



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA

ANA BEATRIZ FIGUEIREDO DA LUZ

**UM PROTÓTIPO DE CONTROLE REMOTO ALTERNATIVO
CENTRADO NA CABEÇA DO USUÁRIO**

BELÉM/PA
2024

ANA BEATRIZ FIGUEIREDO DA LUZ

**UM PROTÓTIPO DE CONTROLE REMOTO ALTERNATIVO
CENTRADO NA CABEÇA DO USUÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr.: Nelson Cruz Sampaio Neto
Universidade Federal do Pará

Coorientador: Prof.Dra.: Maria da Conceição Pereira
Fonseca
Universidade Federal do Pará

BELÉM/PA
2024

ANA BEATRIZ FIGUEIREDO DA LUZ

**UM PROTÓTIPO DE CONTROLE REMOTO ALTERNATIVO
CENTRADO NA CABEÇA DO USUÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como
requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em
Engenharia Biomédica pela Universidade Federal do Pará.

DATA DE APROVAÇÃO: 25/10/2024

CONCEITO: Excelente

Nelson Cruz Sampaio Neto.

Prof. Dr. Nelson Cruz Sampaio Neto
Orientador – ICEN/UFPA

Maria da Conceição Pereira Fonseca

Profa. Dra. Maria da Conceição Pereira Fonseca
Coorientadora – ITEC/UFPA

Isabela Marques Miziara

Profa. Dra. Isabela Marques Miziara
Membro – ITEC/UFPA

Adalby Castro

Prof. Dr. Adalby Rodrigues Castro
Membro – ITEC/UFPA

BELÉM/PA
2024

Dedico aos meus pais e a toda a minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, que sempre foram meu alicerce, oferecendo todo o amor, apoio e incentivo incondicionais. A sua confiança e compreensão foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar a esta jornada.

Aos meus professores e orientadores, que compartilharam seu conhecimento e experiência, e que me guiaram com paciência e sabedoria durante toda a elaboração deste trabalho. Em especial, agradeço ao meu orientador Prof.Dr. Nelson Neto, por sua dedicação, feedbacks valiosos e por acreditar no potencial deste projeto desde o início. Suas orientações foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso, que estiveram ao meu lado nos momentos de dificuldade e de conquista. O companheirismo de vocês tornou esta jornada mais leve e enriquecedora, sou grata por cada palavra de apoio e encorajamento.

Um agradecimento especial à minha amiga Jéssica Costa, por toda a ajuda com a parte de hardware deste trabalho. Sua colaboração foi fundamental para a concretização do protótipo, e sou imensamente grata pela disposição e conhecimento que compartilhou comigo.

Agradeço também à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), pela concessão da bolsa de iniciação científica que possibilitou a realização do projeto que deu origem a este trabalho de conclusão de curso. O financiamento foi fundamental para o desenvolvimento das pesquisas e a execução do protótipo apresentado neste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. A cada um de vocês, minha sincera gratidão.

Ana Beatriz Luz

“A matemática é o alfabeto no qual Deus escreveu o universo.” (Galileu Galilei)

RESUMO

É incontestável que o avanço da tecnologia, de maneira geral, busca facilitar a interação das pessoas com dispositivos eletrônicos. No entanto, as interações convencionais ainda apresentam barreiras para pessoas com deficiência, já que não suprem as demandas de acessibilidade de forma geral. Um exemplo disso é a necessidade do uso das mãos para a interação com o aparelho de televisão, já que essa forma de interagir pode impossibilitar o uso do sistema por uma parcela da sociedade com limitações motoras das mãos e braços. Ainda que o mercado ofereça a possibilidade de comando por voz, essa opção ainda necessita do acionamento de botões para ser realizada e não aproxima, de forma satisfatória, o usuário com limitações motoras, da autonomia em manusear o aparelho de maneira fluida, com menor dificuldade possível. Além disso, os trabalhos encontrados que se relacionam com o desenvolvimento de uma alternativa ao controle remoto convencional se utilizam de ferramentas intermediárias, como celulares, para processamento dos comandos ou são trabalhos focados em praticidade do usuário sem deficiência, não em acessibilidade. Nesse sentido, a proposta deste trabalho consiste em desenvolver um protótipo intuitivo e de baixo custo, que seja capaz de ajudar pessoas com diferentes graus de limitação motora dos membros superiores a controlar, unicamente através de gestos da cabeça e sopro, um aparelho de televisão, por meio do envio remoto de comandos via luz infravermelha. Um teste de qualidade e usabilidade foi aplicado à voluntários com o objetivo de avaliar o sistema, o qual mostrou boa avaliação por parte dos usuários, apesar de algumas dificuldades relatadas no acionamento por sopro do dispositivo e na tarefa específica em ligar a televisão que corresponde à movimentação da cabeça para cima. É importante ressaltar que todos os recursos e ferramentas utilizados durante o desenvolvimento são livres e gratuitos.

Palavras-Chave: Acessibilidade, controle por gestos, limitações motoras.

ABSTRACT

It is undeniable that technological advances generally aim to facilitate people's interaction with electronic devices. However, conventional interactions still present barriers for people with disabilities, as they do not fully meet accessibility demands. One example of this is the need to use hands to interact with a television, which can make the system inaccessible to a portion of society with motor impairments in their hands and arms. Even though the market offers the possibility of voice commands, this option still requires button activation and does not satisfactorily provide users with motor limitations the autonomy to operate the device smoothly and with minimal difficulty. Furthermore, existing studies that focus on developing alternatives to conventional remote controls either use intermediary tools, such as smartphones, to process commands or are focused on the convenience of non-disabled users, rather than on accessibility. In this context, the aim of this work is to develop an intuitive and low-cost prototype capable of helping people with different degrees of motor impairment in the upper limbs to control a television solely through head gestures and breath, by remotely sending commands via infrared light. A quality and usability test was conducted with volunteers to evaluate the system, which received positive feedback from users, despite some difficulties reported in activating the device by breath and in the specific task of turning the television on, which corresponds to the upward head movement. It is important to highlight that all resources and tools used during the development were free and open-source.

Keywords: Accessibility, gesture control, motor impairments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Gestos reconhecidos pelo Myo	15
Figura 1.2 – Diagrama do experimento com o Myo	16
Figura 1.3 – Plataforma Beaglebone Black	16
Figura 2.1 – Espectro Eletromagnético	19
Figura 2.2 – Protocolo da Samsung	20
Figura 2.3 – Comunicação UART	21
Figura 2.4 – Recepção e transmissão UART	21
Figura 2.5 – Barramento I2C	22
Figura 2.6 – Termistores	23
Figura 2.7 – Gráfico do sensor NTC	23
Figura 2.8 – Ilustração de um flip flop	24
Figura 2.9 – Interruptores em paralelo	25
Figura 2.10–Arduino Nano	26
Figura 2.11–CI MPU6050	27
Figura 2.12–Circuito Receptor Infravermelho	27
Figura 2.13–Termistor NTC	28
Figura 2.14–IRF 520	28
Figura 2.15–Pinagem 555	29
Figura 2.16–Configuração Monoestável do 555	29
Figura 2.17–Diagrama Funcional 74HC74	30
Figura 2.18–Funcionamento do relé	30
Figura 3.1 – Esquemático do Projeto	32
Figura 3.2 – Códigos em hexadecimal e binário dos sinais infravermelhos	33
Figura 3.3 – Circuito de envio do sinal infravermelho	34
Figura 3.4 – Esquemático do acionamento por sopro	35
Figura 3.5 – Sensor e potenciômetro	36
Figura 3.6 – Circuito para o CI 555	37
Figura 3.7 – Circuito do Flip Flop e interruptores para a ativação do Arduino	38
Figura 3.8 – Desenho do circuito completo	39
Figura 3.9 – Escopo da placa PCB	40
Figura 3.10–Desenho impresso para transferência para a placa	41
Figura 3.11–Placa de Cobre	42
Figura 3.12–Placa de circuito finalizada	42
Figura 3.13–Protótipo final fixado ao headset	43
Figura 4.1 – Voluntária utilizando o protótipo	45
Figura 4.2 – Gráfico de Influência da Faixa Etária	46
Figura 4.3 – Gráfico de Influência do Grau de Escolaridade	47
Figura 4.4 – Gráfico de Influência da Familiaridade com Eletrônicos	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Roteiro de Ações	45
---	----

LISTA DE SIGLAS

ADA	American with Disabilities Act)
LBI	Lei Brasileira de Inclusão
TA	Tecnologia Assistiva
TV	Televisão
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PCD's	Pessoas Com Deficiência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EMG	Eletromiografia
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa
NIR	Near Infrared
LWIR	Long Wave Infrared
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitte
I2C	Inter Intregated Circuit

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Justificativa	14
1.3	Pesquisas acadêmicas relacionadas a controles alternativos	15
1.4	Objetivos	17
1.4.1	Objetivo geral	17
1.4.2	Objetivos específicos	17
1.5	Financiamento e Apoio Institucional	18
1.6	Síntese de Conteúdos	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Comunicação por infravermelho	19
2.2	Comunicação Serial	21
2.2.1	UART	21
2.2.2	I2C	22
2.3	Termistor	22
2.4	Flip-Flops	24
2.5	Transistor	24
2.6	Ligação de interruptores em paralelo	25
2.7	Principais Ferramentas	25
2.7.1	Arduino Nano	26
2.7.2	MPU 6050	26
2.7.3	Diodo Emissor (Til32 5mm) e Receptor (Til78 5mm)	27
2.7.4	Termistor 5mm NTC 10K	27
2.7.5	IRF 520	28
2.7.6	Temporizador 555	28
2.7.7	Circuito integrado 74HC74	29
2.7.8	Relé 12V	30
2.8	Regulador de Tensão L7805	30
2.9	Métrica de Avaliação	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	Obtenção do código infravermelho	33
3.2	Envio do sinal infravermelho	34
3.3	Acionamento Externo	35
3.4	Placa de circuito impresso	38
3.5	Protótipo Final	43
4	TESTES E RESULTADOS	44
4.1	Participantes	44
4.2	Ambiente de Testes	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
5.1	Trabalhos Futuros	49

REFERÊNCIAS	51
-----------------------	----

APÊNDICES	54
-----------	----

APÊNDICE A – CÓDIGO PARA OBTENÇÃO DO CÓDIGO IN- FRAVERMELHO DO CONTROLE REMOTO . .	55
---	----

APÊNDICE B – CÓDIGO DE ENVIO DO SINAL INFRAVERMELHO	56
---	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Em 1950, Isaac Asimov previu em sua obra ‘Eu, robô’ que por volta dos anos 1990 a 2000, o mundo já teria sido dominado pela presença de robôs que realizariam as mais diversas tarefas, totalmente envolvidos e naturalizados na sociedade [1]. Nesse mesmo sentido, em 1970, Alvin Toffler citou em seu livro “O Choque do Futuro” que as mudanças que as tecnologias fariam nos próximos anos se tornariam não apenas necessárias e sim, indispensáveis, e para isso a adequação da sociedade seria inevitável, resumindo isso na célebre frase “A mudança não é apenas necessária para a vida – ela é a vida” [2].

Pode-se afirmar que as previsões foram em grande parte atingidas, não fisicamente tal qual as figuras robóticas que ilustraram filmes famosos, mas sim, a ideia de facilitar e otimizar serviços por meio de tecnologias, que está cada vez mais naturalizada, como as assistentes virtuais que são capazes de entender contextos e retornar informações como condições meteorológicas, trânsito, notícias, etc; TV’s que obedecem a comandos de voz e relógios que podem notificar mensagens recebidas no celular, medir a frequência cardíaca, realizar a contagem de passos, entre outros.

Na contramão desse avanço, nem todas as pessoas conseguem se adaptar e interagir com os meios tecnológicos de forma convencional, como os indivíduos com limitações motoras, definidos na Lei Brasileira de Inclusão (LBI) como qualquer pessoa acometida por impedimento de natureza física, que, em interação com barreiras, são obstruídos de participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais [3]. Nesse sentido, a tecnologia assistiva (TA) atua com o intuito de aumentar a autonomia, segurança e conforto dessas pessoas. Cook e Hussey definem TA utilizando o conceito da ADA (*American with Disabilities Act*): “tecnologia assistiva trata-se de uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas funcionais encontrados pelos indivíduos com deficiências” [4]. Segundo Rocha (2006) o uso da TA torna-se restrito pela ausência de recursos financeiros e por questões políticas, que, na maioria das vezes, não disponibiliza tais recursos à população menos favorecida economicamente [5].

Logo, o presente projeto se dedica na construção de um protótipo, intuitivo e de baixo custo, que seja capaz de ajudar pessoas com diferentes graus de limitação motora dos membros superiores — ocasionadas por lesões na coluna cervical, atrofia muscular progressiva, acidente vascular cerebral, dentre outras inúmeras razões — a controlar, unicamente através de gestos da cabeça e sopro, aparelhos eletrônicos através do envio remoto de comandos via luz infravermelha.

O sistema projetado deve ser capaz de estimar a posição da cabeça do usuário, pois esse posicionamento será o substituto para o apertado de um botão. Nesse projeto, essa aquisição dos dados de posicionamento é realizada através de sensor inercial de giro (MPU6050) que, em conjunto com a plataforma Arduino, é capaz de capturar os sentidos de rotação da cabeça. Além disso, é necessário que o sistema possua um acionador externo, ou seja, um dispositivo responsável por inicializar o sistema, evitando assim que haja um consumo desnecessário de energia ao mantê-lo sempre ativo, ou que comandos involuntários sejam enviados ao aparelho. Desse modo, a ideia para esse protótipo é de que a inicialização ocorra através de um sensor de sopro.

1.2 Justificativa

Em 1936 surgia o primeiro canal de TV (BBC de Londres), a partir desse momento a evolução da TV ocorreu rapidamente. Originalmente em preto e branco, a TV adquiriu cores em suas imagens a partir de 1950, com isso, a oferta de canais aumentou, gerando a necessidade de um mecanismo que facilitasse a troca dos mesmos, surgia, então, o controle remoto. O dispositivo que permite a troca de canais sem a necessidade do deslocamento do telespectador até o aparelho de televisão provocou a revolução de um telespectador passivo para ativo e interativo [6]. No entanto, nem todos os grupos sociais conseguem participar e acompanhar essa evolução.

Diversos fatores contribuem para a chamada exclusão digital, que por definição pode ser entendida como a marginalização de um ou mais grupos de indivíduos, impedindo-os de ter acesso aos benefícios da tecnologia da informação [7]. No entanto, segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) realizada em 2019 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 97% das residências no Brasil possuem pelo menos um aparelho de televisão, superando a porcentagem de indivíduos com acesso à internet por exemplo (79,9%) [8].

