

Interação pseudo-háptica em dispositivos com tela sensível ao toque usando canetas: mapeamento sistemático da literatura

Amanda Carolyne de Lima¹, Diego Marczal², Cléber Gimenez Corrêa¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio
Av. Alberto Carazzai, 1640 - Centro - 86300-000 - Cornélio Procópio - PR - Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava
Av. Profa. Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial - 85053-525 - Guarapuava - PR - Brasil

amandaacarolyne@outlook.com, {diegomarczal, clebergimenez}@utfpr.edu.br

Abstract. *This study presents a systematic mapping of the literature on pseudo-haptic interaction in touchscreen devices using styluses, resulting in five selected studies. The results indicate that alterations in graphical interfaces are the main strategy for simulating haptic sensations, even without the use of physical actuators, with a predominance of visual stimuli. The use of tablets and touchpads was verified, but smartphones were not identified. Gaps were also observed regarding the use of styluses and the standardization of metrics. Despite the small number of studies, the viability of pseudo-haptic interaction was evidenced, with potential in applications such as medical training.*

Resumo. *Este estudo apresenta um mapeamento sistemático da literatura sobre interação pseudo-háptica em dispositivos com tela sensível ao toque utilizando canetas, resultando em cinco estudos selecionados. Os resultados indicam que alterações nas interfaces gráficas são a principal estratégia para simular sensações hápticas, mesmo sem o uso de atuadores físicos, com predominância de estímulos visuais. Verificou-se o uso de tablets e touchpads, sem identificação de smartphones. Também foram observadas lacunas quanto ao uso de canetas e à padronização de métricas. Apesar do número reduzido de estudos, evidenciou-se a viabilidade da interação pseudo-háptica, com potencial em aplicações como treinamento médico.*

1. Introdução

A Interação Humano-Computador (IHC) tem se consolidado como uma área central no desenvolvimento de sistemas interativos, especialmente com o uso crescente de dispositivos de tela sensível ao toque, como *smartphones*, *tablets* e quiosques de informação [Kuhn 2020, Lévy 2010]. Esses dispositivos mudaram a forma como os usuários acessam informações, realizam tarefas e interagem com sistemas digitais, tornando essencial o projeto de interfaces que proporcionem experiências naturais, eficientes e satisfatórias.

Apesar do avanço tecnológico, as interações em telas sensíveis ao toque ainda apresentam limitações, principalmente devido à ausência de feedback tátil. Retornos hápticos são importantes em tarefas que exigem precisão e controle motor, como a escrita digital, o desenho ou a manipulação de objetos virtuais [Manuel and da Costa Adaniya 2024, Rocha et al. 2016]. Sem esse retorno, a usabilidade e a naturalidade da interação podem ser comprometidas.

Dispositivos hápticos dedicados têm sido explorados, especialmente na área médica, para treinamento em procedimentos delicados, como cirurgias minimamente invasivas [Souza Júnior 2018]. No entanto, esses dispositivos apresentam limitações de custo, complexidade e disponibilidade, especialmente para uso móvel. A percepção pseudo-háptica apresenta-se como uma alternativa para simular sensações táteis sem necessidade de atuadores físicos [Xavier et al. 2024]. Por meio de estímulos visuais e do controle do movimento, é possível criar ilusões de resistência, rigidez ou textura, ampliando as possibilidades de interação em telas sensíveis ao toque.

O uso de canetas em dispositivos *touchscreen* configura-se como um caso promissor dessa abordagem. Mesmo sem feedback físico, a combinação de movimentos da caneta e respostas visuais permite que usuários percebam diferentes níveis de controle e resistência em tarefas de precisão [Arasan et al. 2021]. Essa técnica pode melhorar a experiência em escrita digital, desenho e manipulação gráfica.

Apesar do potencial, o uso de pseudo-háptica com canetas ainda é pouco explorado. Estudos existentes sobre feedback háptico mostram benefícios em diversos domínios, mas o uso de pseudo-háptica em dispositivos móveis permanece limitado [Hashimoto et al. 2018]. A ausência de feedback tátil mantém diferenças significativas entre interações físicas e digitais, impactando a eficiência e o realismo em tarefas de precisão [Cho et al. 2016]. A introdução de uma caneta como instrumento de interação adiciona complexidade, exigindo que o usuário interprete estímulos visuais sem sensações físicas reais [Sim et al. 2021].

