



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

CHRISTIAN LEMOS BOTELHO

CRISTIANO SOUZA DA SILVA

CONTROLE DE LÂMPADA BASEADA EM PLATAFORMA MICROCONTROLADA

Palhoça

2020

CHRISTIAN LEMOS BOTELHO

CRISTIANO SOUZA DA SILVA

CONTROLE DE LÂMPADA BASEADA EM PLATAFORMA MICROCONTROLADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Fábio Ignácio da Rosa, Esp.

Palhoça

2020

CHRISTIAN LEMOS BOTELHO

CRISTIANO SOUZA DA SILVA

CONTROLE DE LÂMPADA BASEADA EM PLATAFORMA MICROCONTROLADA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 7 de Julho de 2020.

Professor e orientador Fábio Ignácio da Rosa, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor e convidado, Fabiano Max da Costa, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Convidado, João Batista Cordeiro Neto, Eng.
Intelbras S/A - Indústria de Telecomunicação Eletrônica Brasileira

AGRADECIMENTOS

A formação acadêmica de um profissional é apenas o início da quebra de barreira nesta longa caminhada, afinal enquanto estudante são inúmeros os desafios e adversidades as quais devem ser transpostas para alcançar o seu objetivo final. Essa jornada não é trilhada sozinho, está repleta de pessoas, ações e palavras que nos auxiliam direta e indiretamente a prosseguir e persistir. Agradecemos ao nosso professor e orientador Engenheiro Fábio Ignacio da Rosa, por suas correções, ideias e orientações, além de sua disposição e tempo. Cada um de nós teve sua jornada tocada por diferentes pessoas e por isso agradecemos individualmente:

Agradeço primeiramente a minha família que me apoio durante essa jornada estando sempre presente nos momentos difíceis. Agradeço a minha noiva Kimberli Sabino que me incentivou e sempre esteve ao meu lado em todos os momentos. Agradeço a Deus por guiar os meus passos e me abençoar todos os dias da minha vida.

(Christian Lemos Botelho)

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que tem me proporcionado durante cada dia da minha vida. Agradeço a meus pais José Osni da Silva e Ivonete de Souza da Silva; meus irmãos Jean Rodrigo da Silva, Willian de Souza da Silva e irmã Débora de Souza da Silva que estiverem presentes em todas as etapas de minha vida e apoiaram todas as minhas decisões, além disso agradeço a todos os professores que ajudaram a construir e moldar todas as habilidades que levarei comigo nesta longa caminhada com engenheiro. Agradeço também a minha namorada Gláucia Pflieger que jamais me negou apoio, carinho e incentivo mesmo diante das inúmeras crises de estresse e ansiedade.

(Cristiano Souza da Silva)

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota. ”
(Theodore Roosevelt).

RESUMO

Este projeto propõe a implementação de um protótipo para controlar a iluminação através de comandos de voz previamente gravados e executar as tarefas correspondentes. O processo de reconhecimento de voz foi implementado com base em um módulo que extrai e analisa os recursos de voz do ser humano entregues ao módulo conversor de fala chamado Elechouse V3. O sistema foi desenvolvido em conjunto com o microcontrolador Arduino e permite a execução de até 80 tarefas distintas. Todos os comandos foram desenvolvidos na linguagem nativa do Arduino com auxílio da sua IDE. A voz deve ser gravada previamente pelo usuário para permitir ao controlador reconhecer, comparar e então acionar a iluminação. Nota-se que estes mecanismos de reconhecimento de fala são limitados em comandos, no entanto, é uma ótima opção para facilitar a vida de qualquer pessoa mesmo em lugares remotos devido a não necessitar de conexão com a internet. Além disso, não só provou ser uma opção que oferece eficiência e velocidade de acionamento, como também proporcionou um bom custo benefício se comparado aos assistentes de voz existentes no mercado atual.

Palavras chave: Iluminação. Comando de voz. Microcontrolador. Módulo de voz.

