

Desenvolvimento de uma Maquete Vibrotátil para Acompanhamento Imersivo de Futebol por Pessoas com Deficiência Visual: Um Relato de Experiência em IHC

Ana Grasielle Dionísio Corrêa^{1,2}, Gabriel Belapetravicius Dias¹,
Raphael Gueleri Kalaes¹, Bruno da Silva Rodrigues²

¹Instituto Mauá de Tecnologia - IMT
Praça Mauá, 1 - Mauá, CEP: 09580-900, São Caetano do Sul, SP, Brasil

²Universidade Presbiteriana Mackenzie - UPM
Rua da Consolação, 139, CEP: 01302-907, São Paulo, SP, Brasil

ana.correa@maua.br, {ana.correa, bruno.rodrigues}@mackenzie.br

Abstract. Introduction: Following soccer matches can be challenging for people with Visual Impairments (VI), requiring accessible resources to enhance the experience. **Objective:** This study aimed to develop and evaluate a vibrotactile model to represent the ball's trajectory in goal plays. **Methodology:** A User-Centered Design approach was adopted, including interviews, Arduino prototyping, and tests with participants (two with VI and 12 without VI). The evaluation metrics were accuracy, satisfaction, and qualitative feedback. **Results:** High accuracy rates, overall positive satisfaction, and reports of ease of use and tactile understanding of the game indicate that the model is promising for sports inclusion and accessibility.

Keywords Visual Impairment, Accessibility, Tactile Feedback, Football.

Resumo. Introdução: Acompanhar partidas de futebol pode ser um desafio para pessoas com Deficiência Visual (DV), exigindo recursos acessíveis que ampliem a experiência. **Objetivo:** Este estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar uma maquete vibrotátil para representar o trajeto da bola em jogadas de gol. **Metodologia.** Foi adotado o Design Centrado no Usuário, incluindo entrevistas, prototipagem em Arduino e testes com participantes (dois com DV e 12 sem DV). As métricas de avaliação foram precisão, satisfação e feedback qualitativo. **Resultados:** alta taxa de acertos, satisfação geral positiva e relatos de facilidade de uso e compreensão tátil do jogo indicando que a maquete é promissora para inclusão e acessibilidade esportiva.

Palavras-Chave Deficiência Visual, Acessibilidade, Feedback Tátil, Futebol.

1. Introdução

A inclusão de pessoas com Deficiência Visual (DV) no mundo esportivo tem avançado significativamente ao longo dos anos, impulsionada por inovações tecnológicas, adaptações e uma crescente conscientização sobre a importância da acessibilidade esportiva [Khurana et al., 2021; Jain et al., 2023a]. Modelos 3D táteis, por exemplo, têm se mostrado ferramentas valiosas para auxiliar pessoas cegas na compreensão da disposição espacial de campos e quadras, permitindo a exploração tátil de dimensões e a

localização de elementos essenciais para o entendimento do jogo [Cooper et al., 2022]. Paralelamente, o desenvolvimento de bolas adaptadas, equipadas com recursos auditivos e táteis, facilita a participação de atletas cegos ou com baixa visão na prática esportiva [Villamarín et al., 2021; Yandun et al., 2019; Ikeda et al., 2018].

Apesar desses importantes progressos no esporte, desafios ainda impactam a experiência de pessoas cegas no papel de expectadores [Asakawa et al., 2021; Soares et al., 2023]. A narração esportiva, embora essencial, frequentemente prioriza a transmissão de emoção e informações contextuais, podendo desviar a atenção da dinâmica precisa da ação em campo, como a trajetória da bola e o movimento dos jogadores [Santos 2010]. Essa característica da narração tradicional frequentemente cria um problema significativo na compreensão dos eventos para espectadores com DV, que não podem complementar a informação auditiva com a visual. A representação acessível e em tempo real desses eventos visuais dinâmicos continua sendo um desafio relevante na área da acessibilidade esportiva [Yu et al., 2022].

No Brasil, onde o futebol transcende a categoria de esporte, enraizando-se profundamente na cultura nacional [Franco Jr, 2013], a ausência de mecanismos eficazes para permitir que espectadores com DV acompanhem a trajetória da bola durante as partidas é particularmente sentida [Soares et al., 2023]. Tornar a narração do futebol e outros esportes mais acessíveis é fundamental para garantir que todos possam desfrutar plenamente da experiência esportiva e participar ativamente da cultura que os envolve.

Nesse contexto, o presente relato de experiência descreve o processo de desenvolvimento e avaliação de uma maquete vibrotátil projetada para representar o campo de futebol em uma escala reduzida, permitindo que usuários com DV explorem tatilmente seu layout e acompanhem o trajeto da bola por meio de estímulos vibratórios. A solução consiste em uma matriz 3x3 construída em MDF (Figura 1a), onde cada célula integra um motor de vibração controlado por um microcontrolador Arduino. A ativação desses motores é realizada por meio de uma interface gráfica desenvolvida em Python, que apresenta ao usuário uma representação simplificada do campo com áreas clicáveis correspondentes às placas físicas da maquete (Figura 1b). Através dessa interface, um narrador ou seu assistente pode transmitir informações em tempo real sobre a trajetória da bola diretamente para a maquete. Ao selecionar uma dessas áreas na tela, a interface envia um comando via conexão serial ao Arduino, que ativa o motor vibratório correspondente. O sistema permite simular trajetos da bola em jogadas de futebol, oferecendo ao usuário uma experiência interativa e multissensorial que alia percepção tátil e espacial para compreensão da dinâmica do jogo.



Figura 1. (a) Imagem da Maquete vibrotátil; (b) Imagem da Interface Gráfica

A motivação central para o desenvolvimento da maquete vibrotátil reside na busca por proporcionar uma experiência mais imersiva e inclusiva para pessoas com DV. Acreditamos que a tecnologia pode desempenhar um papel fundamental na superação das barreiras de acessibilidade, oferecendo novas formas de interação e compreensão do esporte [Ning et al., 2024]. A maquete surge como uma tentativa de traduzir a dinâmica visual do campo de futebol em estímulos táteis vibratórios, permitindo que os usuários com DV “sintam” o movimento da bola e, consequentemente, acompanhem o desenrolar da partida de uma maneira mais direta e engajadora.

