

Esfera Interativa: Design de Um Novo Controle para Jogos Digitais

Paulo L. S. Brizolara, Leonardo Cunha de Miranda, Bruna Camila de Menezes

Departamento de Informática e Matemática Aplicada
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – Natal, RN – Brasil

pl.briz@proton.me, leonardo@dimap.ufrn.br, brunacamilamenezes@gmail.com

Abstract. *The controller, in digital games, is the way by which the player can interact with the virtual world of the game. So, nonconventional controls can change the whole gamer experience and allow the investigation of new types of interaction. In this context, this paper presents the project and the development process of the Interactive Sphere, a spherical control for digital games that abstracts the shape and interaction process behind traditional controls, combining the interaction based on the pressure over regions of the sphere with gestural interaction. Thus, this paper may contribute to explore new ways to interact with digital games, and inspire the development of other controls, which incorporate the methods, techniques and technologies employed in the present study.*

Keywords— artifact, interaction device, Organisational Semiotics

Resumo. *O controle, em jogos digitais, é o meio através do qual o jogador pode interagir com o mundo virtual do jogo. Dessa forma, controles não convencionais podem modificar toda a experiência do jogador e servir como uma ferramenta para investigar novas formas de interação. Neste contexto, este artigo apresenta o projeto e o processo de desenvolvimento da Esfera Interativa, um controle esférico para jogos digitais que abstrai o formato e o processo de interação por trás dos controles tradicionais, combinando a interação através do pressionar de regiões da esfera com a interação gestual. Com isso, este trabalho pode contribuir para explorar novas formas de interação com jogos digitais, e inspirar o desenvolvimento de outros controles, que incorporem os métodos, técnicas e tecnologias empregadas neste trabalho.*

Palavras-chave— artefato, dispositivo de interação, Semiótica Organizacional

1. Introdução

Em jogos digitais, o controle é um fator essencial na experiência do jogador [Hufnal et al. 2019], pois é através do controle que o jogador interage com o mundo virtual do jogo. Controles não convencionais podem modificar, portanto, o modo com que os jogadores experimentam o jogo, em relação aos controles tradicionais, criando novas formas de interação [Llagostera 2019, Brown et al. 2015], através de variados formatos e tipos de dispositivos, e.g. *wearables* [Chan et al. 2015], anéis [Miranda et al. 2010, 2013] ou aparelhos esportivos [Oliveira et al. 2017], incluindo também a captura de gestos ou objetos do ambiente [Bento e Miranda 2015]. Dessa forma, a construção de novos controles pode ser um meio de expandir e investigar as possibilidades de interação com jogos digitais.

Para explorar o processo de desenvolvimento de um controle não convencional, este trabalho apresenta o projeto, implementação e o desenvolvimento da Esfera Interativa, um controle esférico voltado para jogos digitais e ambientes imersivos (e.g., ambientes de realidade virtual). Esse dispositivo abstrai o princípio básico de interação utilizado por grande parte dos controles, isto é, o “pressionar de botões”, ou mais genericamente os movimentos da mão humana; combinando a interação através da pressão sobre a superfície do dispositivo, com a interação gestual, baseada em movimentos do controle, e *feedbacks* háptico (vibração), visual (luzes e cores na esfera) e sonoro (sons simples emitidos pela esfera). O controle proposto pode contribuir para explorar novas formas de experienciar e interagir com jogos digitais, além disso o projeto e o processo de desenvolvimento da Esfera Interativa podem inspirar o desenvolvimento de outros controles, que incorporem os métodos, técnicas e/ou tecnologias empregados neste trabalho.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta alguns dispositivos relacionados, encontrados na literatura; a Seção 3 descreve o processo de desenvolvimento, as capacidades da Esfera Interativa, seu projeto e implementação, ilustrando sua aplicação através de um cenário de uso; a Seção 4 analisa os resultados alcançados, desafios e trabalhos futuros; e a Seção 5 conclui o trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

