

MODELO TEÓRICO PARA PROTOTIPAÇÃO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA E AUTOMAÇÃO DOMÉSTICA COM ARDUÍNO

Flávio Francisco dos Reis

Mestrando em Ambiente Construído Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Natália Fernandes da Motta

Mestranda em Ambiente Construído Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Arthur Alves Costa Lignani de Miranda

Mestrando em Ambiente Construído Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Ercília de Stefano

Doutora em Engenharia de Transportes Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Tatiana Tavares Rodriguez

Doutora em Engenharia Civil Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

José Alberto Barroso Castañón

Doutor em Engenharia de Transportes Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Alberto Eduardo Besser Freitag

Doutor em Engenharia Civil Universidade Cândido Mendes - UCAM

RESUMO

O objetivo geral deste estudo foi a proposição de um modelo teórico que integra componentes acessíveis de robótica e software para criar um sistema de baixo custo, levando em consideração tanto a identificação de critérios sobre automação residencial e acessibilidade, quanto a verificação de oportunidades e desafios relativos à própria prototipação - notadamente implicando viabilidades técnicas e econômicas com desenho respectivo de orçamento (realizado em outubro de 2024) e de cronograma de execução (com prazo de 12 meses). Assim, a partir de uma revisão sistemática da literatura combinada com técnica de análise textual foi possível realizar a primeira etapa do cronograma de execução qual seja a de “Pesquisa e Planejamento”, com base em (n=24) trabalhos identificados na literatura científica. A partir dos quais, por Análise de Similitude com suporte do software Iramuteq foram identificados cinco tópicos chaves: (1) Pessoa; (2) Casa; (3) Tecnologia; (4) Sistema; (5) Dados - que permitiram maior aderência do modelo teórico a prototipação, evidenciando uma visão crítica da aplicação real do protótipo. Futuros estudos podem se beneficiar da primeira etapa do cronograma de execução cumprida, e utilizar os dez meses restantes para a alocação de recursos em desenvolvimento. Vale destacar que o orçamento precisa ser sempre atualizado. Por outro lado, futuros estudos teóricos podem explorar dados primários com entrevistas e questionários entre várias partes interessadas, inclusive pessoas com deficientes, em prol do aperfeiçoamento do protótipo.

Palavras-chave: Tecnologia assistiva, Automação residencial, Arduino, Deficiências motoras, Interface de usuários.



1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Módulo Pessoas com Deficiência da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua, 2022), a população brasileira com deficiência foi estimada em aproximadamente 18,6 milhões de pessoas com 2 anos ou mais. Esse número reflete a significativa parcela da sociedade que enfrenta desafios cotidianos decorrentes de barreiras de acessibilidade. No âmbito doméstico, a acessibilidade desempenha um papel crucial na garantia de independência e na melhoria da qualidade de vida dessas pessoas. No entanto, muitos indivíduos enfrentam dificuldades ao utilizar eletrodomésticos e sistemas de entretenimento, impactando negativamente sua autonomia. Embora tecnologias de automação residencial tenham o potencial de mitigar essas barreiras, estudos que explorem soluções práticas, de baixo custo e com interfaces amigáveis para pessoas com deficiência ainda são escassos.

A literatura existente aborda amplamente o desenvolvimento de tecnologias assistivas, mas há uma lacuna específica na integração de componentes acessíveis de robótica e software em sistemas de automação residencial voltados a usuários com deficiência. Tarefas cotidianas, como operar um controle remoto de televisão, ainda representam obstáculos significativos devido à necessidade de habilidades motoras finas e precisão (Cobra; Wataya, 2020). Diante disso, soluções que tornem esses dispositivos mais acessíveis são essenciais para promover maior autonomia e inclusão.

Bersch (2017), Boot et al. (2018) e Smith et al. (2018) abordaram o tema das tecnologias assistivas para pessoas com deficiência. Este artigo complementa a literatura existente ao propor uma solução que utiliza componentes simples de robótica, como servomotores, emissores de infravermelho, microprocessadores como Arduino e peças impressas em 3D, juntamente com a programação de software. A proposta consiste na criação de uma interface de operação simplificada, utilizando um tablet para proporcionar uma experiência amigável ao usuário com deficiência. Esta abordagem distingue-se pela simplicidade, baixo custo e pelo potencial significativo de melhorar a qualidade de vida dessas pessoas. Portanto, o problema de pesquisa se relaciona com a necessidade da criação de um modelo teórico para prototipação de tecnologia assistida e automação doméstica com Arduino. Consecutivamente, o trabalho fez a proposição de um modelo teórico que integra componentes acessíveis de robótica e software para criar um sistema de baixo custo, isto a partir de critérios sobre automação residencial e acessibilidade, com foco em propostas aplicáveis. Ainda, foram identificadas oportunidades e desafios quanto à própria prototipação.