Desse modo, nota-se que mesmo num contexto no qual a conectividade à internet cresce a cada ano, a TV ainda é um meio de grande importância no lazer e acesso à informação da maioria dos brasileiros. Logo, pode-se observar que não basta apenas disponibilizar os meios, é necessário possibilitar a autonomia de utilização desses meios para grupos como os das Pessoas Com Deficiência (PCD's), visto que ser um telespectador ativo já faz parte do contexto social há muitos anos e é essencial para a inclusão do indivíduo com deficiência.

Ainda segundo o IBGE, cerca de 17,3 milhões de pessoas apresentam algum tipo de deficiência no Brasil, dentre esses, aproximadamente 5,5 milhões são de pessoas com deficiência nos membros superiores [9]. O fortalecimento de políticas inclusivas adotadas nos últimos anos - como a obrigatoriedade de rampas e equipamentos de transporte vertical em locais públicos, onde houver escadas ou degraus - são de grande colaboração para o alcance da acessibilidade e autonomia dos PCD's. No entanto, algumas limitações ultrapassam o que tais políticas conseguem oferecer e por vezes o indivíduo portador de deficiência física é excluído do mercado de trabalho e limitado até mesmo em seu lazer e distração.

Por vezes, a falta de autonomia se inicia em atividades diárias, aparentemente comuns, mas que para uma pessoa com deficiência motora são desafios, como servir o próprio prato, ligar o micro-ondas, utilizar o celular, ligar a televisão, etc. Nesse sentido, a manutenção dessas estruturas padrões dificultam ou até mesmo impossibilitam a emancipação do indivíduo com deficiência, que raramente consegue viver de maneira autônoma.

Levando em consideração essa problemática, esse projeto justifica-se por buscar contornar as barreiras impostas pelos controles remotos convencionais que solicitam o uso obrigatório das mãos pelo usuário, levando assim maior inclusão e autonomia para os PCD's que possuem limitação motora dos membros superiores. Dessa forma, o protótipo de controle remoto alternativo pode impactar direta ou indiretamente na vida de pessoas com deficiência, seja pela implementação direta de utilização do mesmo ou pela iniciativa de uma pesquisa que pode ser aprimorada e servir como base para outros estudos e projetos.

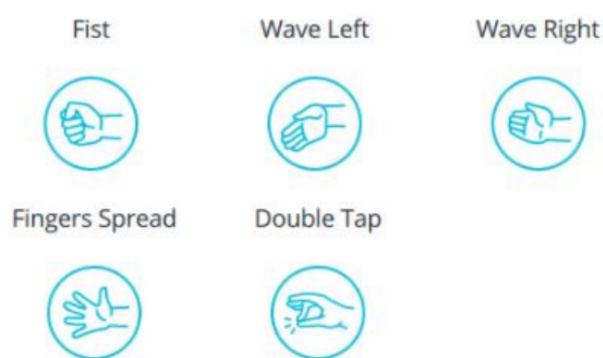
1.3 Pesquisas acadêmicas relacionadas a controles alternativos

A pauta sobre métodos alternativos para dispositivos eletrônicos em geral já foi explorada por pesquisas acadêmicas. Para servir como base e fonte de informação, realizou-se uma busca no banco de dados dos sites Scientific Electronic Library e Google Acadêmico, onde procurou-se por temas relacionados aos métodos alternativos de se utilizar dispositivos eletrônicos, filtrando aqueles que o controle se dá por meio do envio de comando via luz infravermelha e aqueles baseados em movimentação da cabeça do usuário, os dois aspectos principais deste trabalho.

Em [10] os autores justificaram a implementação de uma forma alternativa para ligar a TV com base no fato que os controles convencionais possuem teclas muito pequenas e não são tão práticos quando o usuário está fazendo outra tarefa paralela ao uso da televisão. Levando em consideração que há uma tendência em utilizar gestos da mão para controle de equipamentos residenciais, os autores optaram por utilizar de um dispositivo desenvolvido pela empresa Thamile Labs, chamado Myo, um equipamento em forma de bracelete que combina sensor inercial e eletromiográfico para detecção de gestos.

O bracelete Myo contém 8 sensores de EMG (eletromiografia) de aço inoxidável e uma IMU (*Inertial Measurement Unit*, em português Unidade de Medição Inercial) de nove eixos. Além disso, contém um processador ARM Cortex M4 responsável por processar as informações captadas pelos sensores, converter em comandos e enviar via *bluetooth* para um computador. A calibração dos gestos é feita por meio de um *software* próprio do dispositivo, o *Software Development Kit (SDK)*. São 5 gestos realizados durante a calibragem: mão fechada (*fist*), aceno à esquerda (*wave left*), aceno à direita (*wave right*), mão aberta com dedos esticados (*fingers spread*) e toque duplo/movimento de pinça (*double tap*), como é mostrado na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Gestos reconhecidos pelo Myo

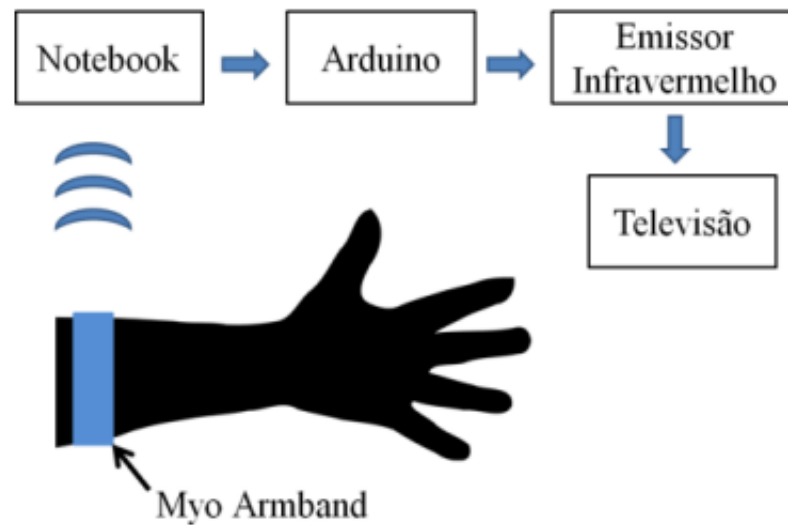


Fonte: Extraída de [10]

Para o desenvolvimento do sistema em questão foi utilizado um *notebook* que recebeu os sinais enviados do bracelete e o mesmo *notebook* se conecta com um Arduino Uno que é responsável por converter esses sinais para comandos ao emissor infravermelho que controla uma televisão, como mostrado no diagrama da Figura 1.2.

Neste projeto foi utilizado uma televisão da marca Sony para realização dos testes. Inicialmente foi feita a decodificação dos sinais infravermelhos dos botões de interesse do controle remoto comum, para isso foi necessária a instalação da biblioteca IRRemote que em conjunto à um receptor infravermelho é capaz de decodificar os sinais de cada um dos comandos do controle da televisão e armazená-los para serem emitidos depois. A mesma

Figura 1.2 – Diagrama do experimento com o Myo

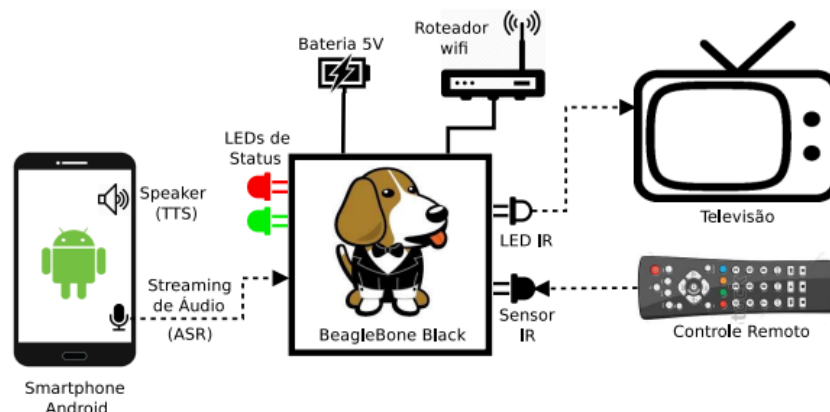


Fonte: Extraída de [10]

biblioteca é utilizada para o envio dos comandos infravermelhos, os comandos salvos foram os de liga/desliga, volume +, volume - e canal +.

O método alternativo utilizado em [11] se baseia no reconhecimento de voz que age como controle remoto, baseado na plataforma Beaglebone Black e um microcomputador embarcado, no caso do projeto, um smartphone com sistema operacional Android. O smartphone android recebe os comandos de voz do usuário, encaminha-os ao servidor para que o reconhecimento seja efetuado e também é capaz de informar, por meio de uma voz sintética, o status da ação de controle realizada. O esquemático do sistema é mostrado na Figura 1.3.

Figura 1.3 – Plataforma Beaglebone Black



Fonte: Extraída de [11]

Com relação à sistemas que também se baseiam em movimentos da cabeça como método de entrada foram encontrados alguns trabalhos focados em controle de cadeira de rodas, como em [12] no qual o objetivo foi desenvolver um dispositivo de direção de cadeira de rodas para tetraplégicos e amputados de braço através do reconhecimento do

movimento da cabeça do motorista e do sinal de eletromiografia de superfície (EMG), onde o movimento de ir e parar da cadeira de rodas é controlado pelo sinal EMG produzido ao redor da têmpora do usuário durante o cerramento dos dentes, enquanto o movimento de curva para a esquerda e para a direita é controlado com base no ângulo de guinada da cabeça medido por um sensor de posição, ou em [13] onde o autor optou por posicionar um acelerômetro na cabeça do usuário e um microcontrolador para interpretação desses movimentos e geração do controle da cadeira de rodas. Em [14] os movimentos da cabeça são utilizados como entrada para mover o cursor do mouse, o sistema capta o movimento das sobrancelhas do usuário por meio de uma câmera.

De acordo com a literatura consultada, os trabalhos propõem diferentes formas de controles alternativos para sistemas distintos. Dito isso, o desenvolvimento deste trabalho se assemelha em certos aspectos com os projetos explorados, como o uso do sensor giroscópio para captação de movimentos da cabeça citados em alguns dos trabalhos, o processamento do sinal via microcontrolador e o procedimento necessário para o envio do sinal infravermelho.

No entanto, o presente projeto se diferencia ao focar em acessibilidade, autonomia e fluidez, em conjunto, na utilização do usuário final. Para isso este trabalho tem como foco construir um protótipo vestível, intuitivo e baixo custo que envia sinais infravermelhos a partir de movimentos da cabeça, sem necessidade de intermediários, ou seja, o sinal é enviando diretamente do próprio protótipo. Além disso, todas as funções do projeto final são acessíveis ao público-alvo – pessoas com limitações motoras dos membros superiores, inclusive o acionamento do dispositivo, fator não citado nos trabalhos mencionados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral consiste em construir um protótipo vestível e barato, baseado em componentes eletrônicos com dimensões físicas relativamente pequenas, que seja capaz de ajudar pessoas com diferentes graus de limitação motora dos membros superiores — ocasionadas por lesões na coluna cervical, atrofia muscular progressiva, acidente vascular cerebral, dentre outras inúmeras razões — a controlar, unicamente através de gestos da cabeça e sopro, aparelhos de televisão através do envio remoto de comandos via luz infravermelha. Assim, espera-se que a autonomia e a independência das pessoas com deficiência (PCD) no controle de dispositivos eletrônicos seja aumentada, já que o sistema as ajudaria a contornar as barreiras impostas pelos controles convencionais que, obrigatoriamente, forcem o uso das mãos pelos usuários. A princípio, o sistema foi projetado para uma única TV da marca SAMSUNG já que a informação passada via sinal infravermelho é específico de cada marca e até mesmo de cada aparelho, porém, o passo-a-passo realizado para a obtenção e envio desses sinais é universal e pode servir de suporte para uma variedade de dispositivos futuramente.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram divididos em 5 subgrupos: i) Estudo de métodos de reconhecimento de movimentos de gestos da cabeça; ii) Estudo de técnicas de acionamento externo; iii) Estudo das especificações de diferentes microcontroladores; iv) Estudo e implementação do envio de luz infravermelha; v) Testes com voluntários. A seguir é feita a descrição de cada tópico.

- Avaliação do desempenho de sensores inerciais de giro (giroscópios): Análise de desempenho do sensor acelerômetro e giroscópio MPU-6050.
- Desenvolvimento de um acionador externo: Sensor de sopro via termistor.
- Implementação do projeto via plataforma Arduino: Processamento do sinal capturado pelo sensor de giro e posterior envio da informação de controle para o aparelho eletrônico.
- Estudo da comunicação entre o controle remoto e o aparelho de televisão: Estudo e descrição do padrão definido pelo protocolo da Samsung.

1.5 Financiamento e Apoio Institucional

Este trabalho teve origem de um projeto de Iniciação Científica desenvolvido com o apoio da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), pelo edital Nº 012/2017 – Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologias Assistivas, que concedeu uma bolsa de iniciação científica, essencial para viabilizar o projeto. O financiamento foi destinado à pesquisa intitulada "*Head RC: Um Sistema de Controle Remoto Centrado na Cabeça do Usuário*", que teve início em 09/2020 e se estendeu até 09/2021.

A bolsa de iniciação científica permitiu o suporte financeiro para aquisição de materiais, equipamentos e softwares necessários, além de proporcionar o tempo necessário para a dedicação exclusiva à pesquisa. Com esse auxílio, foi possível conduzir experimentos e aprimoramentos do protótipo, contribuindo para o avanço das soluções de tecnologia assistiva. Esse apoio foi determinante para o progresso e conclusão deste estudo, que visa facilitar a interação de pessoas com limitações motoras com dispositivos eletrônicos, promovendo maior autonomia e inclusão.

O incentivo à pesquisa por parte da FAPESPA, através de sua política de fomento, reforça a importância do desenvolvimento de tecnologias voltadas para a saúde e a acessibilidade, consolidando-se como um parceiro crucial na formação de novos pesquisadores e no avanço científico na região Amazônica.

1.6 Síntese de Conteúdos

Este capítulo fez uma introdução ao trabalho, justificando sua motivação e dando um resumo do que foi produzido. A seguir, é apresentada uma síntese de conteúdos que serão abordados nos próximos capítulos.

Capítulo 2. Revisão Teórica. Uma introdução das principais ferramentas para o desenvolvimento do trabalho será feita. Serão abordados tópicos sobre o funcionamento do controle remoto com envio de sinal infravermelho; comunicação serial; funcionamento do termistor; bibliotecas utilizadas para utilização do giroscópio e envio de luz infravermelha; componentes utilizados no projeto.

Capítulo 3. Metodologia. Nesse capítulo, são detalhados os processos de construção do projeto. Os procedimentos para montagem do protótipo e a explicação de partes do código, bem como ele interage com o circuito.

Capítulo 4. Testes e Resultados. Nesse capítulo são abordados os resultados a partir da avaliação dos voluntários, cedida por meio de um formulário após a utilização do protótipo. Além disso será explicada a metodologia do teste e os desafios e dificuldades enfrentados durante o projeto.

Capítulo 5. Considerações Finais. Este capítulo aborda as principais contribuições desse trabalho em sua conclusão, assim como discute a possibilidade de trabalhos futuros, adotando possíveis melhorias.

