: The Role of Cognition**. [S.l.]: Springer, 2024. p. 291–316.

UJITOKO, T.; KAWABE, Y.; YOKOSAKA, T.; KUROKI, S. Sense of resistance for a cursor moved by user's keystrokes. **Frontiers in Psychology**, Volume 12 - 2021, 2021. ISSN 1664-1078. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2021.652781>>.

UJITOKO, Y.; BAN, Y. Pseudo-haptic research: Haptic feedback design and application proposals. **IEEE Transactions on Haptics**, v. 14, n. 4, p. 699–711, 2021.

UJITOKO, Y.; BAN, Y.; HIROTA, K. Presenting static friction sensation at stick-slip transition using pseudo-haptic effect. In: **2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 181–186.

WEE, C.; YAP, K. M.; LIM, W. N. Haptic interfaces for virtual reality: Challenges and research directions. **IEEE access**, IEEE, v. 9, p. 112145–112162, 2021.

XAVIER, R.; SILVA, J. L.; VENTURA, R.; JORGE, J. A. P. Pseudo-haptics survey: Human-computer interaction in extended reality and teleoperation. **IEEE Access**, v. 12, p. 80442–80467, 2024.

YOKOSAKA, T.; UJITOKO, Y.; KAWABE, T. Force illusion induced by visual illusion: Illusory curve in cursor path is interpreted as unintended force. **Journal of Vision**, The Association for Research in Vision and Ophthalmology, v. 23, n. 4, p. 5–5, 2023.

ZIAT, M. Haptics for human-computer interaction: From the skin to the brain. **Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction**, v. 17, n. 1-2, p. 1–194, 2023. ISSN 1551-3955. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1561/11000000061>><http://dx.doi.org/10.1561/11000000061>.

APÊNDICE A – IMAGENS DAS TELAS DO APLICATIVO

Este apêndice apresenta o conjunto de imagens das telas desenvolvidas no aplicativo *RigidityObjectsApp*, utilizadas durante a execução dos experimentos. As figuras aqui reunidas tem como objetivo complementar a descrição apresentada no capítulo de implementação, permitindo uma visualização mais detalhada das interfaces do sistema, bem como das diferentes etapas de interação disponibilizadas aos participantes. As telas incluem exemplos dos cenários experimentais, navegação entre objetos e demais elementos que compõem a experiência de uso do aplicativo.

1 - TELA INICIAL

A tela inicial corresponde ao primeiro contato do usuário com o aplicativo, sendo exibida no momento em que o sistema é acessado. Nessa interface, são apresentados o logotipo da instituição UTFPR e um botão denominado “começar”, por meio do qual o participante pode dar início ao experimento quando estiver preparado. A Figura 8 ilustra a referida tela.

Figura 8 - Apêndice A - Tela inicial

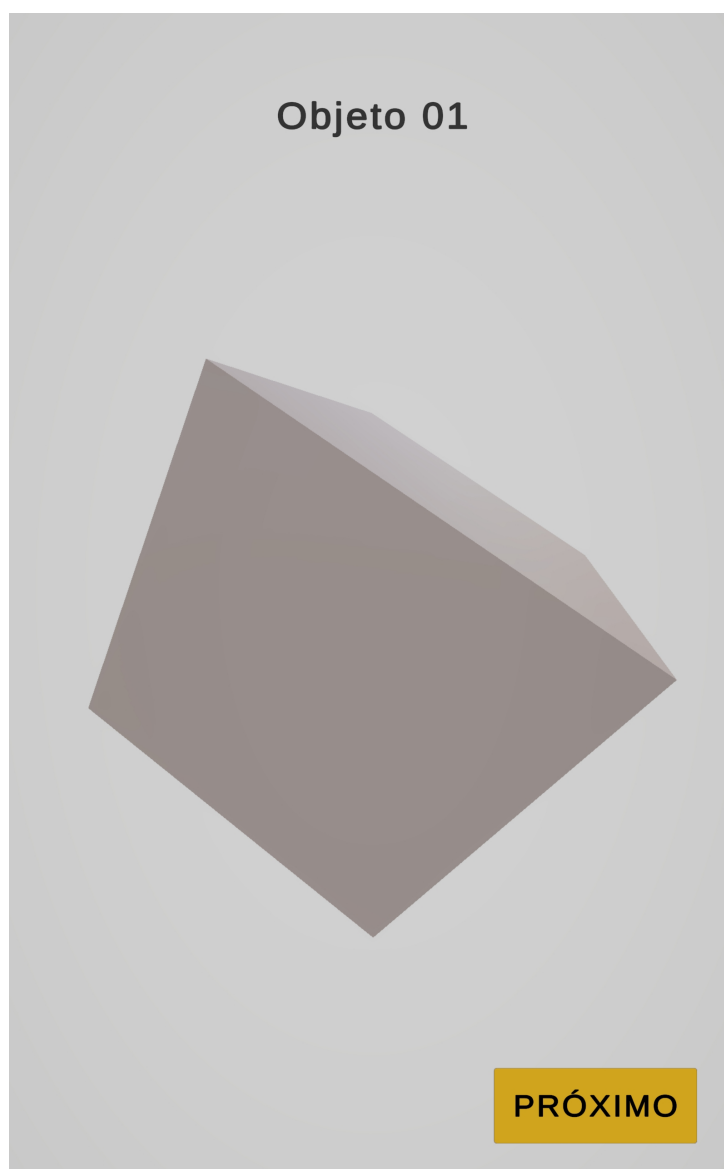


Fonte: Autoria própria (2026)

2 - TELA DO OBJETO 01

A segunda tela corresponde à apresentação do primeiro objeto do experimento, em que é exibido o elemento visual que constitui o foco da interação do usuário. Nessa interface, está disponível apenas o botão “próximo”, permitindo o avanço para a etapa seguinte. O botão “voltar” ainda não é apresentado neste momento, de modo que o participante deve prosseguir sequencialmente no experimento. A Figura 9 ilustra essa tela.

Figura 9 - Apêndice A - Tela do objeto 01

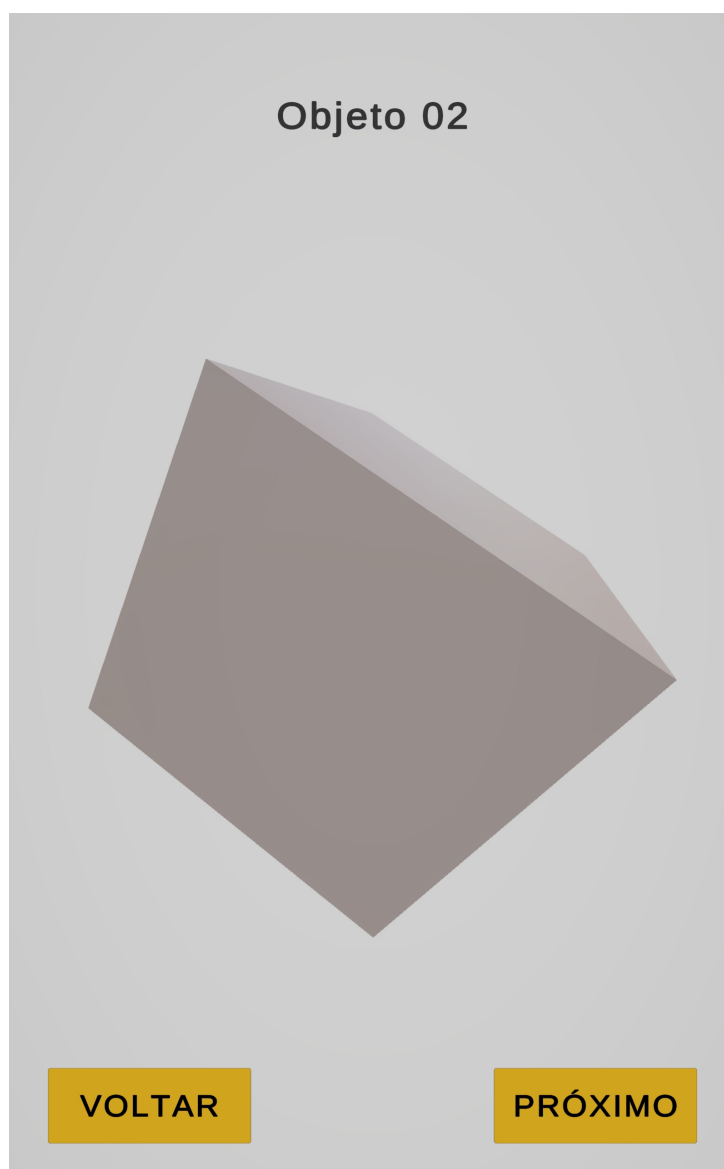


Fonte: Autoria própria (2026)

3 - TELA DO OBJETO 02

A tela correspondente ao Objeto 02 mantém a mesma estrutura da etapa anterior, diferenciando-se pela disponibilização do botão “voltar”, que permite ao usuário retornar ao Objeto 01, caso julgue necessário revisar sua interação. Ressalta-se que a imagem apresentada permanece idêntica para todos os objetos, conforme descrito anteriormente, de modo a evitar interferências visuais na avaliação. A Figura 10 ilustra essa tela.