ABSTRACT

This project proposes the implementation of a prototype to control the lighting through previously recorded voice commands and perform the corresponding tasks. The speech recognition process was implemented based on a module that extracts and analyzes the human voice resources delivered to the speech converter module called Elechouse V3. The system was developed in conjunction with the Arduino microcontroller and allows the execution of up to 80 different tasks. All commands were developed in the native language of Arduino with the aid of its IDE. The voice must be previously recorded by the user to allow the controller to recognize, compare and then activate the lighting. It is noted that these speech recognition mechanisms are limited in commands, however, it is a great option to make life easier for anyone even in remote places due to not needing an internet connection. In addition, it not only proved to be an option that offers efficiency and speed of activation, but also provided a good cost-effective compared to existing voice assistants in the current market.

Keywords: Lighting. Voice control. Microcontroller. Voice module.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Circuito elétrico de um interruptor simples.	17
Figura 2 - Circuito elétrico de um interruptor paralelo.	18
Figura 3 - Interruptor sem fio da marca <i>Avi - on Swith</i>	19
Figura 4 - Assistente virtual <i>Alexa</i>	20
Figura 5 - Arduino UNO	21
Figura 6 - Arduino IDE	22
Figura 7 - Diagrama de blocos geral de um sistema de reconhecimento.	25
Figura 8 - Segmento janelado com hamming.....	27
Figura 9 - Placa Elechouse voice recognition moduleV3.....	31
Figura 10 - Relé Eletromagnético.....	32
Figura 11 - Lâmpada em regime SKD	33
Figura 12 - Lâmpada com o LDR instalado	34
Figura 13 - Cenário de testes	34
Figura 14 - Ligação Arduino e Módulo.....	36
Figura 15 - Versão do software Arduino	36
Figura 16 - Configuração de controle de grupo.....	37
Figura 17 - Forma de operação de cada modo.....	37
Figura 18 - Gravação do comando	38
Figura 19 - Carregando as gravações	39
Figura 20 - Conexões do protótipo para teste.....	39
Figura 21 - Protótipo instalado na caixa de embutir.....	40
Figura 22 - Instalação final na caixa de embutir	40
Figura 23 - Microfone no lado externo.....	41
Figura 24 - Microfone no lado interno	41
Figura 25 - Alto falante portátil.....	42
Figura 26 - Posição da medição.....	43
Figura 27- Gravação dos comandos	43
Figura 28 - Ambiente de testes	44
Figura 29 - Distância 1 metro	45
Figura 30 - Distância 2 metros	45
Figura 31 - 3 metros	46
Figura 32 - 4 metros	46

Figura 33 - 1 metro com ruído constante.....	47
Figura 34 - 1 metro com ruído aleatório.....	48
Figura 35 - 2 metros com ruído constante.....	49
Figura 36 - 2 metros com ruído aleatório.....	49
Figura 37 - 3 metros com ruído constante.....	50
Figura 38 - 3 metros com ruído constante maior.....	50
Figura 39 - 4 metros com ruído constante.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações Arduino UNO	23
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	DELIMITAÇÕES	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo geral	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
1.4	METODOLOGIA DA PESQUISA	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	CONTROLE DE ILUMINAÇÃO	16
2.1.1	Controle por contato	17
2.1.2	Controle por aplicativo	18
2.1.3	Controle por voz.....	19
2.2	MICROCONTROLADORES.....	20
2.2.1	Plataforma Arduino	21
2.2.2	Linguagem de programação.....	23
2.2.3	Reconhecimento de voz.....	24
2.2.4	Aquisição e pré-processamento do sinal de voz.....	25
2.2.4.1	Pré-ênfase	25
2.2.4.2	Segmentação.....	26
2.2.4.3	Janelamento	26
2.2.4.4	Transformada de Fourier	27
2.2.5	Extração de características.....	28
2.2.6	Comparação e Decisão	28
2.2.7	Classificação dos sistemas.....	28
2.2.8	Módulo de comando de voz	30
2.2.9	Comando Relé Eletromagnético	31
3	DESENVOLVIMENTO.....	33
3.1	SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO AUTOMÁTICO.....	33
3.2	SISTEMA COM ACIONAMENTO POR VOZ.....	35
3.3	RESULTADOS OBTIDOS	40
3.4	GRAVAÇÃO.....	42