A literatura descreve alguns dispositivos de interação com formato esférico. Por exemplo, Weinberg et al. (2000) propuseram as “*musical balls*”, criadas para permitir que crianças e não profissionais toquem música. O dispositivo é uma bola macia de tecido rodeada por oito sensores de pressão, que produzem sons ao serem pressionados. O *RolyPoly Mouse*, proposto por Perelman et al. (2015), combina as funções de um mouse (detecção da posição 2D) e um controle para ambientes 3D (rotação e inclinação). O formato do dispositivo imita um brinquedo conhecido como “joão bobo” (*rolypoly* em inglês). Sua base é hemisférica e pode ser rolada, rotacionada ou *transladada* em qualquer direção, se reposicionando automaticamente após ser solta. Heberlein et al. (2003) propõem um outro dispositivo esférico utilizado para auxiliar no ensino de artes marciais com o apoio de jogos, a *CHI-Ball*, projetada para ser segurada por um ou dois usuários, através de botões cobertos por silicone no formato de pegadas de animais, relacionadas a posturas de artes marciais. Já Karime et al. (2012) aparelham uma “*bola antiestresse*”, com magnetômetro, acelerômetro, giroscópio e um sensor de força, para determinar movimentos do pulso e com isso auxiliar na reabilitação de pacientes em casa, através de jogos sérios. Nenhum desses dispositivos, no entanto, foi desenvolvido como um controle genérico para jogos digitais, como é o caso da proposta deste trabalho, apresentada a seguir.

3. Esfera Interativa

O conceito de um controle esférico surgiu do questionamento do que seria a forma mais simples para um dispositivo interativo, que permitisse explorar as capacidades da mão humana. Então, a partir dessa visão de um dispositivo esférico que pudesse ser mantido na palma da mão, foi projetada a Esfera Interativa como um controle genérico para jogos digitais e “ambientes imersivos” (e.g. ambientes de realidade virtual). Esta seção apresenta, inicialmente, o processo utilizado para o desenvolvimento desse controle. Em seguida o projeto do dispositivo é descrito, incluindo seus requisitos e capacidades, e o *design* de produto e linguagem de interação. Um cenário é utilizado para ilustrar o uso do dispositivo

em um jogo concebido. Então, são apresentados os elementos de hardware e software, e o protótipo funcional que implementam o projeto da Esfera Interativa.

3.1. Processo de Design

O conceito base da Esfera Interativa surgiu de uma atividade informal de *brainstorming*, com o objetivo de explorar ideias para um dispositivo de interação não-convencional. Chegando ao conceito de um dispositivo de interação esférico, foram então conduzidas atividades baseadas na Semiótica Organizacional [Liu 2000, Stamper 2001], Design Participativo [Schuler e Namioka 1993, Miranda et al. 2011], entre outras, para identificar como esse dispositivo poderia ser utilizado, quais recursos deveria apresentar e como poderia ser implementado, até chegar em um protótipo funcional. A Figura 1 representa as atividades realizadas nesse processo de desenvolvimento, que são descritas a seguir.



Figura 1. Atividades no processo de desenvolvimento da Esfera Interativa.

Para identificar questões, desafios e possíveis soluções para a concepção da Esfera Interativa, sob uma visão socio-técnica, foram utilizados três artefatos da Semiótica Organizacional: o Partes Interessadas, Quadro de Avaliação e *Framework* Semiótico. O **Partes Interessadas** identifica possíveis *stakeholders*, artefatos e documentos relacionados, categorizados de acordo com os níveis com que contribuem ou são afetados pelo projeto [Pereira et al. 2013]. Já o **Quadro de Avaliação** e a **Escada Semiótica** [Baranauskas et al. 2003, Miranda et al. 2007] permitem levantar problemas e questões, ideias e soluções, respectivamente a partir da ótica dos *stakeholders* [Miranda et al. 2008] e dos diferentes níveis da semiótica (i.e. físico, empírico, sintático, semântico, pragmático e social).

Uma vez levantadas essas questões, foram conduzidas sessões de *braindrawing* para gerar ideias para o projeto da esfera e suas aplicações. O **braindrawing** é um tipo de *brainstorming* gráfico, i.e. uma técnica do Design Participativo que busca uma construção colaborativa de ideias coletivas, neste caso, permitindo gerar rapidamente um conjunto de propostas de projeto [Muller et al. 1997]. No *braindrawing*, cada participante inicia com uma folha de papel, onde pode propor uma ou mais ideias, através de desenhos e anotações. Após um intervalo predefinido, cada folha é passada para o participante ao lado, que dá continuidade às ideias/desenhos no papel recebido, até que os participantes tenham trabalhado, de forma suficiente, com as ideias uns dos outros [Muller et al. 1997].