Figura 10 - Apêndice A - Tela do objeto 02

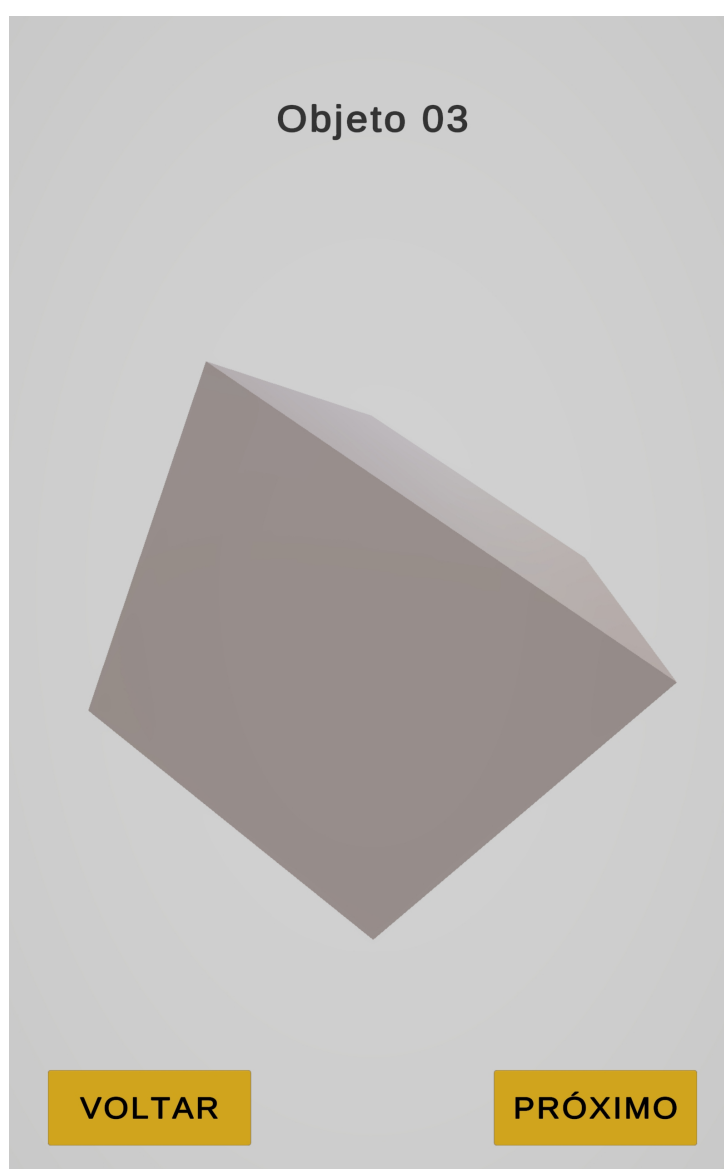


Fonte: Autoria própria (2026)

4 - TELA DO OBJETO 03

A tela correspondente ao Objeto 03 segue o mesmo padrão de navegação das imagens anteriores, disponibilizando tanto o botão “voltar”, que permite ao usuário retornar aos objetos previamente visualizados, quanto o botão “próximo”, que possibilita o avanço no experimento. A Figura 11 ilustra essa tela.

Figura 11 - Apêndice A - Tela do objeto 03

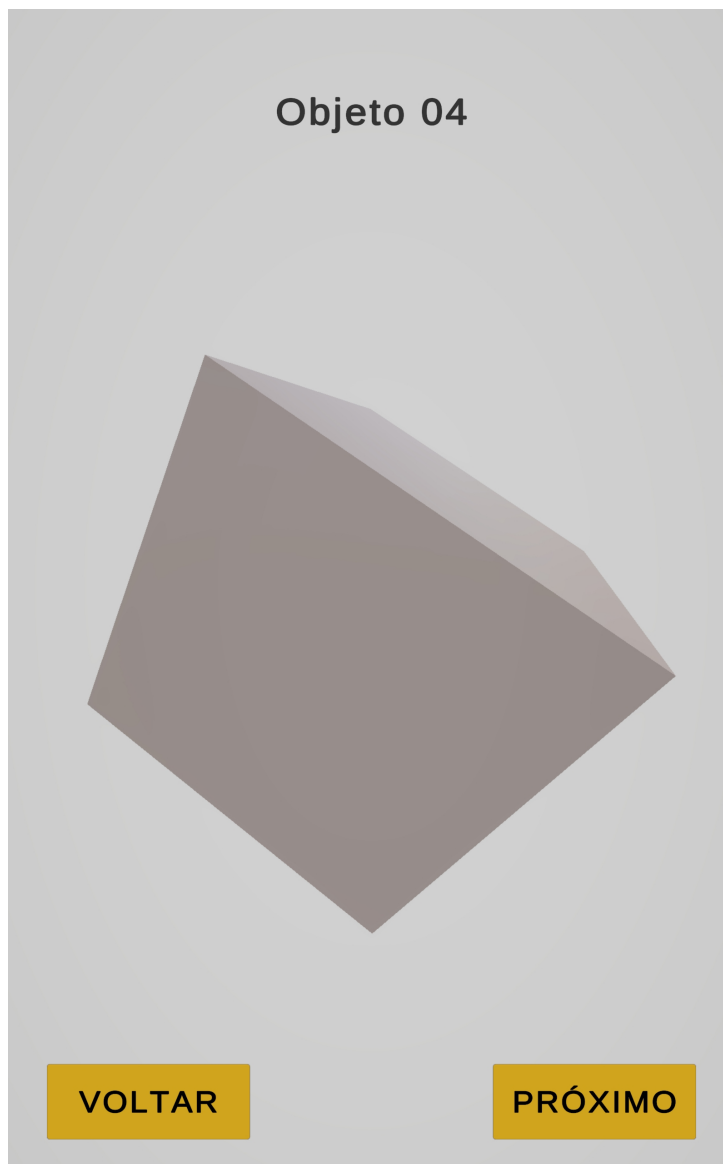


Fonte: Autoria própria (2026)

5 - TELA DO OBJETO 04

A tela do Objeto 04 também segue o mesmo padrão das anteriores, exibindo a imagem e os botões para navegação entre as telas. A Figura 12 ilustra essa tela.