3.5	AMBIENTE DE TESTE.....	44
3.6	TESTE COM MÍNIMO RUÍDO NO AMBIENTE.....	44
3.7	TESTE COM RUÍDO NO AMBIENTE	47
4	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS	54
	ANEXOS	59
	ANEXO A – CÓDIGO USADO PARA TESTE APÓS A GRAVAÇÃO PREVIA DOS COMANDOS	60
	ANEXO B – FLUXOGRAMA DAS AÇÕES EXECUTADAS NO PROJETO.	63

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, a eletricidade tem despertado o interesse e a curiosidade da espécie humana. Desde então, tem sido estudada para facilitar a vida das pessoas. Com isso, inúmeros campos de aplicação surgiram nos últimos anos e vêm evoluindo constantemente com cada nova descoberta da ciência. Um destaque que ilustra esses avanços foi no campo da energia luminosa, graças à descoberta de Thomas Alva Edison, que encontrou a solução para transformar a energia elétrica em fonte de luz barata e duradoura, desenvolvendo a lâmpada elétrica (HAMILTON; MARKUN, 2006).

A partir de então, diversas técnicas foram utilizadas para proporcionar maior eficiência e controle dos sistemas. No entanto, com o passar dos anos, novas tecnologias foram agregadas e repensadas. Sendo assim, houve o crescente interesse pelo estabelecimento de relações sociais e interfaces virtuais ou robóticas, o que tem despertado o interesse da comunidade científica, que cada vez mais propõe novos sistemas especializados neste tipo de interação humano-computador (RODRIGUES, 2012). Com isso, surgiu a necessidade de integrar cada vez mais inteligência embarcada para facilitar o uso de qualquer equipamento. Entretanto, isso tudo envolve custos financeiros, além de novas tecnologias.

O mercado tecnológico tem crescido e desenvolvido cada vez mais dispositivos de forma inteligente que facilitam e deixam algumas rotinas repetitivas do dia a dia simplificadas. Portanto, a automação de muitas atividades está cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, tanto na indústria quanto nas residências, em aparelhos eletrônicos, brinquedos, veículos, ou seja, em todos os lugares (CARDOSO, 2014).

Assim, segundo a AIP TECHNOLOGY (2015), o sistema que vem apresentando maior expansão na sociedade é a iluminação inteligente com lâmpadas comandadas à distância através da rede, com tecnologia sem fio e ajustadas de acordo com as necessidades do usuário. No entanto, uma boa parcela da população tem grande dificuldade de usar ou até mesmo de se adaptar às novas tecnologias, especialmente consumidores com certas limitações físicas, que possuem grande dificuldade para acionar os tradicionais interruptores do mercado.

Com isso, o controle de iluminação automático em edificações é uma das alternativas para resolução do problema, pois possibilita que o sistema se autogerencie. Afinal, é possível constatar que muitos ambientes internos apresentam iluminação defeituosa por diversos motivos, todos certamente ligados a alguma falha no projeto, na sua implementação ou na dificuldade de acessibilidade do usuário ao interruptor. Outras alternativas para os sistemas de iluminação são o controle manual, o controle por aplicativo ou o controle através

de comando de voz do próprio usuário conforme suas necessidades e de preferência de uma maneira simples, intuitiva e sem esforço físico.

Diante disso, o objetivo deste trabalho inicialmente era abordar o conceito prático para controlar o sistema automático de iluminação. No entanto, devido às dificuldades encontradas no decorrer dos testes - que serão mencionadas mais adiante -, optou-se por alterar o comando do sistema para voz, facilitando a interação do usuário - que possui ou não limitações - com a iluminação do local. Pode-se ressaltar que o controle por voz apresentado neste trabalho pode transcender a aplicação desenvolvida, visto que sua abrangência pode envolver desde o simples acionamento de lâmpadas, como também sistemas completos de automação residencial e/ou industrial.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2019 (IBGE, 2019), cerca de 21% da população brasileira, que representa por volta de 45 milhões de pessoas, apresenta algum tipo de deficiência motora. Outro estudo, publicado pela Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República, aponta dados sobre o envelhecimento no Brasil referindo-se a uma pesquisa do IBGE que confirma a cristalização do envelhecimento da população brasileira, que apresenta uma população idosa totalizando cerca de 28 milhões de pessoas em 2019 (SECRETARIA DE DIREITOS HUMANOS, 2019).