Foram realizadas quatro sessões de *braindrawing*. As duas primeiras foram feitas com os autores do trabalho, para levantar ideias relativas ao *design*, componentes da esfera e possíveis formas de interação. As duas últimas sessões buscaram identificar ideias de jogos digitais projetados para uso com a esfera, como forma de validar e refinar as capacidades do dispositivo. Para isso, foram convidados outros dois pesquisadores/desenvolvedores, identificados também como usuários em potencial (*gamers*). Em cada sessão

foi realizada uma explanação inicial do propósito da sessão e do estado do projeto no momento. Em seguida foi conduzida a atividade do *braindrawing*, propriamente dita. Ao final de cada sessão, foi feita uma apresentação e discussão das ideias levantadas.

Os requisitos levantados, a partir das sessões de *braindrawing* e artefatos da Semiótica Organizacional, foram especificados, classificados e priorizados. Para detalhar alguns dos requisitos mais abstratos e identificar as necessidades concretas para sua implementação, foram utilizados **cenários de uso**, isto é, narrativas representando usos da Esfera Interativa. Para a construção desses cenários foram utilizadas algumas das aplicações idealizadas nos *braindrawings*.

Levantados os requisitos, partiu-se para o desenvolvimento, propriamente dito, da Esfera Interativa, através do projeto dos módulos de hardware e software necessários. **Protótipos** parciais foram utilizados para explorar as tecnologias e funções de cada módulo. Estas foram então integradas em um protótipo funcional do dispositivo.

3.2. Requisitos e Capacidades do Dispositivo

Como parte do processo de desenvolvimento, descrito na subseção anterior, foram levantados requisitos para: interação (entradas e *feedback*), conectividade e requisitos de hardware. Os requisitos de interação definiram como entradas: gestos, a partir de movimentos com o dispositivo, e o pressionar de certas áreas no dispositivo. E como saídas, para prover *feedback* ou indicar *status* no dispositivo, foram definidos *feedbacks* hápticos (vibrações), visuais (cores e luzes através de LEDs) e sonoros (sons simples, através de *buzzers*). Os requisitos de conectividade apontaram a necessidade de prover comunicação sem fio e à distância com dispositivos do usuário, provendo uma API remota e a capacidade de detecção (descoberta) do dispositivo na rede. Já os requisitos de hardware levantaram necessidades quanto à manutenção do dispositivo e atualização do software; a inclusão de um suporte para quando o dispositivo não estivesse em uso; além de funções básicas, como carregamento e o indicativo do estado da esfera (ligada, desligada, etc.).

3.3. Design do Produto

O *design* físico da Esfera Interativa foi inspirado nas chamadas “bolas antiestresse”, utilizadas para fisioterapia. Assim como esse tipo de esfera, o dispositivo foi projetado para ter um tamanho que permita segurá-lo na mão de forma confortável. Para o protótipo, foram utilizadas esferas de 7cm a 8cm de diâmetro como referência, mas, idealmente, diferentes tamanhos devem estar disponíveis (talvez através de um mecanismo ajustável) para adequação a diferentes tamanhos de mãos. Para o revestimento da esfera deve ser utilizado um material macio e semi-flexível (e.g., silicone), que possa ser pressionado pelo usuário. Abaixo desse revestimento devem estar os sensores de pressão, e no núcleo do dispositivo, os componentes eletrônicos (Figura 2a).

Idealmente, toda a superfície do dispositivo poderia ser sensível a pressão, mas para lidar com limitações de hardware, simplificar a API oferecida às aplicações cliente do dispositivo e mesmo facilitar a interação dos usuários, foram delimitadas algumas regiões sensíveis. Na face da “frente”, i.e. visível pelo jogador (Figura 2b), foram definidas cinco regiões principais (de forma similar a um direcional analógico em um *gamepad*, com um outro “botão” no meio), acessíveis pelo usuário utilizando o polegar. Na face de trás da esfera (Figura 2c) foram definidas quatro regiões horizontais, controladas pelos outros quatro dedos; e no topo uma outra região, acessível pelo polegar ou indicador.

A face de trás da esfera também deve conter uma faixa de LED, que provê *feed-back* visual e indica *status* dos dispositivo. E na parte inferior da esfera, uma base achatada permite que o dispositivo seja repousado sobre uma superfície, além de oferecer saída para um *buzzer*, conector USB, *switch ON/OFF* e suporte para um motor de vibração. Foi projetado também um ponto, acessível através da base, que permitiria a abertura da esfera, separando as duas faces (frontal e traseira), para manutenção.

O projeto da esfera também definiu uma pulseira no dispositivo, para evitar sua queda durante o uso, além de um suporte (*dock*) para acomodar a esfera quando não estivesse em uso e prover recarga, de forma indutiva ou através de um conector.