Figura 12 - Apêndice A - Tela do objeto 04

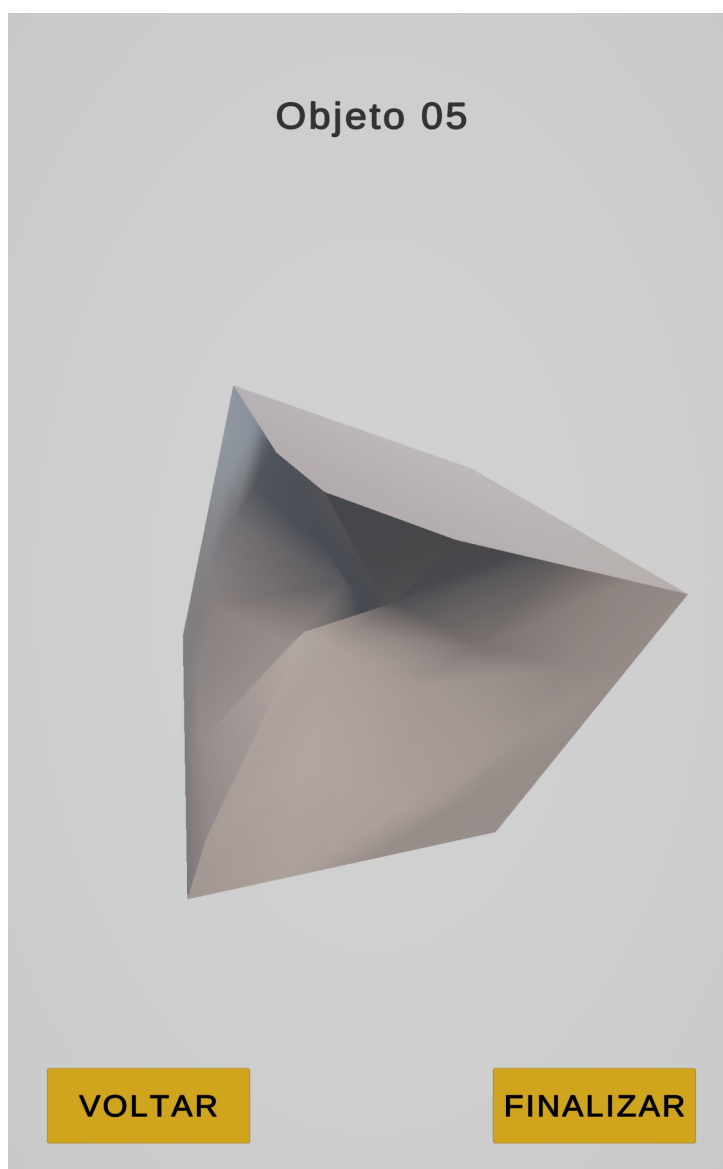


Fonte: Autoria própria (2026)

6 - TELA DO OBJETO 05

A tela correspondente ao Objeto 05, assim como as anteriores, permite que o usuário realize a interação utilizando as canetas sensíveis ao toque. Como diferencial, esta etapa apresenta o botão “finalizar”, que possibilita a conclusão do experimento após a análise do último objeto. Além disso, a Figura 13 ilustra o comportamento de deformação do objeto durante a interação do usuário, evidenciando a resposta visual do sistema à manipulação realizada.

Figura 13 - Apêndice A - Tela do objeto 05

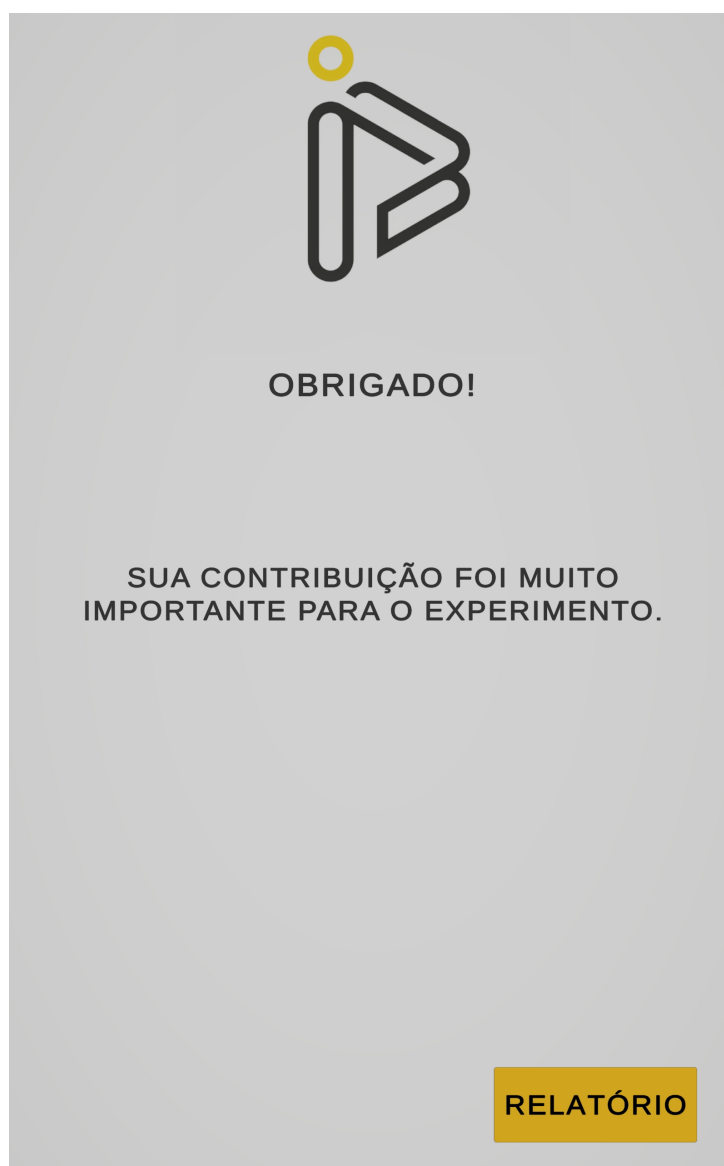


Fonte: Autoria própria (2026)

7 - TELA DE AGRADECIMENTOS

A tela de agradecimentos é apresentada ao final do experimento, após a sua conclusão, tendo como objetivo encerrar a interação com o participante. Nessa interface, é exibida uma mensagem de agradecimento pela participação no estudo. A Figura 14 ilustra essa tela.

Figura 14 - Apêndice A - Tela de agradecimentos



Fonte: Autoria própria (2026)

8 - TELA DE RELATÓRIO

A tela de relatório apresenta as respostas corretas definidas pelo aplicativo para cada um dos objetos avaliados durante o experimento. Essas informações são utilizadas posteriormente para comparação com as respostas fornecidas pelos participantes, permitindo a análise do desempenho individual e o cálculo das métricas de avaliação. A Figura 15 ilustra essa tela.

Figura 15 - Apêndice A - Tela de relatório

A imagem mostra uma interface de usuário com um fundo cinza. No topo, o título "RELATÓRIO" está centralizado. Abaixo dele, o texto "PARTICIPANTE 02 - CENÁRIO 01" também está centralizado. Segue-se o cabeçalho "ORDEM DOS OBJETOS APRESENTADOS:". Abaixo disso, há uma lista de cinco itens, cada um com um número ordinal seguido de um objeto e uma descrição de dureza: "1° OBJETO - BISTURI - MUITO DURO", "2° OBJETO - SERINGA - DURO", "3° OBJETO - CÂNULA - MÉDIO", "4° OBJETO - GARROTE - MOLE" e "5° OBJETO - LUVA - MUITO MOLE". No canto inferior direito, há um botão amarelo com o texto "OK".

RELATÓRIO

PARTICIPANTE 02 - CENÁRIO 01

**ORDEM DOS OBJETOS
APRESENTADOS:**

1° OBJETO - BISTURI - MUITO DURO

2° OBJETO - SERINGA - DURO

3° OBJETO - CÂNULA - MÉDIO

4° OBJETO - GARROTE - MOLE

5° OBJETO - LUVA - MUITO MOLE

OK

Fonte: Autoria própria (2026)

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIOS PRÉ E PÓS-EXPERIMENTO

Este apêndice apresenta os questionários utilizados nas etapas pré e pós-experimento, aplicados com o objetivo de coletar informações dos participantes antes e após a realização das atividades. O questionário pré-experimento foi utilizado para obter dados iniciais relevantes ao estudo, enquanto o questionário pós-experimento teve como finalidade registrar as percepções dos participantes em relação à interação com o aplicativo, bem como suas avaliações sobre a tarefa realizada. Esses instrumentos contribuíram para a análise dos resultados, complementando os dados obtidos durante a execução dos experimentos.

Pesquisadores:

Amanda Carolyne de Lima - Pesquisadora e aluna

Cléber Gimenez Corrêa - Pesquisador responsável e orientador

Diego Marczal - Pesquisador

QUESTIONÁRIO PRÉ-EXPERIMENTO

Leia atentamente as questões e marque um **X** na opção correspondente.

1 - Faixa Etária	
Tenho entre 18 e 24 anos	
Tenho entre 25 e 34 anos	
Tenho entre 35 e 44 anos	
Tenho entre 45 e 54 anos	
Tenho 55 anos ou mais	

2 - Você possui experiência com realidade virtual?	
Sim	
Não	

3 - Você possui experiência com smartphones ou tablets?	
Sim	
Não	

4 - Você possui experiência com jogos digitais?	
Sim	
Não	

5 - Você possui conhecimento sobre percepção háptica?	
Sim	
Não	

QUESTIONÁRIO PÓS-EXPERIMENTO

Caneta 01 – Ponta _____

Orientações Gerais.