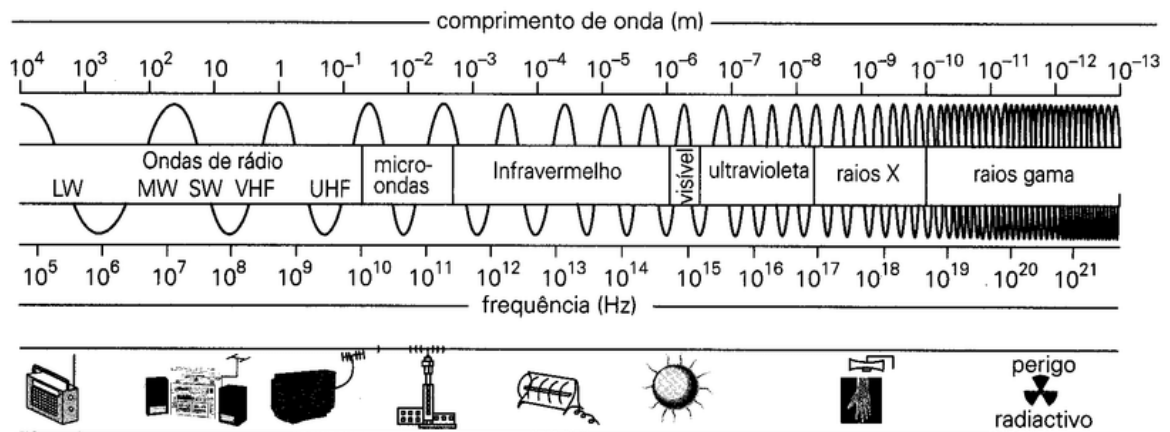
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo estão inseridos os principais conceitos teóricos para o desenvolvimento deste trabalho. Iniciamos com o tema que descreve o funcionamento do controle remoto convencional, passamos por conceitos importantes para o entendimento do circuito elaborado, como os de Comunicação Serial e o protocolo I2C, que são essenciais para a troca eficiente de dados entre os diversos componentes do sistema, permitindo que o dispositivo processe informações de forma integrada e coordenada. Outro aspecto importante é o Termistor, sensor de temperatura utilizado para a percepção do sopro do usuário. Já os Flip-Flops são dispositivos fundamentais, usados para armazenar estados lógicos e controlar sequências de operação do sistema. A Ligação de Interruptores em Paralelo é abordada por ser o mecanismo utilizado para que o projeto possa ser acionado por dois mecanismos independentes. O capítulo ainda descreve as principais ferramentas e componentes utilizados. Por fim, a Métrica de Avaliação é discutida como ferramenta de análise da qualidade e usabilidade do protótipo, assegurando que ele atenda às necessidades dos usuários e cumpra os objetivos do projeto.

2.1 Comunicação por infravermelho

Basicamente, os controles remotos em uso atualmente são baseados em dois tipos de tecnologias, a de infravermelho e a de radiofrequência. A radiofrequência é conhecida como a faixa de frequência que engloba aproximadamente os valores de 3 kHz até 300 GHz, que é correspondente a frequência utilizada por ondas de rádio [15]. Os controles remotos de radiofrequência são mais utilizados quando é necessário uma ação de alcance superior, ou seja, ultrapassando obstáculos e enviando comandos de uma maior distância - a partir de 30 metros - que o de infravermelho consegue atingir. Isto deve-se ao fato de possuírem um maior comprimento de onda que as ondas infravermelhas como podemos ver no espectro eletromagnético apresentado na Figura 2.1 que ajuda a entender como as diferentes faixas do espectro eletromagnético são usadas em várias tecnologias e como sua frequência e comprimento de onda afetam suas propriedades e aplicações.

Figura 2.1 – Espectro Eletromagnético

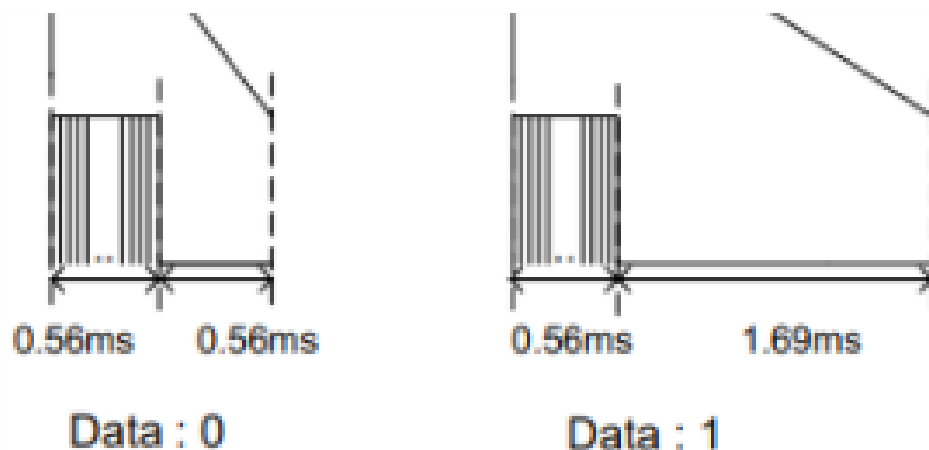


Os televisores mais comuns nas residências tendem a utilizar o controle remoto IR (*infrared*, ou infravermelho em português) já que essa tecnologia atende de maneira satisfatória o propósito de enviar comandos ao televisor, ação que o usuário está normalmente próximo e com poucos obstáculos até o aparelho. O controle IR de aparelhos eletrônicos consiste em um pequeno dispositivo que contém um *chip* de microcontrolador, um ou mais LEDs emissores de infravermelho e um teclado acoplado. Quando o usuário pressiona uma das teclas do controle, uma sequência de pulsos de luz infravermelha é transmitida pelos LEDs. Esses pulsos formam um código que é único para cada tecla acionada [16].

Dentro da faixa IR existem ainda duas divisões: *Near Infrared* (NIR) ou infravermelho próximo e *Long Wave Infrared* (LWIR) ou infravermelho de onda longa em português. Para a eletrônica, a região mais utilizada é a NIR, que possui ondas de comprimento entre 700nm e 1400nm. Os emissores infravermelhos mais comumente utilizados operam numa faixa entre 850nm a 950nm. Para evitar interferências de outras faixas de infravermelho existentes, os sinais e sensores infravermelhos adotam uma modulação de frequência fixada. Por exemplo, quando uma tecla do controle remoto é acionada o mesmo envia sinais modulados em uma frequência diferente das existentes no ambiente, como a da lâmpada e luz solar. Por padrão, a comunicação é feita por meio de pulsos em uma frequência de 38kHz, o que permite ao receptor da televisão diferenciar o que vem do controle remoto e o que é decorrente de outras fontes [17].

Cada marca utiliza seu próprio padrão para comunicação, se diferenciando entre o número, a ordem, duração e significado dos bits, mas, geralmente esses protocolos obedecem 4 passos: um comando *start*, que dá início a transferência, seguido dos bits do comando a ser realizado na TV (passar de canal, por exemplo) e o endereço do aparelho, finalizando a transferência com um comando *stop* [18]. No protocolo da marca Samsung por exemplo, são enviados 16 bits de comando e 16 bits de endereço somados aos bits de *start* e *stop*, totalizam 34 bits onde os valores binários 0 e 1 são identificados pela mudança de estado e pela duração em nível baixo dos pulsos, como mostrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Protocolo da Samsung



Fonte: Extraído de [19]

Resumidamente, para o nível lógico '0' o transmissor envia um pulso de aproximadamente 38kHz durante 0.56ms e não envia sinal algum por 0.56ms também. Já para o nível lógico '1' o transmissor também envia um pulso por 0.56ms, mas permanece sem enviar o sinal durante 1.69ms [19].

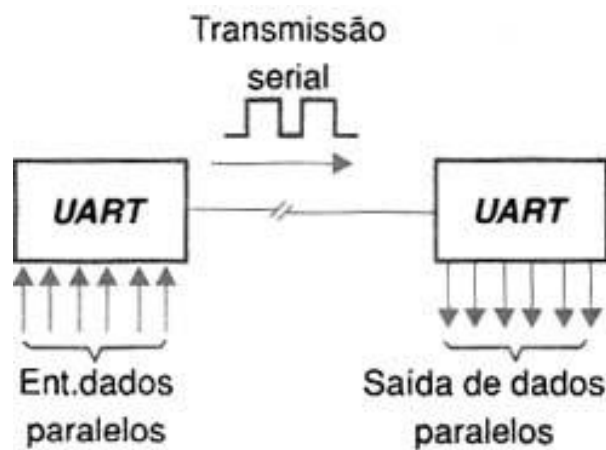
2.2 Comunicação Serial

Na comunicação serial cada bit é transmitido individualmente, um de cada vez, apresentando a vantagem de ter menos interferência na comunicação dos dados e um barramento pequeno. Neste trabalho, são abordados dois tipos de barramentos: UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) e I2C (*Inter Integrated Circuit*).

2.2.1 UART

O UART consiste em um método assíncrono de comunicação, onde um transmissor envia os bits individualmente e de forma sequencial e um segundo UART recebe e reúne os bits em bytes completos, com a finalidade de converter dados paralelos para a forma serial e vice-versa [20]. Como é mostrado na Figura 2.3.

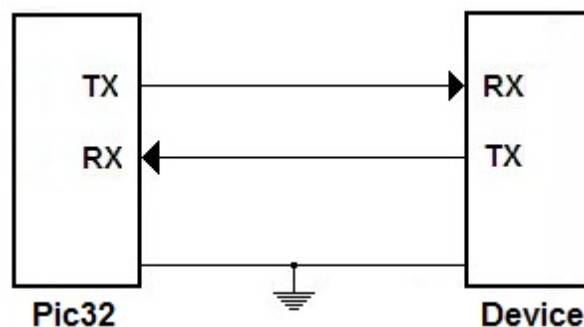
Figura 2.3 – Comunicação UART



Fonte: Extraído de [20]

Nesse protocolo, os bits são enviados em um dado compasso acordado entre o emissor e o receptor que é chamado de *baudrate* (medido em bits por segundo). Além disso, os bits circulam por duas linhas: *RX* (recepção) e *TX* (transmissão), permitindo uma comunicação simultânea nos dois sentidos, intitulada *full duplex* [21], representada na Figura 2.4

Figura 2.4 – Recepção e transmissão UART



Fonte: Extraído de [21]

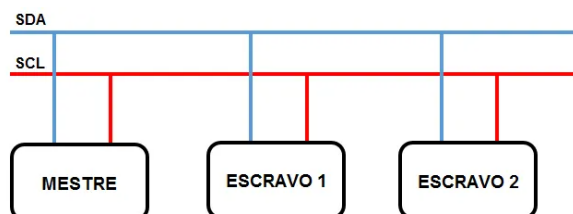
Para sinalizar a ausência de dados (*Bus Idle*) as duas linhas apresentam nível lógico 1. Normalmente, a comunicação de uma informação é dada em byte (8 bits) somada aos bits que sinalizam o início (*Start Bit*) ao nível lógico 0 e o fim da transmissão (*Stop Bit*) ao nível lógico 1. Pode acontecer ainda de ser enviado um bit de paridade, sendo par (Even) ou ímpar (Odd), que possuem o intuito de detectar eventuais erros na comunicação. Os bits de dados são enviados do menos significativo para o mais significativo [21].

Esse canal é o utilizado pela plataforma de prototipagem Arduino para se comunicar com o computador ou com outros dispositivos externos e através dele é realizado o upload do código para a placa. Aliada ao terminal da IDE, a comunicação serial no Arduino possibilita a visualização de dados e Debug durante o processo de desenvolvimento, já que a plataforma não possui essas ferramentas de depuração.

2.2.2 I2C

O método de comunicação I2C consiste num barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios. É comum a utilização deste protocolo para conectar periféricos às placas-mãe e microcontroladores. Este método baseia-se na interação entre dispositivos seguindo a hierarquia mestre/escravo, ou seja, quando vários elementos se comunicam segundo essa premissa, ao menos um deles, denominado mestre, deve realizar a coordenação de toda a comunicação, enviando e requisitando informações aos chamados escravos, que são os demais elementos existentes na estrutura de comunicação, os quais devem apenas responder as requisições [22]. Esse barramento é mostrado na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Barramento I2C



Fonte: Extraído de [22]

Ainda de acordo com a Figura 2.5 pode-se observar que a estrutura do barramento está dividida em dois ramos: SDA (Serial Data), responsável pela troca de dados entre os dispositivos e SCL (Serial Clock), responsável por sincronizar os dispositivos e a troca de informações. Quando ambas as linhas de comunicação estão com o valor digital alto significa que estão em estado neutro, para iniciar a comunicação o mestre traz SDA para valor digital baixo. Para de fato comunicar os dados é necessário que o barramento SCL pulse, a cada pulso é lido um bit do SDA, começando pelo menos significativo. Após SDA ser colocado em nível baixo, o mestre aponta o endereço do dispositivo com o qual quer se comunicar, se o dispositivo existir, ele responderá com um pulso na linha do SCL, aí começa a transferência de dados [23].

2.3 Termistor

O termo termistor tem origem na junção das palavras termal e resistor (*thermistor*). Logo, nota-se na origem da palavra a dependência da resistência em relação a temperatura

desse material. Os termistores são semicondutores sensíveis a temperatura e podem possuir tanto um coeficiente de temperatura positivo (*PTC* – *positive temperature coeficiente*) quando a resistência aumenta com um aumento da temperatura ou um coeficiente de temperatura negativo (*NTC* – *negative temperature coeficiente*) onde a resistência diminui com o aumento da temperatura [24]. A Figura 2.6 mostra um exemplo de termistor.

Figura 2.6 – Termistores

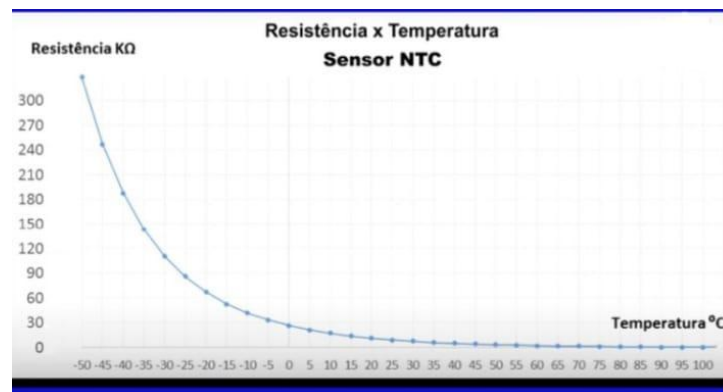


Fonte: Extraído de [24]

Para os termistores do tipo NTC, o aumento da temperatura acarreta o aumento do número de elétrons livres na banda de condução, provocando a diminuição da resistividade e da resistência elétrica.