Este artigo relata a experiência de desenvolvimento e os testes iniciais da maquete, com a participação de pessoas cegas e pessoas videntes com os olhos vendados. A participação desses usuários foi fundamental, fornecendo informações essenciais embasadas na teoria da compensação sensorial e nos princípios de acessibilidade tátil, além de suas expectativas específicas em relação ao uso da tecnologia para o acompanhamento esportivo. A avaliação da experiência dos participantes envolveu a mensuração da precisão (através da análise de acertos e erros na identificação do trajeto da bola em diferentes lances de gol) e da satisfação subjetiva mensurada através de questionário. Adicionalmente, foram coletadas respostas a perguntas abertas para identificar aspectos positivos e negativos da experiência. Os resultados dessas avaliações quantitativas e qualitativas foram essenciais para aprimorar a eficácia e a acessibilidade da maquete, ressaltando pontos importantes sobre a percepção dos usuários e compartilhando aprendizados relevantes com a comunidade de pesquisadores e praticantes de IHC interessados em soluções para a inclusão no esporte e em outras áreas.

1.1. Contexto do Relato

O Brasil vibra com o futebol. Seja nas ruas, nos estádios ou nas telas, a paixão pelo esporte permeia a cultura nacional, unindo pessoas de diferentes origens e classes sociais em torno da emoção dos jogos [Franco Jr, 2013]. Mas, para pessoas com DV essa experiência compartilhada muitas vezes se torna inacessível em sua plenitude. A dinâmica visual do jogo, a trajetória da bola, o posicionamento estratégico dos jogadores, elementos fundamentais para a compreensão tática e a emoção do espetáculo, perdem-se em meio à ausência de recursos adequados que traduzam essa informação visual para outras

modalidades sensoriais. Embora a narração radiofônica e televisiva ofereça um panorama do jogo [Santos 2010], a dificuldade em visualizar mentalmente a ação em tempo real limita a imersão e o engajamento desses torcedores.

As partes envolvidas nessa experiência multidisciplinar englobaram alunos e pesquisadores de diferentes instituições e áreas do conhecimento. A Etapa 1, de desenvolvimento da maquete vibrotátil, foi realizado no laboratório Maker dinâmico e inovador pertencente ao Instituto Mauá de Tecnologia (IMT). Este ambiente, criado com o objetivo de fomentar o uso e o ensino de técnicas modernas de fabricação digital, ofereceu a infraestrutura e os recursos necessários para a concepção, prototipagem e construção da matriz MDF 3x3 com os motores de vibração. Alunos do curso de Engenharia de Computação do IMT, imersos nesse ambiente de aprendizado prático e colaborativo, foram os principais responsáveis pela idealização e implementação da primeira versão da maquete. É importante ressaltar que, buscando garantir a relevância e a usabilidade da solução desde as fases iniciais, três participantes com DV foram contactados e envolvidos no processo de desenvolvimento da maquete. A participação desses usuários foi importante nas etapas de brainstorming e de entendimento de expectativas em relação a como a dinâmica do jogo poderia ser melhor representada através do feedback tátil.

A Etapa 2, de testes de usabilidade da maquete com participantes vendados, por sua vez, ocorreu no Laboratório de Sistemas Interativos (LTI) da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). O local proporcionou um espaço controlado e equipado, com mesas, cadeiras e computadores, essencial para a condução dos experimentos de usabilidade. Esse ambiente permitiu a criação de um cenário de teste adequado para a interação dos participantes com a maquete e para a coleta de dados sobre sua experiência.

1.2. Justificativa do Relato

Em primeiro lugar, compartilhar os desafios e as soluções encontradas no processo de desenvolvimento de uma tecnologia acessível para um grupo específico de usuários pode inspirar e guiar outros projetos com foco em inclusão. A descrição detalhada dos materiais, métodos e da interação entre diferentes áreas do conhecimento (engenharia de computação, sistemas de informação, acessibilidade) oferece um caso de estudo concreto sobre como abordar problemas complexos de design em IHC.

Em segundo lugar, a avaliação da usabilidade da maquete com usuários reais, tanto videntes quanto com DV, fornece insights sobre a eficácia da solução e as percepções dos usuários. Mesmo resultados que apontem para a necessidade de melhorias são importantes, pois direcionam o desenvolvimento futuro e oferecem aprendizados sobre as potencialidades e limitações de abordagens táteis e vibratórias na representação de informações dinâmicas.

Por fim, este relato de experiência está diretamente relacionado aos eixos apontados no documento “Grandes Desafios de Pesquisa em Interação Humano-Computador no Brasil (2025–2035)” [Pereira et al., 2024], especialmente no que tange à inclusão social e tecnológica de pessoas com deficiência. A proposta da maquete vibrotátil responde ao desafio de desenvolver tecnologias interativas mais equitativas, sensíveis à diversidade humana e acessíveis em contextos reais, como o entretenimento esportivo. Ao explorar canais sensoriais alternativos (como o tato), aliando o DCU e acessibilidade, o estudo contribui para a criação de interfaces não-visuais inovadoras, alinhadas ao

compromisso da área de IHC com a democratização do acesso à informação, cultura e lazer, temas centrais do documento estratégico para a próxima década. Ao compartilhar essa experiência, esperamos contribuir para uma maior conscientização e para o desenvolvimento de soluções que enriqueçam a vida das pessoas com deficiência.