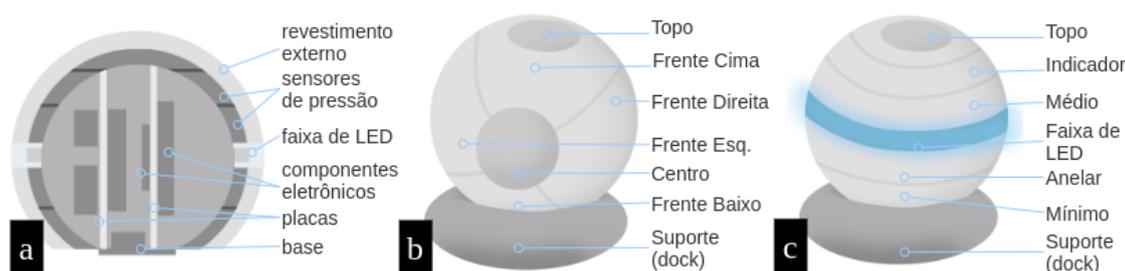


Figura 2. Representações do *design* da Esfera Interativa: (a) camadas internas, (b) visão frontal e (c) visão traseira.

3.4. Linguagem de Interação

A interação com a Esfera Interativa foi definida com base no pressionar de certas regiões no dispositivo (vide Seção 3.3) e em comandos gestuais, através de rotações, translações ou a inclinação do dispositivo¹. Técnicas para detecção de gestos podem ser utilizadas também, para identificar comandos mais complexos. Para os sensores de pressão, é possível detectar a região pressionada e um nível (analógico) de pressão. Essas informações podem ser mapeadas em comandos específicos da aplicação. A Figura 3, por exemplo, ilustra um mapeamento possível para controlar um personagem em um ambiente 3D, com apenas uma das mãos. Combinando duas Esferas Interativas, no entanto, é possível lidar com comandos ainda mais complexos.

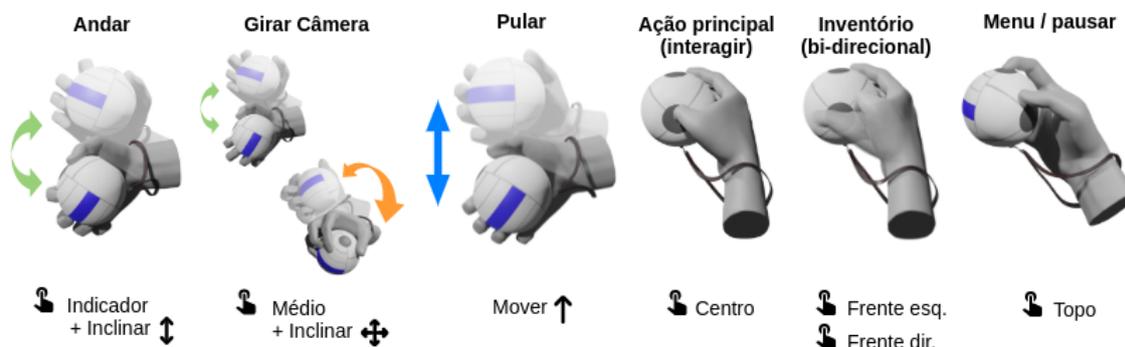


Figura 3. Exemplo de comandos para controlar movimentação em jogo 3D.

Legenda: ↑ frente/trás; ↕ frente/trás + esquerda/direita; ↑ para cima; 🖱️ pressionar região especificada.

¹Esses comandos gestuais tem como referência as informações que podem ser detectadas através de giroscópios e acelerômetros, i.e. inclinação, rotações e aceleração nos eixos do dispositivo.

As capacidades de interação da Esfera Interativa também incluem os *feedbacks*: visuais, i.e. cores (RGB) e padrões de iluminação (pisca, alternar cores, etc.); hápticos, i.e. intensidade e padrões de vibração; e sonoros, através de padrões de som simples. Cada jogo ou aplicação define como utilizar esses recursos. Por exemplo, no *Sphere Jedi*, um dos jogos concebidos durante as sessões de *braindrawing* (vide Seção 3.1), os *feedbacks* utilizados (Tabela 1) permitiriam simular uma luta com sabres Jedi, a partir de gestos, até mesmo sem uma interface gráfica. Os recursos de *feedback* podem ser utilizados também para indicar *status* do dispositivo, como conexão e carregamento (ver Tabela 1).