Esse tipo de termistor é o mais usado, por possuir uma alta sensibilidade ao aumento de temperatura e pela sua fabricação mais simplificada. Por conta da alta sensibilidade a relação da resistência elétrica com a variação de temperatura não é linear e apresenta-se de forma exponencial [25], como mostra o gráfico da Figura 2.7.

Figura 2.7 – Gráfico do sensor NTC



Fonte: Extraído de [26]

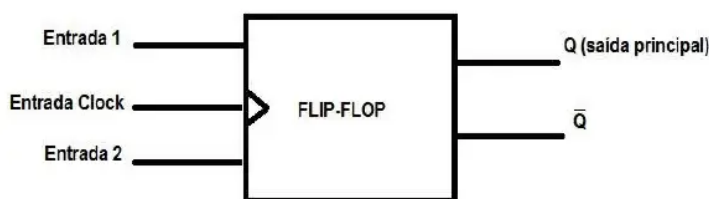
Já os termistores do tipo PTC possuem material enquadrado na classe dos ferroelétricos, o que faz com que a constante dielétrica varie com a temperatura: abaixo do ponto Curie (temperatura na qual um material ferromagnético perde suas propriedades) a constante dielétrica é elevada e impede a formação de potenciais barreiras entre os grãos do cristal, condição em que a resistividade elétrica da matriz é baixa, podendo apresentar um coeficiente levemente negativo com relação a temperatura. Ao chegar no ponto Curie, a constante dielétrica cai, permitindo a formação de potencial de barreiras entre os grãos do

crystal, causando um aumento repentino da resistência elétrica, por fim, em temperaturas ainda mais elevadas, o material adota o comportamento de um NTC [24].

2.4 Flip-Flops

Antes de explicar sobre a definição de Flip-Flops é necessário introduzir o conceito de lógica sequencial. De forma resumida, porém assertiva, pode-se afirmar que circuitos sequenciais são aqueles que possuem saídas dependentes das variáveis de entrada e/ou seus estados anteriores, os quais permanecem armazenados até uma variação no comando de uma sequência de pulsos, denominados *clocks*. Dessa forma, retornando ao conceito de Flip Flops (FF's), tem-se que os mesmos são componentes pulsados baseados num circuito sequencial, capazes de armazenar um dado de 1 bit, contendo em seu circuito as suas variáveis de entrada, uma entrada para o clock e duas saídas, geralmente denominadas Q e Q', como representado na Figura 2.8. Os FF's são considerados as formas mais simples de memória dentro da eletrônica [27].

Figura 2.8 – Ilustração de um flip flop



Fonte: Extraído de [28]

Para o dispositivo assumir um dos estados de saída é necessário que haja uma combinação entre as variáveis de entrada e o pulso de *clock*. Posteriormente a esse pulso, o flip-flop permanece no estado até a chegada de um novo pulso de *clock*, que mudará ou não o estado da saída, dependendo das variáveis de entrada. Existem diversas combinações de portas lógicas que formam diferentes tipos de FF's. Mas, quatro tipos são mais comuns nas aplicações de clock sequencial, são eles: flip-flop T ("toggle"), o flip-flop S-R ("set-reset"), o flip-flop J-K e o flip-flop D ("delay"), tendo seus comportamentos previstos por uma equação característica, que prevê a "próxima" (após o próximo pulso de clock) saída, Q_{next} , em termos dos sinais de entrada e/ou da saída atual [28].

2.5 Transistor

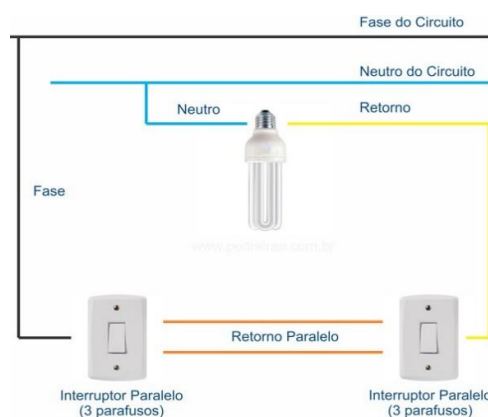
O transistor é um dispositivo feito de material semicondutor (geralmente silício ou germânio) utilizado para amplificar ou atenuar a intensidade da corrente elétrica em circuitos eletrônicos. Para isso, o material semicondutor passa por um processo chamado dopagem, que consiste em substituir os átomos do semicondutor por de outros átomos, como fósforo, boro e gálio. Há dois tipos de dopagem: tipo-n (carga negativa), na qual adicionam-se átomos capazes de fornecer um excesso de elétrons e tipo-p (carga positiva), adicionam-se átomos que causam uma carência de elétrons [29]. Os transistores possuem três terminais: o coletor (C), o emissor (E) e a base (B). Analogamente, o transistor funciona como uma válvula que permite ou não a passagem de elétrons de um ponto a outro, onde a entrada é o coletor, a base a própria válvula e o emissor seria a saída. Logo, se o transistor

não estiver polarizado, o emissor não permitirá a passagem da corrente total de entrada [30]. O transistor MOSFET é um componente semiconductor muito usado em circuitos analógicos e digitais. Esse tipo de transistor possui quatro terminais semicondutores: fonte (ou source), comporta (ou gate), dreno (ou drain) e corpo [31]. Numa situação idealizada, o MOSFET possui uma impedância extremamente elevada, um bloqueio, quando não há uma tensão aplicada entre o gate e o source. Em contrapartida, quando uma tensão é aplicada, o MOSFET entra em condução, a resistência entre o drain e o source se torna nula. Para a condução continuar ocorrendo é necessário que a tensão se mantenha, caso contrário ocorrerá o bloqueio novamente [32]

2.6 Ligação de interruptores em paralelo

A ligação de interruptores em paralelo recebe esse nome devido a dois cabos serem ligados entre dois interruptores, de forma que fique um paralelo ao outro. Esses dois cabos são o retorno da fase que um dos interruptores recebe e repassa ao outro interruptor. Para isso ser possível, os interruptores utilizados nessa ligação não são os convencionais, com apenas uma entrada e uma saída, possuem três pinos e são chamados de interruptor paralelo ou *three way* (três vias) [33]. Na Figura 2.9 podemos observar um exemplo de aplicação dessa ligação.

Figura 2.9 – Interruptores em paralelo



Fonte: Extraído de [34]

Dessa forma, quando os dois interruptores estiverem em uma mesma posição, a lâmpada estará ligada, quando estiverem em posições diferentes a lâmpada estará desligada, o que proporciona que os dois interruptores possuam o controle da luz de forma independente. Esse tipo de configuração de circuito é genérica e pode ser utilizada com outros tipos de interruptores, como chaves e relés, e para outras finalidades que não seja o convencional acendimento da lâmpada [33].

2.7 Principais Ferramentas

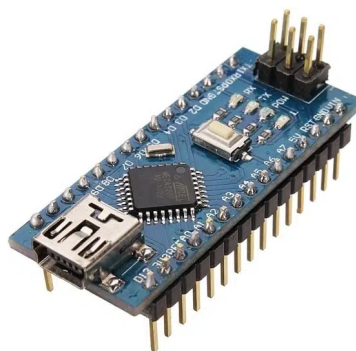
Neste tópico são descritos os componentes necessários para construção do protótipo. Os componentes se dividem para duas partes principais: Envio do infravermelho a partir do reconhecimento da movimentação da cabeça (Arduino Nano, MPU 6050, LED infravermelho) e Acionamento do dispositivo a partir do sopro (termistor NTC 10K,

transistor IRF 520, CI temporizador 555, CI 74HC74, relé 12V e regulador de tensão L7805).

2.7.1 Arduino Nano

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica muito utilizada pelos estudantes e profissionais de diversas áreas. Essa plataforma foi desenvolvida com o intuito de promover a inserção das pessoas na eletrônica e programação, baseada no conceito open-source, ou seja “código aberto”, significando que a placa e o firmware podem ser usados livremente pelos desenvolvedores, estudantes e fabricantes em geral [34]. A escolha por essa plataforma se deu justamente pela facilidade em programar e modificar o projeto de forma fácil e intuitiva, sem precisar trocar a placa principal, ideal para projetos que precisam de testes, como no caso deste trabalho. Dessa forma optouse pela plataforma Arduino Nano, que mantém as características da plataforma tradicional (Arduino Uno), porém com suas características físicas reduzidas, como apresentado na Figura 2.10

Figura 2.10 – Arduino Nano



Fonte: Extraído de [35]

2.7.2 MPU 6050

O CI MPU6050 é um dispositivo que combina dois sensores: giroscópio e acelerômetro, ambos de 3 eixos. A comunicação com o microcontrolador é feita por meio da interface I2C, utilizando os pinos SCL e SDA [36]. Para este projeto, foram utilizados os dados do sensor giroscópio, que, posicionado sobre a cabeça do usuário, possibilita a leitura da movimentação da mesma. Ao passar os dados para o Arduino, é feita a transformação do movimento no envio do código infravermelho correspondente para acionamento de alguma função na TV. Uma imagem do módulo utilizado neste projeto é mostrada na Figura 2.11.

Figura 2.11 – CI MPU6050

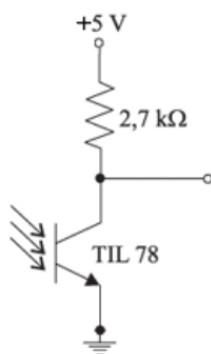


Fonte: Extraído de [36]

2.7.3 Diodo Emissor (Til32 5mm) e Receptor (Til78 5mm)

O TIL 32 é um led emissor de luz infravermelha, com comprimento de onda de 940nm, comumente utilizado em projetos com Arduino ou outras plataformas microcontroladas. Geralmente, esse LED é usado em sensores de presença ou em projetos que envolvam a clonagem de teclas de um controle remoto infravermelho. Assim como o receptor Til78, um fototransistor sensível a luz infravermelha, que possui dois terminais, correspondentes ao coletor e emissor do transistor, a base é ativada pela luz, quando a quantidade de luz é reconhecida, o transistor conduz [37]. Na Figura 2.12 é mostrado o circuito receptor.

Figura 2.12 – Circuito Receptor Infravermelho



Fonte: Extraído de [38]

2.7.4 Termistor 5mm NTC 10K

Como citado anteriormente, os termistores do tipo NTC possuem a característica de diminuição da resistência conforme o aumento da temperatura. Logo, por serem de baixo custo são muito utilizados em medidas de temperatura entre 50°C e 300°C [39] bem como para identificação de variações discretas de temperatura em experimentos calorimétricos [40], sendo esta a usabilidade dessa ferramenta para este projeto, já que, essa característica permite a identificação do sopro do usuário por meio da variação de temperatura que

ocorre, como será melhor explicado no tópico referente à construção desse sensor. A Figura 18 mostra um exemplo do termistor utilizado neste trabalho.

Figura 2.13 – Termistor NTC

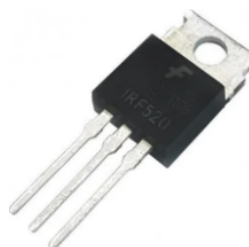


Fonte: Extraído de [41]

2.7.5 IRF 520

O componente IRF 520 é um transistor do tipo MOSFET de canal N de alta potência muito utilizado em aplicações de chaveamento de correntes controlado por tensão como driver de acionamento de solenoides e relés, controle de motores, amplificadores de áudio entre outros [42]. Na Figura 2.14 é mostrado o transistor usado neste trabalho.

Figura 2.14 – IRF 520

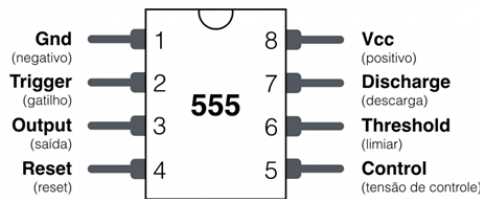


Fonte: Extraído de [41]

2.7.6 Temporizador 555

O circuito integrado 555 é o chip de maior sucesso no mundo. Inventado há mais de 40 anos pelo engenheiro Hans Camenzind ainda hoje é produzido aos bilhões com o mesmo design original. É um CI extremamente versátil e robusto que é utilizado em diversas aplicações, como temporizadores (timer), geradores de onda (pulso) e osciladores. Esse CI possui três tipos de operação que são eles: monoestável, astável[47] e biestável[48]. É um componente de fácil soldagem e encapsulamento dip [43]. Na Figura 2.15 é apresentada a pinagem do 555.

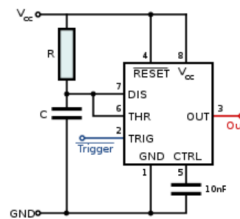
Figura 2.15 – Pinagem 555



Fonte: Extraído de [44]

Modo de Operação Monoestável: Nesse modo de operação, o CI 555 gera um pulso de duração específica na saída caso receba um sinal adequado no pino de gatilho, ou seja, funciona como um disparador. Após o tempo determinado a saída volta a ser desligada e fica à disposição para receber outro estímulo. Ou ainda, caso a saída esteja ligada e o CI recebe um sinal de reset, ela será desligada imediatamente. A configuração monoestável possui diversas aplicações como temporizadores, detectores de pulso e também para remover ruídos de chaves (normalmente chamado de debounce) [44]. As conexões genéricas dessa configuração estão apresentadas na Figura 2.16.

Figura 2.16 – Configuração Monoestável do 555



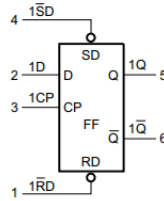
Fonte: Extraído de [45]

Na configuração monoestável o CI 555 também é chamado de multivibrador de único pulso, pois produz um único pulso na saída mediante um disparo de entrada [46]. Para controlar essa duração do pulso de saída podem ser usados um capacitor e resistor externos.

2.7.7 Circuito integrado 74HC74

O 74HC74 é um CI que possui dois flip-flops do tipo D. Eles possuem entradas de dados individuais (D), clock (CP), set () e reset () e saídas complementares e . Os dados na entrada D, que atendem aos requisitos de tempo de configuração e retenção na transição de clock de BAIXO para ALTO, são armazenados no flip-flop e aparecem na saída . A ação *Schmitt-trigger* (circuito comparador com histerese implementado pela aplicação de realimentação positiva) na entrada do clock, torna o circuito altamente tolerante a tempos de subida e descida de clock mais lentos. As entradas incluem diodos de fixação que permitem o uso de resistores limitadores de corrente para fazer a interface das entradas com tensões superiores a VCC [49]. A Figura 2.17 mostra o diagrama funcional do CI 74HC74.

Figura 2.17 – Diagrama Funcional 74HC74



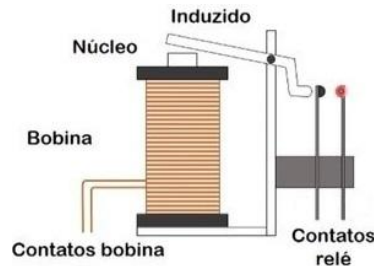
Fonte: Extraído de [49]

O fato do flip flop tipo D possuir apenas uma entrada resulta em sua tabela verdade possuir apenas duas linhas, ou seja duas opções de entrada e duas opções de saída (0 ou 1 em ambos os casos), alteradas somente mediante um pulso com borda de subida no caso do 74HC74 [50].