Este trabalho investiga técnicas pseudo-hápticas em interações com canetas em telas sensíveis ao toque, com o objetivo de compreender dispositivos, tipos de interação, formas de implementação e características hápticas, bem como métricas de avaliação, testes e resultados. Para isso, é utilizado um mapeamento sistemático da literatura, contribuindo para consolidar o estado da arte e apontar lacunas e oportunidades de pesquisa.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica, abordando os conceitos de interação háptica e pseudo-háptica; a Seção 3 descreve o mapeamento sistemático da literatura, incluindo o protocolo adotado, as estratégias de busca e seleção dos estudos; a Seção 4 apresenta os resultados obtidos a partir da análise dos estudos selecionados; a Seção 5 discute as tendências, desafios e oportunidades de pesquisa identificadas; a Seção 6 aborda as ameaças à validade do estudo, destacando limitações relacionadas à seleção dos estudos, à extração de dados e à generalização dos resultados; e, por fim, a Seção 7 apresenta as considerações finais e as perspectivas para trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

Esta seção apresenta os conceitos centrais de interação háptica e pseudo-háptica, com ênfase nas abordagens utilizadas para a simulação de sensações táteis em interfaces digitais. São discutidos os princípios que fundamentam a percepção háptica em ambientes computacionais, especialmente no contexto de dispositivos de tela sensível ao toque e no uso de canetas digitais, que têm se tornado cada vez mais presentes em aplicações interativas. Além disso, a seção busca contextualizar como essas tecnologias e técnicas permitem enriquecer a experiência do usuário, ampliando a percepção sensorial mesmo na ausência de dispositivos hápticos especializados.

A interação háptica refere-se a tecnologias que permitem a simulação do sentido do tato em ambientes computacionais, possibilitando que usuários percebam propriedades físicas de objetos virtuais, como textura, rigidez, vibração, força e temperatura [Ziat 2023]. Essas tecnologias utilizam estímulos físicos gerados por dispositivos específicos, denominados dispositivos hápticos, que fornecem feedback tátil ou cinestésico durante a interação.

Essas tecnologias são amplamente aplicadas em domínios que exigem precisão e realismo, como simuladores médicos, reabilitação física, entretenimento digital e treinamento profissional [Banter 2010, Licona et al. 2020]. Entretanto, a adoção de dispositivos hápticos dedicados ainda enfrenta desafios relacionados ao custo, à complexidade técnica, ao consumo energético e às limitações de portabilidade, especialmente no contexto de dispositivos móveis [Wee et al. 2021].

Essas limitações motivaram o desenvolvimento de abordagens alternativas para a simulação de sensações táteis, como a interação pseudo-háptica, que se destaca por possibilitar a criação de experiências sensoriais mais acessíveis e compatíveis com dispositivos amplamente disponíveis. Isso facilita sua adoção e permite sua utilização em dispositivos comuns, como *smartphones* e *tablets*, sem a necessidade de equipamentos adicionais.

A interação pseudo-háptica consiste em uma abordagem voltada à indução de sensações táteis por meio de estímulos visuais e motores, sem a aplicação de estímulos físicos reais [Lécuyer 2009]. Essa técnica explora a dominância visual no sistema perceptivo humano, segundo a qual informações visuais podem influenciar ou até substituir a percepção tátil durante a interação com objetos virtuais [Abtahi and Follmer 2018].

Os primeiros estudos sobre pseudo-háptica demonstraram que manipulações visuais simples, como a alteração da velocidade ou do deslocamento de objetos virtuais, podem gerar a sensação de resistência, peso ou rigidez [Ujitoko and Ban 2021]. Pesquisas subsequentes aprofundaram esse conceito ao explorar como variáveis visuais, como aceleração, deformação e resposta ao movimento, influenciam a intensidade e o realismo das sensações simuladas [Li et al. 2016].

3. Mapeamento Sistemático da Literatura

A identificação dos estudos relacionados a esta pesquisa foi conduzida por meio de um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), com o objetivo de investigar a utilização da interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com canetas como meio de interação, permitindo caracterizar o estado da arte sobre o tema.

O MSL constitui uma abordagem metodológica voltada à identificação, à análise e à organização da produção científica existente em um domínio específico [Kitchenham et al. 2009]. Diferentemente de revisões tradicionais da literatura, que geralmente se concentram em questões de pesquisa mais restritas e em um conjunto limitado de estudos, o MSL busca oferecer uma visão ampla e sistemática do corpo de conhecimento disponível em determinada área.

Neste trabalho, o MSL foi conduzido com o propósito de responder à questão de pesquisa: **Como está o estado da arte sobre interação pseudo-háptica utilizando canetas de dispositivos com telas sensíveis ao toque?** Para isso, foi utilizada a ferra-

menta *Parsifal*¹, que possibilita o registro estruturado das decisões metodológicas, bem como a organização das etapas de busca, seleção e extração de dados. Para garantir a transparência e a reprodutibilidade do estudo, todos os dados e artefatos produzidos ao longo das etapas do MSL, incluindo o protocolo e a lista de estudos selecionados, foram disponibilizados em um repositório científico aberto, acessível por meio do DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19488071>².

3.1. *String* e Bases de Busca

A identificação dos estudos relevantes foi realizada por meio da definição e aplicação de uma *string* de busca específica, adotando-se “*pseudo-haptic*” *AND pen*, por reunir os termos centrais relacionados à investigação da interação pseudo-háptica com o uso de canetas em dispositivos de tela sensível ao toque. Essa combinação de termos visou maximizar a recuperação de trabalhos diretamente relacionados ao tema, evitando a inclusão de palavras-chave genéricas. Termos associados a tipos específicos de dispositivos, como *tablets*, não foram incorporados à *string*, visto que buscas exploratórias indicaram que esses dispositivos são abordados de forma recorrente nos estudos sobre interação pseudo-háptica, não sendo necessário restringir a consulta por esses termos.