2. Fundamentação

2.1. Design Centrado no Usuário (DCU) e Acessibilidade em IHC

A acessibilidade em IHC é um campo que busca garantir que sistemas interativos sejam utilizáveis por pessoas com as mais diversas habilidades e características [Shneiderman et al., 2016]. No contexto deste projeto, a acessibilidade foi considerada desde a concepção da interface tátil-vibratória até a elaboração dos protocolos de teste, buscando minimizar barreiras de interação e maximizar a experiência dos participantes com DV. Para tal, foram aplicados os princípios do DCU, uma filosofia de design iterativo que coloca as necessidades, desejos e limitações dos usuários finais no centro de todas as fases do processo de design [Hasani et al., 2020].

A primeira etapa do ciclo de DCU envolve a compreensão aprofundada das características e experiências dos usuários-alvo em busca de compreender suas dificuldades, necessidades e desejos. Isso pode ser feito através de questionários iniciais e, conforme sugerido por Beneteau (2020), técnicas de entrevistas e discussões em grupo focal. Com base nesse entendimento inicial, o desenvolvimento segue um processo iterativo de prototipagem e testes. Nesse estágio, protótipos podem ser desenvolvidos e testados progressivamente com os usuários ao longo do processo de design.

Para avaliar a usabilidade e a experiência geral dos usuários com o produto, podem ser realizados testes de usabilidade formais [Cardoso Filho 2017]. Questionários de satisfação de interação, baseados na escala Likert, por exemplo, podem ser utilizados para medir a usabilidade percebida de um sistema [Albert & Tullis, 2022]. Complementarmente, podem ser incluídas questões abertas e conduzidas conversas detalhadas sobre a experiência ao final de cada sessão de testes, permitindo a coleta de dados qualitativos ricos sobre pontos positivos, negativos e sugestões de melhoria diretamente dos participantes [Beneteau 2020]. Este ciclo contínuo de pesquisa, prototipagem e avaliação garante que a tecnologia seja desenvolvida com um forte foco na experiência do usuário com DV.

2.2. Compensação Sensorial e Acessibilidade Tátil

A concepção da maquete vibrotátil e a interpretação dos resultados da avaliação foram fortemente influenciadas pela teoria da compensação sensorial e pelos princípios de acessibilidade tátil em pessoas com DV. A teoria da compensação sensorial postula que, na ausência de um sentido primário como a visão, outros sentidos, como o tato e a audição, podem se desenvolver e se tornar mais aguçados para compensar a perda [Bavelier & Neville 2002]. Essa teoria sugere que a modalidade tátil pode ser uma via eficaz para fornecer informações espaciais e dinâmicas sobre o jogo de futebol aos usuários com DV.

Adicionalmente, os princípios de acessibilidade tátil propostos por Jones e Lederman (2006), Millar (1994), Tatham (1991), Lederman & Klatzky (1987) foram considerados no design da maquete:

- **Explorabilidade:** A maquete deve ser facilmente explorada com as mãos, e um tamanho adequado facilita essa exploração sistemática. Jones e Lederman (2006) destacam que uma maquete muito grande pode ser difícil de percorrer sistematicamente, e uma muito pequena pode não oferecer detalhes suficientes ou ser difícil de manipular com precisão tátil.
- **Abrangência:** As informações essenciais devem estar ao alcance do tato simultaneamente, para que o usuário possa construir um mapa mental completo do espaço representado. Millar (1994) destaca que, quando as informações estão fragmentadas ou exigem muitos movimentos para serem integradas, a construção espacial torna-se mais difícil.
- **Escala:** A representação do espaço deve ser em uma escala compreensível para o tato, e a palma da mão oferece um bom ponto de referência para essa escala. Lederman & Klatzky (1987) mostram como diferentes escalas e tamanhos de objetos afetam diretamente o tipo de movimento exploratório utilizado pelas mãos (como apreensão, exploração de textura e contorno). Eles ressaltam que objetos que cabem na palma da mão são mais fáceis de serem reconhecidos e manipulados eficientemente pelo tato.

2.3. Trabalhos Relacionados

Várias pesquisas têm explorado o uso da tecnologia para preencher lacunas na percepção sensorial de ambientes e eventos dinâmicos. Por exemplo, Ning et al. (2024) desenvolveram o SPICA, um sistema inovador que permite a exploração interativa de conteúdo de vídeo para pessoas cegas ou com baixa visão. Isso é feito por meio de descrições de áudio que são dinamicamente enriquecidas e exploráveis, permitindo que o usuário “navegue” pelo conteúdo visual através do som. Outras abordagens focam na tradução de informações visuais para o tato. O Hand-Vision [Liu, 2013] é um sistema que emprega uma luva háptica para fornecer feedback vibratório em diferentes intensidades e padrões, representando as variações de brilho e textura em uma imagem digital. O Prinscreen [Honorato, 2013] concentra-se na representação tátil de gráficos e diagramas em telas de toque. Ele converte informações visuais em representações táteis, utilizando vibrações e mudanças de textura para transmitir dados complexos.

No contexto de eventos esportivos, as tecnologias buscam aprimorar a experiência de espectadores com DV. Ohshima et al. (2027) desenvolveram um novo sistema de jogo a jogo para futebol, utilizando gráficos táteis e detecção de posição para ajudar esses espectadores a compreenderem a dinâmica do jogo. Este sistema permite que os usuários identifiquem os jogadores e compreendam as formações, aumentando seu engajamento com o esporte. Essas tecnologias melhoram a experiência do espectador, e promovem um senso de participação, fazendo com que se sintam parte do jogo.

Embora os avanços em desempenho e tecnologia tenham melhorado significativamente a experiência de espectadores com DV, ainda existem desafios para garantir igualdade de acesso e compreensão de eventos dinâmicos. Nesse cenário, a maquete vibrotátil surge como uma tentativa de mitigar essa lacuna, oferecendo uma solução física e de baixo custo que amplia o acesso de pessoas cegas à compreensão de eventos esportivos dinâmicos.

3. Materiais e Métodos

Este estudo adotou uma abordagem de DCU [Hasani et al., 2020], envolvendo ativamente pessoas com DV durante o processo de desenvolvimento, a fim de garantir que o sistema atendesse às suas necessidades e preferências.