2.7.8 Relé 12V

Os relés basicamente são interruptores que possuem a função de provocar modificações súbitas planejadas em um circuito elétrico. Esse dispositivo elétrico possui um circuito de comando que assim que alimentado por uma corrente, aciona um eletro-ímã e faz a mudança de posição em um par de contatos [51]. Os componentes do relé são: bobina, induzido, núcleo, contatos da bobina e contatos do relé, como mostrado na Figura 2.18

Figura 2.18 – Funcionamento do relé



Fonte: Extraído de [51]

A atividade ocorre quando um campo magnético é criado na passagem da corrente elétrica nas espiras da bobina do relé, esse campo atrai o induzido que possui uma alavanca para fechar os contatos do relé. Ao suspender a corrente na bobina, os contatos voltam à posição original. As denominações para os contatos do relé são ‘normalmente aberto’ (NA) e ‘normalmente fechado’ (NF). O NA é o contato que permanece aberto enquanto não houver corrente na bobina e se fecha enquanto houver corrente na bobina. E o contato central ou C é comum aos dois, ou seja, quando o NA fecha estabelece uma condução com o C e com o NF ocorre ao contrário [52].

2.8 Regulador de Tensão L7805

O L7805 é um transistor regulador de tensão positivo com saída fixa de 5V, útil para uma vasta gama de aplicações. Esses circuitos empregam limitação de corrente interna e com a dissipação de calor adequada podem fornecer correntes de saída superiores a 1A [53].

2.9 Métrica de Avaliação

A escala de usabilidade de sistema é uma ferramenta utilizada para medir e avaliar a usabilidade de um produto ou sistema, como um protótipo, site, aplicativo ou software. Ela permite aos designers, desenvolvedores e pesquisadores coletar dados quantitativos sobre a facilidade de uso, a eficiência e a satisfação dos usuários ao interagirem com o sistema.

Existem várias escalas de usabilidade diferentes, mas uma das mais conhecidas é a Escala de Satisfação do Sistema (*System Usability Scale - SUS*), que foi proposta por John Brooke em 1986 [54]. A SUS consiste em um questionário composto por 10 declarações que os usuários devem classificar em uma escala de concordância de cinco pontos, variando de "discordo completamente" a "concordo completamente". Abaixo estão as dez declarações típicas utilizadas na Escala SUS:

1. Eu acho que gostaria de usar este sistema com frequência.
2. Eu achei o sistema desnecessariamente complexo.
3. Eu achei o sistema fácil de usar.
4. Eu acredito que precisaria de assistência de uma pessoa com conhecimento técnico para usar este sistema.
5. Eu achei as várias funções do sistema estavam bem integradas.
6. Eu achei que havia muita inconsistência no sistema.
7. Eu imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar este sistema rapidamente.
8. Eu achei o sistema muito pesado.
9. Eu me senti confiante ao usar o sistema.
10. Eu precisaria aprender muitas coisas novas antes de começar a usar este sistema.

Após coletar as respostas dos usuários, é possível calcular o escore da escala de usabilidade para medir a usabilidade geral do sistema. Os escores são calculados a partir das respostas dos usuários a cada uma das declarações. Cada resposta é convertida em um valor numérico e, em seguida, são realizadas as operações para obter os escores individuais e o escore geral de usabilidade. Abaixo estão os valores correspondentes para cada resposta:

- "Discordo completamente" corresponde a 0.
- "Discordo" corresponde a 1.
- "Neutro" corresponde a 2.
- "Concordo" corresponde a 3.
- "Concordo completamente" corresponde a 4.

Após colher os resultados é necessário realizar algumas contas para se obter a pontuação final:

- Para as respostas ímpares (1, 3, 5), subtraímos 1 da pontuação que o usuário respondeu.
- Para as respostas pares (2 e 4), subtraímos a resposta de 5. Ou seja, se o usuário respondeu 2, contabilizamos 3. Se o usuário respondeu 4, contabilizamos 1.
- Depois somamos todos os valores das dez perguntas e multiplicamos por 2.5.
- A pontuação final pode variar de 0 a 100.

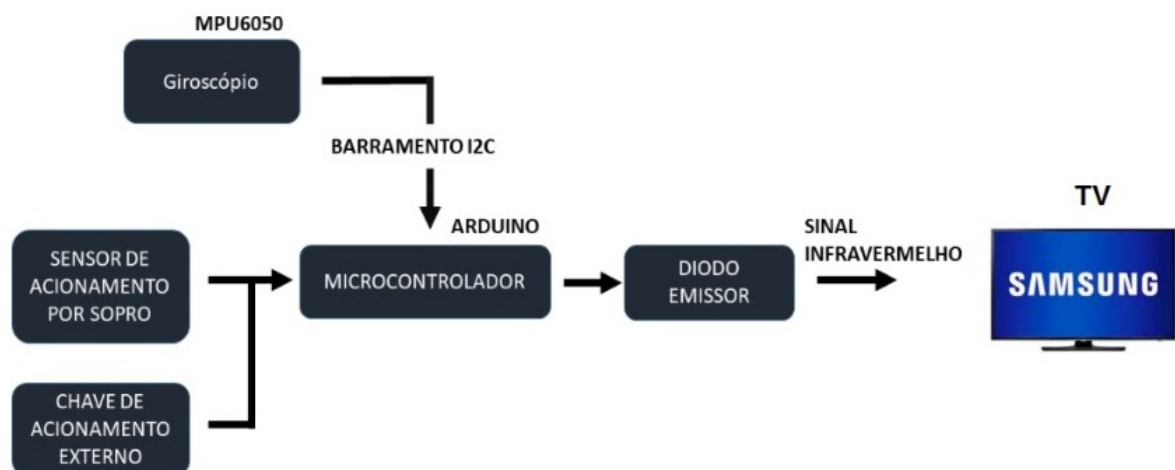
A média do System Usability Score é 68 pontos, ou seja, uma pontuação abaixo desse valor indica problemas claros de usabilidade e quanto mais acima indica que melhor o usuário conseguiu utilizar o produto.

3 METODOLOGIA

O projeto foi construído com o intuito de produzir um sistema que funcione como um controle remoto acessível aos PcD's que possuem limitações motoras nos membros superiores. Dessa forma, todas as ações envolvidas na utilização do dispositivo são independentes do uso das mãos ou braços e funcionam por meio de gestos da cabeça e sopro do usuário, sendo estes os responsáveis pelo envio do sinal infravermelho à TV e acionamento do próprio dispositivo, respectivamente. A placa Arduino foi programada para receber os sinais vindos do sensor giroscópio do módulo MPU6050, que são informações sobre o posicionamento do usuário e serão interpretadas, pelo microcontrolador, como comandos a serem enviados à televisão da marca Samsung.

Além disso, o acionamento da placa Arduino é controlado por um circuito sensor de sopro que permite “ligar” e “desligar” o dispositivo mediante o sopro do usuário, evitando o gasto desnecessário da bateria e o envio indesejado de comandos após a utilização do controle, já que o mesmo é sensível à movimentos. Por meio de uma ligação paralelo de interruptores, uma chave manual de duas posições foi conectada ao circuito sensor de sopro com o intuito inicial de facilitar os testes, mas optou-se por permanecer com a mesma no projeto final já que pode ser útil no caso do sensor diminuir a sensibilidade ou deixar de funcionar por algum motivo, nesse caso o dispositivo não seria completamente inutilizado pela impossibilidade de ser alimentado, o usuário PcD necessitaria da ajuda externa apenas em um aspecto – ligar o dispositivo com a chave - mas ainda assim permaneceria com a autonomia de realizar os principais comandos da TV (ligar, passar o canal, aumentar o volume, diminuir volume). A Figura 3.1 mostra o esquemático geral do projeto final.

Figura 3.1 – Esquemático do Projeto



Fonte: Elaboração Própria

Todo circuito envolvido na construção do sistema será detalhado posteriormente, assim como o código que foi programado para ele. Além disso, será apresentado a forma de obter a informação do código infravermelho do televisor utilizado para os testes, por meio da leitura dos sinais do controle convencional.

3.1 Obtenção do código infravermelho

Com o intuito de saber a informação do sinal infravermelho de cada tecla do controle convencional, projetou-se um pequeno circuito receptor de infravermelho com o receptor universal infravermelho VS1838B, associado ao Arduino, que foi programado para apresentar o valor IR recebido no monitor serial, em binário e hexadecimal. Esse processo permitiu gravar qual o sinal infravermelho que cada tecla pressionada envia, para o uso no código base do projeto. O código escrito para realizar a leitura dos sinais infravermelhos pode ser encontrado no Apêndice A.

O código inicia com a diretiva para compilador ‘#include’ para incluir a biblioteca *IRremote*, que aceita vários protocolos e pode capturar códigos de no máximo 32bits. Depois é criada uma variável do tipo inteiro *RECV_PIN* que recebe o valor do pino digital 2 da placa, onde foi conectado o receptor infravermelho. Essa variável é repassada ao objeto *irrecv* que foi instanciado pela classe *IRrecv*. O objeto *results* é instanciado pela classe *decode_results* e permite a decodificação e exibição dos sinais infravermelhos. Dentro da função *void setup()* o código inicia a comunicação serial e apresenta na tela a frase “Enabling IRin” ou seja, habilitando o IR, e utiliza o método *enableIRin* da classe *irrecv* para de fato habilitar o receptor, e depois apresenta na tela que o receptor foi iniciado, “Enabled IRin”. Na função *void loop* o código verifica, através do comando *if*, se houveram sinais recebidos no receptor infravermelho, se houveram sinais, eles serão apresentados no monitor serial em hexadecimal e binário, depois o código utiliza o método *resume* do objeto *irrecv* para preparar a biblioteca para o próximo valor a ser recebido, aguarda 100 milissegundos pelo comando *delay(100)* e repete o processo da função *void loop*.

A partir daí, foi possível capturar os códigos de 4 botões do controle original: Power, Volume+, Volume-, e CH+. Os códigos referentes a esses botões estão apresentados na Figura 3.2

Figura 3.2 – Códigos em hexadecimal e binário dos sinais infravermelhos

0	
E0E0E01F	v+
1110000011100000111000000011111	
0	
0	
E0E0D02F	v-
11100000111000001101000000101111	
E0E040BF	Power
11100000111000000100000010111111	
E0E048B7	CH+
11100000111000000100100010110111	

Fonte: Elaboração Própria

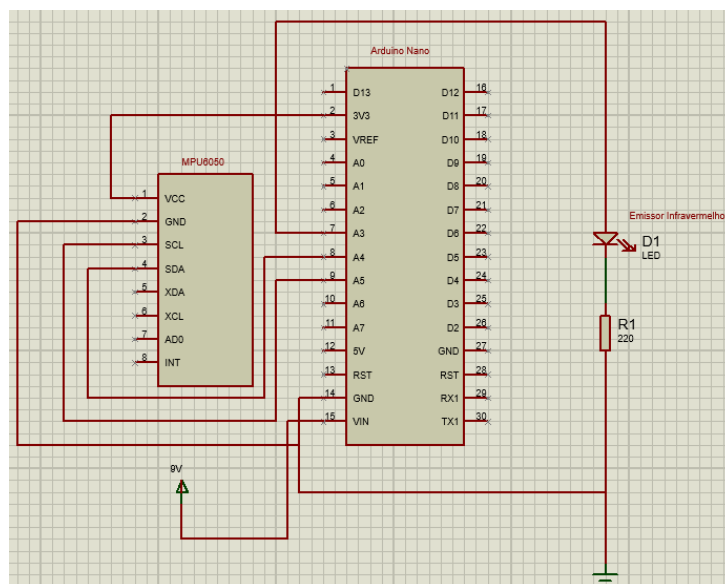
Esse procedimento é realizado apenas com o intuito de registro dos códigos

infravermelhos, para posterior utilização no projeto. Em caso de reprodução deste trabalho em outras marcas e modelos de televisores ou até mesmo outros sistemas comandados por sinal infravermelho, essa captura deve ser feita com o controle remoto convencional de cada aparelho, sendo essa uma das mudanças necessárias em caso de adaptação. Além disso, para uma possível reprodução será necessário utilizar uma biblioteca compatível com o protocolo da marca do aparelho no código de envio do sinal infravermelho, que será abordado a seguir.

3.2 Envio do sinal infravermelho

Como já mencionado, para esse projeto optou-se pelo sensor giroscópio em interação com a plataforma Arduino para servir como sensor de movimentação da cabeça do usuário, o módulo MPU6050 foi utilizado com esse propósito. Esse módulo possui um acelerômetro de 3 eixos e um giroscópio de 3 eixos. O reconhecimento do movimento da cabeça do usuário se dá pela leitura de valores do giroscópio, que lê ângulos a partir de uma posição e os mede com uma precisão padrão de -250 a +250 graus por segundo. O dispositivo se comunica com o Arduino através da interface I2C, estabelecido via hardware, por meio dos pinos SCL (Serial Clock) e SDA (Serial Data) sensor, onde o pino SCL precisa estar conectado com a porta A5 e o SDA com a porta A4, a linha SCL é responsável pelo clock do barramento, e a linha SDA pela transmissão de dados. Essa etapa do circuito está representada na Figura 3.3

Figura 3.3 – Circuito de envio do sinal infravermelho



Fonte: Elaboração Própria

A codificação gravada no arduino pode ser encontrado no Apêndice B. O código inicia com a inclusão das bibliotecas, voltadas para o uso do sensor MPU6050 (*MPU6050_tockn.h*), uso do protocolo I2C (*Wire.h*) e envio do sinal infravermelho (*IR-remote.h*). Depois, são feitas as definições dos pinos do sensor e uma diretiva “*#define DEBUG*” para ativar ou desativar a função de monitoração de variáveis pelo monitor serial, pois só é necessário que o programa envie estes dados pela serial quando está na etapa de

desenvolvimento do programa, quando o programa é finalizado, tal envio deixa o código mais pesado desnecessariamente.