Tabela 1. Aplicações dos recursos de *feedback* da Esfera Interativa

Conexão (estado)		Carregamento (estado)		Uso em jogo (Jedi Sphere)	
Anunciando presença:	pisca azul;	Carregando:	oscila luz (azul);	Dano:	som + vibrar forte + piscar vermelho;
Conexão estabelecida:	pisca rápido + vibra, depois mantém acesa;	Carregada:	mantém luz verde;	Colisão das espadas:	som + vibrar contínuo;
Erro de conexão:	pisca rápido e muda cor (laranja), depois de um tempo apaga;	Descarregando:	“bip” + muda cor (vermelha);	Ataque:	som + vibrar curto;

3.5. Cenário de Uso

As capacidades da Esfera Interativa para jogos digitais são exemplificadas, a seguir, através de um cenário de uso do dispositivo no “*Jedi Sphere*”. Nesse cenário, cada jogador utiliza duas esferas e um dispositivo *host* (e.g., um *smartphone*) comanda a partida.

Ao iniciar, o jogo permite configurar e conectar as esferas. O pareamento e anúncio é ativado pressionando o topo da esfera por um tempo, com os LEDs indicando o estado de pareamento. Ao concluir a configuração inicial, o dispositivo *host* passa a atuar apenas como auxiliar, com a interação e *feedbacks* sendo oferecidos através das esferas.

Nesse cenário, uma das esferas é utilizada pelo jogador para controlar o sabre e outra para realizar comandos com a “*força*”. Gestos são combinados com o pressionar de pontos na esfera para executar ações, como atacar, defender ou utilizar a força. A cor e intensidade dos LEDs identificam o jogador e apontam seu nível de vida, respectivamente. Além disso, *flashes* de luz, vibrações e sons são combinados para indicar danos recebidos, colisões entre os sabres e outros *feedbacks*, incluindo a vitória ou derrota do jogador.

3.6. Projeto de Hardware

O projeto de hardware da Esfera Interativa (Figura 4b) priorizou a simplicidade e baixo custo, para que a solução pudesse ser reproduzida por outros pesquisadores ou *makers*, sem a necessidade de equipamentos industriais. Além disso, o espaço reduzido da esfera foi um fator importante na escolha de componentes. Assim, o ESP32² foi escolhido como unidade de processamento, não só por seu tamanho compacto, mas também pela conectividade integrada (Bluetooth e Wi-Fi) e por oferecer maiores recursos do que placas populares na comunidade *maker* como os Arduinos Uno ou Leonardo³.

Para permitir a captura de gestos, foi utilizado um módulo com acelerômetro e giroscópio (mpu-6050⁴), e para detectar pressão na esfera foram utilizados um conjunto

²espressif.com/en/products/socs/esp32.

³Vide, respectivamente, docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3 e docs.arduino.cc/hardware/leonardo.

⁴invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/

de sensores capacitivos, conectados ao ESP32 através de um multiplexador. Os sensores foram feitos com materiais de baixo custo, como papel toalha e papel-alumínio (a Figura 4a representa a composição de um sensor), com base no trabalho de Nassar et al. (2016). Quando pressionados, esses sensores produzem uma variação de capacitância devido à compressão do papel toalha (dielétrico) e conseqüente aproximação do papel alumínio (placas do capacitor). Além do baixo custo, esses sensores são flexíveis, leves, com fabricação relativamente simples e podem ter formatos customizados. Entretanto, a falta de padronização torna eles menos confiáveis e requer alguma forma de calibração.

Para prover *feedback* háptico e sonoro foram utilizados um motor de vibração e um *buzzer*. LEDs RGB endereçáveis foram definidos para emitir sinais de luz e cor, devido a sua capacidade de construir padrões complexos de cor e “movimento”. Foi também projetado um módulo de alimentação, através de baterias recarregáveis (de lítio).