A recuperação dos estudos foi conduzida em bases de dados amplamente utilizadas na área de computação, incluindo *ACM Digital Library*³, *Google Scholar*⁴, *IEEE Xplore Digital Library*⁵, *ScienceDirect*⁶, *Scopus*⁷ e *SpringerLink*⁸. Essas bases foram selecionadas por indexarem estudos de periódicos e anais de conferências relevantes para pesquisas em computação e engenharia, conforme recomendado na literatura de revisões sistemáticas na área [Petersen et al. 2015], oferecendo mecanismos de busca e filtragem que favorecem a recuperação de estudos alinhados ao escopo desta investigação. Dessa forma, amplia-se a cobertura da literatura sobre interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com o uso de canetas.

3.2. Estratégia de Seleção

A seleção dos estudos recuperados nas bases de busca baseou-se na definição de critérios de exclusão (CE), os quais foram utilizados como mecanismo principal para eliminar trabalhos que não se enquadravam no escopo desta pesquisa. Esses critérios foram estabelecidos com o objetivo de garantir consistência e rigor ao processo de seleção, permitindo a filtragem sistemática de estudos irrelevantes ou desalinhados com os requisitos definidos. Dessa forma, buscou-se assegurar que apenas trabalhos diretamente relacionados ao tema investigado fossem considerados nas etapas subsequentes da análise.

Os critérios de exclusão foram: **CE1** – Estudos publicados em idiomas diferente do inglês; **CE2** – Estudos cujo título e resumo não apresentam relação com o tema inves-

¹Ferramenta *online* desenvolvida para apoiar pesquisadores na condução de revisões e mapeamentos sistemáticos da literatura. Disponível em: <https://parsif.al/>

²Zenodo é um repositório científico de acesso aberto que permite o compartilhamento e a preservação de dados de pesquisa, atribuindo identificadores persistentes (DOI) aos materiais depositados.

³<https://dl.acm.org/>

⁴<https://scholar.google.com/>

⁵<https://ieeexplore.ieee.org/>

⁶<https://www.sciencedirect.com/>

⁷<https://www.scopus.com/>

⁸<https://link.springer.com/>

tigos; **CE3** – Estudos publicados em livros, capítulos de livros ou resumos de artigos; **CE4** – Estudos que não abordam métodos de avaliação da interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com o uso de canetas; **CE5** – Estudos que não descrevem estratégias de implementação da interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com o uso de canetas; e **CE6** – Estudos duplicados ou que apresentam informações insuficientes para análise. Os critérios CE4 e CE5 foram aplicados conjuntamente, de modo que um estudo foi excluído apenas quando não contemplava simultaneamente aspectos de avaliação e de implementação da interação pseudo-háptica.

3.3. Resultados da Busca

As buscas com a *string* definida na Seção 3.1 foram realizadas em todas as bases já descritas anteriormente. Ao todo, foram recuperados 540 estudos, sendo a maioria proveniente do *Google Scholar* (430), seguida por *ACM Digital Library* (76), *SpringerLink* (17), *ScienceDirect* (10), *Scopus* (6) e *IEEE Xplore Digital Library* (1*).

Observou-se variação no número de resultados retornados pela *IEEE Xplore Digital Library*, indicada por um asterisco. Em algumas execuções da mesma *string*, a plataforma retornou um único estudo, enquanto em outras não foram apresentados resultados. Essa oscilação não compromete o processo metodológico, uma vez que todas as consultas foram documentadas para garantir o controle interno e a reprodutibilidade do estudo, além de possibilitar a rastreabilidade das buscas realizadas e a verificação dos procedimentos adotados ao longo do mapeamento.

Após essa etapa inicial, o processo de seleção foi conduzido com base nos critérios de exclusão previamente definidos. A aplicação sequencial desses critérios resultou na filtragem gradual dos estudos em cada base de busca, reduzindo significativamente o número de trabalhos incluídos na análise final e garantindo que apenas aqueles alinhados aos objetivos da pesquisa fossem considerados, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Estudos retornados: *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		

O processo de seleção dos estudos iniciou-se com a aplicação do critério CE6, que contempla a identificação de registros duplicados ou com informações insuficientes para análise. A ferramenta *Parsifal* foi utilizada para apoiar a detecção automática dessas duplicidades. Nessa fase, 67 estudos foram excluídos, permanecendo 473 registros para as etapas subsequentes. Em seguida, aplicou-se o critério CE1, resultando na exclusão de 33 trabalhos publicados em idiomas diferentes do inglês. Com isso, 440 estudos foram mantidos para análise. O critério CE2 levou à exclusão de 435 registros cujos títulos e resumos não indicavam aderência ao escopo da pesquisa.

Após a aplicação dos três primeiros critérios, o conjunto inicial de 540 estudos foi reduzido a cinco trabalhos. Esses registros permaneceram elegíveis após a aplicação dos critérios CE3, CE4 e CE5. Ressalta-se que os estudos apresentados na Tabela 1 referem-se à etapa inicial de busca. O conjunto final de estudos analisados foi definido após a aplicação das etapas de *snowballing* e critérios de elegibilidade. Todos os processos de *snowballings* serão detalhados a seguir, seguindo a mesma configuração da Tabela 1.