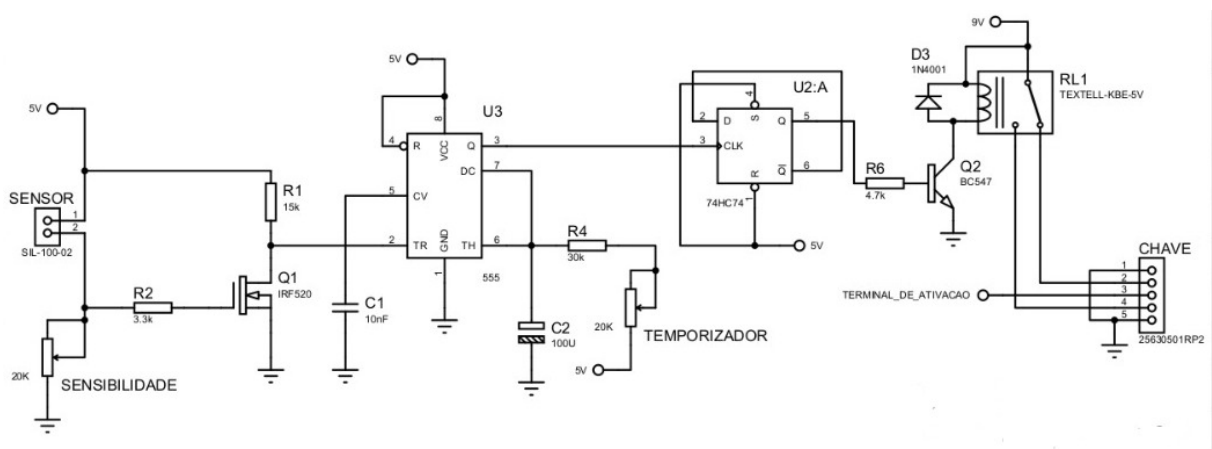
Após isso, é feito o instanciamento de objetos das bibliotecas *MPU6050_tockn.h* e *IRremote.h*. As variáveis declaradas foram criadas para receber os valores dos ângulos $X(\text{float angulo}X)$ e $Y(\text{float angulo}Y)$ do sensor MPU6050 e o valor do sinal infravermelho(*unsigned long valor*). Na função *void setup()* é estabelecida a comunicação serial com o computador, a comunicação pelo protocolo I2C e a inicialização e calibração do sensor de movimento. Já na função *loop()* é onde de fato ocorre o envio do sinal infravermelho correlacionado com a angulação da cabeça do usuário. Para isso, o código atualiza os valores do sensor, por meio do comando “*mpu6050.update()*” e guarda nas variáveis reservadas aos valores dos ângulos. Logo, a “escolha” de qual comando será dado ao televisor fica a critério da angulação da cabeça do indivíduo.

Para isso, o código possui comandos “*if*” para cada opção de comando à TV, nos quais as condições são justamente os ângulos. No caso dessas condições serem verdadeiras, o infravermelho é enviado por meio do comando “*irsend.sendSAMSUNG()*” comando que serve para TV’s da marca Samsung, porém a biblioteca “*IRremote.h*” permite o uso de outros protocolos também. Além disso, o código apresenta no monitor serial do Arduino o valor do sinal infravermelho em hexadecimal, a direção do movimento feita pelo usuário (esquerda, direita, para cima ou para baixo) e qual comando esperado (ligar Tv, diminuir volume, aumentar volume ou passar o canal), através do comando “*Serial.println*”.

3.3 Acionamento Externo

Como o sistema é sensível à movimentos, fez-se necessário um mecanismo que o desligue e ligue no momento desejado, evitando que os sinais sejam enviados à TV desordenadamente. Tal mecanismo seria simples da forma tradicional, por meio de chave ou botão que permite ou bloqueia a passagem da corrente para o Arduino. No entanto, o acionamento também foi pensado de forma acessível: um sensor de sopro, tendo como base o funcionamento do termistor, explanado na seção 2.3. A Figura 3.4 apresenta as conexões feitas para montagem desse circuito.

Figura 3.4 – Esquemático do acionamento por sopro

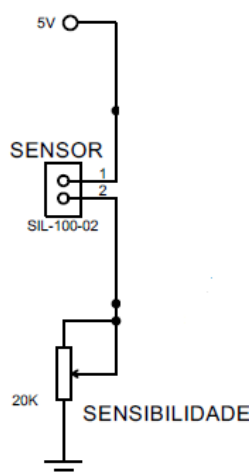


Fonte: Elaboração Própria

Inicialmente, temos o termistor NTC que diminui sua resistência conforme a temperatura aumenta, o mesmo estabelece um divisor de tensão com o potenciômetro de

20k ohms, o que determina a sensibilidade do sensor, já que quanto menor for a resistência no potenciômetro maior será a temperatura de *set point*, ou seja, a temperatura necessária para alcançar a tensão desejada no sensor. Com isso, a ideia é que o sopro do usuário cause uma queda de tensão no sensor, já que a temperatura do ar expelido é maior que a temperatura ambiente, mas precisa de um mecanismo que bloqueie o contato desse sopro com o ar externo, evitando o resfriamento imediato, como bem faz o canudo utilizado neste projeto. Na Figura 3.5 está representada a conexão feita entre o sensor (termistor) e o potenciômetro.

Figura 3.5 – Sensor e potenciômetro

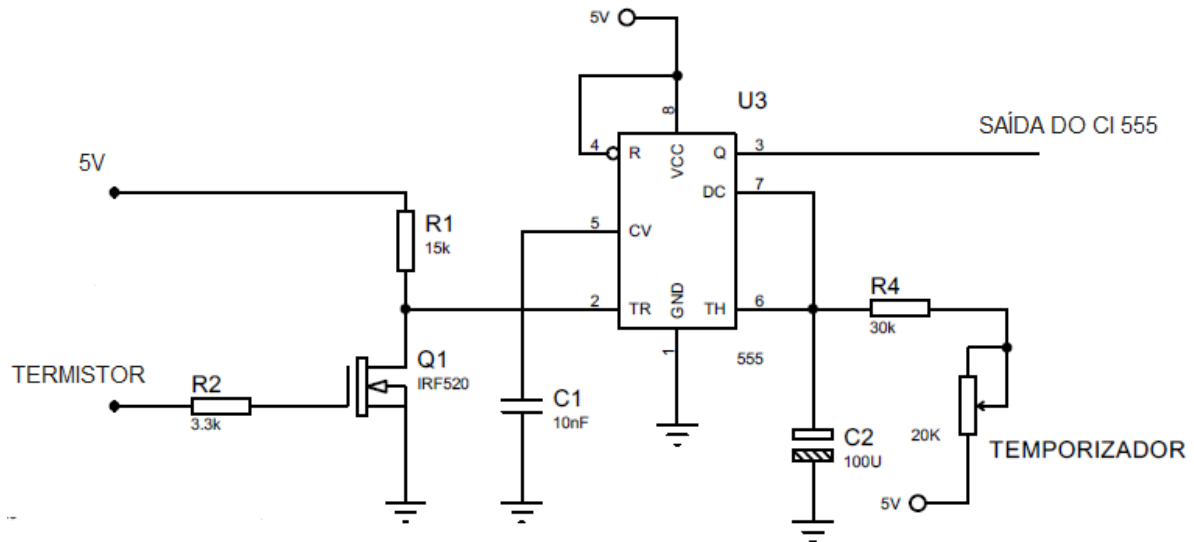


Fonte: Elaboração Própria

Logo, a queda de tensão no sensor deve ser interpretada como um gatilho para ligar ou desligar o Arduino, funcionando de forma análoga à um *push button*. Dessa forma, a ideia inicial do projeto foi de conectar a saída do sensor diretamente no *clock* do flip flop tipo D e o mesmo controlar o Arduino com a sua mudança de estados de 0 para 1, na subida do *clock*. No entanto, testes práticos demonstraram que essa configuração não era estável, já que a sensibilidade do sensor por vezes alcançava o limiar de ativação do *clock* segundos após o sopro e consequentemente ligava e desligava o Arduino desordenadamente.

Para resolver essa instabilidade foi utilizado o CI 555 em seu modo monoestável, realizando a função de remover o ruído do sinal resultante do sensor e enviar um sinal estável para o flip flop. Logo, a queda de tensão no sensor deve ser lida como um disparo para o CI 555 manter um nível alto na saída. No entanto, o pino *trigger* (gatilho do CI 555) é ativado em nível baixo, por isso, fez-se necessário um transistor Mosfet, que é ativado por tensão, recebendo no seu pino *Gate* a mesma queda de tensão do sensor, dessa forma, o Mosfet funciona como chave, caso não haja tensão para ativá-lo o mesmo permanece em circuito aberto permitindo que o pino *trigger* receba 5V (nível alto) e não dê o gatilho, caso ocorra a queda de tensão o circuito é fechado, deixando o pino *trigger* em GND (nível baixo) ativando o gatilho do CI 555, como mostrado na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Circuito para o CI 555



Fonte: Elaboração Própria

Dessa forma, a saída permanece em nível alto por um período W de tempo, em seguida retorna para o nível baixo até receber outro disparo no pino *trigger*. Esse tempo é determinado pela Equação (3.1):

$$W = 1.1R_A C \quad (3.1)$$

Na qual W está em segundos, R_A em ohms e C em Farad.

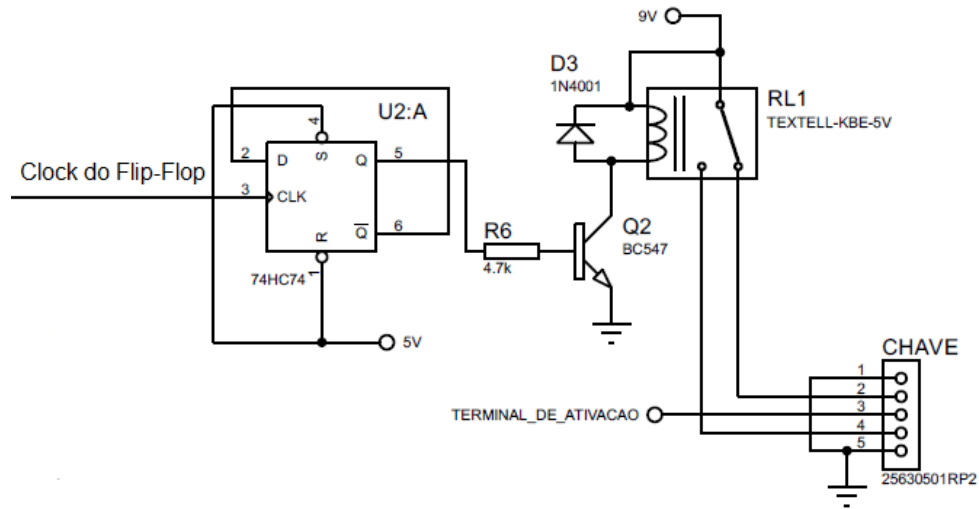
No circuito em questão a resistência depende do resistor de 30K ohm em série com o potenciômetro, que permite o controle do tempo do pulso de saída. Logo, o tempo mínimo de saída é quando o potenciômetro está na resistência zero e pode ser considerado o. Dessa forma:

$$W_{(min)} = 3,3 \text{ segundos} \quad (3.2)$$

Durante os testes foi possível ajustar, através do potenciômetro, a resistência para resultar em um tempo adequado para a saída do CI 555 permanecer em nível alto, esse tempo foi de 5 segundos, observou-se que nesse tempo o sensor se estabiliza e fica apto a receber outro comando (sopro do usuário).

Assim, o pulso de saída do CI 555 é ligado ao clock do flip flop tipo D, CI 74HC74, que alterna seu estado de saída apenas na subida do *clock*, ou seja, quando o *clock* passa do seu nível baixo para o nível alto. Além disso, a saída barrada () é a própria entrada de dados, dessa forma o estado inverso ao da saída é armazenado e quando ocorre um novo pulso de *clock* a saída alterna seu estado, cumprindo o papel de uma chave liga/desliga, como representado na Figura 3.7. Apenas a saída Q já funciona como chave liga/desliga para o Arduino, mas, uma chave manual foi implementada, para facilitar os testes, e optou-se por mantê-la ao circuito final já que a mesma pode servir de alternativa caso o sensor falhe ou para usuários que, além da limitação motora nas mãos, possuem dificuldade em controlar os movimentos da boca também, uma sequela comum em vítimas de AVC, por exemplo. Nesse caso, o usuário pode ligar o aparelho por meio da chave, se tiver condições, mesmo com vibração causada por tremores, a chave não altera com essa interferência, já que é de arraste e só possui duas posições. Excepcionalmente o usuário precisará de outra pessoa apenas para ligar o aparelho, caso nenhuma das opções o atenda. A chave manual

Figura 3.7 – Circuito do Flip Flop e interruptores para a ativação do Arduino



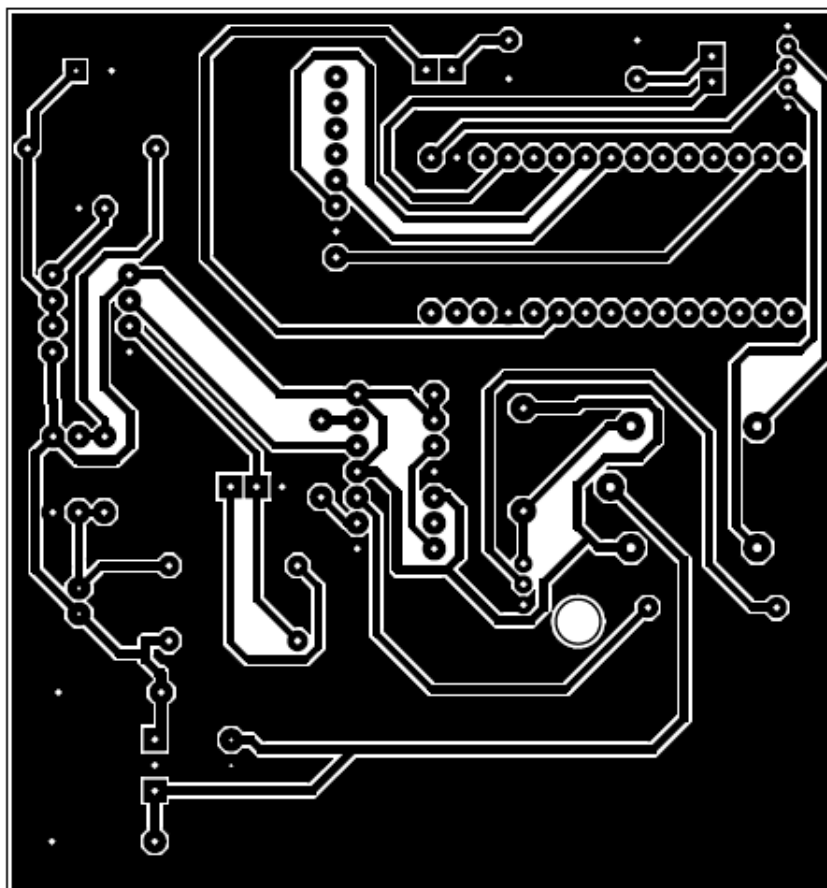
Fonte: Elaboração Própria

escolhida foi a de arraste com duas posições e três terminais, assim foi possível fazer uma conexão em paralelo de interruptores, de forma que o sinal decorrente do sopro do usuário ativar um relé, que é um interruptor para a passagem da alimentação de 9V, e a chave funciona como um segundo interruptor. Para isso, o contato ‘normalmente fechado’ do relé é ligado ao pino 2 da chave e o contato ‘normalmente aberto’ é conectado ao pino 4, o pino 3 é o terminal de ativação para o Arduino. Dessa forma, o Arduino estará desligado caso não haja sopro (pino 2 da chave recebendo 9V) e a chave esteja fechando o contato entre os pinos 3 e 4. Assim, o Arduino ligará seja pelo sopro que mudará o chaveamento no relé e fechará o circuito nos pinos 3 e 4, ou arrastando a chave para a posição que conecta os pinos 2 e 3. Desse modo é possível alterar o estado do Arduino, ligado ou desligado, das duas formas.