Os níveis de rigidez são:

- 1 – Muito mole (muito pouco rígido).
- 2 – Mole (pouco rígido).
- 3 – Médio (intermediário).
- 4 – Duro (rígido).
- 5 – Muito duro (muito rígido).

Para exemplificar os níveis, pode-se realizar analogias com os seguintes objetos:

Objeto	Classificação	Material	Descrição
Luva cirúrgica	Borracha	Látex	Usada para proteger o profissional e o paciente de contaminações durante procedimentos.
Garrote	Borracha elástica	Látex natural	Faixa elástica usada para comprimir temporariamente um membro (geralmente o braço) e facilitar a visualização e punção de veias.
Cânula de aspiração	Plástico flexível	PVC	Usada para remover secreções da boca ou traqueia.
Seringa	Plástico	Polipropileno	Usada para injetar líquidos (medicamentos, vacinas) ou retirar amostras do corpo.
Bisturi	Metal	Aço cirúrgico	Instrumento de corte usado em cirurgias.

Com base nesses objetos e suas informações, responda às questões referentes ao experimento que acabará de realizar.

Leia atentamente as questões e marque um **X** na opção correspondente.

Objeto 01 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 01, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 02 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 01, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 03 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 01, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 04 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 01, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 05 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 01, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

QUESTIONÁRIO PÓS-EXPERIMENTO

Caneta 02 – Ponta _____

Orientações Gerais.

Os níveis de rigidez são:

- 1 – Muito mole (muito pouco rígido).
- 2 – Mole (pouco rígido).
- 3 – Médio (intermediário).
- 4 – Duro (rígido).
- 5 – Muito duro (muito rígido).

Para exemplificar os níveis, pode-se realizar analogias com os seguintes objetos:

Objeto	Classificação	Material	Descrição
Luva cirúrgica	Borracha	Látex	Usada para proteger o profissional e o paciente de contaminações durante procedimentos.
Garrote	Borracha elástica	Látex natural	Faixa elástica usada para comprimir temporariamente um membro (geralmente o braço) e facilitar a visualização e punção de veias.
Cânula de aspiração	Plástico flexível	PVC	Usada para remover secreções da boca ou traqueia.
Seringa	Plástico	Polipropileno	Usada para injetar líquidos (medicamentos, vacinas) ou retirar amostras do corpo.
Bisturi	Metal	Aço cirúrgico	Instrumento de corte usado em cirurgias.

Com base nesses objetos e suas informações, responda às questões referentes ao experimento que acabará de realizar.

Leia atentamente as questões e marque um **X** na opção correspondente.

Objeto 01 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 02, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 02 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 02, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 03 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 02, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 04 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 02, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 05 - Ao pressionar e movimentar a Caneta 02, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

QUESTIONÁRIO PÓS-EXPERIMENTO

Dedo próprio

Orientações Gerais.

Os níveis de rigidez são:

- 1 – Muito mole (muito pouco rígido).
- 2 – Mole (pouco rígido).
- 3 – Médio (intermediário).
- 4 – Duro (rígido).
- 5 – Muito duro (muito rígido).

Para exemplificar os níveis, pode-se realizar analogias com os seguintes objetos:

Objeto	Classificação	Material	Descrição
Luva cirúrgica	Borracha	Látex	Usada para proteger o profissional e o paciente de contaminações durante procedimentos.
Garrote	Borracha elástica	Látex natural	Faixa elástica usada para comprimir temporariamente um membro (geralmente o braço) e facilitar a visualização e punção de veias.
Cânula de aspiração	Plástico flexível	PVC	Usada para remover secreções da boca ou traqueia.
Seringa	Plástico	Polipropileno	Usada para injetar líquidos (medicamentos, vacinas) ou retirar amostras do corpo.
Bisturi	Metal	Aço cirúrgico	Instrumento de corte usado em cirurgias.

Com base nesses objetos e suas informações, responda às questões referentes ao experimento que acabará de realizar.

Leia atentamente as questões e marque um **X** na opção correspondente.

Objeto 01 - Ao pressionar e movimentar com o dedo, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 02 - Ao pressionar e movimentar com o dedo, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 03 - Ao pressionar e movimentar com o dedo, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 04 - Ao pressionar e movimentar com o dedo, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

Objeto 05 - Ao pressionar e movimentar com o dedo, como você percebe o nível de rigidez do objeto?

Muito mole	Mole	Médio	Duro	Muito duro

APÊNDICE C – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA

Este apêndice apresenta o parecer consubstanciado emitido pelo Comitê de Ética em Pesquisa, referente à aprovação do presente estudo. O documento comprova que a pesquisa foi analisada e autorizada conforme as diretrizes éticas vigentes, assegurando que os procedimentos adotados respeitam os direitos, a segurança e o bem-estar dos participantes envolvidos.

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação da percepção pseudo-háptica em dispositivos de telas sensíveis ao toque com a utilização de canetas para a interação

Pesquisador: CLÉBER GIMENEZ CORRÊA

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 91238925.0.0000.5547

Instituição Proponente: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.953.576

Apresentação do Projeto:

De acordo com os pesquisadores:

Desenho:

A amostra prevista para o experimento é composta por 200 (duzentos) participantes, pessoas maiores de 18 anos, que possam interagir com dispositivos com telas sensíveis ao toque usando o dedo e as canetas, incluindo técnicos administrativos da UTFPR, professores, além de estudantes de turmas dos cursos de graduação de dois campi da UTFPR: Cornélio Procopio e Guarapuava. A escolha dessas turmas se deve ao envolvimento dos pesquisadores com esses cursos de graduação.

Com o objetivo de investigar a percepção pseudo-háptica em interações dos participantes com telas sensíveis ao toque, um experimento será realizado com diferentes meios: 2 (duas) canetas stylus de diferentes características (uma com a ponta de disco, e outra com espécie de borracha na ponta) e o dedo. Smartphone e tablet, propriedades dos pesquisadores, serão utilizados na interação, para execução de uma aplicação computacional, que será desenvolvida para apresentar objetos que sofrem deformação quando a tela é tocada pelo(a) participante.

Todo o ambiente de teste será controlado, garantindo que os(as) participantes estejam sentados em uma cadeira, de frente para uma mesa, interagindo com um dispositivo touchscreen para avaliar a rigidez dos objetos virtuais com os três diferentes meios de

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

interação.

Como os(as) participantes não terão informações prévias sobre os objetos, suas respostas sobre a sensação tátil ou háptica dependerão exclusivamente das pistas visuais fornecidas pela aplicação computacional. Esse processo permitirá investigar até que ponto a percepção háptica ocorre sem feedback físico real, apenas com a resposta visual. Inicialmente, os(as) participantes deverão ler e assinar o TCLE, além de responder a um Questionário Pré-Experimento para coleta de perfil. Em seguida, receber instruções e interagir com a aplicação. Após a interação com cada meio, os(as) participantes deverão classificar por meio de Questionário Pós-Experimento a rigidez dos objetos apresentados em tela conforme uma escala de números inteiros (de 1 a 5), da seguinte forma:

- 1 - Muito mole (muito pouco rígido);
- 2 - Mole (pouco rígido);
- 3 - Médio (intermediário);
- 4 - Duro (rígido);
- 5 - Muito duro (muito rígido).

Para exemplificar os níveis, pode-se realizar analogias com os seguintes objetos médicos:

- 1 - Luva cirúrgica (borracha) - Látex. Usada para proteção durante procedimentos médicos;
- 2 - Garrote de látex (borracha elástica) - Látex natural. Faixa elástica usada para comprimir temporariamente um membro (geralmente o braço) e facilitar a punção de veias;
- 3 - Cânula de aspiração (plástico flexível) - PVC. Usada para remover secreções da boca ou traqueia;
- 4 - Seringa (plástico) - Polipropileno. Usada para injetar líquidos (medicamentos, vacinas) ou retirar amostras do corpo;
- 5 - Bisturi (metal) - Aço cirúrgico. Instrumento de corte para cirurgias.

Os documentos para preenchimento serão impressos (TCLE, Questionário Pré-Experimento e os três questionários Pós-Experimento).

