

An Adaptive Hardware and Software Based Human Computer Interface for People with Motor Disabilities

M. Machado, *Member, IEEE*, A. Rodrigues, M. Machado, V. da Costa, R. Cardoso, C. Quadros, K. Xavier, J. Peroba, and T. Tavares

Abstract—This paper introduces IOM (an acronym for Interface Oculos Mouse, in Portuguese), an adaptive human-computer interface for people with motor disabilities in the upper limbs. The device, designed to be a low-cost hardware solution, consists of an eye frame glasses with integrated sensors responsible for detecting head movements and eyes blinks. IOM is accompanied by a user-friendly software interface that allows its users to adjust configuration options according to their needs and preferences. The goal of the interface is to enable the users to control the computer entirely. The paper presents the main components of both hardware architecture and software design that make up the developed prototype. At the end, the paper also reports the first evaluation process of the IOM device. Initial experiments performed using the AttrakDiff tool evaluate IOM, specifically from the end user’s perspective, emphasizing desirable characteristics related to both hedonic and attractiveness dimensions. A comparison between some same purpose devices and the IOM using the Fitt’s Law is presented in the paper. The preliminary experimental results show that the proposed platform attends to the usability aspect to computer requisites, in special for people with disabilities.

Index Terms—Assistive technology, Human-computer interface, Adaptive interface, Embedded systems, IOM platform.

I. INTRODUCTION

DADOS da *World Health Organization* (WHO) estimam que 15% da população mundial (cerca de 1 bilhão de pessoas em 2011) possui alguma “deficiência grave ou moderada” [1]. Só no Brasil, de acordo com o último censo disponível pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), existem cerca de 45,6 milhões de pessoas com deficiência [2]. Deste total 7%, apresentam deficiências motoras que incluem desde restrições leves e temporárias (tremores, falta de mobilidade de um membro do corpo, por exemplo), outras severas e permanentes (tetraplegia, por exemplo) a quadros de doenças degenerativas (esclerose lateral amiotrófica, por exemplo) que evoluem e retiram diversas capacidades sensoriais.

Com o avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), o uso do computador como meio de universalização do acesso a informação é uma necessidade. Porém, para uma parcela da população que é acometida por

algum tipo de deficiência física, o uso do computador torna-se um desafio. A deficiência motora, especificamente, abrange uma extensa variedade de habilidades, comprometendo desde pessoas com movimentos restritos nas mãos até pessoas sem mobilidade em certas partes de seus corpos. Este público acaba por necessitar de ferramentas específicas que permitam a utilização dos computadores de forma não convencional.

Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um recurso assistivo que provê acessibilidade ao computador a pessoas com deficiência motora, nos membros superiores ou pessoas com dificuldade em utilizar as mãos para a interação com o computador. O dispositivo IOM consiste em um óculos adaptado, com tecnologia embarcada, que apresenta uma forma alternativa de interação com o computador. A sua versão atual é equipada com sensores que capturam dados produzidos pelo movimento da cabeça do usuário. Este dados são enviados para um microcontrolador que, em conjunto com um software específico, controla o movimento do cursor do mouse no computador. A ação de clique do mouse é disparada através da piscada voluntária dos olhos do usuário. De modo a melhorar a experiência de usuário, é possível alterar as configurações por software para personalizar o uso do dispositivo. Essa funcionalidade aumenta o grau de conforto na utilização do IOM, tornando-o acessível a pessoas com diferentes níveis de restrições. A Figura 1 apresenta a arquitetura de alto nível do IOM.

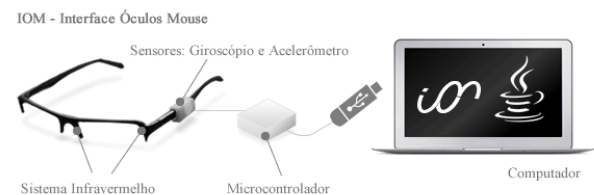


Fig. 1. Arquitetura de alto nível do IOM.

O presente artigo traz pela primeira vez, os detalhes da concepção do hardware [3] e software de configuração e controle do sistema IOM. Por ser uma plataforma baseada em hardware e software, diferentemente da maioria dos dispositivos, ela permite flexibilidade na utilização, tendo como meta o custo reduzido e uma interface amigável e de fácil utilização ao usuário. As próximas seções do artigo detalham o processo de desenvolvimento do IOM. A seção II apresenta os requisitos

Marcio Bender Machado era professor no Instituto Federal Sul-rio-grandense durante o desenvolvimento do trabalho e atualmente é professor no Instituto Federal de São Paulo, Campus Campinas, e-mail: bender.machado@ifsp.edu.br.

Andraia S. Rodrigues, Marcelo B. Machado, Vinicius K. da Costa e Rafael C. Cardoso, são professores no Instituto Federal Sul-rio-grandense, Campus Pelotas.

Tatiana A. Tavares, é professora na Universidade Federal de Pelotas.

para o desenvolvimento do projeto. Os trabalhos relacionados são mostrados na seção III. Os detalhes de hardware e software bem como do design desenvolvido para a plataforma são mostrados nas seções IV, V e VI, respectivamente. Na seção VII são apresentados os resultados de validação e a seção VIII conclui o trabalho.

II. REQUISITOS DO PROJETO INTERFACE ÓCULOS-MOUSE (IOM)

O projeto IOM propõe o desenvolvimento de uma tecnologia para controle do computador, de baixo custo, configurável para cada usuário e projetada para pessoas com deficiências motoras.