A pesquisa exploratória e descritiva, foi realizada em duas etapas, a saber: (1) Revisão de escopo da literatura realizada a partir da base científica Web of Science - WoS (2024) em 21 de novembro de 2024 implica automação residencial e acessibilidade; (2) Aplicação da Análise Textual com base no software Iramuteq versão 0.7 Alpha 2 para se extrair as categorias úteis a criação do



modelo teórico. Os resultados podem inspirar futuras pesquisas voltadas a desenvolvimentos de produtos na área de acessibilidade e automação residencial.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A deficiência é uma parte inerente da condição humana, afetando temporária ou permanentemente quase todas as pessoas em algum momento da vida. O envelhecimento agrava as dificuldades funcionais, exigindo suporte de familiares e amigos (Organização Mundial da Saúde - OMS, 2011). Historicamente, a inclusão e o apoio às pessoas com deficiência têm sido questões morais e políticas urgentes, conforme definido pelo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11, que promove cidades e comunidades sustentáveis, parte do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2024). Além dos impactos econômicos associados a adaptações residenciais e políticas públicas, a deficiência traz desafios universais, como desemprego, isolamento social e problemas psicológicos. A pesquisa da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio - PNAD contínua (PNAD,2022), revela que as pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda.

Segundo Guzi de Moraes et al. (2021) a tecnologia assistiva (TA) é definida como a aplicação de conhecimentos e habilidades organizadas relacionadas a produtos assistivos, incluindo sistemas e serviços, que são concebidos e aplicados para melhorar a qualidade de vida e a inclusão social. A TA tem como objetivo aumentar a independência dos indivíduos, promovendo seu bem-estar e desempenhando um papel fundamental na manutenção e aprimoramento da qualidade de vida (Smith et al., 2018).

A TA proporciona uma série de benefícios significativos, como o aumento da independência, melhora na qualidade de vida, inclusão social e redução dos custos de cuidados. Ela ajuda a superar limitações físicas e funcionais, permitindo que as pessoas realizem atividades diárias com maior autonomia. Além disso, a TA pode aliviar a carga dos cuidadores, proporcionando-lhes um descanso necessário e melhorando o seu bem-estar psicológico. No entanto, a aceitação e uso contínuo dos recursos da TA dependem da adequação dos dispositivos às necessidades individuais e do suporte adequado durante o processo de adaptação (Squires; Williams; Morrison, 2019).

Apesar da significativa demanda por dispositivos de TA, intensificada pelas tendências globais de envelhecimento populacional, diversos obstáculos ainda persistem em sua implementação. Entre os principais desafios, destacam-se a falta de financiamento e de políticas públicas adequadas para apoiar a disseminação e o uso desses dispositivos (Boot et al., 2018). De acordo com Bersch (2017) no Brasil, os recursos de TA são atualmente classificados em doze categorias, conforme seus objetivos funcionais: esporte e lazer, auxílios para a vida diária, comunicação aumentativa e alternativa, recursos de acessibilidade ao computador, sistemas de controle de ambiente, projetos arquitetônicos para



acessibilidade, órteses e próteses, adequação postural, auxílios de mobilidade, auxílios para qualificação da habilidade visual, auxílios para pessoas com deficiência auditiva e mobilidade em veículos.

Esses dispositivos, também conhecidos como Ajudas Eletrônicas para a Vida Diária (AEVD) ou Electronic Aids for Daily Living (EADL), facilitam a operação de aparelhos elétricos em um determinado ambiente para pessoas com deficiências físicas. Ao aumentar a independência, melhorar a qualidade de vida e promover a inclusão social, essas tecnologias podem também contribuir para a redução dos custos com cuidados (Rojas; Ponce; Molina, 2022).

A construção de dispositivos de TA deve considerar não apenas a funcionalidade e a acessibilidade, mas também a integração de diferentes tecnologias para maximizar a independência dos usuários (Reis, 2017). A inspiração para criar a interface de comunicação entre o usuário com deficiência e o tablet vem do método de pictogramas do Centro Aragonês de Comunicação Aumentativa e Alternativa. Esta ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de tornar a comunicação mais fácil e intuitiva para pessoas com deficiências.

Cada pictograma possui seu significado escrito acima da imagem, facilitando o entendimento do usuário. Além disso, os pictogramas são divididos em grupos de mesma categoria, o que auxilia no desenvolvimento de pensamentos abstratos a partir da generalização de conceitos, tornando a comunicação mais ágil e eficiente. Esta organização promove uma interação mais clara e direta, melhorando significativamente a capacidade de expressão dos usuários (Centro Aragonês de Comunicação Aumentativa e Alternativa, CACAA - 2024).

Quanto a plataforma de eletrônica, é desejável a adoção de uma plataforma de código aberto que permite a criação de projetos interativos de hardware e software, como o Arduino. A plataforma consiste em uma placa de desenvolvimento que pode ser conectada a uma breadboard ou protoboard, que são placas de desenvolvimento sem solda, e a outros componentes, como sensores, LEDs e displays. A programação do Arduino é realizada em seu ambiente de desenvolvimento próprio, conhecido como Arduino IDE, onde é possível escrever códigos para controlar os componentes conectados à placa. Essa facilidade de uso torna o Arduino uma escolha popular entre entusiastas, estudantes e profissionais para prototipagem rápida e desenvolvimento de projetos eletrônicos (Arduino, 2021).

Existem diversas variantes de placas Arduino no mercado, cada uma adequada para diferentes tipos de projetos. O Arduino Uno é popular por sua simplicidade e facilidade de uso, ideal para iniciantes. O Arduino Mega 2560 oferece mais pinos e memória, adequado para projetos complexos. O Arduino Nano é uma versão compacta do Uno, perfeita para espaços limitados. O Arduino Leonardo possui suporte nativo a USB, permitindo que a placa se comporte como um dispositivo de entrada. O Arduino Due utiliza um microcontrolador ARM Cortex-M3, oferecendo maior desempenho. O



Arduino Micro combina a compactidade do Nano com a funcionalidade do Leonardo, enquanto o Arduino Nano Every atualiza o Nano original com mais memória e velocidade (Arduino, 2022).