Para garantir a validade do experimento, serão apresentados 5 (cinco) objetos virtuais idênticos em aparência (cubos da mesma cor e tamanho). Apenas os pesquisadores saberão qual material está simulado em cada objeto, com o objetivo de posteriormente avaliar a percepção dos(as) participantes e a influência dos diferentes materiais na interação. As ordens de utilização das canetas e dedo, bem como a exibição dos diferentes objetos virtuais, serão aleatórias. Os(As) participantes poderão navegar entre os objetos usando os botões <voltar> e <próximo>, permitindo reavaliações quando necessário para colocar as respostas nos

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

questionários Pós-Experimento. A participação é presencial, um participante por vez, acompanhado(a) por, pelo menos um pesquisador, com duração prevista de 20 minutos, em salas reservadas pelos pesquisadores na universidade (uma por campus), em horários agendados pelos pesquisadores, com equipamentos para interação pertencentes aos pesquisadores (smartphone em Cornélio Procópio e tablet em Guarapuava).

Resumo:

A interação háptica, que envolve a percepção de toque, é importante para a compreensão e navegação em ambientes virtuais, proporcionando uma experiência imersiva, especialmente ambientes para treinamento médico em procedimentos de inserção de agulha (biópsia e anestesia, por exemplo). A abordagem háptica utiliza tecnologias especializadas para criar sensações táteis, enquanto a abordagem pseudo-háptica busca simular essas sensações por meio de estímulos visuais ou auditivos. Utilizando dispositivos comuns, como aqueles com telas sensíveis ao toque e canetas próprias, a interação pseudo-háptica visa a alteração de elementos gráficos da interface, como por exemplo, a deformação de modelos virtuais na tela, criando a ilusão de toque por meio de estímulos visuais. Este estudo tem como objetivo avaliar a percepção pseudo-háptica de usuários utilizando canetas em dispositivo de tela sensível ao toque para interagir com objetos virtuais de uma aplicação computacional a ser desenvolvida, identificando os níveis de rigidez desses objetos. Por meio da aplicação interativa, os usuários ou participantes devem tocar os objetos virtuais em tela, explorando a ilusão de toque percebida quando as canetas e o dedo são usados. Três meios de interação serão explorados, com duas canetas e o dedo, apresentando cinco objetos virtuais em cada meio, cada um com um nível de rigidez, visualização de um objeto por vez na tela. A pesquisa coletará dados por meio de questionários impressos, buscando compreender a percepção pseudo-háptica dos participantes do experimento.

Introdução:

A Interação Humano-Computador (IHC) tem evoluído de forma rápida e significativa, impulsionada principalmente pelo aumento de dispositivos de tela sensível ao toque no cotidiano (KUHN, 2020). Desde smartphones e tablets até quiosques de informação e sistemas de navegação em veículos, esses dispositivos tornaram-se presentes em uma variedade de contextos, redefinindo a forma como a sociedade se conecta com a tecnologia e com o mundo ao redor dela (LÉVY, 2010). A evolução dessas telas permite interações mais diretas durante o

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

uso, mas, apesar dos avanços significativos, ainda existem limitações em termos de feedback tátil, especialmente em dispositivos sem sistemas hápticos especializados (MANUEL e ADANIYA, 2024). O feedback de toque, também conhecido como feedback háptico, diz respeito à sensação tátil ou de força gerada por um dispositivo em resposta à interação do usuário, sendo fundamental para melhorar a experiência de uso, principalmente em tarefas que exigem precisão, como desenhos e escritas digitais (ROCHA e PADOVANI, 2016). Além disso, dispositivos hápticos vêm sendo empregados na medicina, proporcionando feedback tátil que melhora a precisão e a segurança em procedimentos como punção venosa e cirurgias minimamente invasivas, principalmente em treinamentos, pois permitem a simulação realista dos procedimentos, auxiliando na redução de erros em cirurgias reais e outras práticas clínicas (SOUZA JÚNIOR, 2018). A percepção pseudo-háptica, responsável pela indução de sensações táteis por meio de estímulos visuais e outros tipos de feedbacks não físicos, vem se mostrando uma alternativa eficiente para simulação da sensação de toque em dispositivos que não possuem tecnologia háptica tradicional (XAVIER et al., 2024). Essa estratégia utiliza a percepção do usuário de mudanças visuais e movimentos, para criar as ilusões de resistência ou texturas, garantindo uma sensação tátil sem a necessidade de dispositivos específicos externos (ADI e SULAIMAN, 2009). Um exemplo prático e comum dessa interação é o uso de determinadas canetas, que mesmo não possuindo capacidade háptica, podem resultar em efeitos pseudo-hápticos por meio do movimento e do controle preciso durante seu uso (ARASAN et al., 2021a). A percepção pseudo-háptica, embora com grande potencial, ainda é pouco utilizada em contextos de interação com dispositivos de tela sensível ao toque, principalmente no uso de canetas como ferramentas de interação. Hoje em dia já existem estudos que demonstram a eficiência do feedback háptico em diversas áreas, mas o feedback pseudo-háptico, especialmente com o uso de canetas para recriar essas sensações em dispositivos móveis sem atuadores, ainda é pouco comum (LEE et al., 2004). Os efeitos da percepção pseudo-háptica, principalmente quando utilizados com uma caneta sensível ao toque, necessitam de pesquisas mais detalhadas sobre como diferentes movimentos, configurações, técnicas, entre outros, podem influenciar a experiência do usuário durante seu uso (LEE et al., 2004). Embora os dispositivos de tela sensível ao toque tenham simplificado muitas interações digitais, a experiência de toque nesses dispositivos ainda apresenta uma diferença marcante da interação tátil com objetos físicos. A ausência de feedback tátil adequado pode impactar a experiência do usuário e limitar a eficácia de certas atividades, como desenho, escrita à mão e manipulação de objetos virtuais (CHO et al., 2016). A inserção

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

de uma caneta sensível ao toque como meio de interação adiciona uma camada de complexidade à experiência dos usuários, pois impacta na transição entre interações físicas e digitais, exigindo que o usuário interprete estímulos visuais e de movimento sem a presença de um feedback tátil real (SIM; YIM e KIM, 2021). A percepção pseudo-háptica surgiu como uma alternativa para compensar essa falta de feedback tátil, permitindo que a sensação de resistência ou textura seja simulada por meio de estímulos visuais e de movimento. Porém, um desafio significativo é entender como diferentes movimentos e configurações de interação com a caneta influenciam a percepção dos usuários sobre esses estímulos. Entender como esses modos de interação influenciam a experiência do usuário é importante para melhorar o design das interfaces e aumentar a usabilidade dos dispositivos de tela sensível ao toque (ARASAN et al., 2021b).

Hipótese:

O(A) participante, por meio do toque, percebe variações de rigidez ao interagir com objetos virtuais que sofrem deformações e são apresentados nas interfaces gráficas de dispositivos de tela sensível ao toque, utilizando para a interação canetas stylus e o dedo. A percepção ocorre mesmo na ausência de feedback tátil ou háptico físico, consistindo na percepção pseudo-háptica.

Metodologia:

A amostra prevista para o experimento é composta por 200 (duzentos) participantes, pessoas maiores de 18 anos, que possam interagir com dispositivos com telas sensíveis ao toque usando o dedo e as canetas, incluindo técnicos administrativos da UTFPR, professores, além de alunos dos cursos de graduação de dois campi da UTFPR: Cornélio Procópio e Guarapuava. A escolha dessas turmas se deve ao envolvimento dos pesquisadores com os cursos de graduação. O recrutamento será por convites pessoais e em mensagens eletrônicas.

A avaliação da percepção em interações com telas sensíveis ao toque, será realizada com experimento envolvendo participantes, em diferentes meios de interação e com questionários para coleta de dados. Os meios de interação serão: duas canetas stylus de diferentes características (uma com a ponta de disco, e outra com espécie de borracha na ponta) e do dedo. Smartphone e tablet, propriedades dos pesquisadores, serão utilizados na interação, para execução de uma aplicação computacional, que será desenvolvida para apresentar objetos que sofrem deformação quando a tela é tocada pelo(a) participante.