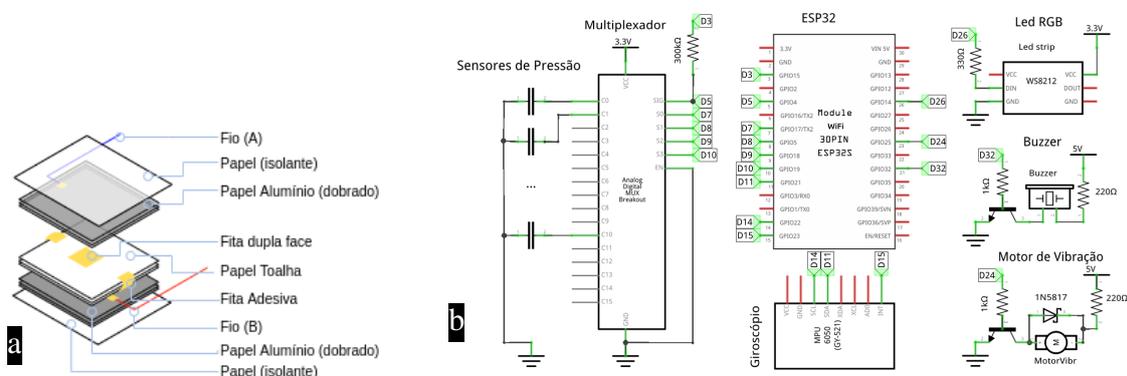


Figura 4. Componentes eletrônicos: (a) Esquema dos sensores de pressão (b) Circuitos da Esfera Interativa (omitido módulo de carregamento).

3.7. Componentes de Software

O software para a execução da Esfera Interativa é dividido entre os componentes embarcados no dispositivo, que interagem com o hardware, e aqueles a serem executados no computador (com a aplicação cliente), como um *daemon*, que seria responsável por intermediar a comunicação entre o dispositivo e as aplicações do usuário (e.g., jogos), podendo oferecer funções de mais alto nível (e.g., pareamento ou detecção de gestos). Internamente, os componentes de software da Esfera Interativa são organizados em camadas (APIs, serviços e hardware) e em módulos relacionados às funções oferecidas (Figura 5). Essas funções são expostas através de uma API *restful* construída sobre *Bluetooth*.

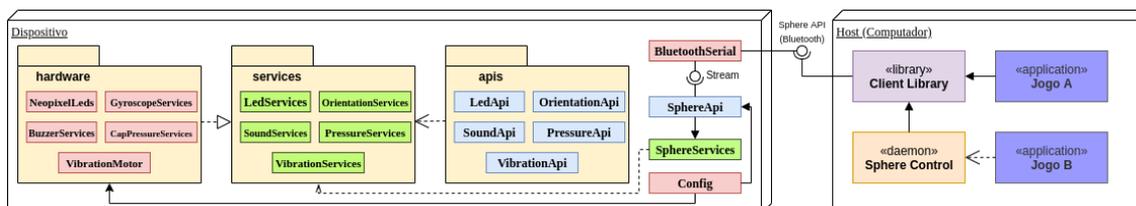


Figura 5. Arquitetura de software da Esfera Interativa.

3.8. Protótipo Funcional

O protótipo da Esfera Interativa foi construído de forma manual, a partir do projeto elaborado. Como estrutura da esfera foi utilizada uma bola de Natal, dividida ao meio no

sentido vertical⁵. O tamanho da esfera (7cm de diâmetro) foi escolhido, a partir de alguns testes empíricos, de modo que fosse confortável segurar, mas que ainda permitisse comportar os componentes eletrônicos. Um modelo 3D foi construído (Figura 6a) para determinar o melhor posicionamento interno desses componentes.

A partir das medidas nesse modelo, uma placa perfurada de fenolite foi cortada e lixada para permitir seu posicionamento no interior da esfera. Sobre a placa foram soldados os resistores, conectores, o multiplexador para os sensores de pressão, e o acelerômetro/giroscópio (mpu-6050), alinhado ao centro da esfera para que suas medições refletissem os movimentos do dispositivo (Figura 6b). Conectores fêmea foram soldados para a conexão do ESP32, atuadores (fita de LEDs RGB, *buzzer* e motor de vibração), do conector microUSB para alimentação e dos sensores de pressão (Figuras 6b e 6d). Esses sensores foram construídos e fixados na superfície da esfera de acordo com as regiões delimitadas no projeto (e.g., Figura 6c).

Em relação ao software, além do código embarcado, foi implementado um cliente genérico em Python, que permite a descoberta e conexão com o dispositivo, e o envio de requisições arbitrárias para a API.

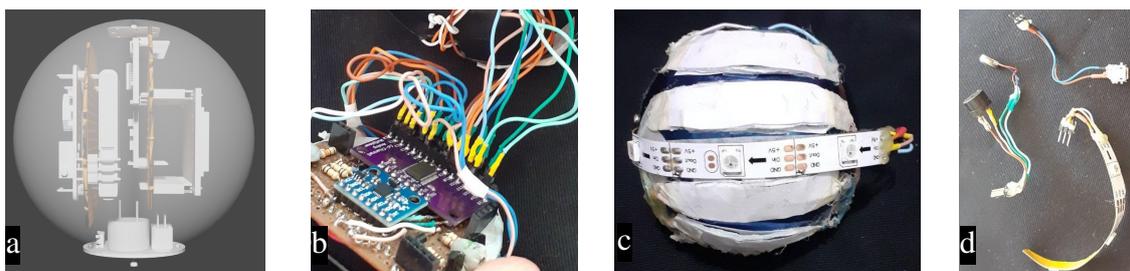


Figura 6. Protótipo da Esfera Interativa: (a) Modelo 3D (b) Componentes internos (c) Face traseira (d) Módulos de atuadores e conector USB.