Essa diversidade de opções facilita a experimentação e o desenvolvimento de projetos interativos, permitindo que os usuários escolham a placa mais adequada para suas necessidades específicas. A capacidade do Arduino de funcionar de forma independente e com alta precisão destaca-se entre as vantagens que impulsionam sua ampla adoção em diversas áreas, desde a educação até a pesquisa e desenvolvimento industrial (Arduino, 2021).

Em suma, a literatura destaca a importância crucial da tecnologia assistiva (TA) na promoção da independência e melhoria da qualidade de vida das pessoas com deficiências. A integração de plataformas como o Arduino, com sua versatilidade e acessibilidade, abre novas possibilidades para o desenvolvimento de dispositivos de TA inovadores e eficazes. A adoção de métodos de comunicação intuitivos, como os pictogramas, e a consideração de fatores como financiamento e políticas públicas são essenciais para superar os desafios na implementação dessas tecnologias. Assim, o presente estudo busca contribuir para esse campo ao propor um dispositivo de TA que combine essas abordagens, oferecendo soluções práticas e acessíveis para necessidades diárias. Esta revisão da literatura fornece uma base teórica necessária para a construção e justificação do projeto proposto, sublinhando a relevância e o potencial impacto positivo dessa iniciativa.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Como explicitado na seção introdutória, o objetivo geral do trabalho foi a proposição de um modelo teórico que integra componentes acessíveis de robótica e software para criar um sistema de baixo custo. Para tanto, cumpriu-se os objetivos específicos: (a) identificar critérios sobre automação residencial e acessibilidade, com foco em propostas aplicáveis; (b) verificar oportunidades e desafios quanto à prototipação.

Nesse sentido, a presente investigação foi exploratória e descritiva, de natureza qualitativa, foi empreendida a partir de revisão sistemática da literatura (RSL), conferindo o escopo. A partir do corpus textual foi possível empreender a Análise Textual (AT).

Cumprir explicar que a forma sistemática assegura a precisão, validade e confiabilidade dos dados, fornecendo uma estrutura robusta para a análise e interpretação dos resultados, promovendo assim a geração de conhecimento científico rigoroso e bem fundamentado (Prodanov; Freitas, 2013). Ainda, segundo a classificação de Gil (2022) a presente pesquisa apresenta caráter aplicado, pois abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas identificados no âmbito das sociedades, sendo exploratória e descritiva, uma vez que o objetivo é proporcionar maior familiaridade com o problema e descrever a relação entre as variáveis da pesquisa (Gil, 2022). A seguir é detalhada



a coleta dos dados (3.1) e o processamento dos dados (3.2) que servem de apoio a criação do modelo teórico conceitual.

3.1 COLETA DE DADOS

Nesse estudo, a coleta de dados secundários foi realizada a partir de consulta a base científica Web of Science (WoS) no dia 21 de novembro de 2024 e seguindo o fluxograma Prisma (2009) de maneira adaptada, ou seja: (a) Identificação, (b) Seleção; (c) Elegibilidade; (d) Inclusão. Para as etapas de elegibilidade e inclusão foi usado o suporte da inteligência artificial (IA) Rayyan (2024). O Quadro 1 detalha o passo a passo da coleta de dados:

Quadro 1. Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

| Etapas | Descrição | Resultados |
|---------------|--|--|
| Identificação | String 1 - assistive technology AND home automation; String 2 - assistive technology AND arduino. | String 1: n=222 String 2: n=71 Total: n = 293 |
| Seleção | Filtros adotados: (1) Open Access; (2) Período (anos de 2019-2024); (3) Tipo de material: artigos | String 1: n= 35 String 2: n= 8 Total: n=43 |
| Elegibilidade | Foi utilizado o suporte da Inteligência Artificial Rayyan em duas rodadas com dois revisores, sendo a primeira com o blind on ligado e a segunda com o blind on desligado. | Rodada 1: Foram excluídos (n=17); incluídos (n=22); maybe (n=04); conflito (n=01). |
| Inclusão | | Rodada 2: Foram excluídos (n=19); incluídos (n=24); |

Fonte: Elaboração própria a partir da adaptação de Prisma (2009) e uso do Rayyan (2024)

A seguir é detalhado o processamento dos dados com o suporte do software de Análise Textual Iramuteq, versão 0.7 Alpha 2.

3.2 PROCESSAMENTO DE DADOS

A partir do corpus textual formado por n= 24 trabalhos, os resumos dos mesmos foram codificados da seguinte forma: **** *abstract_n, onde n equivale aos números de resumos incluídos para o processamento dos dados, ou seja (n= 1 a 24).

O software Iramuteq versão 0.7 Alpha 2 permite uma série de análises, contudo foram selecionada a Análise de Similitude, que baseada na Teoria dos Grafos (Salviati, 2017) permitiu compreender tanto a frequência dos termos, quanto a co ocorrência a partir de comunidades de palavras por halos. Ressalta-se que o corpus textual foi ajustado conforme manual do Iramuteq (v. Salviati, 2017) e o termo advérbio foi ajustado para complementar.