3.4 Placa de circuito impresso

Inicialmente o desenho do circuito completo foi feito no software Proteus, como mostrado na Figura 3.8.

Figura 3.10 – Desenho impresso para transferência para a placa



Fonte: Elaboração Própria

Esse desenho é posicionado em uma placa de cobre, que foi lixada anteriormente, e passa por um aquecimento, que pode ser feito com ferro de passar roupa, por exemplo, o que faz com que a tinta derreta e deixe a placa marcada com as conexões do circuito, como mostrado na Figura 3.11.

3.5 Protótipo Final

O planejamento inicial para o protótipo final previa a criação de uma estrutura vestível, projetada especificamente para abrigar o circuito eletrônico. A confecção dessa estrutura seria realizada por meio de impressão 3D, o que possibilitaria um ajuste ergonômico, garantindo conforto e praticidade durante o uso pelos voluntários. Contudo, devido a limitações técnicas e de recursos, não foi possível utilizar a impressão 3D para a fabricação da estrutura.

Em função dessa impossibilidade, optou-se por uma abordagem improvisada: o circuito eletrônico foi fixado diretamente a um headset convencional, permitindo que o dispositivo fosse utilizado pelos voluntários de forma similar a um equipamento vestível. Essa adaptação, embora não ideal, viabilizou a continuidade dos testes e a avaliação do protótipo em condições próximas às reais.

Para a fixação do circuito no headset, foram utilizados materiais adesivos, garantindo a estabilidade e a segurança do conjunto durante o uso. Além disso, ajustes manuais foram realizados para assegurar que o dispositivo se adaptasse confortavelmente à cabeça dos usuários, sem comprometer a funcionalidade ou causar desconforto. A Figura 3.13 mostra a montagem feita com o headset.

Figura 3.13 – Protótipo final fixado ao headset



Fonte: Elaboração Própria

4 TESTES E RESULTADOS

4.1 Participantes

Foram entrevistadas 10 pessoas, sendo 8 do sexo feminino e 2 do sexo masculino. O processo de recrutamento dos voluntários se deu de maneira direta, por meio de uma breve conversa explicativa com cada participante. É importante destacar que nenhum dos participantes possuía deficiência, sendo o estudo conduzido exclusivamente com pessoas sem limitações motoras ou sensoriais.

Após a aceitação para participar do experimento, foi realizada uma apresentação verbal do trabalho, abordando a motivação do estudo, seus objetivos e as tarefas a serem realizadas. A estimativa do tempo de duração dos testes também foi informada, de modo a garantir clareza sobre as etapas envolvidas. O objetivo dessa introdução foi assegurar que os voluntários compreendessem o contexto e a relevância da pesquisa.

Logo após essa introdução, cada voluntário recebeu o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido). O documento detalhava que, ao assinar o termo, o participante concordava com o uso dos dados coletados exclusivamente para fins de pesquisa acadêmica. O termo também reforçava a proteção e a privacidade dos dados dos voluntários, além de garantir que o participante estivesse plenamente ciente dos objetivos da pesquisa e das condições envolvidas.

Com a assinatura do TCLE, o participante estava apto a realizar as tarefas estabelecidas no experimento, iniciando, então, a fase de testes conforme planejado.

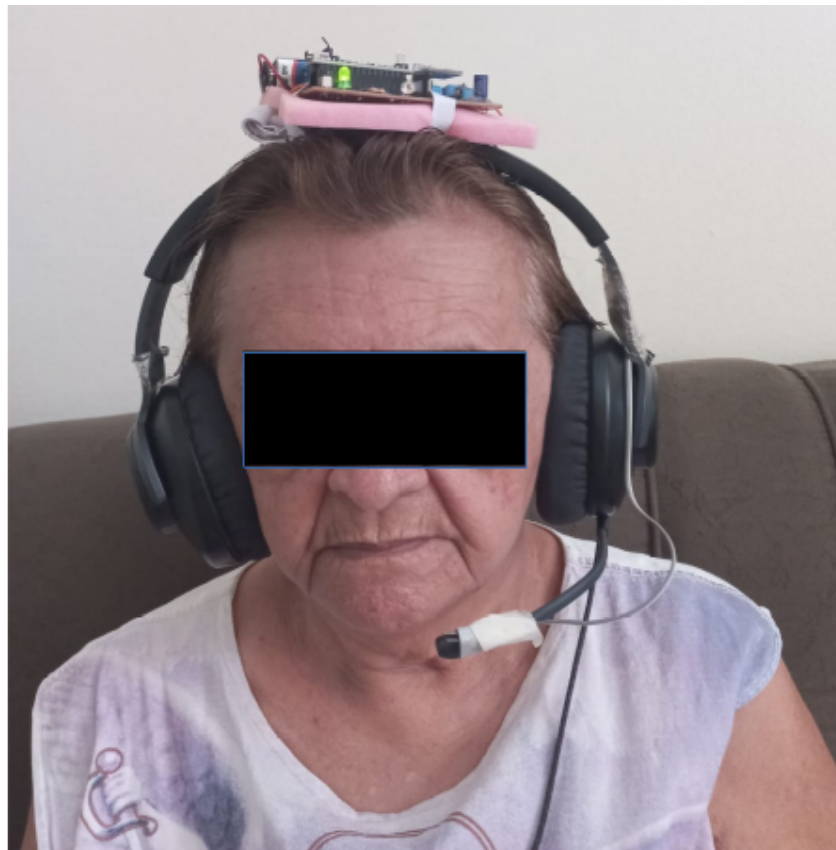
4.2 Ambiente de Testes

Durante a fase de testes do protótipo, o ambiente foi cuidadosamente preparado para garantir que nenhuma interferência externa, como ruídos ou luminosidade, afetasse o desempenho dos voluntários. Os testes foram realizados individualmente com todos os participantes durante a manhã, em três dias diferentes, mantendo no máximo 4 pessoas no ambiente. Após a autora demonstrar como funciona o dispositivo para o participante, o mesmo é ajudado a posicionar o aparelho em si mesmo e iniciar os testes, como mostrado na Figura 4.1.

Tarefa	Ação
Acionar o dispositivo	Sopro
Ligar/Desligar a TV	Mover a cabeça para cima
Aumentar o volume da TV	Mover a cabeça para a direita
Diminuir volume da TV	Mover a cabeça para a esquerda
Passar o canal da TV	Mover a cabeça para baixo

Tabela 4.1 – Roteiro de Ações

Figura 4.1 – Voluntária utilizando o protótipo



Fonte: Elaboração Própria

Dessa forma, os voluntários foram instruídos a realizar sete tarefas simples: acionar o dispositivo, ligar a TV, mudar o canal, diminuir e aumentar o volume, desligar a TV e desligar o dispositivo, nessa ordem. Em caso de falha, os voluntários foram orientados a repetir o processo por pelo menos três vezes. Os movimentos referentes a cada comando estão listados na Tabela 4.1, o mesmo roteiro apresentado aos voluntários como forma de guia para a execução do teste.

O teste de usabilidade SUS (*System Usability Scale*) apresentado na seção 2.8 foi aplicado aos participantes no intuito de quantificar a qualidade do protótipo, por meio de atributos qualitativos. Além das questões do questionário SUS, Os voluntários foram questionados sobre faixa etária, grau de escolaridade e se possuíam familiaridade com o uso de eletrônicos. As possíveis respostas para cada questão são mostradas a seguir.

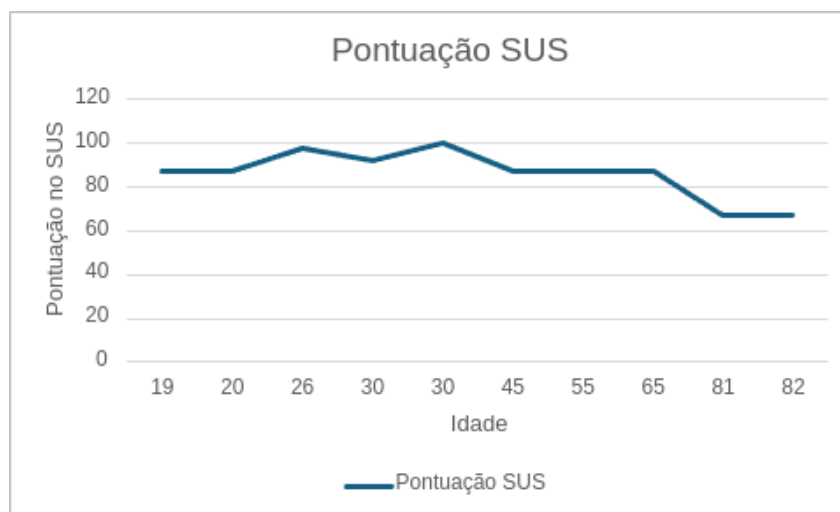
I) Faixa etária:

- a) Até 39 anos;
 - b) De 40 à 59 anos;
 - c) 60 anos ou mais.
- II) Grau de escolaridade:
- a) Fundamental (menor que, incompleto ou completo);
 - b) Médio (incompleto ou completo);
 - c) Superior (completo ou cursando).
- III) Familiaridade com o uso de eletrônicos:
- a) Não tem ou tem muito pouca familiaridade;
 - b) Sabe o básico;
 - c) Tem familiaridade.

A análise dos resultados do SUS mostrou que há influência dos dados demográficos coletados na usabilidade do sistema. O grupo de participantes com maior pontuação foi o que reuniu pessoas até 39 anos, com ensino médio ou superior e com familiaridade com eletrônicos. Os resultados serão discutidos com mais detalhes a seguir:

Faixa Etária: A média da pontuação de pessoas mais velhas (60 anos ou mais) foi de 74.16, sendo que duas voluntárias com mais de 80 anos obtiveram as menores pontuações do grupo. Já as pessoas entre 40 e 59 anos obtiveram uma média de 87.5. Para os mais jovens, de até 39 anos, a pontuação foi alta, com uma média de 93 pontos, atingido os 100 pontos em um caso. A Figura 4.2 mostra a comparação entre idade e pontuação SUS de cada um dos 10 participantes.

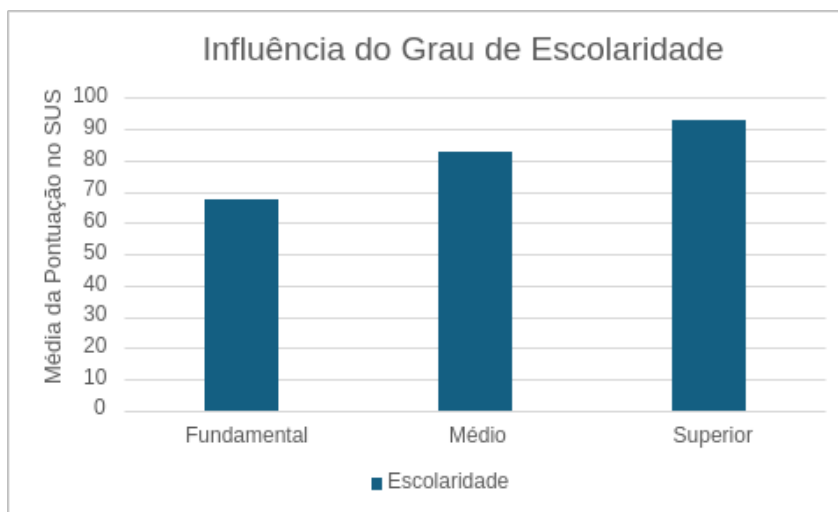
Figura 4.2 – Gráfico de Influência da Faixa Etária



Fonte: Elaboração Própria

Grau de escolaridade: A pontuação de acordo com o grau de escolaridade também foi gradativa, assim como a idade, para as pessoas que estudaram até o nível fundamental a média foi de 67.5, para pessoas com o nível médio foi de 82.5 e para àqueles com nível superior foi de 93. A Figura 4.3 mostra o gráfico da influência do grau de escolaridade na pontuação SUS.

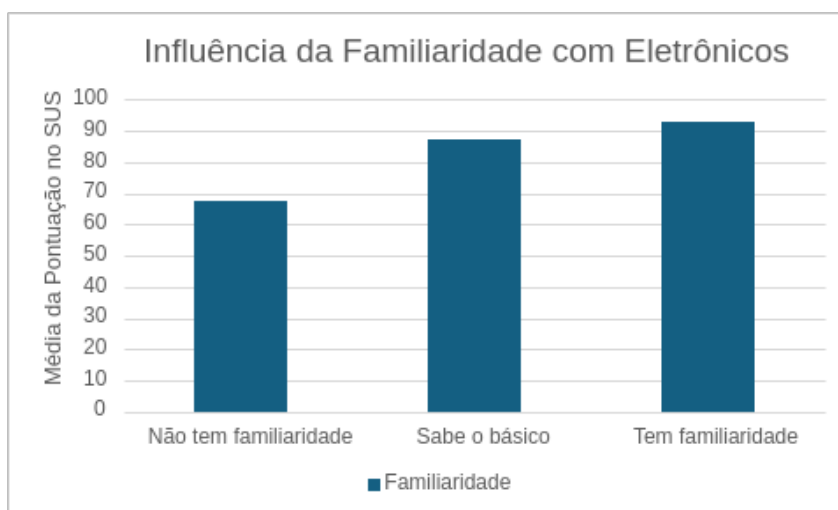
Figura 4.3 – Gráfico de Influência do Grau de Escolaridade



Fonte: Elaboração Própria

Familiaridade com o uso de eletrônicos: Pessoas que declararam ter pouca ou nenhuma familiaridade com eletrônicos obtiveram uma pontuação abaixo da média, 67.5 pontos. Já entre os que declararam saber o básico e os que tem familiaridade a média se manteve alta, 87.5 e 93 pontos, respectivamente. A Figura 4.4 mostra o gráfico da influência da familiaridade com eletrônicos na pontuação SUS.

Figura 4.4 – Gráfico de Influência da Familiaridade com Eletrônicos



Fonte: Elaboração Própria

A análise final dos resultados do SUS demonstrou que grande parte dos participantes consideraram o protótipo de boa usabilidade, sem grandes dificuldades em aprender a utilizar o produto. Mesmo os voluntários com menor pontuação obtida, 67.5 pontos, ficaram muito próximos da média sugerida pela métrica de avaliação, 68 pontos.