3.1. Análise de Necessidades do Público-alvo

Inicialmente, foi conduzida uma análise de necessidades para compreender as experiências, percepções e requisitos específicos de pessoas com DV em relação ao acompanhamento de jogos de futebol. Conforme sugerido por Beneteau (2020), foi realizada uma entrevista com um pequeno grupo de participantes com DV, com o objetivo de coletar informações acerca da frequência para acompanhar partidas de futebol, principais dificuldades enfrentadas e experiências prévias com tecnologias assistivas.

3.2. Projeto e Desenvolvimento da Maquete Vibrotátil

Foram criadas duas versões da maquete com tamanhos e espessuras diferentes, com o objetivo de avaliar a eficácia da transmissão vibratória. Cada versão foi testada informalmente com cinco participantes vendados, a fim de verificar qual dos protótipos oferecia melhor retorno tátil. Observou-se que a espessura das placas era um fator determinante: placas mais finas tendiam a espalhar a vibração para áreas adjacentes, dificultando a identificação da origem do estímulo. Também se percebeu que a separação entre placas influenciava diretamente a percepção da vibração, sendo necessário aumentar o espaçamento entre elas para garantir melhor distinção.

Fatores como escala e abrangência da maquete foram relevantes: versões maiores dificultavam a percepção clara do percurso da vibração, enquanto a versão mais compacta permitia acomodar ambas as mãos abertas sobre sua superfície, favorecendo a exploração tátil e a compreensão global do trajeto da bola. Após as avaliações, definiu-se que placas de 11x7,5 cm e 9 mm de espessura apresentavam o melhor desempenho, proporcionando uma experiência tátil mais precisa. Além disso, a decisão de manter a proporção compacta foi reforçada por depoimentos dos próprios participantes com DV durante a fase de testes, que relataram maior facilidade em compreender o percurso da bola e o contexto do jogo quando o campo podia ser tocado por inteiro com ambas as mãos simultaneamente. Essa constatação vai de encontro aos princípios de acessibilidade tátil destacados a seguir:

- **Escala:** A maquete foi concebida para caber inteiramente na extensão das mãos abertas, garantindo aos usuários compreender o espaço de forma confortável e eficaz por meio do tato. Essa decisão está alinhada com os achados de Lederman e Klatzky (1987), que indicam que objetos que se ajustam ao campo manual (como a palma da mão) favorecem a percepção tátil e a eficiência exploratória.
- **Abrangência:** Ao manter todos os elementos essenciais do jogo representados dentro desse espaço reduzido, a maquete permite que o usuário tenha acesso simultâneo às principais informações, como os limites do campo e o caminho da bola. Isso facilita a construção de um mapa mental completo e coerente do espaço, conforme defendido por Millar (1994).
- **Explorabilidade:** O design da maquete favorece uma exploração sistemática com as mãos, com elementos bem definidos e em relevo (desenhos das linhas de campo), e um layout que respeita a capacidade motora e perceptiva das mãos

humanas. O tamanho compacto e a disposição lógica dos elementos possibilitam que o usuário percorra o espaço tátilmente de forma fluida e compreensiva, promovendo a descoberta autônoma de informações — característica fundamental conforme Jones & Lederman (2006).

A interface digital foi desenvolvida em Python (versão 3.13), com áreas clicáveis que representavam diferentes zonas do campo. A interação com esses “botões” envia comandos via conexão serial para um microcontrolador Arduino, o qual aciona os motores vibratórios posicionados na maquete.

3.3. Teste com Usuários

Os participantes com DV foram os mesmos que participaram da etapa de desenvolvimento e foram recrutados por conveniência através da rede de contato dos pesquisadores. Os participantes videntes foram recrutados através da divulgação em redes sociais da UPM, buscando diversidade de idade, gênero e nível de interesse em futebol. Foram excluídas pessoas com déficits motores ou cognitivos que pudessem comprometer a interação com a maquete. Cada participante recebeu uma introdução ao sistema e pôde explorar interativamente suas funcionalidades, familiarizando-se com as zonas representadas e o feedback tátil correspondente.

Os testes foram planejados e produzidos conforme orientações de Albert & Tullis (2022). Os participantes foram submetidos a testes de interpretação de “lances de gol” distintos, escolhidos aleatoriamente. Os lances selecionados pertenciam a diferentes partidas e envolviam times variados, a fim de garantir diversidade no conteúdo apresentado e evitar qualquer viés relacionado ao reconhecimento prévio dos jogos por parte dos participantes. Cada trecho apresentava situações típicas de dinâmica de jogo, como movimentação da bola, troca de passes, finalizações e posicionamento dos jogadores em campo.

A Tabela 1 apresenta a descrição dos lances utilizados no experimento, especificando o tipo de jogada e a respectiva sequência de quadrantes ativados na maquete. Essa sequência representa o trajeto percorrido pela bola até a finalização da jogada, funcionando como gabarito de referência para a análise da percepção dos participantes quanto à interpretação dos eventos simulados.

Tabela 1. Descrição dos lances de gol e gabarito

Lance	Descrição do Lance	Sequência dos quadrantes (Gabarito)
1	Gol de Falta	5, 4, Gol Esquerdo
2	Gol de Escanteio	3, 6, Gol Direito
3	Gol de Falta	2, 6, Gol Direito
4	Gol de Escanteio	9, 6, Gol Direito
5	Gol Sem narração	2, 5, 4, Gol Esquerdo
6	Gol de Contra-ataque	9, 6, 2, 1, 4, Gol Esquerdo
7	Gol de Contra-ataque	9, 6, 9, 5, 8, 5, 4, Gol Esquerdo

Após cada simulação, os participantes indicavam o trajeto da bola verbalmente e/ou reproduzindo-o com as mãos sobre a maquete. Como as nove placas da maquete não possuíam marcadores táteis identificáveis, os participantes baseavam-se na memória tátil e na percepção sequencial da vibração para reconstruir o percurso. As respostas foram comparadas com um gabarito de referência, e os acertos e erros foram registrados por um

assistente do moderador. Ao final do teste, cada participante respondeu a um questionário de satisfação geral.