Ademais, foi estabelecido um corte para termos com frequência igual ou superior a 10. Esses ajustes fizeram emergir as principais temáticas do corpus textual analisado sobre automação residencial e acessibilidade pela perspectiva da interface entre assistive technology e em específico do Arduino. Isto levou tanto ao subsídio da criação do modelo teórico conceitual, quanto da discussão sobre oportunidades e desafios com relação à prototipação.



system/sistema; (5) (f=46), datum/dados (f=22). Logo, as evidências científicas depreendidas da revisão sistemática da literatura combinada com a análise textual foram elencadas no Quadro 2:

Quadro 2. Evidências científicas

| Halos | Evidências científicas |
|---------------------------|--|
| 1.Person /Pessoa | A person/pessoa com disability/deficiência precisa de support/suporte daily/diário no environment/ambiente. |
| 2.Home / Casa | Home/casa se liga, entre outros termos, a smart / inteligência e automation/automação. Está em linha com: health / saúde e social care/cuidado social. Além da relação estreita com develop / desenvolver, challenge/desafios e individual/individual. |
| 3.Technology / Tecnologia | O termo se liga a assistive/assistida, e depois a device/equipamento, sendo que isto se desdobra em três perspectivas: (a) communication /comunicação; (b) controle/control e (c) development/desenvolvimento |
| 4.System / Sistema | O termo Arduino se liga diretamente com o termo user/usuário e system/sistema. Por outro lado, o termo sensor/sensor enquanto uma proposição está dentro do contexto do sistema. |
| 5.Datum / Dados | Datum/dados se liga a glass/óculos e a ímpar visually / visão prejudicada. |

Fonte: Elaborado pelos autores, (2024).

Diego et al. (2020) tratou o papel do smartphone no controle para pessoas que perdem o controle dos membros superiores ou estão em reabilitação, demonstrando o papel que a tecnologia assistida tem para países em desenvolvimento, sendo a confecção dela de baixo custo. Por outro lado, Kumar et al. (2024) sublinha o papel de microcontrolador Arduino Nano para pessoas com deficiência visual ganharem mais autonomia, com dicas auditivas e utilizando de sistema global de posicionamento (GPS). Contudo, é necessário ainda testes rigorosos, o que demonstra a relevância de modelos teóricos para se iniciar uma prototipação, averiguando desafios e oportunidades.

Num primeiro momento, o contexto da casa (home) parece ser chave para se garantir maior autonomia para pessoas com deficiências, pois é o termo mais frequente no corpus textual analisado. Nesse sentido, Wu et al. (2020) trataram a tecnologia assistida com múltiplos sensores a partir de rede sem fio - wireless. Em linha, os autores usaram tradutor de código Morse e entre ser humano e máquina e entre humanos, tendo sido o teste experimental favorável em relação à qualidade de vida no tocante a controle de eletrodomésticos. Logo, nesta pesquisa em linha com a busca por saúde, ficou evidente o fator desafiador numa perspectiva individual. Essa perspectiva da individualidade foi abordada por Cleland et al. (2024) demonstrando a atualidade sobre o tema quanto a publicação no journal Disability and Rehabilitation: Assistive Technology.

A premissa da tecnologia assistiva no terceiro halo aparece como uma centralidade do corpus textual analisado, o que é compreensível, uma vez que a expectativa é a prototipação de uma nova tecnologia assistiva. Giraud, Volanschi & Consel (2020) trataram das casas inteligentes incluindo um aspecto chave a isto, a antecipação do comportamento. Além disso, o enfoque foi para os idosos e cuidadores. Logo, a visão sistêmica integrando máquinas e seres humanos é um apoio chave para a prototipação de novos devices/equipamentos.



Criar um sistema de tecnologia assistiva que considere Arduinos e sensores deve levar em consideração o user/usuário. Kumar et al. (2024) por exemplo tratou as especificidades voltadas a pessoas com deficiências visuais, logo as necessidades destes podem ser diferentes de pessoas com outros tipos de deficiências. O baixo custo é essencial para novos protótipos, ainda mais em países em desenvolvimento como o Brasil. Busaeed et al. (2022) ao tratarem do LidSonic para pessoas com deficiências visuais detalham custos, tal como o da placa de microcontrolador que custou menos de oitenta dólares. O quinto halo parece ser uma especificidade ao tratar os datum/dados a partir da perspectiva do glass/óculos e da visão prejudicada. Nesse sentido, cumpre explorar outros tipos de prototipação quanto a atendimento de deficiências variadas, como as motoras.

As comunidades de palavras por halos (v. Quadro 2) permite compreender que um novo modelo teórico para prototipação quanto a automação residencial e acessibilidade deve estar em linha com os avanços tecnológicos focados em pessoas e comportamentos, incluindo as várias partes interessadas tais como pessoas com deficiência, cuidadores etc. em prol da saúde e bem-estar. O novo modelo deve ir além dos desafios para pessoas com deficiência visual, embora estas devam ser consideradas. Por fim, é preciso uma visão sistêmica no desenvolvimento de novas tecnologias assistidas em residências, focando no baixo custo para ampliar os acessos a partir da inclusão social e econômica da maioria das pessoas.