Diante disso e devido à existência de diversas formas de iluminação inteligente no mercado, todas necessitando de conexão com a internet, o presente estudo justifica-se não só pela velocidade de processamento do sistema e dependência de uma rede conectada, como também alto custo e a dificuldade de dimensionar um sistema autônomo. Desta forma, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo que será capaz de atender comandos através da voz fornecido pelos usuários e instantaneamente acionar ou desligar a iluminação do ambiente conforme a necessidade, promovendo facilidade de uso principalmente para idosos e pessoas com algum grau de limitação física.

1.2 DELIMITAÇÕES

Este trabalho limita-se ao estudo e implementação de um protótipo microcontrolado no qual é capaz de realizar o acionamento de lâmpadas, controladas de forma inteligente através

da voz, conforme comandos pré-programados para estabelecer segurança e confiabilidade do sistema, possibilitando um controle manual com facilidade de uso para o usuário.

1.3 OBJETIVOS

Mediante o tema apresentado, definiu-se os seguintes objetivos para essa pesquisa:

1.3.1 Objetivo geral

Efetuar o estudo e a experimentação em laboratório de sistema inteligente para lâmpada microcontrolada por voz, de forma a obter uma boa eficiência dos comandos pré-programados. Para isso, será levada em consideração a facilidade de uso e a relação custo benefício na implementação do protótipo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estudar uma solução capaz de implementar um sistema de captura, processamento e envio de comandos por voz;
- Realizar uma análise para especificação do microcontrolador mais adequado a ser usado na implementação do protótipo;
- Desenvolver um protótipo de baixo custo para os ensaios na residência;

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada e experimental, uma vez que segue um planejamento rigoroso. As etapas de pesquisa iniciam pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que atuam no fenômeno estudado (TRIVIÑOS, 1987).

Para Gil (2007), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Sendo assim, este trabalho será embasado em pesquisas bibliográficas que reforçarão a fidelidade dos dados obtidos no experimento, possibilitando, desta forma, um melhor aproveitamento dos resultados desenvolvidos em laboratório (onde o meio ambiente

criado é artificial) e no campo (onde são criadas as condições de manipulação dos sujeitos nas próprias organizações, comunidades ou grupos).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em uma estrutura de 4 capítulos. O capítulo 1 estabelece uma introdução ao tema, com justificativa, objetivos e metodologia aplicada. Já o capítulo 2 aborda a fundamentação teórica que sustenta a pesquisa, com os detalhes necessários para o experimento realizado para comandar a iluminação por voz. O capítulo 3 descreve com detalhes o desenvolvimento do protótipo e os testes realizados, bem como as variáveis que viabilizam o experimento. Além disso o capítulo 3 contempla ainda a exposição dos resultados obtidos nos ambientes testados e as considerações obtidas ao longo dos testes executados com o protótipo. E, por fim, o capítulo 4 aborda as considerações finais, onde é feita uma síntese do trabalho apresentado. Os resultados obtidos são avaliados e as ações previstas para os trabalhos futuros são delineadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os sistemas inteligentes estão ganhando ênfase nos projetos residenciais, especialmente os que envolvem o segmento da iluminação. Estão surgindo diversos projetos de automação residencial que necessitam de uma grande variedade de sistemas e equipamentos, como sensores de presença e controladores de iluminação. Entretanto, muitos destes equipamentos existentes são complexos e não oferecem inclusão às pessoas idosas e com deficiência. Dessa forma, limitam-se a oferecer poucas funções de operação a esses usuários (AURESIDE, 2010). Assim, tendo em vista a necessidade de equipamentos cada vez mais simples e intuitivos, a tecnologia comandada por voz está ganhando cada vez mais espaço.

Diante disso, neste capítulo, será destacada a fundamentação teórica visando facilitar a compreensão dos recursos que normalmente são utilizados para implementar o controle de iluminação comandada por voz e os dispositivos necessários para a sua construção.

2.1 CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

Sendo a iluminação um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica, os projetos e sistemas de iluminação por controle inteligente são de suma importância não só para o desenvolvimento das tecnologias de eficiência energética em toda edificação, como também para facilitar a vida das pessoas, seja na área industrial, comercial, ou residencial, diminuindo o consumo de energia de uma maneira global na sociedade e proporcionando inclusão social.