3.4. Métricas de Avaliação

A eficácia da maquete foi avaliada com base em três métricas principais: precisão, satisfação e feedback qualitativo. A precisão foi medida pela taxa de acertos na identificação do trajeto da bola, considerando-se valor 1 para respostas corretas e 0 para incorretas, o que permitiu avaliar objetivamente a capacidade da maquete em transmitir informações sobre a dinâmica do jogo.

A satisfação foi avaliada por meio de um questionário com escala Likert de 5 pontos - 1(discordo totalmente) a 5(concordo totalmente) - abrangendo as seguintes dimensões da experiência de uso: satisfação geral, facilidade de uso, envolvimento, tensão, aborrecimento, monotonia e frustração. Para complementar essa avaliação, foram incluídas duas perguntas abertas, nas quais os participantes puderam relatar, de forma livre, os aspectos positivos e negativos da interação com a maquete.

A escolha dessas métricas foi diretamente alinhada aos objetivos do estudo [Albert & Tullis, 2022]. A precisão forneceu uma medida objetiva da eficácia da maquete na representação do movimento da bola, enquanto a satisfação permitiu investigar a experiência do usuário em um nível subjetivo e emocional. O feedback qualitativo, por sua vez, ofereceu insights adicionais sobre os fatores que influenciaram a percepção dos participantes, contribuindo para uma compreensão mais profunda sobre a usabilidade e o potencial de engajamento do sistema.

3.5. Aspectos Éticos da Pesquisa

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética com Seres Humanos da UPM, sob o número CAAE: 75573123.0.0000.0084. Todos os participantes que aceitaram participar do estudo assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) em formato eletrônico visando fornecer acessibilidade aos deficientes visuais. Todos os instrumentos de coleta de dados (questionários demográficos e de satisfação) também na modalidade eletrônica foram utilizados neste estudo.

4. Resultados




A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos no estudo, organizados em quatro dimensões: caracterização da amostra, precisão nas tarefas, níveis de satisfação e feedback qualitativo. Inicialmente, descrevem-se os perfis dos participantes por meio da construção de personas representativas, que auxiliam na compreensão dos diferentes contextos de uso. Em seguida, são discutidos os dados referentes ao desempenho nas tarefas propostas, destacando padrões de acertos e erros. Posteriormente, apresentam-se as percepções de satisfação dos usuários, considerando tanto aspectos positivos quanto negativos da experiência. Por fim, são sintetizados os principais pontos de feedback, incluindo sugestões de melhoria e potenciais caminhos para o aprimoramento da tecnologia avaliada.

4.1. Amostra

A amostra deste estudo foi composta por 14 participantes, divididos em três perfis distintos para fins de análise comparativa. Com o objetivo de facilitar a análise e

representar de forma simbólica os diferentes perfis de usuários, os três grupos foram organizados como P1, P2 e P3, e foram desenvolvidas três personas representativas (Figuras 2, 3 e 4) com base nas características, experiências e comportamentos observados durante os testes. A Tabela 2 apresenta a descrição de cada persona.

Tabela 2. Caracterização dos participantes do estudo

Persona P1	Persona P2	Persona P3
 <p>Figura 2. Marta</p>	 <p>Figura 3. João</p>	 <p>Figura 4. Lucas</p>
<p><i>Marta, 64 anos, é uma mulher com baixa visão, sem experiência prévia com futebol e com interesse moderado em acompanhar jogos. Utiliza moderadamente tecnologias assistivas táteis de vibração no cotidiano, além do celular, e demonstrou curiosidade durante a atividade, embora com alguma dificuldade inicial de interpretação.</i></p>	<p><i>João, 54 anos, é cego congênito, ex-atleta de futebol para cegos e acompanha jogos com frequência. Tem alta familiaridade com recursos de acessibilidade táteis de vibração (relógio e bengala), além do celular, e demonstrou segurança e entusiasmo na interação com a maquete.</i></p>	<p><i>Lucas representa o grupo de 12 estudantes universitários videntes, com idades entre 19 e 23 anos, majoritariamente do sexo masculino. Nenhum possui DV ou experiência com tecnologias assistivas táteis de vibração, e apresentam interesse variado por futebol, mas curiosidade pela proposta do sistema.</i></p>

4.2. Precisão

Para avaliar o desempenho dos participantes, foram analisadas suas respostas em sete tarefas distintas (Tabela 3), correspondentes a diferentes lances de gol. Cada resposta foi comparada com o gabarito previamente definido, sendo atribuída a marcação “OK” para respostas corretas e “X” para respostas incorretas. A Tabela 2 apresenta a distribuição de acertos e erros por participante em cada lance (denominados “L” – Lances), bem como o total de acertos e erros por linha.

Os participantes com DV (P1-Marta e P2-João) apresentaram 100% de acertos nas sete tarefas, o que sugere uma alta capacidade de interpretação da dinâmica da maquete vibrotátil, possivelmente influenciada pela familiaridade com estratégias de navegação tátil e, no caso de P2, por seu conhecimento prévio sobre o jogo. Vale ressaltar que P1 solicitou refazer a simulação dos dois últimos lances, antes de fornecer sua resposta. Essa segunda chance ocorreu única e exclusivamente com esta participante.