4.2 PROPOSIÇÃO DE MODELO TEÓRICO

Cumprindo o objetivo geral do trabalho foi proposto um modelo teórico que integra componentes acessíveis de robótica e software para criar um sistema de baixo custo, conforme evidenciado a partir da análise de similitude. Em linhas gerais, o protótipo teórico de automação residencial será estruturado com base em duas interfaces tecnológicas principais: (1) diferente de Diego et al. (2020) que abordou os smartphones, no presente modelo será proposto um tablet. Este atuará como interface de usuário para a comunicação direta com a pessoa com deficiência; (2) o mecanismo de ativação, responsável por interagir e controlar os dispositivos eletrônicos no ambiente residencial, incluindo a reflexão sobre redes wi-fi (v. Wu et al., 2020) e Bluetooth.

Em linha com os objetivos de focar nas pessoas e na relação entre pessoas e máquinas (vide Giraud, Volanschki & Consel, 2020) o tablet será equipado com um aplicativo personalizado. Portanto, será projetado para oferecer uma interface intuitiva e amigável, facilitando a interação do usuário com o sistema. Esse aplicativo permitirá ao usuário selecionar e enviar comandos de controle para diversos dispositivos eletrônicos conforme observado no estudo de Wu et al. (2020).

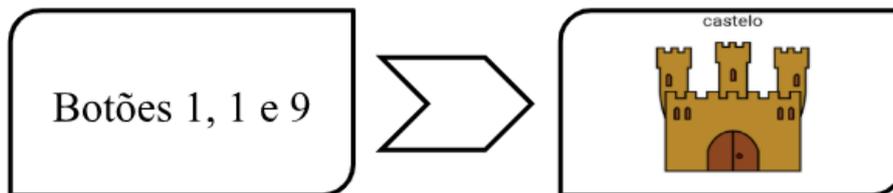
As informações e comandos enviados pelo tablet serão transmitidos via Bluetooth para um microcontrolador Arduino, que servirá como o núcleo do sistema, processando os dados recebidos e executando as ações necessárias. O Arduino será responsável por gerenciar vários componentes



integrados, incluindo servomotores para realizar movimentos mecânicos, emissor infravermelho para controlar dispositivos que utilizam esse tipo de comunicação, e peças impressas em 3D para estruturar e suportar o hardware do sistema de forma eficiente.

Em termos metodológicos, a construção da interface do aplicativo no tablet, será utilizado o método de pictogramas do Centro Aragonês de comunicação aumentativa e alternativa ou Aragonese Center for Augmentative and Alternative Communication (ARASAAC), que oferece uma base sólida para uma interface amigável e acessível. A substituição dos comandos usuais dos controles remotos por pictogramas, que serão convertidos em "atividades", visa facilitar a comunicação e a interação do usuário com deficiência. Por exemplo, para mudar de canal, onde normalmente é necessário apertar vários botões, o Canal Disney será transformado em um pictograma facilmente associável à Disney como um castelo (ver Figura 2).

Figura 2. Conversão dos comandos para pictogramas.



Esquema: Elaborado pelo autor, (2024) Fonte pictograma: ARASAAC, (2024)

Conforme sublinhado, a programação do aplicativo será voltada para o desenvolvimento de uma interface intuitiva, que permitirá a seleção de comandos por meio de toques simples, como controle de funções para mudança de canal ou ajuste de volume. A comunicação entre o tablet e o microcontrolador Arduino ocorrerá via Bluetooth, assegurando uma transmissão de dados eficiente e confiável. O desenvolvimento seguirá as melhores práticas de acessibilidade, garantindo que todas as funcionalidades sejam plenamente utilizáveis por pessoas com limitações motoras. Ressalta-se que o ARASAAC disponibiliza uma Interface de Programação de Aplicações (API, na sigla em inglês) para programadores, proporcionando maior facilidade no desenvolvimento de softwares personalizados. Ao selecionar qualquer ícone, o sistema emite uma resposta auditiva e tátil, com vibração, a fim de facilitar a interação e atender às necessidades de pessoas com deficiência.

Na Figura 3, apresenta-se um exemplo da tela principal do aplicativo (app), uma vez que esse protótipo teórico precisa ser validado conforme a sua usabilidade. O aplicativo será focado no controle de diversos equipamentos que utilizam infravermelho na comunicação, como televisores, receptores de TV a cabo e aparelhos de ar-condicionado, ou seja, eletrodomésticos conforme visto no estudo de Wu et al. (2020). A interface principal do aplicativo simulará o controle desses dispositivos, proporcionando ao usuário uma maneira intuitiva e acessível de gerenciar múltiplos equipamentos eletrônicos através de pictogramas, conforme evidenciado na Figura 3.



Figura 3. Exemplo da tela inicial do aplicativo.



Montagem: Elaborado pelo autor, (2024) Fonte pictogramas: ARASAAC, (2024) Fonte modelo tablet: OPENAI, (2024)

Ressalta-se que na Figura 3, a função será configurada de acordo com a rotina da pessoa com deficiência, podendo haver apenas uma página com funções ou várias, conforme necessário. Como observado pela literatura científica consultada, questões mais específicas precisam ser tratadas de forma individualizada, exigindo que o aplicativo possua uma interface de personalização intuitiva e simples, ou seja focada na pessoa (person, halo 1 da Figura 1). Isso permitirá que os cuidadores configurem e ajustem as funções do aplicativo com facilidade, atendendo às necessidades específicas de cada usuário de maneira eficiente, conforme visto nas pesquisas de Squires; Williams; Morrison (2019) e de Giraud, Volanschi & Consel (2020). A seguir são elencados desafios e oportunidades desta prototipação a partir do debate sobre viabilidade técnica, econômica e de prazo.