A partir do desenvolvimento do primeiro protótipo [3] (Patente Requerida - Instituto Nacional da Propriedade Industrial n. PI10038213), novas funcionalidades foram agregadas ao projeto inicial, de modo a torná-lo acessível à um maior número de pessoas, como o software de configuração e de calibração e a atualização e miniaturização do hardware do protótipo do dispositivo IOM. Os requisitos formais foram desenvolvidos com o auxílio da equipe de atendimento à pessoa com deficiência da associação de pais e amigos dos excepcionais de Pelotas, APAE Pelotas. Os requisitos elencados na sua concepção são ilustrados a seguir:

A. Requisitos Funcionais

Quanto aos requisitos funcionais, que capturam as funcionalidades sob o ponto de vista do usuário, foram elencados para a concepção do dispositivo IOM:

- Monitorar movimentos de pequena amplitude da cabeça por meio de sensores externos;
- Capturar a piscada voluntária do usuário;
- Converter os dados captados, a partir dos sensores, em movimentos de cursor na tela;
- Fornecer meio alternativo para cliques e seleções na tela, simulando o comportamento do mouse;
- Calibrar o dispositivo de forma a ajustar sensibilidade de movimentos e tempos de resposta para cada usuário;

B. Requisitos não Funcionais

Com relação aos requisitos não funcionais, que não estão diretamente relacionados à funcionalidade da solução, os seguintes itens foram elicitados:

- Ser multiplataforma, ou seja, deve ser independente de sistema operacional do computador;
- Possuir custo acessível à maior parte da população;
- Ser facilmente instalável *plug and play*;
- Ser configurável;
- Ser confortável, tendo o mínimo possível de dispositivos, circuitos e sensores em contato com o usuário;
- Ser uma tecnologia vestível.

A Figura 2 sintetiza o diagrama de contexto considerando as características recém listadas.

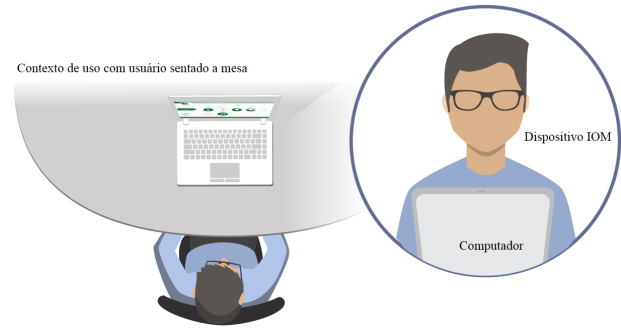


Fig. 2. Diagrama de contexto de uso do IOM.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

O mapeamento sistemático de literatura (MSL), buscando soluções que viabilizem o uso do computador por pessoas com deficiência motora, foi realizado seguindo a metodologia apresentada em [4]. De acordo com os resultados obtidos através do protocolo MSL, foi possível perceber diversas características em termos de técnicas, tecnologias e métricas de avaliação utilizados, considerando o cenário de tecnologia assistiva (TA), focado em pessoas com deficiência motora nos membros superiores. Diversos trabalhos apontam para a utilização da movimentação de cabeça, da face e dos olhos para controle em dispositivos de Interação Humano-Computador (IHC). A Tabela I destaca os principais protótipos voltados à TA encontrados no estudo, enfatizando suas principais características. O custo estimado foi retirado de buscas pelo nome do dispositivo utilizado nas soluções no site da Google¹. Muitas soluções, por não serem comerciais, tiveram seu custo calculado a partir dos dispositivos que as compõem.

O conjunto de TA encontrado varia entre dispositivos físicos adaptados com hardware customizados e uso de softwares que possibilitam o rastreamento de alguma parte do corpo. Em termos de forma de captação dos dados de entrada, os dispositivos podem ser classificados como vestíveis (sensores anexados ao usuário) ou externos (sensores dispostos no ambiente onde se encontra o usuário).

Para a captação da entrada de dados por sensores vestíveis, a maioria das soluções utiliza os sensores giroscópio e acelerômetro [5], [6], [7]. Nestas soluções eles são anexados ao usuário, permitindo uma sensação de maior controle e precisão. No dispositivo proposto em [5], User Tracking, é necessário a utilização de controles proprietários, como o Microsoft Kinect e os usuários relataram problemas como cliques involuntários e falta de precisão no movimento do cursor. Em [6], HMagic, foi implementada a captação por uma combinação de movimentos, o dos olhos para controle mouse e os da cabeça para efetuar o clique, obtendo melhores resultados para o problema da precisão e cliques falsos do *eyetracking*, porém apresentando um custo mais elevado que as demais soluções. A solução proposta em [7], Tongue Drive System, auxilia pessoas com limitações motoras severas a interagirem com o computador, através da movimentação de um *joystick* pela língua, obtendo bons resultados de precisão

¹<https://www.google.com.br/shopping>

TABELA I
ANÁLISE DAS SOLUÇÕES DE TA PARA DEFICIENTES MOTORES DOS
MEMBROS SUPERIORES EM IHC. FONTE: AUTOR

Recurso Assistivo	Dispositivo de Rastreamento	Movimentos/ Input	Custo Estimado
User Tracking [5]	Microsoft Kinect	Cabeça/Face/Ambiente	R\$199 - R\$500
HMagic [6]	Logitech Quickcam Pro + Eye-Tribe + Pupil Pro Trackers	Cabeça	Vestível + Ambiente R\$1.689 - R\$1.989
Tongue drive System [7]	Diversos dispositivos e um Fone de ouvido wireless	Língua	Vestível Sem custo estimado.
Snap Clutch [8]	Tobii X120 Eye Tracker	Olhos	Vestível R\$1.498 - R\$3.000
SINAsense [9]	Camera	Parte Móvel	Vestível + Ambiente Sem custo estimado
Eye Touch System [10]	Multimodal	Olhos	Vestível Eletrodos
Facial Human-Computer Interface [11]	WebCam + ARM (32 bits)	Face	Ambiente R\$199 - R\$299
Facial Mouse [12]	SoftKinetic ou Kinect	Face	Ambiente R\$199 - R\$500
Facial Gesture [13]	WebCam Logitech C920 + Software reconhecimento	Face/Olhos	Ambiente R\$249 - R\$349
IOM Interface Óculos Mouse	Acelerômetro e Giroscópio + óculos + software calibração	Cabeça	Vestível R\$60 - R\$150

e velocidade, porém pelo fato do uso da língua, a solução é considerada intrusiva [14].

Os trabalhos que adotam entrada de dados por vídeo utilizam sensores no ambiente que detectam movimentos do usuário, principalmente com o uso da *webcam* do próprio computador, desonerando o usuário de portar algum sensor [13], [10], [9]. Estas soluções, no entanto, apresentam problemas relacionados a precisão e quantidade alta de cliques (seleção) falsos.