Em seguida, foi empregada a técnica de *Backward Snowballing*⁹, com o objetivo de ampliar a cobertura do mapeamento por meio da análise das referências bibliográficas dos estudos selecionados na etapa anterior. Diferentemente da busca automatizada, essa etapa foi conduzida manualmente, sem o apoio da ferramenta *Parsifal*. O *Backward Snowballing* (denominado *Snowballing* 01) identificou 114 estudos adicionais a partir das referências dos trabalhos selecionados, distribuídos por fonte, da seguinte forma: *ACM Digital Library* (31), *IEEE Xplore Digital Library* (26), *ScienceDirect* (45), *SpringerLink* (2) e “Outros” (10), incluindo bases de dados como *eCommons*, *Europe PubMed Central* e *Taylor & Francis Online*.

De forma análoga à busca pela *string*, os 114 estudos foram submetidos aos critérios de exclusão. Não houve exclusões pelo CE6, porém, um estudo foi removido pelo CE1 e 110 pelo CE2, restando três trabalhos aceitos. Em continuidade, o *Snowballing* 02 analisou as referências desses três estudos, recuperando 57 estudos das mesmas bases utilizadas na etapa anterior. Três foram excluídos pelo CE6, nenhum pelo CE1, e 50 pelo CE2. Em seguida, um estudo foi removido pelo CE3 e outro pelo CE4, restando dois trabalhos aceitos ao final do processo.

Com o objetivo de verificar as referências dos estudos aceitos no *Snowballing* 02, realizou-se o *Snowballing* 03. Foram identificados 15 estudos, distribuídos entre: *ACM Digital Library* (9), *IEEE Xplore Digital Library* (4), *ScienceDirect* (1) e “Outros” (1). Todos foram excluídos pelo CE2, pois títulos e resumos não apresentavam aderência ao escopo da pesquisa. Assim, o *Snowballing* 03 não incorporou novos estudos.

Durante a revisão, a literatura indicou a existência de estudos adicionais, obtidos por meio de buscas exploratórias, enquanto o mapeamento era conduzido, considerados estudos complementares ao conjunto inicialmente selecionado [Bispo 2023]. Nesse contexto, um estudo complementar foi incorporado, descrevendo o *FeelPen*, uma caneta háptica capaz de reproduzir propriedades táteis multimodais, como rugosidade, fricção e temperatura, em dispositivos de tela sensível ao toque. Experimentos psicofísicos realizados pelos autores confirmaram a viabilidade de gerar texturas perceptíveis pelos usuários [Kodak and Vardar 2023].

Por fim, foi conduzido o *Snowballing* 04 a partir das referências do estudo complementar identificado. Foram recuperados 57 estudos provenientes das bases *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore Digital Library*, *ScienceDirect*, *SpringerLink* e da categoria “Outros”. A aplicação do CE6 resultou na exclusão de dois estudos duplicados, seguida da remoção de um estudo pelo CE1, por ter sido publicado em idioma diferente do inglês. Na aplicação do CE2, 54 estudos foram excluídos por não apresentarem aderência temática nos títulos e resumos. Nenhum estudo permaneceu aceito ao final desta etapa.

⁹*Backward Snowballing*: estratégia de identificação de novos estudos a partir das listas de referências dos trabalhos previamente selecionados.

Considerando todas as etapas do MSL, 11 estudos foram inicialmente classificados como aceitos após a aplicação dos critérios de exclusão. No entanto, esses estudos passaram por uma etapa de refinamento com a leitura integral dos documentos. Nessa fase, verificou-se que apenas quatro trabalhos abordavam diretamente a percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com o uso de canetas como meio de interação. Os demais estudos, embora inicialmente elegíveis, apresentavam foco em canetas com adaptações, com a adição de hardware para feedback físico, não atendendo plenamente ao escopo definido. Os estudos selecionados são: Estudo 01: [Li et al. 2014], Estudo 02: [Rocchesso et al. 2016], Estudo 03: [Nomoto et al. 2016], e Estudo 04: [Takamuku and Gomi 2015].

Com a finalização da análise dos quatro estudos selecionados, foi realizado o *Forward Snowballing*, com o objetivo de identificar trabalhos que citaram os estudos previamente aceitos. Nessa etapa, foram identificados 16 estudos no *Google Scholar*, 10 na *ScienceDirect* e 10 na *Scopus*. Todos os estudos das duas últimas bases foram excluídos pelo CE6. Nenhum estudo foi removido pelo CE1; entretanto, os 16 estudos do *Google Scholar* foram eliminados pelo CE2 por não abordarem especificamente a percepção pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque com canetas. Assim, o *Snowballing 05* foi concluído sem a inclusão de novos estudos.