4.3 DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Buscando uma aderência do modelo teórico a realidade com base na literatura científica consultada, ficou evidente que os desafios e oportunidades quanto à prototipação se relacionaram com duas principais dimensões: (a) Viabilidade Técnica (4.3.1); (b) Viabilidade Econômica e de Prazo (4.3.2.).



4.3.1 Técnica

Em síntese, a dimensão técnica se relaciona com a proposta de mecanismo de interação com os eletroeletrônicos via infravermelho. Para garantir a autonomia e a facilidade de uso para pessoas com deficiências motoras, é essencial desenvolver um mecanismo eficiente de interação com os dispositivos eletrônicos domésticos que utilizam comunicação via infravermelho. Esse mecanismo permitirá que o usuário controle equipamentos como televisores, receptores de TV a cabo e ar-condicionado de maneira intuitiva e acessível. Nesse ponto, o Wu et al. (2020) foi inspirador para o debate desta viabilidade técnica. A implementação deste mecanismo será realizada utilizando a plataforma Arduino. Ressalta-se que o Arduino é uma plataforma de código aberto que permite a criação de projetos interativos de hardware e software, composta por uma placa de desenvolvimento equipada com um microcontrolador programável. Vários trabalhos utilizaram Arduino, como o de Kumar et al. (2024) que enfocou um aspecto diferente da deficiência motora, qual seja a visual.

A escolha do Arduino se deve à sua facilidade de uso, baixo custo e ampla comunidade de suporte, facilitando a prototipagem e o desenvolvimento de soluções personalizadas. O baixo custo é algo discutido com proeminência na literatura científica, vide Busaeed et al. (2022). No contexto desse projeto, o Arduino receberá comandos do aplicativo no tablet via Bluetooth e enviará sinais infravermelhos para os dispositivos eletrônicos, garantindo uma integração harmoniosa entre software e hardware. A simplicidade e versatilidade do Arduino, características que o tornam ideal para desenvolvimento rápido e eficiente de protótipos.

Ressalta-se que o Arduino Uno é amplamente compatível com uma variedade de módulos e componentes, incluindo módulos Bluetooth e emissores infravermelhos, essenciais para a comunicação e controle dos dispositivos eletrônicos, o que leva a essa escolha, diferente do trabalho de Diego et al. (2020) que tratou do smartphone ou do Wu et al. (2020) que tratou da rede wi-fi. Além disso, ele oferece um número suficiente de pinos digitais e pinos de Pulse Width Modulation (PWM) ou Modulação por Largura de Pulso (MLP) para controlar os servomotores necessários. Um fator decisivo para essa escolha refere-se à existência de uma robusta comunidade de suporte e a abundância de recursos e bibliotecas disponíveis facilitam a solução de problemas e a implementação de funcionalidades adicionais. Como mencionado, o custo acessível do Arduino Uno, o torna uma opção econômica e prática para projetos de tecnologia assistiva (v. Figura 4):



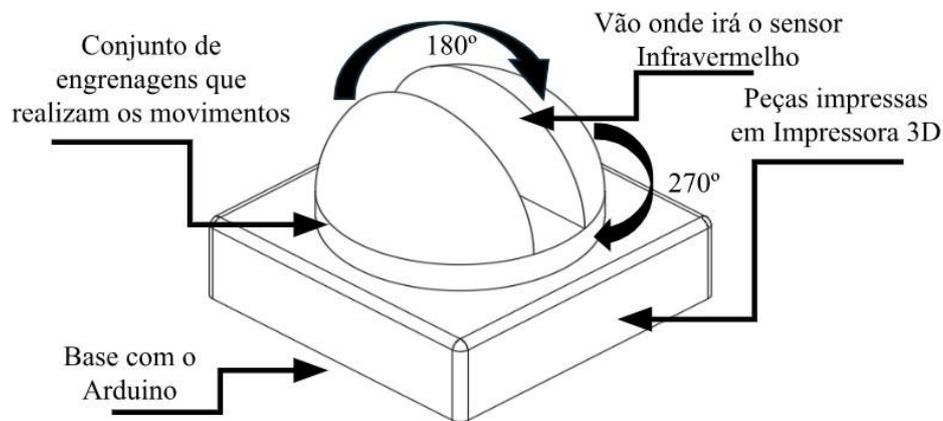
Figura 4. Arduino Uno



Fonte: ARDUINO, (2022)

Definida a plataforma de programação inspirada pelo debate teórico conceitual depreendido da revisão sistemática da literatura científica, é importante entender como o mecanismo irá funcionar na prática. De acordo com as especificações técnicas adotadas, o Arduino Uno receberá o sinal Bluetooth através de um módulo específico e, após processá-lo, enviará comandos infravermelhos aos eletroeletrônicos. Para garantir que o emissor alcance dispositivos em diferentes direções, será utilizado um conjunto de servomotores para movimentá-lo de forma eficaz. conforme o Modelo Teórico do Protótipo na Figura 5:

Figura 5. Modelo Teórico do Protótipo



Fonte: Elaborado pelos autores, (2024)

Em linha, para esse propósito, será construído um conjunto de engrenagens com rodas dentadas, movimentadas por servomotores, que permitirá uma movimentação de 270° no próprio eixo e 180° de amplitude (ver Figura 5). Isso garantirá que o emissor infravermelho alcance o maior número possível de posições, similar ao mecanismo utilizado em câmeras IP. A seguir, com base na Figura 5, são debatidas a viabilidade da dimensão econômica com mais detalhes.