Por fim, há também as interfaces multimodais, que confiam em mais de um tipo de entrada de dados para a compreensão de uma ação do usuário, como em [6]. Elas possuem a vantagem de agregar a captação de diferentes sinais e obterem melhores resultados relativos a precisão dos movimentos de controle e clique, porém utilizam soluções proprietárias de alto custo.

O IOM consiste em uma TA que utiliza tanto recursos de hardware quanto de software para atingir seus objetivos. Diferentemente das demais soluções apresentadas na Tabela I, o IOM permite, através de uma interface amigável, a configuração e calibração do hardware, possibilitando o seu uso adequado a pessoas com diferentes graus de deficiência

motora.

Vale ressaltar também que a plataforma é concebida através do hardware e software inteiramente concebidos para a aplicação, diferentemente de grande parte das soluções encontradas que utilizam dispositivos concebidos para outros propósitos. Tal estratégia de desenvolvimento do hardware e software reflete na possibilidade de redução de custo da aplicação, que é um dos requisitos do projeto. Considerando a etapa eletrônica do dispositivo, é possível estimar um custo de aproximadamente R\$ 60,00, por dispositivo.

As próximas seções detalham os componentes do IOM sob as duas perspectivas de desenvolvimento: arquitetura de hardware; e projeto do software.

IV. COMPONENTES DE HARDWARE DO IOM

A arquitetura de hardware do IOM é composta por duas Placas de Circuito Impresso (PCI), denominadas placas de Sensoriamento e de Controle. A placa de Sensoriamento se encontra posicionada fisicamente no corpo da armação dos óculos juntamente com os sensores. Por sua vez, a placa de Controle, responsável por conectar o IOM ao computador, se encontra do outro lado desta estrutura, na extremidade do cabo que é conectado ao computador. A ligação entre as duas placas se dá por meio de um cabo de quatro vias.

A Figura 3 apresenta esta visão geral destes componentes de hardware que compõem o dispositivo IOM.



Fig. 3. Infográfico do dispositivo IOM com a indicação dos componentes das duas placas desenvolvidas.

A. Placa de Sensoriamento

A placa de sensoriamento tem como função captar os sinais de movimento e inclinação da cabeça, bem como a piscada voluntária do usuário. Para esta finalidade foi utilizado o sensor MPU-6050, o qual contém em um único chip um acelerômetro e um giroscópio tipo MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*).

Este sensor detecta informações de posicionamento e inclinação, provenientes da movimentação do IOM. O acelerômetro foi utilizado em conjunto com um filtro para atenuação de ruído e um circuito adequado para compensação de temperatura. Os dados captados por este sensor, geram um sinal analógico que é transmitido através do protocolo I2C (*Inter-Integrated Circuit*) para a placa de Controle. Para captar o piscar voluntário do usuário é utilizado um par de sensores ópticos, composto pelo foto diodo LT1885 e foto

transistor TIL78. Ao piscar, o usuário interrompe um feixe de luz infravermelha, acusando a piscada à placa de controle do sistema. Através da interface gráfica é possível configurar as especificações de tempo da piscada à cada usuário, possibilitando mais conforto na utilização do dispositivo e evitando que a piscada involuntária seja responsável pelo acionamento do clique do mouse.

B. Placa de Controle

Desenvolvida especificamente para o IOM, esta placa tem como componente principal o microcontrolador ATmega 32u4, o qual foi escolhido por atender aos requisitos básicos inicialmente estabelecidos no projeto. O processamento do sistema contendo o microcontrolador e seus blocos periféricos (regulador de tensão, sistema gerador de *clock* e conector para a interface USB), foram reunidos nesta placa, a qual conecta o IOM ao computador por meio de uma conexão USB.

Ao receber o sinal analógico captado pela placa de sensoriamento, o microcontrolador da placa de controle converte o sinal para o formato digital. A partir daí *firmware* do microcontrolador processa este sinal digitalizado, a fim de detectar um movimento do IOM ou a piscada voluntária. Os comandos de movimentação são então enviados ao computador através de uma comunicação serial pré-estabelecida.

V. ESTRUTURA DE SOFTWARE DO IOM

Complementarmente aos componentes de hardware do IOM, existem os recursos de software utilizados para estruturar e organizar as funções que devem ser processados por este dispositivo. A arquitetura geral da estrutura de software do IOM é destacada pela Figura 4.

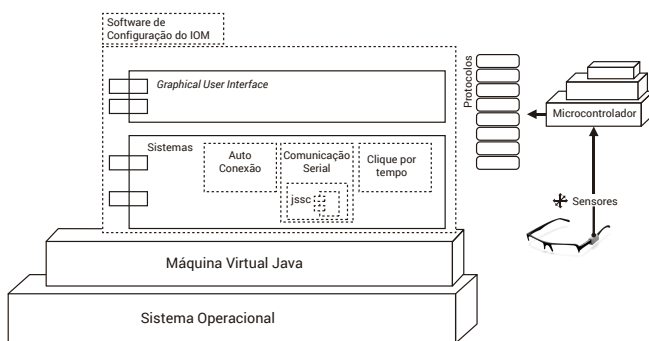


Fig. 4. Arquitetura geral do software do IOM.

Conforme pode ser observado, a estrutura do IOM compreende duas funcionalidades principais:

- Software Embarcado: executado no próprio dispositivo;
- Software de Configuração: executado na estação de trabalho do usuário.

As duas estruturas de software são descritas nas subseções a seguir.

A. Software Embarcado

O primeiro componente de software que compõe a arquitetura do IOM é o *firmware*, uma porção de software carregado pelo *bootloader* do microcontrolador. O *firmware* contém o código-fonte com as instruções que deverão ser seguidas pelo dispositivo embarcado quando o mesmo estiver em execução. As rotinas executadas pelo software embarcado do IOM foram escritas por meio da linguagem Wire C.