Após a finalização do processo de busca por estudos relevantes, foi identificado, pela segunda vez, um artigo adicional, escrito por [Ujitoko et al. 2019], que realiza uma revisão da literatura sobre interação pseudo-háptica, sem foco específico no uso de canetas [Xavier et al. 2024]. A análise do estudo, segundo os critérios de exclusão, resultou em sua aceitação, por abordar diretamente o tema investigado. A partir desse trabalho, realizou-se uma busca direta por suas referências (*Forward Snowballing*), constatando-se que os estudos encontrados não apresentavam relação com o escopo da pesquisa. Dessa forma, ao término desse processo, o conjunto de estudos relacionados à pesquisa passou a contar com cinco trabalhos, fortalecendo a base teórica e ampliando a compreensão sobre o tema, além de contribuir para uma visão mais consolidada e estruturada do estado da arte na área investigada.

4. Resultados

Para responder à questão de pesquisa, na Tabela 2 é apresentada uma comparação dos cinco estudos selecionados, considerando dispositivos, experimentos com grupos de participantes e diferentes objetos/superfícies digitais, características hápticas, implementações pseudo-hápticas, métricas, testes estatísticos e principais resultados. Essa comparação permite uma análise estruturada dos trabalhos, evidenciando semelhanças, diferenças e lacunas existentes na literatura, além de contribuir para uma compreensão mais abrangente das abordagens adotadas na área.

Tabela 2. Tabela comparativa dos 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
Superfícies e objetos	Superfícies virtuais macias com inclusões rígidas	Trajatória 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> .
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

Características	Estudo 01	Estudo 02	Estudo 03	Estudo 04	Estudo 05
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

O **Estudo 1** aborda uma técnica de retorno pseudo-háptico na qual ocorre a interação entre uma ferramenta rígida e uma superfície macia, com foco na detecção de inclusões rígidas em superfícies virtuais, considerando aplicações em simulações médicas [Li et al. 2014]. A pesquisa concentrou-se na avaliação da percepção pseudo-háptica com diferentes dispositivos, incluindo *tablets* com caneta *S-Pen*, toque direto com os dedos e *touchpad* sensível à pressão.

O método envolveu a simulação de superfícies com regiões de maior resistência ao toque, nas quais os participantes buscavam identificar essas áreas a partir de estímulos visuais e táteis. A interação foi modelada com dois vetores de força, representando pressão vertical (indentação) e movimento horizontal (rolamento deslizante), enquanto um avatar esférico auxiliava visualmente a percepção da rigidez.

Os participantes foram organizados em dois grupos com diferentes níveis de experiência em palpação, permitindo analisar possíveis influências desse fator. Os resultados indicaram maior precisão com o uso da caneta *S-Pen* em comparação ao toque direto e ao *touchpad*, sugerindo que dispositivos intermediários podem aprimorar a percepção pseudo-háptica, especialmente em tarefas que exigem maior sensibilidade e controle motor, contribuindo para uma interação mais precisa e consistente em ambientes digitais.

De forma semelhante, o **Estudo 2** propõe um sistema de feedback pseudo-háptico voltado à exploração de texturas em ambientes virtuais com o uso de caneta, investigando a influência de diferentes modalidades sensoriais. A sensação pseudo-háptica é induzida por alterações sincronizadas em estímulos visuais, auditivos e vibratórios durante a interação [Rocchetto et al. 2016].

O experimento envolveu participantes percorrendo trajetórias delimitadas por superfícies texturizadas em uma mesa digitalizadora, sob condições unimodais e multimodais. As métricas incluíram tempo de execução, erro de trajetória e controle da força aplicada, além de questionários para avaliação subjetiva.

Os resultados mostraram desempenho superior nas condições multimodais, com

redução do erro e do tempo de execução, além de percepção mais clara das variações texturais. Esses achados indicam que a combinação de estímulos pode favorecer a integração perceptiva e aprimorar a experiência pseudo-háptica, embora ainda existam limitações relacionadas à dependência da qualidade dos estímulos.

Ainda no contexto de estímulos predominantemente visuais, o **Estudo 3** investiga o suporte a tarefas manuais de alta precisão por meio de interação visuo-háptica em realidade mista, sem o uso de dispositivos hápticos mecânicos [Nomoto et al. 2016]. A abordagem consiste na aplicação de deslocamentos visuais no movimento da mão do usuário, com base em ganhos que amplificam o desvio em relação a trajetórias predefinidas. Os resultados indicaram que ganhos moderados proporcionaram melhor equilíbrio entre precisão e tempo de execução, evidenciando que a manipulação visual pode contribuir para a correção do movimento.

Essa relação entre percepção e estímulos visuais também é observada no **Estudo 4**, que investiga como atrasos visuais em cursores controlados por caneta podem gerar a percepção de resistência [Takamuku and Gomi 2015]. Os resultados mostraram que essa percepção está associada à aceleração visual do cursor atrasado, e não aos erros físicos do movimento, sugerindo que o sistema perceptivo realiza estimativas com base na dinâmica visual, reinterpretando os sinais sensoriais disponíveis para construir a sensação de interação com propriedades físicas.

Por fim, o **Estudo 5** investiga a indução da sensação de atrito estático em superfícies virtuais por meio de interação pseudo-háptica visual. O sistema aplica travamentos e deformações no ponteiro virtual, simulando a transição *stick-slip* durante o movimento [Ujitoko et al. 2019]. Os resultados mostraram que a manipulação visual foi capaz de induzir a percepção de resistência, sendo reforçada por elementos adicionais, como a presença de uma corda virtual.