4.3.2 Dimensão Econômica

Para garantir a viabilidade e a implementação bem-sucedida do projeto, é essencial realizar uma análise detalhada dos custos e do tempo necessários. Esta análise inclui: (a) hardware (Arduino Uno, módulos Bluetooth e IR, servomotores, componentes eletrônicos e peças impressas em 3D); (b) software (desenvolvimento do aplicativo e programação do Arduino) e outros recursos necessários para construção e testes. Estima-se o tempo necessário para cada fase do projeto, desde a pesquisa inicial até a implementação e validação. Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta os custos previstos, proporcionando uma visão clara dos investimentos necessários, incluindo mão de obra baseada em um bolsista de iniciação científica (IC) com valor de bolsa R\$2.200,00 por se tratar de uma possibilidade de spinoff, ou seja, derivação do mundo acadêmico para o mundo do trabalho. A Tabela 1 detalha os custos previstos para o projeto considerando o mês de outubro de 2024 como referência do levantamento:

Tabela 1. Custos previstos para o projeto.

| ITEM | ORÇAMENTO | | CUSTO | |
|------|----------------------------------|------------|--------------------------------|---------------------|
| | ESPECIFICAÇÃO | QUANTIDADE | UNITÁRIO | TOTAL |
| 1 | Componentes Eletrônicos | 1 unidade | R\$5.000,00/Unidade | R\$5.000,00 |
| 2 | Gastos com Filamento | 3 Kg | R\$300,00/Kg | R\$900,00 |
| 3 | Horas de Impressão 3D | 165 Horas | R\$2,50/Hora | R\$412,50 |
| 4 | Horas de Eletroeletrônica | 130 Horas | R\$13,75/Hora | R\$1.787,50 |
| 7 | Horas de Modelagem | 320 Horas | R\$13,75/Hora | R\$4.400,00 |
| 6 | Horas de Montagem | 320 Horas | R\$13,75/Hora | R\$4.400,00 |
| 8 | Horas de Pesquisa e Planejamento | 240 Horas | R\$13,75/Hora | R\$3.300,00 |
| 5 | Horas de Programação | 480 Horas | R\$13,75/Hora | R\$6.600,00 |
| 9 | Horas de Testes | 240 Horas | R\$13,75/Hora | R\$3.300,00 |
| | | | Total Custos Previstos: | R\$30.103,00 |

Fonte: Elaborado pelos autores, (2024)

Com um total aproximado de trinta mil reais em outubro de 2024, para assegurar uma viabilidade econômica, torna-se relevante explicar a alocação do recurso no tempo, detalhando um cronograma de execução. Assim, a execução organizada e eficiente do projeto, foi elaborado um cronograma detalhado no Quadro 3, que abrange todas as etapas desde a pesquisa inicial incluindo esta revisão sistemática da literatura até a implementação e validação final do produto.



Quadro 3. Cronograma de execução previsto

| CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------------|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Item | Atividade | Período(mês) | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Pesquisa e Planejamento | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 2 | Modelagem paramétrica | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 3 | Programação | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 4 | Impressão 3D | | | | | ■ | ■ | | | | | | |
| 5 | Eletroeletrônica | | | | | | | ■ | | | | | |
| 6 | Montagem e testes | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 7 | Correções e entrega final | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

Fonte: Elaborado pelos autores, (2024)

Com base no Quadro 3, fica evidente que o recurso aproximado de trinta mil reais seria alocado no prazo de um ano visando dar continuidade ao que está sendo iniciado no mês de outubro de 2024 com a pesquisa e o planejamento materializados neste artigo. Logo, o presente artigo já cumpre uma etapa importante em termos de otimização de tempo para a execução deste projeto, podendo futuros interessados subtrair pelo menos dois meses, realizando o projeto a partir daqui em menos de um ano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme objetivo geral da pesquisa que foi a proposição de um modelo teórico que integra componentes acessíveis de robótica e software para criar um sistema de baixo custo, foi proposto um modelo teórico que integra componentes acessíveis de robótica e software para criar um sistema de baixo custo. De maneira auxiliar, se identificou critérios sobre automação residencial e acessibilidade, com foco em propostas aplicáveis; e, verificou oportunidades e desafios quanto à prototipação.

A revisão sistemática da literatura aliada a Análise Textual permitiu, a partir de evidências científicas aferidas com o corpus textual formado por (n=24) trabalhos compreender tópicos proeminentes tais como: (1) person/pessoa; (2) home/casa; (3) technology/tecnologia; (4) system/sistema; (5) datum/dados extrair pistas relevantes para se compreender tanto a relevância da tecnologia assistiva na promoção da independência e na melhoria da qualidade de vida desses

indivíduos permitindo criar um modelo teórico conceitual, quanto o debate dos desafios e oportunidades, incluindo viabilidade técnica e econômica do protótipo.

Embora ainda em fase de proposição, com base na revisão sistemática da literatura e da análise textual, tem-se que a implementação de uma interface intuitiva baseada em pictogramas, aliada a um sistema de controle por infravermelho, mostrou-se promissora em facilitar a interação de usuários com dispositivos eletrônicos domésticos.