Este sistema apresenta duas funções principais, implementadas em seu código. A primeira é a função de *setup*, onde são realizadas as configurações iniciais da aplicação. No caso do IOM, esta função de inicialização é executada em 5600 milissegundos, tempo necessário para a calibração inicial do dispositivo. A partir daí entra em execução o laço de instruções que fica executando continuamente. Estas rotinas são responsáveis por receber dados de movimentação proveniente do sensor e traduzir estes dados em movimentos do cursor na tela. As instruções executadas no laço realizam uma série de validações, tomando decisões baseadas nos dados que recebem continuamente dos sensores de movimentação (acelerômetro e giroscópio) e do piscar dos olhos (sensor infravermelho).

A Figura 5 apresenta o fluxograma de instruções que são executadas dentro da função principal de funcionamento do IOM. Como pode ser visto, a cada 200 ms o sistema verifica se houve mudança no posicionamento da cabeça do usuário e converte os valores recebidos dos sensores em coordenadas XY. A diferença entre a piscada voluntária e involuntária, é feita através da identificação do tempo em que o olho permanece fechado. No sistema IOM, o tempo predefinido para que um clique seja acionado pela piscada é de 800 ms. Por ser uma plataforma configurável, ajustes no tempo da piscada podem ser feitos no software do IOM, de acordo com a necessidade do usuário.

B. Software de Configuração

O segundo componente de software presente na estrutura do IOM é o software de Configuração, o qual provê uma interface com o usuário para estabelecer a comunicação entre o dispositivo e o computador. Este software também fornece funções para orientação de uso do equipamento, calibração do dispositivo e configurações de acordo com a necessidade do usuário.

Para atender ao requisito de ser multiplataforma o software de Configuração foi desenvolvido em Java, permitindo assim que qualquer computador que possui uma Máquina Virtual Java consiga executá-lo. O software foi estruturado em duas camadas denominadas, lógica e visual.

A camada lógica executa diversos processos computacionais que não são visíveis para os usuários. Ela é composta por três módulos:

- *Comunicação Serial*: faz a comunicação direta com o dispositivo IOM utilizando a biblioteca o jSSC² (*Java Simple Serial Connector*). Este módulo utiliza um protocolo interno de comunicação, ou seja, protocolo proprietário, sendo possível determinar os tipos, intervalos e

²Disponível em <https://github.com/scream3r/java-simple-serial-connector>

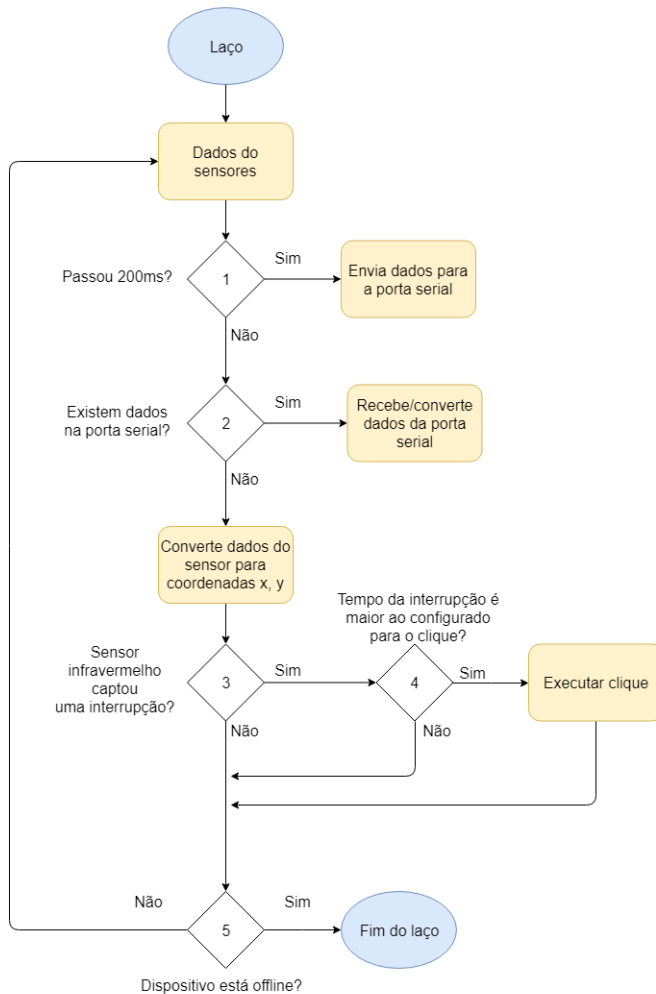


Fig. 5. Fluxograma de funcionamento do bloco de *loop* (laço) do IOM.

ordem dos dados trocados, garantindo assim a integridade e segurança da conexão.

- *Cliques*: permite a configuração de tempo para gerar os cliques, bem como o seu tipo e a velocidade do ponteiro na tela. Implementa ciclos de leitura da posição do ponteiro do mouse.
- *Autoconexão* encarregado por identificar e estabelecer a conexão entre o computador e o IOM.

A camada visual, por sua vez, tem como objetivo gerar e gerenciar a IGU da aplicação. As classes que implementam as telas da IGU se comunicam com métodos existentes nos módulos da camada lógica, de forma que seja possível realizar as configurações e ajustes no dispositivo IOM.

A interface gráfica do IOM permite três configurações básicas, a velocidade do cursor na tela do computador, o tipo de clique e a calibração inercial do dispositivo. A Figura 6 destaca a tela de configuração do tipo de clique a ser utilizado pelo usuário, que compõem a interface gráfica renderizada pela Camada Visual.

A velocidade do cursor na tela do computador é determinada a partir da variação do sinal proveniente do sistema sensor de posição e da resolução da tela do usuário. Há uma constante



Fig. 6. Tela de configuração de cliques do IOM.

de proporcionalidade entre o sinal do sensor de posição e o movimento do cursor, podendo esta, ser alterada pelo software de calibração do sistema. Considerando uma configuração default, com uma resolução da tela de 1080 pixels, o usuário percorreria a tela em 5s, podendo este tempo ser configurado (através do software de calibração) de 2,85s até 40s.