4. Discussão

Unindo diferentes formas de interação e *feedback*, a Esfera Interativa provê um conjunto amplo de combinações possíveis para controlar jogos digitais, mesmo utilizando uma única mão. Ao mesmo tempo, o *design* do dispositivo provê uma resposta tátil aos usuários, que pode tornar a interação mais “concreta” do que através de botões comuns. Os princípios de interação aplicados podem também ser adotados em outros tipos de controles. Por exemplo, um *gamepad* poderia ter partes flexíveis, sensíveis a pressão.

Os métodos e artefatos adotados no processo de desenvolvimento também podem ser aplicados a outros projetos. Artefatos da Semiótica Organizacional e Desenho Participativo (e.g., *braindrawings*), por exemplo, ajudam a levantar questões e ideias, a partir de diferentes perspectivas e níveis de abstração do domínio. Cenários de uso contribuem para unificar possíveis divergências, provendo uma visão mais concreta (baseada em exemplos) do uso do produto em desenvolvimento. Por sua vez, técnicas de prototipagem auxiliam a validar os componentes e tecnologias utilizadas. Para tanto, é importante que esses protótipos se aproximem das condições em que serão utilizados.

⁵O sentido de divisão da esfera (vertical) foi escolhido para evitar separar os sensores de pressão da frente da esfera, que estariam posicionados no meio.

Uma limitação identificada no protótipo final pode ser decorrente dessa diferença entre os testes e as condições de uso. Embora tenham sido testados com êxito nos protótipos parciais, os sensores de pressão utilizados apresentaram problemas de confiabilidade no protótipo final, e.g. alguns não eram reconhecidos ou apenas de forma intermitente. Investigações precisam ser conduzidas para identificar a causa raiz desses problemas. Ainda assim, esses sensores são promissores, devido a seu baixo custo, disponibilidade de materiais e versatilidade. Novas pesquisas podem ser necessárias para facilitar a construção (manual) desses sensores, melhorando sua confiabilidade. Outra possibilidade é explorar materiais diferentes, como o silicone condutivo⁶ [Nagels et al. 2018], que pode ser mais confiável e versátil, embora tenha a construção mais complexa.

Além dessa questão, o protótipo apresenta algumas limitações devido à ausência de alguns dos componentes projetados, como o módulo de alimentação, o revestimento externo (de silicone) e a base da esfera. Em relação ao software, o *daemon* que seria responsável por oferecer funções de mais alto nível, como a detecção de gestos, não chegou a ser implementado. Trabalhos futuros podem não só tratar dessas limitações, mas também explorar novas formas de interação e *feedback* com a Esfera Interativa, como a detecção de toques sobre a superfície e o uso de *feedback* térmico (calor).

5. Conclusão

Este trabalho apresentou o processo de desenvolvimento, projeto e implementação da Esfera Interativa, um controle esférico inovador que integra um conjunto de recursos de sensores e atuadores para aplicação em jogos e ambientes imersivos. A Esfera Interativa traz uma visão minimalista de controle, abstraindo a ação de “apertar botões” para aproximá-la dos movimentos da mão humana, trazendo uma interação mais natural. Essa forma de interação, i.e. segurando e pressionando a esfera, em vez de apertar botões, pode produzir sensações diferentes nos jogadores, potencializando uma melhor imersão no jogo. Trabalhos futuros são necessários para avaliar a ergonomia e usabilidade da Esfera Interativa, através de experimentos com usuários com jogos de diferentes gêneros.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelo Grupo de Pesquisa em Artefatos Físicos de Interação (PAIRG) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), e parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq processo #156239/2019-1). Também agradecemos pelos recursos do Laboratório de Computação Física e Fisiológica do PAIRG (PAIRG L2PC) da UFRN.