Tabela 3. Precisão - Acertos e Erros

P	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	OK	X
1	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	OK 9, 6, 9, 5, 8, 5, 4, Gol	7	0
2	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	OK 9, 6, 9, 5, 8, 5, 4, Gol	7	0
3	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	X 9, 6, 9, 5, 8, 8, 4, Gol	6	1
4	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	X 9, 6, 9, 1, 8, 5, 4, Gol	6	1
5	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	OK 9, 6, 9, 5, 8, 5, 4, Gol	7	0
6	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	X 9, 6, 2, 1, Gol	X 9, 5, 4, Gol	5	2
7	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	X 9, 6, 2, 4, Gol	X 9, 6, 9, 5, 5, 2, Gol	5	2
8	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	X 2, 3, 6, Gol	X 2, 5, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	X 9, 6, 1, 4, Gol	X 9, 6, 9, 5, 9, 6, Gol	3	4
9	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	X 2, 6, 9, Gol	X 3, 6, Gol	X 2, 5, 4, 7, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	X 9, 6, 9, 6, 5, 2, Gol	3	4
10	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	X 2, 9, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	X 9, 6, 2, 4, Gol	X 9, 6, 8, 2, 7, Gol	4	3
11	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	OK 9, 6, 9, 5, 8, 5, 4, Gol	7	0
12	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	OK 9, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	X 9, 6, 2, 4, Gol	X 9, 6, 8, 5, 8, 4, Gol	5	2
13	OK 5, 4, Gol	X 5, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	X 6, 9, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	X 9, 6, 5, 4, Gol	4	3
14	OK 5, 4, Gol	OK 3, 6, Gol	OK 2, 6, Gol	X 5, 6, Gol	OK 2, 5, 4, Gol	OK 9, 6, 2, 1, 4, Gol	X 9, 6, 9, 5, 5, 4, Gol	5	2
	12	11	9	8	11	7	2		

Os resultados do grupo de participantes videntes (P3) revelam uma tendência de maior acurácia nas tarefas iniciais, especialmente nos Lances 1, 2 e 5, que obtiveram 12, 11 e 11 acertos, respectivamente. Em contrapartida, os Lances 6 e 7 apresentaram os menores índices de acerto, com apenas 7 e 2 respostas corretas, respectivamente. Esse padrão sugere que a complexidade cognitiva das tarefas aumentou progressivamente, exigindo maior esforço de memória tátil, abstração espacial e interpretação de trajetos mais longos, velozes e ramificados, o que pode ter impactado negativamente o desempenho dos participantes videntes.

4.3. Satisfação

A Tabela 4 mostra as notas de satisfação dos participantes P1 (Marta), P2 (João) e a média

do grupo P3 (Lucas) para cada dimensão avaliada.

Tabela 4. Dados de satisfação

Dimensão	P1	P2	P3 (Média)
Satisfação Geral	5	5	4,46
Facilidade de Uso	4	5	4,69
Envolvimento	4	5	4,77
Tensão	2	1	2,62
Aborrecimento	1	1	1,54
Monotonia	1	1	1,62
Frustração	1	1	1,23

Como apresentado na Tabela 3, a maioria dos participantes do grupo P3, representado pela persona Lucas, demonstrou um alto nível de satisfação com a experiência da maquete vibrotátil (ver Figura 2). Em uma escala Likert de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente), a satisfação geral obteve pontuações majoritariamente máximas (nota 5), refletindo o entusiasmo com a possibilidade de acompanhar jogadas de futebol sem depender da visão. As dimensões de facilidade de uso e envolvimento também apresentaram médias elevadas (acima de 4,5), sugerindo que a maquete foi considerada intuitiva e engajadora mesmo por usuários sem DV. As dimensões negativas como tensão, aborrecimento, monotonia e frustração, apresentaram baixa incidência, com médias entre 1 e 2. Isso indica que, de forma geral, a experiência foi agradável, pouco estressante e nada entediante. Apenas um ou dois participantes relataram dificuldades mais pontuais, relacionadas especialmente à percepção de vibração em jogadas mais complexas, como nos Lances 6 e 7, onde a sequência de estímulos era mais longa e exigia maior atenção tátil.

No caso dos participantes com DV, os resultados foram igualmente positivos e reforçaram a efetividade da proposta. A participante P1-Marta, com baixa visão e sem familiaridade com o esporte, relatou que a experiência foi surpreendente e permitiu que ela *“se sentisse incluída e entendesse a movimentação da bola na maquete”*. Já o participante P2-João, cego congênito e ex-atleta de futebol para cegos, afirmou que a maquete ofereceu uma sensação próxima das partidas que vivenciou, elogiando especialmente a clareza do percurso e o potencial da tecnologia para ampliar o acesso de pessoas com DV aos jogos em tempo real.

4.4. Feedback

Principais Aspectos Positivos Identificados:

- A sensação de *“saber onde a bola está”* foi recorrente, especialmente por meio do tato, o que proporcionou uma imersão sensorial única.
- Muitos participantes relataram que foi possível acompanhar o jogo de forma diferente e interessante, mesmo sem contato visual.
- A experiência foi vista como inovadora e relevante, inclusive por participantes que não têm o hábito de acompanhar futebol.

Principais Aspectos Negativos e Pontos de Melhoria:

- Dificuldade para isolar vibrações: A proximidade entre os quadrantes foi apontada

como fator que gerava confusão ao tentar identificar a origem exata da vibração.

- Intensidade das vibrações: Diversos participantes do P3 sugeriram que as vibrações fossem mais fortes e mais bem diferenciadas entre os quadrantes.
- Distribuição espacial: Algumas peças (especialmente as laterais) foram consideradas difíceis de alcançar ou perceber.
- Sugestões de acessibilidade e conforto: Houve recomendações de P2 para adicionar texturas ou marcações táteis para indicar o posicionamento das mãos, e até melhorias no material para tornar a superfície mais acessível.

Outras Sugestões Criativas (Potenciais Trabalhos Futuros):

- Integração com narração em tempo real, por meio de reconhecimento de palavras-chave para ativar zonas da maquete.
- Integração com narração em tempo real, através de algoritmos de visão computacional para detectar automaticamente o percurso da bola em campo.
- Criação de padrões de vibração para ajudar a diferenciar eventos como faltas, escanteios, gols ou mudanças de posse de bola, permitindo que o usuário reconheça o tipo de jogada em andamento por meio de variações na intensidade, duração ou sequência dos estímulos táteis.
- Uso de fones de ouvido, como forma de ampliar a imersão sensorial.