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

Todo o ambiente de teste será controlado, em salas da UTFPR reservadas pelos pesquisadores (uma em Cornélio Procópio e outra em Guarapuava). Os(As) participantes devem se sentar em uma cadeira, de frente para uma mesa, para interagir com um dispositivo touchscreen e avaliar a rigidez dos objetos apresentados utilizando as canetas e o próprio dedo.

Como os(as) participantes não terão informações prévias sobre os objetos, suas respostas sobre a sensação tátil ou háptica dependerão exclusivamente das pistas visuais fornecidas pela aplicação. Esse processo permitirá investigar até que ponto a percepção háptica ocorre sem feedback físico.

Inicialmente, os(as) participantes deverão ler e assinar o TCLE, além de responder a um Questionário Pré-Experimento para coleta de perfil. Em seguida, receber instruções e interagir com a aplicação. Após a interação com cada meio, os(as) participantes deverão classificar por meio de Questionário Pós-Experimento a rigidez dos objetos apresentados em tela conforme uma escala de números inteiros (de 1 a 5), da seguinte forma:

- 1 - Muito mole (muito pouco rígido);
- 2 - Mole (pouco rígido);
- 3 - Médio (intermediário);
- 4 - Duro (rígido);
- 5 - Muito duro (muito rígido).

Para exemplificar os níveis, pode-se realizar analogias com os seguintes objetos médicos:

- 1 - Luva cirúrgica (borracha) - Látex. Usada para proteger o profissional e o paciente de contaminações durante procedimentos médicos;
- 2 - Garrote de látex (borracha elástica) - Látex natural. Faixa elástica usada para comprimir temporariamente um membro (geralmente o braço) e facilitar a visualização e punção de veias;
- 3 - Cânula de aspiração (plástico flexível) - PVC. Usada para remover secreções da boca ou traqueia;
- 4 - Seringa (plástico) - Polipropileno. Usada para injetar líquidos (medicamentos, vacinas) ou retirar amostras do corpo;
- 5 - Bisturi (metal) - Aço cirúrgico. Instrumento de corte usado em cirurgias.

Os documentos para preenchimento serão impressos (TCLE, Questionário Pré-Experimento e os três questionários Pós-Experimento). Serão apresentados 5 (cinco) objetos virtuais idênticos em aparência (cubos da mesma cor e tamanho). Apenas os pesquisadores saberão qual material está simulado em cada objeto, com o objetivo de posteriormente avaliar a percepção dos(as)

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

participantes. As ordens de utilização das canetas e dedo, bem como a exibição dos diferentes objetos virtuais, serão aleatórias. Os participantes poderão navegar entre os objetos usando os botões “voltar” e “próximo”, permitindo reavaliações quando necessário para colocar as respostas nos questionários pós-experimento. A participação será acompanhada por um pesquisador, com um participante por vez e duração prevista de 20 minutos, com dispositivos pertencentes aos pesquisadores (smartphone em Cornélio Procopio e tablet em Guarapuava), em horários agendados pelos pesquisadores.

Metodologia de análise de dados:

A análise dos dados será realizada com foco na métrica de acurácia, que permitirá avaliar a capacidade dos(as) participantes em classificar corretamente os níveis de rigidez dos objetos virtuais apresentados. A acurácia será calculada como a razão entre o número de classificações corretas e o total de tentativas realizadas por cada participante, sendo expressa em termos percentuais. Quanto maior a acurácia, maior a efetividade da percepção pseudo-háptica durante a interação com a aplicação computacional. A comparação entre os diferentes meios de interação (com a caneta de ponta fina, com a caneta de ponta tipo borracha e com o dedo) será feita com base nos valores médios de acurácia obtidos em cada uma das 3 (três) condições. Como todos os(as) participantes testarão os 3 (três) meios, os dados permitirão observar se há diferenças relevantes no desempenho de cada forma de interação. Será utilizada uma análise estatística adequada para esse tipo de comparação (métodos paramétricos ou não paramétricos, dependendo da distribuição dos dados), a fim de verificar se existe diferença significativa entre as respostas de acurácia dos meios de interação avaliados. Por fim, os dados obtidos por meio dos questionários pós-experimento serão utilizados para complementar a interpretação dos resultados quantitativos, auxiliando na compreensão das percepções subjetivas dos(as) participantes em relação à interação com a aplicação computacional e à clareza na distinção entre os diferentes níveis de rigidez simulada.

Desfecho primário:

Verificar se a percepção de rigidez pode ocorrer por estímulos visuais simulados, sem a presença de feedback háptico físico, durante a interação com objetos virtuais que sofrem deformação e são apresentados em interfaces de dispositivos de tela sensível ao toque, utilizando diferentes meios de interação (caneta com ponta de disco, caneta com ponta tipo borracha e dedo).

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

Continuação do Parecer: 7.953.576

Desfecho secundário:

-X-X-X-X-X-X-X-X-X-X-

Critério de Inclusão:

- 1 - Ter 18 (dezoito) anos ou mais;
- 2 - Ser professor(a), técnico(a) administrativo ou aluno(a) dos campi Cornélio Procópio e Guarapuava da UTFPR.

Critério de Exclusão:

- 1 - Apresentar deficiências visuais severas não corrigidas, que possam comprometer a percepção visual dos estímulos propostos na tarefa experimental ou alguma dificuldade para interagir com dispositivos com telas sensíveis ao toque usando o dedo e as canetas.

Objetivo da Pesquisa:

De acordo com os pesquisadores:

Objetivo Primário:

Avaliar a percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque, usando diferentes meios de interação (caneta stylus com ponta de disco, caneta stylus com ponta de borracha e dedo) na identificação de níveis distintos de rigidez simulados em objetos virtuais. Ou seja, verificar se a rigidez pode ser percebida por meio do toque de participantes utilizando estímulos visuais simulados (por exemplo, deformações nos objetos virtuais), mesmo na ausência de feedback tátil físico, a partir da interação com objetos virtuais em uma interface touchscreen.

Objetivos Secundários:

- 1 - Comparar a acurácia da percepção de rigidez entre os três meios de interação: caneta stylus com ponta de disco, caneta stylus com ponta semelhante à borracha e dedo;
- 2 - Investigar o impacto do tipo de ponta da caneta stylus na percepção pseudo-háptica de rigidez em superfícies digitais;
- 3 - Avaliar as respostas dos(as) participantes em relação aos diferentes meios de interação utilizados no experimento;

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

4 - Verificar se o uso da caneta stylus proporciona maior consistência nas respostas dos(as) participantes em comparação com o uso do dedo.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

De acordo com os pesquisadores:

Riscos:

Os riscos associados à participação na pesquisa são mínimos e limitam-se, principalmente, ao possível cansaço visual ou desconforto breve durante a realização das tarefas. Para minimizar esses efeitos, serão oferecidas pausas regulares entre as atividades, e os(as) participantes poderão interromper sua participação a qualquer momento, sem prejuízo. Os dispositivos com telas sensíveis ao toque e as canetas serão higienizados antes de cada participação com lenços descartáveis e álcool, para a limpeza dos equipamentos que são manuseados pelos(as) participantes, prevenindo doenças (por exemplo, gripe e COVID-19).

Benefícios:

Os(As) participantes contribuirão diretamente para o avanço do conhecimento sobre percepção pseudo-háptica, participando dos experimentos e avaliando diferentes formas de interação com dispositivos de tela sensível ao toque. Essas formas de interação poderão ser úteis para desenvolvimento de aplicações de treinamento médico, que envolvem inserção de agulha (anestesia e biópsia) (CORRÊA et al., 2019). Além disso, os(as) participantes poderão vivenciar novas formas de interação, explorando o efeito de estímulos visuais na percepção tátil, o que pode ampliar sua compreensão prática sobre interfaces digitais e métodos de avaliação de interação humano-computador. A participação também oferece experiência prática em atividades de pesquisa científica, permitindo que os participantes compreendam melhor como estudos experimentais são conduzidos e como dados são coletados e analisados em contextos acadêmicos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa irá agregar índices qualitativos para a área e contribuir para o avanço do conhecimento em técnicas de interação háptica e melhoria na interação humano-computador em dispositivos móveis.

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

A pesquisa atende a LEI Nº 14.874, de 28 de maio de 2024 e as Resoluções CNS nº 510/2016 e CNS nº 466/2012.