A análise dos resultados aponta também que a idade foi um fator determinante na usabilidade do produto. Considerando que entre as pessoas com pouca familiaridade com eletrônicos e com grau de escolaridade fundamental que obtiveram média abaixo de

68 pontos também são pessoas idosas. Levando em consideração esse fator, sugere-se que o grau de escolaridade e a familiaridade com eletrônicos tem menor influência comparados à faixa etária para a usabilidade do sistema pelos usuários.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um protótipo de controle remoto universal voltado para pessoas com limitações motoras nos membros superiores, que permite o controle de uma TV utilizando gestos da cabeça com objetivo de tornar o controle de equipamentos eletrônicos do ambiente doméstico de fato acessível. Através do desempenho dos participantes na etapa de teste foi feita uma análise qualitativa, com base nas opiniões dos usuários.

As funcionalidades de acionamento externo por sopro e envio de sinais infravermelhos por movimentação da cabeça apresentaram boa estabilidade, tornando o produto interessante, já que o intuito é estar mais próximo possível da comodidade convencional dos controles remotos, no entanto, para PCDs.

A média de score dos participantes foi de 86,25 na escala do SUS, indicando uma boa usabilidade no geral. Pouco auxílio foi dado durante a execução do roteiro e o tempo para completá-lo foi relativamente baixo, apesar de maior que o do controle convencional.

No entanto, ao observar a média de score dos participantes idosos nota-se uma discrepância em relação aos demais, pontuando abaixo de 68 pontos na escala SUS, indicando menor usabilidade do produto para essa população. Algo que pode estar relacionado a isso é a maior relutância da população idosa em aderir à métodos incomuns para a sua realidade e a pouca experiência com produtos eletrônicos. Ainda assim, o *feedback* dado por essa população se concentra apenas em ajustes para maior conforto, além de uma ferramenta que os ajudassem a lembrar as correspondências entre os movimentos e as ações.

As ferramentas propostas neste trabalho utilizaram componentes de baixo custo, reduzindo o valor total para o desenvolvimento, mostrou-se uma boa alternativa às soluções com a mesma proposta que estão disponíveis no mercado. Além disso, apesar do projeto apresentado se direcionar ao acionamento de uma televisão, o processo utilizado é amplo e pode servir de modelo para outros projetos que almejam enviar sinais de forma não convencional, contribuindo assim para a comunidade científica.

5.1 Trabalhos Futuros

O desenvolvimento do protótipo de controle remoto alternativo apresentou resultados promissores, mas há diversas oportunidades para aprimoramentos e evoluções nas futuras etapas do projeto. As principais direções para trabalhos futuros incluem:

I) Confecção da Estrutura em Impressão 3D: Um passo muito importante seria a produção da estrutura do protótipo utilizando impressão 3D, conforme planejado inicialmente. Isso permitirá a criação de um dispositivo vestível, ergonômico e mais leve, proporcionando maior conforto aos usuários e maior resistência do equipamento. A impressão 3D também permitirá personalizar o design do dispositivo, ajustando-o melhor às diferentes morfologias dos usuários.

II) Aprimoramento do Design e Materiais: O uso de materiais mais avançados e adequados à fabricação de dispositivos assistivos pode ser explorado para melhorar a durabilidade e o conforto do protótipo. Estudos de ergonomia poderão auxiliar na otimização do design para minimizar o peso, facilitar o uso prolongado e aumentar a estética do dispositivo, tornando-o mais atraente e prático.

III) Expansão da Amostra de Testes: Um aspecto importante será a ampliação do número de participantes nos testes, incluindo pessoas com diferentes graus de deficiências

motoras. Isso permitirá validar a usabilidade do protótipo para o público-alvo.

IV) Melhorias no Sistema de Controle: O sistema de captação de gestos e sopros pode ser refinado para aumentar a precisão e a velocidade de resposta. A inclusão de novos sensores ou algoritmos de processamento de sinais pode aprimorar a experiência do usuário, garantindo um controle mais natural e intuitivo.

Essas direções futuras visam aprimorar a funcionalidade, a usabilidade e a acessibilidade do protótipo, potencializando seu impacto na vida dos usuários com limitações motoras e proporcionando uma solução cada vez mais eficiente.

REFERÊNCIAS

- [1] TOFFLER, Alvin. O choque do futuro. Rio de Janeiro: Artenova, 1972.
- [2] ASIMOV, Isaac. Eu, robô. São Paulo: Aleph, 2015.
- [3] **BRASIL**. Lei n. 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jul. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: [20/09/2024].
- [4] COOK, A.M. & HUSSEY, S. M. (1995) Assistive Technologies: Principles and Practices. St. Louis, Missouri. Mosby - Year Book, Inc.
- [5] ROCHA, E.F. Reflexões sobre recursos tecnológicos. São Paulo: Revista de Terapia Ocupacional da USP, 2006
- [6] Becker, V., Montez, C., “TV DIGITAL INTERATIVA – Conceitos, desafios e perspectivas para o Brasil”, Florianópolis, 2004.
- [7] ALMEIDA, Lília Bilati de. et al. O Retrato Da Exclusão Digital Na Sociedade Brasileira. Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação, Vol. 2, No. 1, 2005, pp. 55-67.
- [8] Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua, IBGE, 2019. Visitado em abril, 2022, https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101794_informativo.pdf.
- [9] Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), IBGE, 2019. Visitado em abril, 2022, <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia>.
- [10] RABELO, A.G.; BORGES, L.R.; ZAMBALDE, E.P.; VALENTINI, C.A.M.; NAVES, E.L.M. Acionamento Remoto De Uma Televisão Por Meio Do Bracelete Myo. Congresso Brasileiro de Eletromiografia e Cinesilogia e X Simpósio de Engenharia Biomédica – ISBN.
- [11] BATISTA, Cássio Trindade. Uma Proposta de Sistema de Controle Remoto Universal com Suporte a Reconhecimento e Síntese de Voz. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.
- [12] LEE, G.; KIM, K.; KIM, J. Development of Hands-Free Wheelchair Device based on Head Movement and Bio-Signal for Quadriplegic Patients. International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing.
- [13] CARVALHO, Diego Albuquerque. Desenvolvimento de um Sistema de Controle para Cadeiras de Rodas Automatizada Baseado em Movimentos da Cabeça, 2018. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora.
- [14] CAMPOS, Erick Modesto. Desenvolvimento e Avaliação de Interfaces Alternativas Baseadas em Interações Não Convencionais Para o Clique do Mouse, 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará.
- [15] MELO, Daniel & SANTANA, Icaro. Utilização De Radiofrequência Para Controle De Modelos Robóticos. Mostra Nacional de Robótica (MNR) - Instituto Federal de Sergipe.

[16] LEITE, D.; PRADO, R. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. Revista Brasileira de Ensino de Física. Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

[17] Sparkfun. Sparkfun Electronics: Start Something, 2022. Tutorials-Infrared Light. Disponível em: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/light/infrared-light>. Acesso em: 02/05/2022.

[18] Mundo Projetado. Transmissor e receptor infravermelho, 2018. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/transmissor-e-receptor-infravermelho/>. Acesso em: 02/05/2022.

[19] Samsung Electronics, S3F80KB Microcontroller for IR Remote Controller, 2008. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20190713172038/http://elektrolab.wz.cz/katalog/sa>. Acesso em: 15/06/2022.

[20] Instituto Newton C. Braga, Como Funcionam as UARTs. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/telecom-artigos/1709->. Acesso em: 20/06/2022.

[21] Hélio Sousa Mendonça, Páginas da Atividade Docente e de Investigação. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~hsm/misc/old/comp/uart/>. Acesso em: 20/06/2022.

[22] Vida de Silício. Protocolo I2C – Comunicação entre Arduinos, 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/i2c-comunicacao-entre-arduinos/>. Acesso em: 22/06/2022.

[23] UNIVASF. Protocolo I2C. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~romulo.camara/novocontent/uploads/2013/11/Barramento-e-Protocolo-I2C.pdf>. Acesso em: 22/06/2022.

[24] Gustavo Cereza. Termistor NTC Explicação Detalhada e Completa. Disponível em: <https://elcerez.com/termistor/>. Acesso em: 26/06/2022.

[25] JR., L. E. F. Eletrônica Moderna: Fundamentos, Dispositivos, Circuitos e Sistemas. Porto Alegre: Editora AMGH, 2015.

[26] Manual da Eletrônica. Sensor NTC: Características e Aplicações. Disponível em: <https://www.manualdaeletronica.com.br/sensor-ntc-caracteristicas-aplicacoes/>.

[27] CAPUANO, Francisco G.; IDOETA, Ivan Valeije. **Elementos de Eletrônica Digital**. 40^a ed. São Paulo: Érica.

[28] DUQUE, Jonas.; REIS, Michelle Lopes.; SOEIRO, Pedro Henrique C. Circuitos Digitais I. Faculdade Independente do Nordeste – FAINOR.

[29] HELERBROCK, Rafael. "Transistor"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uo>. Acesso em 19/08/2022.

[30] CASTRO, Giovanni de. Introdução ao Transistor. Robocore. Disponível em: <https://www.robocore.net/tutoriais/introducao-ao-transistor>. Acesso em: 20/08/2022.

[31] Instituto Newton C. Braga. Como funciona o MOSFET. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6417-art977>. Acesso em: 15/10/2022.

[32] Martins, D.C. "Transistores de Potência". 1^a Ed. Florianópolis, 2018.

[33] NBR 5410:2004, versão corrigida 2008 – Instalações elétricas de baixa tensão

[34] Rossi, Fabrício. Interruptores: Simples, Duplo e Three-way. Disponível em: <https://pedreiro.com.br/interruptores-simples-duplo-e-three-way-passo-a-passo/>

[35] THOMSEN, Adilson. "O que é Arduino". Marker Hero. Disponível em: <https://www.markerhero.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 17/08/2022.

[36] THOMSEN, Adilson. "Acelerômetro MPU6050 com Arduino". Marker Hero. Disponível em: <https://www.markerhero.com/blog/tutorial-acelerometro-mpu6050-arduino/>. Acesso em: 17/08/2022.

[37] Optoelectronics. Datasheet: TIL32 Light Emitters. ETC.

[38] LED e Fototransistor Infravermelho TIL32 e TIL78. DQSoft, 2013. Disponível em: <http://dqsoft.blogspot.com/2013/01/led-e-fototransistor-infravermelho.html>. Acesso em: 22/05/2022.

[39] P. Horowitz and W. Hill, The Art of Electronics (Cambridge University Press, Cambridge, 1989), 2nd edition, p. 1125.

[40] L. D. Hansen and R.M. Hart, Thermochinica Acta 417, 257 (2004).

[41] Componentes Eletrônicos. Baú da Eletrônica. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/>. Acesso em: 19/05/2022.

[42] SGS-Thomson Microelectronics. Datasheet: IRF520.

[43] Instituto Newton C. Braga. Aplicações avançadas do 555. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/834-aplicacoes-avancadas-do-555-art116.html?showall=1> Acesso em: 23/06/2022.

[44] LEMOS, Manoel. CI 555 – Conheça o 555 no modo estável. Imaters, 2014. Disponível em: <https://imasters.com.br/front-end/ci-555-conheca-o-555-modo-estavel-parte-02> Acesso em: 15/10/2022.

[45] Circuitos integrados 2: 555 em modo monoestável. Eletrônica para artistas, 2017. Disponível em: <https://eletronicaparaartistas.com.br/circuitos-integrados-2-555-em-modo-monoestavel/> Acesso em: 20/10/2022.

[46] MALVINO, Albert; BATES, David. Eletrônica. 8ª edição. São Paulo: AMGH.

[47] Circuitos integrados 2: 555 em modo astável. Eletrônica para artistas, 2017. Disponível em: <https://eletronicaparaartistas.com.br/circuitos-integrados-5-555-em-modo-astavel/> Acesso em: 20/10/2022.

[48] Circuitos integrados 1: 555 em modo biestável. Eletrônica para artistas, 2017. Disponível em: <https://eletronicaparaartistas.com.br/circuitos-integrados-1-introducao-ao-555-modo-biestavel/> Acesso em: 18/10/2022.

[49] NXP. Datasheet: 74HC74. Dual D-type flip-flop with set and reset.

[50] VERTULO, Rodrigo Cesar. Tipos de Flip Flops – Flip Flop D. Disponível em: <http://labdeeletronica.com.br/tipos-de-flip-flops-flip-flop-d/>. Acesso em: 16/07/2022.

[51] MATTEDE, Henrique. Como funciona o relé. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/que-e-rele-como-funciona-um-rele/>. Acesso em: 15/02/2023.

[52] Relês: ‘O que são e para que servem?’. Cromatek. Disponível em: <https://cromatek.com.br/o-que-sao-e-para-que-servem/> Acesso em: 20/02/2023.

[53] ST life. Datasheet: Positive voltage regulator ICs. STMicroelectronics, 2018.

[54] TEXEIRA, Fabricio. O que é o SUS (System Usability Scale). UX Collective. Disponível em: <https://brasil.uxdesign.cc/o-que-%C3%A9-o-sus-system-usability-scale-e-como-us%C3%A1-lo-em-seu-site-6d63224481c8>. Acesso em: 20/01/2024.

Apêndices

APÊNDICE A – Código para obtenção do código infravermelho do controle remoto

```
#include <IRremote.h>

int RECV_PIN = 2;
IRrecv irrecv(RECV_PIN);
decode_results results;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Enabling IRin");
  irrecv.enableIRIn();
  Serial.println("Enabled IRin");
}

void loop() {
  if (irrecv.decode(&results)) {
    Serial.println(results.value, HEX);
    Serial.println(results.value, BIN);
    irrecv.resume();
  }
  delay(100);
}
```

APÊNDICE B – Código de envio do sinal infravermelho

```
#include <MPU6050_tockn.h>
#include <Wire.h>
#include <IRremote.h>

// DEFINIÇÕES
#define MPU6050_ADDR 0x68
#define DEBUG

// INSTANCIANDO OBJETOS
MPU6050 mpu6050(Wire);
IRsend irsend;

// DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS
float anguloX;
float anguloY;
unsigned long valor;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  mpu6050.begin();
  mpu6050.calcGyroOffsets(false);

  #ifdef DEBUG
    Serial.println("Fim Setup");
  #endif
}

void loop() {
  mpu6050.update();
  anguloX = mpu6050.getAngleX();
  anguloY = mpu6050.getAngleY();

  if (anguloX >= 25) {
    irsend.sendSAMSUNG(0xE0E048B7, 32);
    Serial.println(valor, HEX);
    Serial.println("Para baixo - Avança o canal");
  }

  if (anguloX <= -25) {
    irsend.sendSAMSUNG(0xE0E040BF, 32);
    Serial.println(valor, HEX);
    Serial.println("Para Cima - liga a TV");
  }
}
```

```
if (anguloY >= 25 && sensorpiezo >= limiar) {
    irsend.sendSAMSUNG(0xE0E0D02F, 32);
    Serial.println(valor, HEX);
    Serial.println("Esquerda - diminuir o volume");
}

if (anguloY <= -25 && sensorpiezo >= limiar) {
    irsend.sendSAMSUNG(0xE0E0E01F, 32);
    Serial.println(valor, HEX);
    Serial.println("Direita - aumentar o volume");
}
}
```