5. Reflexões sobre a Experiência

Os resultados obtidos neste estudo reforçam a importância de princípios de DCU e acessibilidade tátil na construção de experiências inclusivas [Hasani et al., 2020]. A abordagem metodológica adotada, com base em DCU e avaliação com usuários reais, incluindo pessoas com DV, permitiu uma aplicação prática dos conceitos discutidos na fundamentação teórica, como explorabilidade, abrangência e escala tátil [Lederman 2006; Millar 1994; Tatham 1991; Lederman & Klatzky 1987].

A percepção tátil teve papel central na interpretação dos trajetos da bola: participantes com DV demonstraram desempenho igual ou superior ao grupo de videntes, sugerindo que, quando bem projetadas, interfaces táteis podem ser altamente eficazes na transmissão de informações espaciais e dinâmicas, mesmo em um domínio tradicionalmente visual como o futebol. Entretanto, é importante destacar que a amostra de participantes com DV foi pequena, o que limita a possibilidade de generalização dos resultados para essa população.

Durante os testes, também foram observadas limitações do ponto de vista do assistente ou operador da interface gráfica, responsável por acionar manualmente os botões que ativam os motores vibratórios da maquete. A forma como a interface foi projetada exige que o operador estimule manualmente a sequência dos quadrantes com base em sua interpretação visual do lance, o que implica em um nível de subjetividade que pode comprometer a fidelidade do trajeto simulado. Essa abordagem não garante total confiabilidade sobre o percurso da bola, especialmente em lances rápidos ou complexos. Uma forma de minimizar essa limitação seria desenvolver uma interface gráfica sobreposta diretamente a uma camada de vídeo, permitindo ao operador clicar diretamente sobre os pontos reais do campo capturados do jogo. No entanto, o melhor

cenário seria a implementação de um sistema de detecção automática do trajeto da bola, utilizando visão computacional ou inteligência artificial, o que permitiria uma simulação mais precisa, autônoma e em tempo real, reduzindo a interferência humana e ampliando a escalabilidade da solução.

5.1. Pontos fortes, limitações e desafios observados

A maquete vibrotátil se mostrou um recurso inovador e engajador, com altos índices de satisfação geral, envolvimento e facilidade de uso entre os participantes, incluindo aqueles sem DV. O uso de motores vibratórios distribuídos em zonas do campo permitiu uma representação sensorial clara do percurso da bola, principalmente nas tarefas mais simples. Mas, os resultados também revelaram limitações na percepção tátil em lances mais velozes, longos e complexos, devido à proximidade dos quadrantes, à possível confusão na identificação das vibrações e à ausência de marcadores táteis nas placas.

Do ponto de vista do desenvolvimento, um desafio importante foi o modelo de controle da maquete. Como a interface gráfica exigia que o operador estimasse manualmente o trajeto da bola, baseando-se apenas na visualização do vídeo, não havia garantia total de que o percurso reproduzido fosse perfeitamente fiel. Isso afeta a confiabilidade da simulação e aponta para a necessidade de evolução tecnológica. Além disso, questões como intensidade e isolamento das vibrações, conforto na superfície de apoio e ausência de feedback tátil complementar (como texturas ou bordas) foram apontadas por diversos participantes nos questionários abertos.

5.2. Lições aprendidas e contribuições para revisão de práticas

A experiência permitiu identificar aprendizados aplicáveis à prática de design de tecnologias assistivas, tanto no contexto do grupo de pesquisa quanto na formação de estudantes envolvidos. Um dos principais ganhos foi perceber que interfaces físicas simples, quando guiadas por princípios de acessibilidade e interação sensorial, podem gerar alto engajamento e empoderamento para pessoas com DV. Os dados corroboram com Cardoso Filho (2017) que reforça a importância de testes iterativos com usuários reais, principalmente em contextos em que a percepção não-visual é o principal canal de interação.

Na perspectiva da comunidade de IHC, este trabalho contribui para ampliar a discussão sobre o uso de dispositivos hápticos como alternativas viáveis de entretenimento inclusivo, e destaca o potencial da realidade tátil em experiências esportivas. Propõe-se aqui a reflexão sobre como a integração de vibração, som e toque pode ampliar o repertório de soluções em acessibilidade sensorial, indo além de interfaces puramente visuais ou auditivas.

6. Conclusão e Perspectivas Futuras

Esta pesquisa demonstrou que a maquete vibrotátil tem potencial como recurso de acessibilidade para pessoas com DV acompanharem jogos de futebol por meio da percepção tátil. Os resultados indicam que, mesmo com uma interface física simples, é possível proporcionar uma experiência rica, informativa e engajadora, desde que sejam aplicados princípios de DCU e acessibilidade sensorial.

A avaliação com participantes revelou altos níveis de satisfação, facilidade de uso e envolvimento, além de bom desempenho na identificação dos trajetos da bola,

especialmente entre os participantes com DV. Ainda assim, foram identificadas limitações importantes, como a dificuldade de percepção de vibrações em trajetos mais rápidos e complexos e a necessidade de melhorias no isolamento tátil entre os quadrantes.

As contribuições dos participantes, especialmente por meio do feedback qualitativo, ofereceram direções para o aprimoramento da maquete, incluindo ajustes na intensidade das vibrações, criação de padrões de vibrações e melhoria da ergonomia e, futuramente, a integração com tecnologias de visão computacional para automatizar a reprodução dos lances.

Uma limitação importante deste estudo foi o número reduzido de participantes com DV, apenas dois entre os quatorze envolvidos. Embora esses participantes tenham contribuído com feedbacks relevantes e apresentado bom desempenho nas tarefas, a pequena amostra limita a generalização dos resultados para a população cega em geral. Por fim, os achados deste estudo reforçam o valor das tecnologias táteis no campo da acessibilidade e apontam caminhos promissores para sua expansão a outros esportes e contextos interativos, contribuindo para uma sociedade mais inclusiva.