A calibração da posição inercial, se refere a calibração do ponto de referência do dispositivo. Ao clicar no ícone "recalibração", mostrado na Fig. 6, é solicitado ao usuário que permaneça na posição em que ele irá utilizar o IOM para que se defina a posição de referência a ser utilizada pelo sensor de posição. Essa posição inercial é importante, pois muitos usuários necessitam utilizar o dispositivo em posições não convencionais, deitados ou com a cabeça inclinada. Caso haja uma alteração da posição de utilização, o usuário pode recalibrar a posição inercial através da interface do sistema. É importante mencionar que ao inicializar o dispositivo ocorre dois processos, a autoconexão, em que o *software* identifica em qual das portas o IOM está conectado e inicia a comunicação inicial; e a calibração da posição inercial do dispositivo.

VI. O DESIGN DO DISPOSITIVO IOM

O desenvolvimento de design do dispositivo IOM busca solucionar questões estéticas, ergonômicas e técnicas para viabilizar sua industrialização e comercialização, permitindo a adaptação deste dispositivo às necessidades dos seus usuários. Para permitir que as soluções relativas ao design sejam eficazes, as decisões técnicas foram tomadas em conjunto entre as equipes de design e de engenharia, responsável pelo desenvolvimento dos dispositivos eletrônicos embarcados.

O dispositivo IOM possui aspecto estético inspirado em armações convencionais de óculos, por isso o nome - Interface Óculos Mouse. Tal referência surgiu ainda na fase inicial do projeto pela necessidade em acomodar os dispositivos eletrônicos de modo não intrusivo, tratando a TA como objeto cotidiano.

As armações convencionais de óculos têm sido utilizadas nas fases de prototipagem como suportes, permitindo desse modo o teste das funcionalidades a partir de um protótipo de uso. Tal referência é mantida por se perceber que além de facilitar os aspectos técnicos do projeto, facilita a solução de alguns problemas ergonômicos, como pontos de apoio

do dispositivo na caixa craniana e conforto de uso dessas tecnologias pelo usuário. Além disso, a estrutura permite a inclusão de mais tipos de sensores que podem ser inseridos durante o aperfeiçoamento do projeto.

A estética inspirada em uma armação, colabora também com os aspectos inclusivos do projeto que permite que o dispositivo seja familiar, sendo mais bem aceito pelos deficientes físicos por ser um elemento que já faz parte do meio social destes usuários (óculos).

Outro fator que visa aperfeiçoar as questões ergonômicas é a busca por materiais que tenham tanto propriedades físicas como estéticas na adequação a forma proposta. Nesse contexto a fabricação do IOM é idealizada a partir de plástico injetado, por se tratar de um material leve e com baixa condutividade de calor. Desenhos técnicos referentes ao desenho industrial do projeto final estão sobre processo de depósito de patente e não podem ser apresentadas nesse artigo.

Usando armações convencionais, foram projetadas adaptações na estrutura dos óculos, de modo a possibilitar que os sensores do IOM fossem acoplados a alguns modelos de óculos que o grupo recebeu como doação de uma empresa fabricante de armações. Assim, apesar de o modelo de desenho industrial proposto ser ideal para o projeto, as adaptações permitem que o projeto seja mais fácil de ser implementado. Uma foto de um modelo do dispositivo IOM embarcado em uma armação convencional de óculos, com a placa de sensoriamento acoplado através de um suporte projetado e implementado através de uma impressora 3D é mostrado da Figura 7

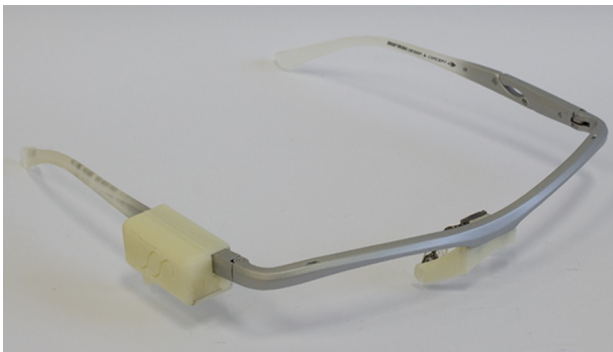


Fig. 7. IOM em um modelo de armação convencional.

VII. AVALIAÇÃO

De modo a avaliar o dispositivo IOM foram realizados três experimentos. Considerando as questões éticas, o projeto foi submetido e aprovado pelo Conselho de Ética da Universidade Federal de Pelotas. Os experimentos realizados fizeram uso dos métodos de avaliação, focando na usabilidade [15] e em métricas de apontadores e experiência de usuário. Demais resultados de avaliação da plataforma e mais detalhes dos experimentos foram divulgados em [16], [17], [18] e [19].

A. Avaliação dos Requisitos - Técnica Baseada em Observação

O primeiro experimento realizado foi um instrumento para conhecimento do potencial de uso do dispositivo com usuários

que possuem comprometimento motor nos membros superiores. Portanto, este experimento é relatado sob ponto de vista do observador. O procedimento foi de experimentar o dispositivo, verificar se o IOM estava correspondendo às funcionalidades elencadas na sessão II deste trabalho e propor possíveis alterações.

O usuário selecionado foi uma menina de 13 anos de idade, com paralisia cerebral, comprometimento motor nos membros superiores e inferiores e com movimentos de tronco e cabeça preservados. A menina frequentava a escola regular, não apresentava comprometimento cognitivo e era usuária digital desde os 12 anos de idade. Porém, conseguia utilizar um dispositivo eletrônico, como um *tablet*, estando este na posição horizontal e o controlando com o queixo. Com o apoio da entidade APAE Pelotas, o teste foi realizado, em uma sala de atendimento da entidade onde a voluntária já estava ambientada. É importante salientar que a menina pôde ficar durante o teste na própria cadeira de rodas. Acompanharam todo o processo, a equipe psicopedagógica e terapêutica da entidade.