Referências

- Baranauskas, M. C. C., Liu, K., e Chong, S. (2003). “Website interfaces as representamina of organizational behaviour”. In “Dynamics and Change in Organizations” (p. 63–87).
- Bento, A. d. A., e Miranda, L. C. d. (2015). “Steering All: Infinite Racing Game Controlled by Haar Cascade through OpenCV”. In “Proc. of SVR 2015” (p. 245–254).
- Brown, M., Kehoe, A., Kirakowski, J., e Pitt, I. (2015). “Beyond the Gamepad: HCI and Game Controller Design and Evaluation”. In “Game User Experience Evaluation.”

⁶Receita para silicone condutivo: [instructables.com/Silc-Circuits-High-Performance-Conductive-Silicone](https://www.instructables.com/Silc-Circuits-High-Performance-Conductive-Silicone/).

- Chan, L., Hsieh, C., Chen, Y., Yang, S., e . . . Chen, B. (2015). “Cyclops: Wearable and single-piece full-body gesture input devices”. In “Proc. of CHI ’15” (p. 3001–3010).
- Heberlein, M., Hayashi, T., Nashold, S., e Teeravarunyou, S. (2003). “CHI-ball, an interactive device assisting martial arts education for children”. In “Proc. of CHI ’03.”
- Hufnal, D., Osborne, E., Johnson, T., e Yildirim, C. (2019). “The Impact of Controller Type on Video Game User Experience in Virtual Reality”. In “GEM ’19” (p. 1–9).
- Karime, A., Eid, M., Gueaieb, W., e El Saddik, A. (2012). “Determining wrist reference kinematics using a sensory-mounted stress ball”. In “IEEE ROSE 2012” (p. 109–114).
- Liu, K. (2000). “Semiotics in Information Systems Engineering”. Cambridge Press.
- Llagostera, E. G. (2019). “Critical Controllers: How Alternative Game Controllers Foster Reflective Game Design”. In “Companion Publication of DIS ’19” (p. 85–88).
- Miranda, L. C. d., Hornung, H., e Baranauskas, C. (2011). “Prospecting a New Physical Artifact of Interaction for iDTV: Results of Participatory Practices”. In “DUXU 2011.”
- Miranda, L. C. d., Hornung, H., e Baranauskas, M. (2010). “Adjustable interactive rings for iDTV”. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 56, n. 3, 1988–1996.
- Miranda, L. C. d., Hornung, H., Pereira, R., e Baranauskas, M. C. C. (2013). “Exploring Adjustable Interactive Rings in Game Playing: Preliminary Results”. In “DUXU’13.”
- Miranda, L. C. d., Hornung, H., Solarte, D., Romani, R., e . . . Baranauskas, C. (2007). “Laptops educacionais de baixo custo: Prospectos e desafios”. In “SBIE 2007.”
- Miranda, L. C. d., Piccolo, L., e Baranauskas, C. (2008). “Artefatos físicos de interação com a TVDI: Desafios e diretrizes para o cenário brasileiro”. In “IHC ’08” (p. 60–69).
- Muller, M., Haslwanter, J., e Dayton, T. (1997). “Chp. 11 - Participatory Practices in the Software Lifecycle”. In “Handbook of Human-Computer Interaction” (p. 255–297).
- Nagels, S., Ramakers, R., Luyten, K., e Deferme, W. (2018). “Silicone devices: A scalable DIY approach for fabricating self-contained multi-layered soft circuits using microfluidics”. In “Proc. of CHI ’18” (p. 1–13).
- Nassar, J., Cordero, M., Kutbee, A., e . . . Hussain, M. (2016). “Paper Skin Multisensory Platform for Simultaneous Environmental Monitoring”. *Adv. Mater. Technol.*, v. 1.
- Oliveira, B., Nesteriuk, S., e Moreno, F. (2017). “Exergames usando tecnologia do movimento maker: Protótipo de jogo tipo plataforma”. In “XVI SBGames” (p. 261–268).
- Pereira, R., Buchdid, S., e Baranauskas, C. (2013). “Values and Cultural Aspects in Design: Artifacts for Making Them Explicit in Design Activities”. In “ICEIS’12.”
- Perelman, G., Serrano, M., Raynal, M., e . . . Dubois, E. (2015). “The roly-poly mouse: Designing a rolling input device unifying 2d and 3D interaction”. In “CHI ’15.”
- Schuler, D., e Namioka, A. (1993). “Participatory Design: Principles and Practices”.
- Stamper, R. K. (2001). “Organisational Semiotics: Informatics without the Computer?” *Information, Organisation and Technology*, 115–171.
- Weinberg, G., Orth, M., e Russo, P. (2000). “The embroidered musical ball: A squeezable instrument for expressive performance”. In “Proc. of CHI EA ’00” (p. 283–284).