Recomendações:

Com relação aos documentos obrigatórios anexos a Plataforma Brasil:

1) Conforme consta na Metodologia Proposta da 3ª versão: ζ a forma de recrutamento será por convites pessoais e em mensagens eletrônicas ζ . Solicita-se anexar a PB o modelo de convite que será enviado por meio das mensagens eletrônicas.

Incluir o modelo do convite com o link para conferência por Notificação. Este documento deve ser encaminhado antes do início de coleta de dados.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

----- RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS PARA A 2ª VERSÃO: -----

[ATENDIDO] 1) Critérios de inclusão: ζ 3 - Ter sido convidado(a) formalmente pelos pesquisadores ζ . Não configura critério de inclusão. Rever.

2) Sobre a metodologia ficaram subentendidas as seguintes informações:

[ATENDIDO] a) Cada participante assiste o teste ou a realização do experimento do outro participante ou fazem em momentos específicos? Está escrito na metodologia que terá um horário agendado, mas não há nada especificando sobre o teste ser reservado apenas a um candidato por vez.

[ATENDIDO] b) O participante fará o experimento com a Caneta 01 e em seguida responderá ao questionário pós experimento ou fará todos os três experimentos (caneta 01, caneta 02 e dedo) e só então responderá ao questionário? Não está claro como será aplicado o questionário pós experimento. Será que 15 minutos serão suficientes para o participante, ler, compreender, interagir e responder os questionários? O participante não pode se sentir pressionado por usufruir de mais tempo, caso necessário. Incluir detalhadamente também no TCLE.

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coop@utfpr.edu.br

Continuação do Parecer: 7.953.576

[ATENDIDO] 3) Como será feito o convite aos participantes? Forma de recrutamento.

4) Sobre as informações:

[ATENDIDO] a) A participação é totalmente voluntária, sem qualquer tipo de remuneração ou compensação financeira, ...etc. Ao participante é preservado o direito ao ressarcimento e a indenização, previsto em lei. Rever.

[ATENDIDO] b) ...em horários agendados pelos pesquisadores, podendo ser em horários de aula, ...etc. A pesquisa em nenhuma hipótese pode prejudicar o participante, obrigando-o a participar voluntariamente em horário de aula, sobrepondo atividades. O participante subjulga o compromisso da aula para participar da pesquisa. Rever esta etapa.

[ATENDIDO] 5) Como será realizada a higienização dos materiais? Essa informação deve constar na metodologia. Atualmente essa informação está inserida nos riscos. No entanto, se o procedimento de limpeza surge para impedir um risco (contaminação?), a informação deve ser detalhada pois da forma como está colocada, não significa minimização e nem o porquê do procedimento estar sendo oferecido.

[ATENDIDO] 6) Se necessário, rever o cronograma e alterar a data do primeiro recrutamento em todos os documentos pertinentes.

[ATENDIDO] 7) Corrigir os itens modificados em todos os documentos pertinentes.

[ATENDIDO] 8) Solicita-se uma carta resposta, apontando as correções solicitadas e/ou justificativas.

----- RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS PARA A 1ª VERSÃO: -----

[ATENDIDO PARCIALMENTE] 1) Critérios de Inclusão: correto apenas o item 1. Sugere-se complementar os critérios com as seguintes informações: alunos cursando Computação na UTFPR-CP e Tecnologia em Sistemas para Internet na UTFPR-GP (período? ambos os sexos?).

[ATENDIDO] 2) Critérios de Exclusão: correto apenas o item 1. Os itens 2 e 3 configuram

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

direitos inerentes dos participantes da pesquisa, não podendo ser usados como critérios de exclusão.

3) Informações que devem constar na Metodologia:

[ATENDIDO] a) Onde os participantes realizarão o experimento, na universidade? No horário das aulas ou no horário do intervalo?

[ATENDIDO] b) Quanto tempo será dedicado ao experimento e para responder aos questionários?

[ATENDIDO] c) A abordagem dos questionários pré e pós experimento será no mesmo dia da realização do experimento?

[ATENDIDO] d) Haverá um ambiente (sala de aula e/ou laboratório) destinada a realização do experimento?

[PARCIALMENTE ATENDIDO] e) Cada participante assiste o teste ou a realização do experimento do outro participante ou fazem em momentos específicos?

[ATENDIDO] f) Quantos equipamentos serão disponibilizados, um por campus?

[ATENDIDO] g) Terá equipamento para cada participante ou cada participante terá um horário agendado?

[PARCIALMENTE ATENDIDO] h) O participante fará o experimento com a Caneta 01 e em seguida responderá ao questionário pós experimento ou fará todos os três experimentos (caneta 01, caneta 02 e dedo) e só então responderá ao questionário?

[ATENDIDO] i) o pesquisador fará a aplicação do instrumento de coleta de dados com o equipamento nos dois Campus? Não pode terceirizar as etapas.

[ATENDIDO] 4) Sobre os benefícios, é possível conectar os benefícios diretamente com o participante da pesquisa? Por exemplo: os participantes estarão contribuindo para o avanço do conhecimento em técnicas... etc. O benefício não é para os pesquisadores.

[ATENDIDO] 5) No quadro de intervenções: descrever as intervenções que serão realizadas pelos participantes. Por exemplo: responder aos questionários pré e pós teste e realizar o teste pseudo-háptico com as canetas 01 (ponta fina), 02 (ponta de borracha) e dedo.

[ATENDIDO] 6) Se necessário, rever o cronograma e alterar a data do primeiro recrutamento em todos os documentos pertinentes.

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coop@utfpr.edu.br

Continuação do Parecer: 7.953.576

[ATENDIDO] 7) Corrigir os itens modificados em todos os documentos pertinentes.

[ATENDIDO] 8) Solicita-se uma carta resposta, apontando as correções solicitadas e/ou justificativas.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este CEP manifesta-se por APROVAR este projeto. Lembramos aos pesquisadores que no cumprimento das Resoluções 466/2012 CNS, 510/2016 CNS e Norma Operacional 001/2013 CNS, o Comitê de Ética em Pesquisa UTFPR-Curitiba deve receber relatórios anuais sobre o andamento da pesquisa, bem como a qualquer tempo e a critério dos pesquisadores nos casos de relevância, além do envio dos relatos de eventos adversos para conhecimento deste Comitê. Salientamos a obrigatoriedade do envio do relatório final da pesquisa. Eventuais modificações ou emendas ao projeto devem ser apresentadas ao CEP UTFPR-Curitiba de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificado, com as respectivas justificativas apontadas em documento anexo à Plataforma Brasil e na mesma.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2589070.pdf	21/10/2025 19:03:48		Aceito
Outros	CartaResposta_Versao02.pdf	21/10/2025 19:00:29	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito
Outros	Questionarios_Versao04.pdf	21/10/2025 18:59:26	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Versao03.pdf	21/10/2025 18:58:21	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoPlataformaBrasil_Versao03.pdf	21/10/2025 18:58:09	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito
Outros	TelasdaAplicacao_versao03.pdf	13/08/2025 22:04:12	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito
Outros	TermodeCompromissodeconfidencialidadedadosseenviodeRelatrioFinal.pdf	13/08/2025 22:03:16	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

UNIVERSIDADE
TECNOLOGICA FEDERAL DO
PARANÁ - UTFPR



Continuação do Parecer: 7.953.576

Outros	TermoAutorizacaoInstitucional_Guarapu ava.pdf	13/08/2025 07:58:30	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito
Outros	TermoAutorizacaoInstitucional_Cornelio Procopio.pdf	13/08/2025 07:57:43	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRosto_ExperimentodaAmanda_ assinada.pdf	13/08/2025 07:54:29	CLÉBER GIMENEZ CORRÊA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CURITIBA, 06 de Novembro de 2025

Assinado por:
Frieda Saicla Barros
(Coordenador(a))

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165, Bloco L sala 07 (pátio central)

Bairro: REBOUÇAS

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4494

E-mail: coep@utfpr.edu.br

APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Este apêndice apresenta o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) utilizado na pesquisa, o qual foi disponibilizado a todos os participantes antes da realização dos experimentos. O documento contém informações sobre os objetivos do estudo, os procedimentos adotados, possíveis riscos e benefícios, bem como os direitos dos participantes, garantindo sua participação voluntária e informada.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Título da pesquisa: Avaliação da percepção pseudo-háptica em dispositivos de telas sensíveis ao toque com a utilização de canetas