A proposta da maquete vibrotátil não se restringe ao futebol. A lógica de representação espacial baseada em zonas e feedback vibratório pode ser adaptada para outros esportes coletivos, como basquete, vôlei ou handebol, com ajustes no layout e na temporalidade das simulações. Há potencial para uso em contextos educacionais, como ensino de táticas esportivas para estudantes com DV, ou até mesmo em museus e exposições acessíveis. A experiência reforça o potencial futuro de evolução tecnológica do sistema. O desenvolvimento de uma interface sobreposta a vídeos que possa permitir cliques diretos no vídeo do jogo ou o uso de visão computacional e inteligência artificial para detectar automaticamente o trajeto da bola, representaria um salto significativo em termos de precisão, autonomia e escalabilidade da solução.

Considerações Adicionais

Este trabalho contou com o apoio da ferramenta ChatGPT (versão GPT-4, OpenAI) para tarefas de revisão textual, incluindo ortografia, gramática, clareza e coesão. A ferramenta foi utilizada entre abril a junho de 2025 para sugestões de organização de seções, geração das imagens das personas e padronização de estilo acadêmico, sempre sob supervisão crítica da equipe autoral, mantendo a integridade e originalidade do conteúdo produzido.

Referências

- Albert, B. and Tullis, T. (2022) *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting UX Metrics*. Morgan Kaufmann.
- Asakawa, S., et al. (2021) “Challenges in Sports Accessibility for Visually Impaired People”, *Journal of Assistive Technologies*, 15(3), pp. 1–15.
- Bavelier, D. and Neville, H. J. (2002) “Cross-Modal Plasticity: Where and How?”, *Nature Reviews Neuroscience*, 3(6), pp. 443–452.
- Beneteau, E. (2020). Who are you asking?: Qualitative methods for involving AAC users as primary research participants. In *proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-13).
- Cardoso Filho, Raimundo José. (2017) Uma visão sobre avaliação de usabilidade e

acessibilidade no IHC. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Ciência da Computação da Universidade Federal da Paraíba

Cooper, R., et al. (2022) “The Role of Tactile Models in Enhancing Spatial Understanding for Blind Individuals in Sports”, *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 17(2), pp. 189–198.

Franco Jr, H. Brasil, país do futebol?. *Revista USP*, n. 99, p. 45-56, 2013.

Hasani, L. M., Sensuse, D. I., & Suryono, R. R. (2020, September). User-centered design of e-learning user interfaces: A survey of the practices. In *2020 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering (IC2IE)* (pp. 1-7). IEEE.

Honorato, A. (2013). Percepção de imagens através de frequências vibratórias captadas pelas mãos de pessoas cegas. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Design e Expressão Gráfica.

Ikeda, K., et al. (2018) “Development and Evaluation of Audio-Tactile Feedback Systems for Blind Athletes”, *International Journal of Human-Computer Studies*, 118, pp. 77–86.

Jain, A., et al. (2023a) “Technological Advancements in Sports Accessibility for Visually Impaired Individuals: A Review”, *Assistive Technology*, 35(1), pp. 3–12.

Jain, G., Hindi, B., Courtien, C., Wyrick, C., Xu, X. Y. T., Malcolm, M. C., & Smith, B. A. (2023b). Towards accessible sports broadcasts for blind and low-vision viewers. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '23)* (Article 287, pp. 1–7). Association for Computing Machinery.

Jones, L. A. and Lederman, S. J. (2006) “Tactile Sensing”, in *Human Hand Function*, pp. 44–74.

Khurana, P., et al. (2021) “A Systematic Review of Assistive Technologies for Sports Participation of Individuals with Visual Impairments”, *British Journal of Visual Impairment*, 39(4), pp. 456–475.

Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19(3), 342–368.

Liu, P. (2013). U.S. Hand-vision sensing device and hand-vision sensing glove. Patent Application No. 13/642,558.

Millar, S. (1994) *Understanding and Representing Space: Theory and Evidence from Studies with Blind and Sighted Children*. Oxford University Press.

Ning, Z., Wimer, B. L., Jiang, K., Chen, K., Ban, J., Tian, Y., ... & Li, T. J. J. (2024, May). SPICA: interactive video content exploration through augmented audio descriptions for blind or low-vision viewers. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-18).

Ohshima, H., Kobayashi, M., & Shimada, S. (2021, May). Development of blind football play-by-play system for visually impaired spectators: Tangible sports. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-6).

Pereira, R., Darin, T., & Silveira, M. S. (2024). GranDIHC-BR: Grand research challenges in human-computer interaction in Brazil for 2025–2035. In *Proceedings of*

the XXIII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC 2024) (pp. 1–24). Sociedade Brasileira de Computação.

- Santos, C. A. R. (2010) “A Narração Esportiva de Futebol: Análise Discursiva de um Fenômeno Midiático”, Dissertação (Mestrado em Língua Portuguesa e Linguística), Programa de Pós-Graduação em Letras, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M. and Elmqvist, N. (2016) *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. 6th ed., Pearson.
- Soares, A. C., et al. (2023) “Integração de Estratégias Sensoriais na Leitura de Jogo no Futebol para Cegos: Um Estudo Comparativo”, *Revista de Trabalhos Acadêmicos – Universo Belo Horizonte*, 1(9).
- Tatham, A. F. (1991) “The Design of Tactile Maps: Theoretical and Practical Considerations”, *Proceedings of International Cartographic Association: Mapping the Nations*, pp. 157–166.
- Villamarín, N., et al. (2021) “Design and Evaluation of Adapted Balls for Blind Football”, *Applied Ergonomics*, 95, 103456.
- Yandun, N., et al. (2019) “Enhancing Ball Tracking for Visually Impaired Players Using Haptic and Auditory Feedback”, *Sensors*, 19(16), 3542.
- Yu, W., Smith, A. and Jones, B. (2022) “Challenges in Conveying Dynamic Visual Information of Sports Events to Blind and Low Vision Individuals”, *Journal of Accessibility and Design for All*, 12(4), pp. 1–18.