Todos os cinco estudos analisados indicam que a interação pseudo-háptica pode ser induzida principalmente por meio da manipulação de estímulos visuais e, em alguns casos, pela combinação com outras modalidades sensoriais. Observa-se também que o uso de canetas tende a favorecer maior precisão na interação, contribuindo para a percepção das propriedades simuladas. Contudo, ainda existem limitações relacionadas à ausência de feedback físico real e à dependência dos estímulos utilizados [Hashimoto et al. 2018].

5. Tendências, Desafios e Oportunidades de Pesquisa

Apesar do crescente interesse pela interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque, ainda se observa uma quantidade limitada de estudos publicados, especialmente aqueles que investigam o uso de canetas como instrumento de entrada. Considerando que as canetas são amplamente utilizadas na interação com dispositivos sensíveis ao toque, sem a necessidade de hardware adicional, identifica-se uma **lacuna na literatura quanto ao seu uso nesse contexto**. Essa limitação dificulta a consolidação de métricas, métodos e padrões de avaliação, ao mesmo tempo em que evidencia oportunidades para o desenvolvimento de novas investigações [Lécuyer 2009, Samur 2012].

Verificou-se também que a percepção pseudo-háptica pode ser induzida **mesmo na ausência de atuadores físicos**, o que favorece o desenvolvimento de soluções de baixo custo e com maior liberdade de interação. De modo geral, os estudos analisados utilizam

tablets e *touchpads*, sendo estes últimos capazes de detectar diferentes níveis de pressão. Enquanto alguns trabalhos incorporam motores de vibração para intensificar a sensação tátil, outros demonstram resultados satisfatórios apenas por meio de manipulações visuais, evidenciando o potencial da integração entre diferentes estímulos sensoriais.

Nesse contexto, o uso de estímulos sonoros desponta como uma alternativa promissora para reforçar a percepção pseudo-háptica, possibilitando abordagens multimodais que combinam elementos visuais e auditivos [Kaneko et al. 2022]. Entretanto, ainda há desafios relacionados à forma como esses estímulos podem ser integrados de maneira eficaz, de modo a garantir consistência perceptiva e mensuração adequada dos efeitos.

Outro ponto relevante refere-se aos métodos de avaliação empregados. Observa-se uma **ausência de padronização de métricas**, uma vez que alguns estudos adotam medidas objetivas, como tempo de execução e número de erros, enquanto outros utilizam avaliações subjetivas [Vienne et al. 2014, Williams et al. 2019]. Essa diversidade dificulta a comparação entre os resultados obtidos. Além disso, embora testes estatísticos sejam frequentemente aplicados, a métrica de acurácia não foi identificada nos estudos analisados, evidenciando uma lacuna na forma como o desempenho é mensurado e reforçando a necessidade de definição de métricas mais consistentes e comparáveis para a avaliação da interação pseudo-háptica.

No que diz respeito aos participantes, a maioria dos experimentos foi conduzida com estudantes universitários ou usuários familiarizados com dispositivos de tela sensível ao toque [Sun et al. 2010]. Esse perfil pode limitar a generalização dos resultados para outros públicos. Soma-se a isso a variação no número de participantes entre os estudos, o que pode impactar a robustez das análises estatísticas. Observou-se ainda que **smartphones não foram utilizados** nos experimentos analisados, apesar de sua ampla disseminação, configurando uma oportunidade relevante para pesquisas futuras.

Em termos de aplicação, embora muitos estudos explorem cenários gerais de interação, algumas áreas apresentam potencial mais direto de utilização. Destaca-se a área médica, na qual a interação pseudo-háptica pode ser aplicada em treinamentos de procedimentos, como palpação e cirurgias minimamente invasivas, possibilitando ambientes de aprendizado mais seguros e controlados [Corrêa et al. 2009].

Revisões recentes reforçam a escassez de trabalhos nesse domínio, especialmente no que se refere ao uso de canetas como meio de interação [Shinoda et al. 2022, Uchiyama and Kajimoto 2021, Ueshiba et al. 2023]. Em conjunto, os achados indicam que as principais tendências concentram-se no uso de estímulos predominantemente visuais, enquanto os desafios envolvem a padronização de métricas, a diversidade dos participantes e a validação dos efeitos perceptivos. Por outro lado, destacam-se como oportunidades de pesquisa o uso de *smartphones*, a exploração de abordagens multimodais e a aplicação em domínios específicos, como saúde e treinamento.

Além disso, os resultados deste mapeamento sistemático fornecem *insights* valiosos tanto para pesquisadores quanto para profissionais de IHC. Para a pesquisa acadêmica, eles ajudam a identificar lacunas, orientar a definição de métricas padronizadas e sugerir novas linhas de investigação, como o uso de *smartphones* ou abordagens multimodais que integrem estímulos visuais, táteis e sonoros. Para a prática profissional, os achados indicam oportunidades para o desenvolvimento de aplicações mais eficazes, segu-

ras e acessíveis que utilizem técnicas pseudo-hápticas, especialmente em domínios como educação, treinamento e saúde. Dessa forma, o estudo contribui não apenas para consolidar o estado da arte, mas também para direcionar futuras iniciativas que explorem o potencial da interação pseudo-háptica em dispositivos de tela sensível ao toque.