Os materiais utilizados foram o dispositivo IOM e um notebook de configuração padrão (core 2 duo, 4GB memória RAM). As tarefas eram de livre escolha da usuária, sem qualquer interferência e consistiram em movimentar o ponteiro do mouse para todas as direções e selecionar alguns ícones. Seguindo o desejo da usuária, uma das tarefas foi fazer algumas jogadas no aplicativo *ChessMaster*. Após uma breve explicação do funcionamento, os óculos, conectados ao computador, foram colocados na usuária. Em seguida, usando a interface de software desenvolvida para o dispositivo, as rotinas de calibração e definição da posição inercial foram executadas.

A usuária voluntária conseguiu movimentar o cursor do mouse com movimentos da cabeça, clicar nos ícones, arrastar e afirmou ter ficado muito satisfeita com a funcionalidade do IOM. Ela solicitou alguns ajustes, como aumentar a aderência dos óculos ao rosto. Também informou um possível incômodo, relativo ao aquecimento da haste dos óculos, devido à placa de controle estar, no momento do teste, embarcada na armação. Esta avaliação motivou a atual versão do IOM, mostrado na Figura 1, onde a placa com o microcontrolador foi removida da armação, deixando o óculos mais leve e sem elevação de temperatura. Através da avaliação, os requisitos funcionais do dispositivo de capturar o movimento da cabeça e piscar dos olhos e através destes controlar o computador foram validados satisfatoriamente.

B. Avaliação de Desempenho Baseada em Tarefas

No segundo experimento foram utilizados protocolos com uma abordagem quantitativa e qualitativa com o objetivo de avaliar a experiência de uso do dispositivo e de desempenho com foco no desenvolvimento de tarefas, seguindo o método de avaliação baseado na usabilidade [20], [21]. Para a seleção dos usuários, foi utilizada a abordagem de seleção aleatória, de acordo com [22].

Para que o dispositivo fosse validado como um dispositivo de controle e acesso ao computador, estabelecendo

comparações com dispositivos convencionais, como o mouse e para que possíveis problemas de usabilidade fossem solucionados antes de um teste de carga com o público alvo, foi realizado o teste com usuários sem nenhuma deficiência. Os testes foram realizados utilizando o IOM e o mouse convencional, sendo que as mesmas tarefas, relacionadas ao clique, seleção e arraste, foram realizadas com ambos os dispositivos.

Foi aplicado um roteiro de tarefas predefinidas que consistiam na interação do usuário com alguns elementos gráficos dispostos na interface de usuário. Para tanto optou-se pelo uso da IGU (interface gráfica de usuário) do sistema operacional Microsoft Windows. Listagem de tarefas: (1) - clicar em um ícone (abrir gerenciador de arquivos); (2) - clicar num ícone (maximizar janela); (3) - efetuar um "scroll" rolagem (rolagem até o fim da tela); (4) - clicar num ícone (abrir arquivo .doc); (5) - clicar num ícone (mudar aba de ferramentas); (6) - clicar num ícone (fechar software); (7) - clicar num ícone (abrir menu do gerenciador de arquivos); (8) - clicar num ícone (fechar gerenciador de arquivos).

Esse roteiro era explicado em tempo real aos usuários no momento do desenvolvimento das tarefas, sendo que ao completá-la era revelado o próximo passo. Foi contabilizado o tempo de execução de cada tarefa e os cliques errados de cada usuário.

Após a execução das tarefas um questionário com questões relativas a satisfação e experiência de usuário foi aplicado. Um total de 9 voluntários, 3 mulheres e 6 homens de faixa etária entre 18 e 45 anos, todos estudantes, foram recrutados no campus Pelotas do Instituto Federal Sul-riograndense. Eles nunca haviam utilizado nenhum dispositivo ou software baseado em movimentos dos olhos ou de cabeça no controle do cursor na IGU. Desses usuários, 44% utilizava óculos, seja de modo contínuo ou como acessório para proteção solar ou leitura e 78% utilizava o mouse como principal ferramenta de interação com o computador, no que tange o controle do cursor e uso do clique.

Conforme resultados das análises, mostrado na Tabela II, a média de tempo para desenvolvimento das tarefas usando o mouse comum representou 25,66% do tempo que levaria executando com o IOM. Apesar de em termos comparativos, o mouse é o dispositivo que todos já utilizavam, era esperado uma maior agilidade (menor tempo de execução de tarefas) e menor taxa de erros no contexto desse experimento, porém a maioria dos usuários indicou uma experiência de uso satisfatória com o IOM com relação ao mouse.

TABELA II
TEMPOS MÉDIOS NA REALIZAÇÃO DAS TAREFAS EM T(S)/ERROS, NÚMERO TOTAL DE ERROS

Usuário /média	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
Mouse	3,8/1	5,3/0	4,2/0	4,3/0	5,7/1	4,6/0	2,8/0	3,2/0	4,1/0
IOM	13/1	9,5/0	17,7/2	18/1	13,9/3	14,6/1	16,6/2	15,6/0	19,6/1

Para avaliarmos a experiência de usuário, utilizamos a



Fig. 8. Propriedade de qualidade hedônica do IOM conforme o AttrakDiff. Fonte: [16].

ferramenta AttrakDiff™ [23]. Nessa perspectiva de avaliar a experiência de usuário, o AttrakDiff™ é um instrumento para medir a atratividade de produtos interativos e a relação dos mesmos. Este instrumento utiliza de pares de adjetivos opostos para que os usuários (ou potenciais usuários) possam identificar a sua percepção do produto.

Todas as palavras foram avaliadas de modo positivo - exceto no par "barato – caro". Este par provavelmente obteve essa média, mesmo que o IOM ainda não seja um produto industrializado, mas como é um óculos em sua essência, os usuários responderam com muita tranquilidade, pois a tendência é que ele seja um produto de baixo custo.

Como pode ser visto na Figura 8, na perspectiva do usuário, o dispositivo foi avaliado com características desejáveis como criatividade e inovação, nos critérios relacionados à dimensão de qualidade hedônica e bom, nos critérios de atratividade (ATT).

C. Avaliação Comparativa com Outros Dispositivos de TA

O terceiro experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar e comparar as métricas de desempenho do dispositivo IOM como outros dispositivos utilizados com a mesma finalidade. Foram utilizados os valores e métricas apresentados na avaliação feita por [6], utilizando um *head tracker*, dispositivo controlado por sensores anexados a cabeça através de um suporte, um *eye tracker*, dispositivo controlado pelo rastreamento do olhar através de câmeras, e o software câmera mouse [24].