Pesquisadores, endereço e telefone:

- Cléber Gimenez Corrêa, Av. Alberto Carazzai, 1640 - Centro, Cornélio Procópio – PR - Telefone: (43) 3133-3863

- Amanda Carlyne de Lima e Diego Marczal, Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava – PR - Telefone: (42) 3035-8079

Locais de realização da pesquisa:

- Campus Cornélio Procópio - Av. Alberto Carazzai, 1640 - Centro, Cornélio Procópio – PR - Telefone: (43) 3133-3863

- Campus Guarapuava - Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava – PR - Telefone: (42) 3035-8079

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

1. Apresentação da pesquisa.

Esta pesquisa está vinculada ao Programa multicampi de Pós-Graduação em Informática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (PPGI/UTFPR) e tem como objetivo investigar a percepção pseudo-háptica durante interações de usuários ou participantes com dispositivos de telas sensíveis ao toque, percebendo o nível de rigidez de objetos apresentados nas telas por meio de pistas visuais, sem a presença de feedback tátil ou háptico físico. O estudo será conduzido por meio da utilização de uma aplicação desenvolvida especificamente para esse fim, executada em smartphone ou tablet, no qual será possível interagir com objetos virtuais utilizando 2 (dois) tipos de canetas sensíveis ao toque (uma com a ponta de disco, e a outra com uma espécie de borracha na ponta) e o dedo.

2. Objetivo da pesquisa.

Avaliar a percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque, usando diferentes meios de interação (caneta stylus com ponta de disco, caneta stylus com ponta de borracha e dedo) na identificação de níveis distintos de rigidez simulados em objetos virtuais. Ou seja, verificar se a rigidez pode ser percebida por meio do toque de participantes utilizando estímulos visuais simulados (por exemplo, alterações nos objetos virtuais), mesmo na ausência de feedback tátil físico, a partir da interação com objetos virtuais em uma interface touchscreen.

3. Participação na pesquisa.

A participação na pesquisa será presencial, um(a) participante por vez, acompanhado(a) por, pelo menos, um(a) pesquisador(a) presente no local, sendo dividida nas seguintes etapas: **1** - Leitura e concordância com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (4 minutos); **2** - Leitura e preenchimento de 1 (um) questionário pré-experimento (2 minutos), com o objetivo de coletar informações sobre o perfil do(a) participante e suas experiências anteriores com dispositivos de tela sensível ao toque; **3** - Apresentação das instruções referentes à tarefa experimental (2 minutos); **4** - Interação com a aplicação, utilizando 3 (três) diferentes meios de interação (caneta com ponta de disco, caneta com ponta tipo borracha e dedo), para a classificação da rigidez percebida em 5 (cinco) objetos virtuais, visualização de um por vez na tela (9 minutos no total ou aproximadamente 3 minutos para cada meio); **5** - Após cada interação com um meio e cinco objetos virtuais, o(a) participante responderá a um questionário específico referente à experiência vivenciada naquele meio (3 minutos no total ou 1 minuto para cada meio). Durante a interação, o(a) participante poderá navegar entre os objetos por meio de botões “voltar” e “próximo”, caso deseje reavaliar algum estímulo. A participação

tem duração prevista de 20 minutos, em salas reservadas pelos pesquisadores na UTFPR (uma por campus), em horários agendados pelos pesquisadores, com equipamentos pertencentes aos pesquisadores (smartphone em Cornélio Procópio e tablet em Guarapuava). No questionário, os níveis de rigidez são: 1 - Muito mole (muito pouco rígido); 2 - Mole (pouco rígido); 3 - Médio (intermediário); 4 - Duro (rígido); 5 - Muito duro (muito rígido). Para exemplificar os níveis, é possível realizar analogias com os seguintes objetos médicos: 1 - Luva cirúrgica (borracha) - Látex. Usada para proteger o profissional e o paciente de contaminações durante procedimentos médicos; 2 - Garrote de látex (borracha elástica) - Látex natural. Faixa elástica usada para comprimir temporariamente um membro (geralmente o braço) e facilitar a visualização e punção de veias; 3 - Cânula de aspiração (plástico flexível) - PVC. Usada para remover secreções da boca ou traqueia; 4 - Seringa (plástico) - Polipropileno. Usada para injetar líquidos (medicamentos, vacinas) ou retirar amostras do corpo; 5 - Bisturi (metal) - Aço cirúrgico. Instrumento de corte usado em cirurgias. Os documentos para preenchimento serão impressos.

4. Confidencialidade.

Todas as informações coletadas ao longo da pesquisa serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, assegurando-se o sigilo e a confidencialidade dos dados. Os(As) participantes não serão identificados nominalmente em nenhuma etapa da pesquisa, nem na divulgação dos resultados. Os dados serão armazenados de forma segura e anônimos. A divulgação dos resultados será feita de forma geral, sem qualquer possibilidade de identificação individual dos(as) participantes.

5. Riscos

Os riscos associados à participação na pesquisa limitam-se, principalmente, ao possível cansaço visual ou desconforto breve durante a realização das tarefas. Para minimizar esses efeitos, serão oferecidas pausas regulares entre as atividades, e os(as) participantes poderão interromper sua participação a qualquer momento, sem prejuízo. Também deve-se mencionar que a cada participante, o dispositivo e a mesa serão higienizados com lenços descartáveis e álcool, para a limpeza e prevenção de doenças (por exemplo, gripe e COVID-19).

6. Benefícios.

Os participantes contribuirão diretamente para o avanço do conhecimento sobre percepção pseudo-háptica, participando dos experimentos e avaliando diferentes formas de interação com dispositivos de tela sensível ao toque. Essas formas de interação poderão ser úteis para desenvolvimento de aplicações de treinamento médico, que envolvem inserção de agulha (anestesia e biópsia). Além disso, os participantes poderão vivenciar novas formas de interação, explorando o efeito de estímulos visuais na percepção tátil, o que pode ampliar sua compreensão prática sobre interfaces digitais e métodos de avaliação de interação humano-computador. A participação também oferece experiência prática em atividades de pesquisa científica, permitindo que os participantes compreendam melhor como estudos experimentais são conduzidos e como dados são coletados e analisados em contextos acadêmicos.

7. Critérios de Inclusão.

Os critérios de inclusão: **1** - Ter 18 (dezoito) anos ou mais; **2** - Ser professor(a), técnico(a) administrativo ou aluno(a) dos campi Cornélio Procópio e Guarapuava da UTFPR.

8. Critérios de Exclusão.

O critério de exclusão: **1** - Apresentar deficiências visuais severas não corrigidas, que possam comprometer a percepção visual dos estímulos propostos na tarefa experimental ou alguma dificuldade para interagir com dispositivos com telas sensíveis ao toque usando o dedo e as canetas.

9. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

O(A) participante tem os direitos de: **1** - Deixar o estudo a qualquer momento; **2** - Receber esclarecimentos em qualquer etapa da pesquisa; **3** - Recusar ou retirar o seu consentimento a qualquer momento, sem penalização; **4** - Receber o resultado desta pesquisa, caso seja de interesse:

- () Quero receber os resultados da pesquisa (e-mail para envio: _____).
- () Não quero receber os resultados da pesquisa.

10. Ressarcimento e indenização.

A participação na pesquisa não acarretará nenhum tipo de despesa ao(à) participante. Ao(À) participante é preservado o direito ao ressarcimento e a indenização, previsto em lei. Indenização por danos **comprovadamente** causados pelo experimento será de incumbência dos pesquisadores.

B) CONSENTIMENTO

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo. Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome Completo: _____

RG: _____ Data de Nascimento: ____/____/____ Telefone: _____

Endereço: _____

CEP: _____ Cidade: _____ Estado: _____

() Declaro estar ciente da minha participação no estudo Data: ____/____/2025

Assinatura do(a) pesquisador(a):

Assinatura do(a) participante:

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar, entrar em contato com Amanda Carlyne de Lima (amandaacarolyne@outlook.com), Cléber G. Corrêa (clebergimenez@utfpr.edu.br) ou Diego Marczal (marczal@utfpr.edu.br).

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos para denúncia, recurso ou reclamações do(a) participante pesquisado: Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR). Endereço: Avenida Sete de Setembro, 3165, Bloco J, Sala 16 (Recepção principal), Curitiba-PR.

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR).