6. Ameaças à Validade do Estudo

Este estudo apresenta limitações inerentes à condução de um mapeamento sistemático da literatura, as quais devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Durante a definição da estratégia de busca, a *string* foi construída a partir dos termos centrais relacionados ao tema da pesquisa e refinada por meio de buscas exploratórias preliminares, com o objetivo de equilibrar abrangência e precisão na recuperação dos estudos. Ainda assim, é possível que variações terminológicas não contempladas tenham impactado a identificação de trabalhos relevantes.

A seleção dos estudos foi conduzida com base exclusivamente em critérios de exclusão, adotados para remover trabalhos que não atendiam ao escopo da pesquisa. A não definição explícita de critérios de inclusão deve-se à natureza exploratória do mapeamento, que buscou inicialmente recuperar o maior número possível de estudos potencialmente relevantes, refinando o conjunto por meio da aplicação sucessiva dos critérios de exclusão. Adicionalmente, a premissa era que a área era pouco explorada e que a seleção deveria visar ao maior número possível de trabalhos. Embora essa abordagem seja válida, pode influenciar a composição final do conjunto analisado.

O processo de condução do mapeamento, incluindo as etapas de busca, seleção e extração de dados, foi realizado com o apoio da ferramenta *Parsifal*, contribuindo para a organização e a rastreabilidade das decisões. Ainda assim, a extração e interpretação dos dados envolvem julgamento dos pesquisadores, o que pode introduzir algum grau de subjetividade. Além disso, a escolha das bases de dados, embora baseada em fontes amplamente utilizadas na área, pode ter limitado a recuperação de estudos disponíveis em outros repositórios. A baixa quantidade de trabalhos identificados em determinadas bases, como a *IEEE Xplore Digital Library*, pode estar associada a particularidades de indexação ou à forma como os estudos descrevem suas contribuições.

Por fim, destaca-se que a condução do mapeamento e a análise dos resultados foram realizadas pelos autores deste estudo, o que, embora comum em pesquisas dessa natureza, pode influenciar a interpretação dos dados. Apesar dessas limitações, buscou-se garantir consistência metodológica, transparência e confiabilidade ao longo de todo o processo, por meio da documentação detalhada das etapas realizadas, da aplicação sistemática dos critérios definidos e da organização estruturada dos dados coletados, contribuindo para a reprodutibilidade e a robustez dos resultados apresentados.

7. Conclusão

Este estudo apresentou um MSL sobre a interação pseudo-háptica em dispositivos com tela sensível ao toque, com foco no uso de canetas como instrumento de interação. Os resultados indicam que ainda há poucos estudos na área, evidenciando um campo em desenvolvimento. Observou-se que a maioria das abordagens utiliza estímulos visuais para simular sensações táteis, com menor exploração de outros tipos de feedback, como vibração

e áudio. Também foi identificada diversidade de métodos e métricas de avaliação, o que dificulta a comparação entre os trabalhos.

Apesar dessas limitações, os estudos demonstram que a interação pseudo-háptica pode ser aplicada de forma eficaz, com potencial em diferentes contextos, como educação, jogos e simulação médica. Como contribuição, este trabalho organiza e sintetiza o estado da arte, evidenciando lacunas, especialmente relacionadas ao uso de canetas, e apontando direções para futuras pesquisas na área de IHC.

Referências

- Abtahi, P. and Follmer, S. (2018). 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.
- Arasan, A., Basdogan, C., and Sezgin, T. M. (2021). Haptistylus: A novel stylus capable of displaying movement and rotational torque effects. *arXiv preprint arXiv:2104.01088*.
- Banter, B. (2010). Touch screens and touch surfaces are enriched by haptic force-feedback. *Information Display*, 26(3):26–30.
- Bispo, M. d. S. (2023). Um olhar crítico sobre a prática de revisão de literatura. *Revista de Administração Contemporânea*, 27(6).
- Cho, Y., Bianchi, A., Marquardt, N., and Bianchi-Berthouze, N. (2016). 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*, UIST '16, page 195–205, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Corrêa, C. G., Nunes, F. L., Bezerra, A., and Carvalho Jr, P. M. (2009). Evaluation of vr medical training applications under the focus of professionals of the health area. In *Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing*, pages 821–825.
- Hashimoto, T., Narumi, T., Nagao, R., Tanikawa, T., and Hirose, M. (2018). Content-aware browsing by pseudo-haptic feedback on touch screens. *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, 23(3):139–148.
- Kaneko, S., Yokosaka, T., Kajimoto, H., and Kawabe, T. (2022). A pseudo-haptic method using auditory feedback: The role of delay, frequency, and loudness of auditory feedback in response to a user's button click in causing a sensation of heaviness. *IEEE Access*, 10:50008–50022.
- Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., and Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, 51(1):7–15.
- Kodak, B. and Vardar, A. (2023). Feelpen: Haptic stylus displaying multimodal texture feels. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 28(5):2930 – 2940.
- Kuhn, P. (2020). Interação humano-computador mediada pela inteligência artificial: a experiência de usuário com assistentes pessoais virtuais.