Um total de 10 voluntários, 4 mulheres e 6 homens de faixa etária entre 18 e 35 anos, sendo que oito deles eram estudantes e nunca haviam utilizado nenhum dispositivo ou software baseado em movimentos dos olhos e de cabeça no controle do ponteiro na interface gráfica de usuário. Desses usuários, metade usava óculos, seja de modo contínuo ou como acessório para proteção solar ou leitura e todos eles utilizavam o mouse como principal ferramenta de interação com o computador, no que se refere ao controle do cursor e uso do clique.

O experimento envolveu tarefas cotidianas de apontar e selecionar que são utilizadas como métricas para verificar o

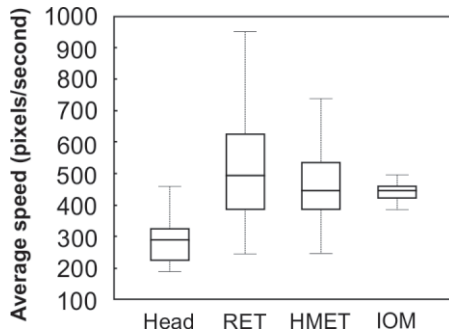


Fig. 9. Médias de velocidades de movimento sobre cada experimento, modo, tamanho do alvo e distância para os três dispositivos apresentados em [6] e o dispositivo proposto IOM.

TABELA III

VELOCIDADES MÉDIAS DE MOVIMENTO EM PIXELS/S E DESVIOS PADRÃO (ENTRE PARÊNTESES) DOS PARTICIPANTES PARA CADA MODO, DISTÂNCIA (300 E 500 PIXELS) E DIÂMETRO (50 E 100 PIXELS), COMPARADOS COM O DISPOSITIVO IOM

	Head		RET		HMET		IOM	
	300	500	300	500	300	500	300	500
50	231.12 (37.38)	322.99 (58.42)	407.01 (102.59)	599.98 (186.21)	364.65 (63.08)	548.16 (155.19)	442.08 (51.55)	509.54 (52.56)
100	247.11 (61.65)	364.71 (69.31)	435.67 (103.31)	649.85 (186.09)	400.09 (69.30)	595.01 (148.18)	359.58 (32.00)	464.03 (25.67)

desempenho de uma interface de computador de acordo com paradigma da lei de Fitt (Fitt's Law), seguindo o protocolo disponível em [25]. Os três modos apresentados em [6] para o controle do mouse são: somente movimentos de cabeça com software Câmera Mouse (Head); Movimentos de cabeça com os movimentos do olhar (head and remote eye tracker - RET) olhar com dispositivo anexado a cabeça (head and head-mounted eye tracker - HMET).

A Figura 9 mostra uma comparação entre os dispositivos em relação às velocidades médias de movimento do cursor do mouse. Os valores de desvio padrão e médias de velocidades, de todos os dispositivos, para cada combinação de modo, distância e diâmetro são relatados em [19]. Como pode ser visto através dos resultados, a velocidade média do IOM e de ambas as implementações HMAGIC foram maiores que a velocidade média com o software Câmera Mouse. O desvio padrão aproximado demonstra a estabilidade e do dispositivo IOM.

D. Discussão Sobre os Experimentos

No primeiro experimento foram realizados questionamentos para que melhor pudéssemos entender a perspectiva da usuária com deficiência motora. Estes questionamentos acabaram nos conduzindo a alguns domínios de usabilidade: a capacidade do dispositivo responder aos movimentos, experiência de uso através de perguntas relacionadas ao conforto, satisfação, nível funcional e se foi de fácil aprendizagem. Além disso, através da avaliação, pôde-se colher dados que motivaram alterações na estrutura da plataforma e interface com o usuário. Ficou

evidente, através do experimento que o impacto que este dispositivo de TA pode acarretar nas atividades do cotidiano da usuária, facilitando tanto o manejo do computador como a realização de tarefas (de entretenimento, da escola e convívio social).

Nos experimentos seguintes foram aplicados métodos focados na execução de tarefas. Para que o dispositivo fosse validado como um dispositivo de controle e acesso ao computador e para que possíveis problemas de usabilidade fossem solucionados antes de um teste de carga com o público alvo, foi definido o teste com usuários sem nenhuma deficiência. Como métrica do resultado de avaliação no segundo experimento, os usuários responderam ao instrumento AttrakDiff [23]. As características de desejável, atrativo e inovador foram apontadas com relação ao dispositivo IOM. Nenhum problema de usabilidade foi relatado.

Já no terceiro experimento obteve-se o comparativo do dispositivo IOM com outras tecnologias assistivas que são utilizadas por pessoas com deficiência motora. Com a comparação, pôde-se observar que a velocidade média do IOM foi maior que a velocidade média com o software Câmera Mouse, utilizado com webcam. A estabilidade de uso do dispositivo IOM foi demonstrada através dos valores do desvio padrão obtidos com as medidas.

VIII. CONCLUSÃO

A fim de permitir que pessoas com deficiências motoras nos membros superiores, interajam com o computador sem a necessidade de utilizar as mãos, desenvolveu-se uma plataforma de interação e controle do computador baseado no rastreamento dos movimentos da cabeça e piscar dos olhos do usuário, possibilitando assim, a interação com o computador de forma diferente em relação aos dispositivos de entrada de dados padrão, como teclado, mouse e tela sensível ao toque. De acordo com as primeiras avaliações, realizadas majoritariamente com usuários sem deficiência, os participantes avaliaram o dispositivo IOM como sendo de fácil e intuitiva utilização, podendo ser considerado uma tecnologia vestível, uma vez que os óculos são uma tecnologia de apoio já incorporada no nosso vestuário.

Através das avaliações preliminares, pode-se verificar a validação dos requisitos funcionais e não funcionais do projeto, demonstrando que o IOM é uma solução alternativa para acesso ao computador, em especial para as pessoas que tem deficiência motora nos membros superiores ou alguma dificuldade em controlar o computador através das mãos.