Em termos práticos, visando a realização do projeto em doze meses com um orçamento estimado em aproximadamente trinta mil reais em outubro de 2024, tem-se que a dependência de componentes de baixo custo, tais como os utilizados no Arduino Uno e seus módulos associados, além do uso de impressão 3D são desafiadores em médio e longo prazos. Isto pois, embora esses



componentes sejam acessíveis e amplamente disponíveis, podem não oferecer a durabilidade e robustez necessárias para uso prolongado e intensivo, especialmente em ambientes domésticos onde a confiabilidade é essencial. Logo, ressalta-se que uma limitação do protótipo é a necessidade de manutenção e substituição de peças, o que seria inconveniente para os usuários finais. Outra limitação se refere a integração de dispositivos baseados em infravermelho, uma vez que requer linha de visão direta para comunicação eficaz, o que pode não ser viável em todas as configurações domésticas, contudo torna-se uma opção de baixo custo mais relevante do que outras identificadas na literatura científica.

Assim, futuros trabalhos podem se ocupar do aprofundamento sobre a incorporação de melhorias tecnológicas, como o uso de sensores mais avançados e componentes de maior qualidade, além da integração de novas formas de interação, tais como comandos de voz e controle por gestos, para tanto sugere-se novas revisões sistemáticas da literatura.

Em termos de dados primários, a expansão da pesquisa pode considerar questionários e entrevistas, devidamente aprovadas pelo Comitê de ética, para investigar junto às diversas partes interessadas, incluindo os próprios deficientes, sobre usabilidade e o impacto social e econômico dessas tecnologias. Ressalta-se que esta expansão da presente pesquisa pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à promoção da inclusão e acessibilidade digital.

Em síntese, o presente artigo não apenas oferece uma solução potencialmente prática e de baixo custo com um modelo teórico de protótipo oriundo de uma revisão sistemática da literatura para automação residencial com arduino, mas também abre caminhos para se debater inovações futuras na área de tecnologia assistiva, contribuindo para um futuro mais inclusivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, pelo apoio com bolsas e financiamentos, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROAC-UFJF). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.



REFERÊNCIAS

- ARDUINO. About Arduino | Arduino. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/about>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- ARDUINO. Arduino Hardware. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/hardware>. Acesso em: 14 jun. 2024.
- BERSCH, Rita. Introdução à tecnologia assistiva. Porto Alegre: [s.n.], 2017. Disponível em: <www.assistiva.com.br>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- BOOT, Fleur Heleen et al. Access to assistive technology for people with intellectual disabilities: A systematic review to identify barriers and facilitators. *Journal of Intellectual Disability Research*, [s.l.]: Blackwell Publishing Ltd., v. 62, n. 10, p. 813–829, 2018.
- BUSAEED, S.; MEHMOOD, R.; KATIB, I.; CORCHADO, J. M. LidSonic for visually impaired: Green machine learning-based assistive smart glasses with smart app and Arduino. *Electronics*, v. 11, n. 7, p. 1076, abr. 2022.
- CENTRO ARAGONÊS DE COMUNICAÇÃO AUMENTATIVA E ALTERNATIVA. ARASAAC. Disponível em: <https://arasaac.org/>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- CLELAND, J.; HUTCHINSON, C.; WILLIAMS, P. A. H.; MANUEL, K.; LAVER, K. The experience of using home automation by individuals with disability. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, v. 19, n. 6, p. 2389–2396, jun. 2024.
- COBRA, Roger Mendes; WATAYA, Roberto Sussumu. Protótipo de assistente virtual para ambientes domiciliares voltados a pessoas com deficiência. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 18, p. 64–76, nov. 2020.
- DIEGO, J-R. R.; MARTINEZ, D. W. C.; ROBLES, G. S.; DIZON, J. R. C. Development of smartphone-controlled hand and arm exoskeleton for persons with disability. *Open Engineering*, v. 11, n. 1, p. 161–170, fev. 2020.
- GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 7. ed. [s.l.]: Atlas, 2022. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559771653/>. Acesso em: 29 jun. 2024.
- GIRAUD, S.; VOLANSCHI, N.; CONSEL, C. Empowering caregivers to customizing the assistive computing support of older adults-an end-user domain-specific approach. *International Journal of Human-Computer Interaction*, v. 36, n. 15, p. 1447–1459, 2020.
- GUZI DE MORAES, Graziela et al. Participação do usuário em projetos abertos de tecnologia assistiva. *Ergodesign & HCI*, v. 9, n. 1, p. 31, jun. 2021.
- KUMAR, R.; ALJAIDI, M.; SINGLA, M. K.; GUPTA, A.; ALHOMOUD, A. M.; ALSUWAYLIMI, A. A.; ALENEZI, S. M. Development of a prototype global positioning system-based stick for blind patients. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, v. 20, n. 8, ago. 2024.
- MÓDULO PESSOAS COM DEFICIÊNCIA - PNAD CONTÍNUA. Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda>. Acesso em: 25 jun. 2024.
-



OPENAI. DALL-E: A neural network-based image generation tool. Disponível em: <https://www.openai.com/dall-e>. Acesso em: 14 jun. 2024.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Relatório mundial sobre a deficiência. São Paulo: Secretaria dos Direitos da Pessoa com Deficiência, 2011.