- Lécuyer, A. (2009). Simulating haptic feedback using vision: A survey of research and applications of pseudo-haptic feedback. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 18(1):39–53.
- Lévy, P. (2010). *As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática*. Editora 34.
- Li, M., Ridzuan, M. B., Sareh, S., Seneviratne, L. D., Dasgupta, P., and Althoefer, K. (2014). Pseudo-haptics for rigid tool/soft surface interaction feedback in virtual environments. *Mechatronics*, 24(8):1092–1100.
- Li, M., Sareh, S., Xu, G., Ridzuan, M. B., Luo, S., Xie, J., Wurdemann, H., and Althoefer, K. (2016). Evaluation of pseudo-haptic interactions with soft objects in virtual environments. *PLoS One*, 11(6):e0157681.
- Licona, A. R., Liu, F., Pinzon, D., Torabi, A., Boulanger, P., Lelevé, A., Moreau, R., Pham, M. T., and Tavakoli, M. (2020). Applications of haptics in medicine. *Haptic Interfaces for Accessibility, Health, and Enhanced Quality of Life*, pages 183–214.
- Manuel, D. A. and da Costa Adaniya, M. H. A. (2024). Programação tátil. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, 40(especial):229–246.
- Nomoto, A., Ban, Y., Narumi, T., Tanikawa, T., and Hirose, M. (2016). Supporting precise manual-handling task using visuo-haptic interaction. In *AH 2016: Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Augmented Human*, pages 1–10, Geneva, Switzerland. ACM.
- Petersen, K., Vakkalanka, S., and Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and software technology*, 64:1–18.
- Rocchesso, D., Delle Monache, S., and Papetti, S. (2016). Multisensory texture exploration at the tip of the pen. *International Journal of Human-Computer Studies*, 85:47–56. Data Sonification and Sound Design in Interactive Systems.
- Rocha, E. M. C., Padovani, S., et al. (2016). Usabilidade e acessibilidade em smartphones: identificação de características do envelhecimento e suas implicações para o design de interface de smartphone. *Blucher Design Proceedings*, 2(9):3192–3204.
- Samur, E. (2012). *Performance Analysis of Pseudo-Haptics for Stiffness Perception*. Springer.
- Shinoda, S., Yoshida, S., and Kiyokawa, K. (2022). Pseudo-haptic feedback using audio for enhanced touch interaction. In *Proceedings of the 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 546–555, Christchurch, New Zealand. IEEE.
- Sim, J., Yim, Y., and Kim, K. (2021). A review of the stylus system to enhance usability through sensory feedback. *The South African Journal of Industrial Engineering*, 32(1):71–85.
- Souza Júnior, V. D. d. (2018). Simulação de realidade virtual imersiva no procedimento de punção venosa periférica para coleta de sangue a vácuo.

- Sun, F., Chen, X., and Ngu, A. (2010). Force feedback on touch screens: Evaluation of tactile perception and comfort. In *World Haptics Conference (WHC)*, pages 45–50. IEEE.
- Takamuku, S. and Gomi, H. (2015). 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*, 282(1818):20150864.
- Uchiyama, Y. and Kajimoto, H. (2021). Survey of pseudo-haptics: Haptic feedback design and application proposals. *Frontiers in Virtual Reality*, 2:16.
- Ueshiba, T., Ujitoko, Y., Kamuro, S., and Kajimoto, H. (2023). Pseudo-haptics: A survey on human–computer interaction in extended reality and teleoperation. *Frontiers in Virtual Reality*, 4:1175160.
- Ujitoko, Y. and Ban, Y. (2021). Pseudo-haptic research: Haptic feedback design and application proposals. *IEEE Transactions on Haptics*, 14(4):699–711.
- Ujitoko, Y., Ban, Y., and Hirota, K. (2019). Presenting static friction sensation at stick-slip transition using pseudo-haptic effect. In *2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pages 181–186.
- Vienne, C., Martin, J.-C., Nigay, L., and Lécuyer, A. (2014). Effects of pseudo-haptic feedback on the perception of virtual textures. *IEEE Transactions on Haptics*, 7(4):397–408.
- Wee, C., Yap, K. M., and Lim, W. N. (2021). Haptic interfaces for virtual reality: Challenges and research directions. *IEEE access*, 9:112145–112162.
- Williams, L., Szafir, D., and Höllerer, T. (2019). Evaluation methods for pseudo-haptic feedback: A review. *IEEE Transactions on Haptics*, 12(2):109–121.
- Xavier, R., Silva, J. L., Ventura, R., and Jorge, J. A. P. (2024). Pseudo-haptics survey: Human-computer interaction in extended reality and teleoperation. *IEEE Access*, 12:80442–80467.
- Ziat, M. (2023). Haptics for human-computer interaction: From the skin to the brain. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 17(1-2):1–194.