Vale ressaltar que, diferentemente da maioria das soluções apresentadas na literatura, devido ao fato de a plataforma de hardware e software ser concebida de forma customizada para o projeto, o sistema permite a realização de adequações para possibilitar uma boa usabilidade para pessoas com e sem deficiência, como é mostrado nos primeiros ensaios com o dispositivo. Avanços no projeto, como alteração na forma de acionamento do clique, utilização de uma plataforma sem fio e com diferentes tipos de sensores, bem como a validação do projeto através de testes com o público alvo, estão sendo planejados de modo a permitir uma maior flexibilidade e maturação da plataforma.

RECONHECIMENTO

Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq e ao Instituto Federal Sul-riograndense por financiar parcialmente esse projeto e a empresa JR Adamver pelo fornecimento das armações utilizadas no desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] WHO, “The world bank - world report of disability.” 2011, retrieved February 02, 2017 from www.who.int/disabilities/world-report/2011.
- [2] IBGE, “Instituto brasileiro de geografia e estatística - censo demográfico,” 2010, retrieved February 02, 2017 from www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010.
- [3] M. e. a. Machado, “Óculos mouse: Mouse controlado pelos movimentos da cabeça do usuário,” Brazilian Patent INPI n. PI10038213, 2010.
- [4] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, “Systematic mapping studies in software engineering,” in *EASE*, vol. 8, 2008, pp. 68–77.
- [5] J. M. Martins, J. M. Rodrigues, and J. A. Martins, “Low-cost natural interface based on head movements,” *Procedia Computer Science*, vol. 67, pp. 312–321, 2015.
- [6] A. Kurauchi, W. Feng, C. Morimoto, and M. Betke, “Hmagic: head movement and gaze input cascaded pointing,” in *Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. ACM, 2015, p. 47.
- [7] X. Huo, “Tongue drive: a wireless tongue-operated assistive technology for people with severe disabilities,” Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology, 2011.
- [8] S. Vickers, H. Istance, and A. Hyrskykari, “Performing locomotion tasks in immersive computer games with an adapted eye-tracking interface,” *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*, vol. 5, no. 1, p. 2, 2013.
- [9] C. Manresa Yee, J. J. Muntaner, and D. Arellano, “A motion-based interface to control environmental stimulation for children with severe to profound disabilities,” in *CHI’13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2013, pp. 7–12.
- [10] C. Topal, S. Gunal, O. Koçdeviren, A. Dogan, and O. N. Gerek, “A low-computational approach on gaze estimation with eye touch system,” *IEEE transactions on cybernetics*, vol. 44, no. 2, pp. 228–239, 2014.
- [11] R. A. Antunes, L. B. Palma, F. V. Coito, H. Duarteramos, and P. Gil, “Intelligent human-computer interface for improving pointing device usability and performance,” in *Control and Automation (ICCA), 2016 12th IEEE International Conference on*. IEEE, 2016, pp. 714–719.
- [12] Z.-P. Bian, J. Hou, L.-P. Chau, and N. Magnenat-Thalmann, “Facial position and expression-based human-computer interface for persons with tetraplegia,” *IEEE journal of biomedical and health informatics*, vol. 20, no. 3, pp. 915–924, 2016.
- [13] J. H. Mosquera, H. Loaiza, S. E. Nope, and A. D. Restrepo, “Identifying facial gestures to emulate a mouse: navigation application on facebook,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, no. 1, pp. 121–128, Jan 2017.
- [14] D. Pedrosa and M. d. G. C. Pimentel, “Text entry using a foot for severely motor-impaired individuals,” in *Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, ser. SAC ’14. New York, NY, USA: ACM, 2014, pp. 957–963. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2554850.2554948>
- [15] C. Mauri, T. Granollers, J. Lorés, and M. García, “Computer vision interaction for people with severe movement restrictions,” *Human Technology: An Interdisciplinary Journal on Humans in ICT Environments*, 2006.
- [16] A. Rodrigues, V. da Costa, M. Machado, A. Rocha, J. de Oliveira, M. Machado, R. Cardoso, C. Quadros, and T. Tavares, “Evaluation of the use of eye and head movements for mouse-like functions by using iom device,” in *International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction*. Springer, 2016, pp. 81–91.
- [17] A. Rodrigues, V. da Costa, R. Cardoso, and T. Tavares, “Análise de métricas para avaliação da interação baseada em apontadores - um estudo de caso para o dispositivo iom,” *XVII Encontro de Pós Graduação da Universidade Federal de Pelotas*, 2016.
- [18] R. Cardoso, V. da Costa, A. Rodrigues, T. Tavares, K. Xavier, J. Peroba, J. Peglow, and C. Quadros, “Doce labirinto: Experiência de jogo utilizando interação baseada em movimentos da cabeça e recursos tangíveis,” *XV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pp. 563–572, 2016.
- [19] A. S. Rodrigues, V. K. da Costa, R. C. Cardoso, M. B. Machado, M. B. Machado, and T. A. Tavares, “Evaluation of a head-tracking pointing device for users with motor disabilities,” in *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. ACM, 2017, pp. 156–162.
- [20] S. ISO 9241-11, “Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (vdts)—part ii guidance on usability,” *International Organization for Standardization 9241-11*, 1998.
- [21] J. Nielsen, “Usability 101: Introduction to usability,” 2003. [Online]. Available: <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>
- [22] J. Nielsen and T. K. Landauer, “A mathematical model of the finding of usability problems,” in *Proceedings of the INTERACT’93 and CHI’93 conference on Human factors in computing systems*. ACM, 1993, pp. 206–213.
- [23] M. Hassenzahl, M. Burmester, and F. Koller, “Attrakdiff: Ein fragebogen zur messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer qualität,” in *Mensch & Computer 2003*. Springer, 2003, pp. 187–196.
- [24] M. Betke, J. Gips, and P. Fleming, “The camera mouse: visual tracking of body features to provide computer access for people with severe disabilities,” *IEEE Transactions on neural systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2002.
- [25] I. S. Mackenzie, “Fitts’ law as a performance model in human-computer interaction,” 1992.