Uma das partes fundamentais de uma residência inteligente são os equipamentos eletroeletrônicos chamados de dispositivos inteligentes (DIs), pois exercem funções além das quais foram programados para realizar, agregam software e hardware extras que resultam em recursos adicionais, permitindo o controle, o gerenciamento remoto e sua interconexão em rede (BOLZANI, 2004). Sendo assim, o primeiro passo é escolher entre os diversos modos existentes para controlar a iluminação em cada ambiente de acordo com as necessidades do usuário.

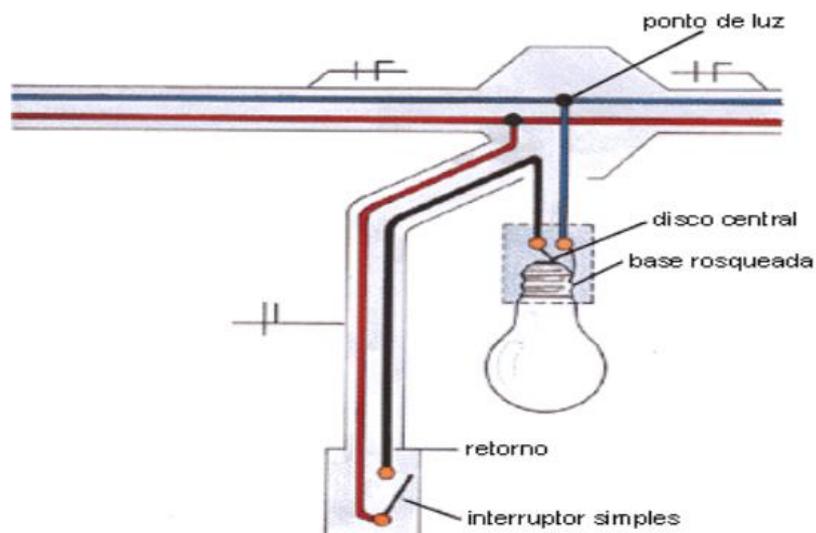
Hoje em dia está disponível em projetos para iluminação residencial três principais formas de interface entre o usuário e o sistema de controle: contato direto ao interruptor, controle por voz e interface por aplicativo. Este último tem substituído em muitos casos – como o da iluminação – os interruptores convencionais, não só pelo avanço das telas responsivas ao toque e a popularização do uso de interfaces visuais e tácteis, como também devido à facilidade que o interfaceamento táctil oferece para controle do sistema. Já o controle por voz é menos

utilizado devido ao preço e complexidade dos sistemas, mas vem ganhando popularidade. A seguir, serão apresentadas as considerações referentes às principais formas para controle manual de iluminação utilizados nos dias de hoje.

2.1.1 Controle por contato

O controle mais básico para uma lâmpada é através de um interruptor simples, ou seja, através do acionamento da tecla pelo toque do dedo. Pode mudar de posição abrindo ou fechando o circuito elétrico, deixando ou não passar corrente por um único caminho, como pode ser visto na Figura 1. Esses interruptores podem ser de uma, duas ou três seções. Eles podem ser externos ou internos, de acordo com o tipo de instalação.

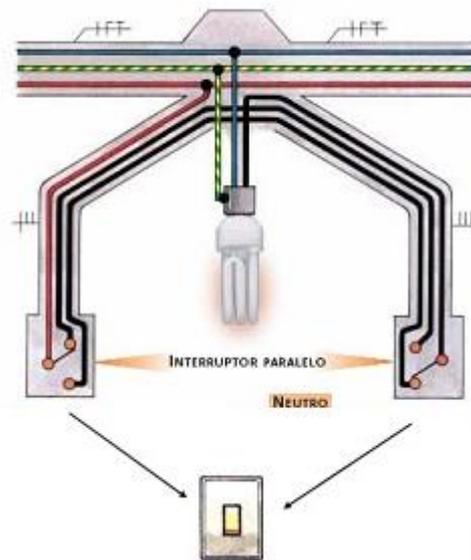
Figura 1 - Circuito elétrico de um interruptor simples.



Fonte: OOCITIES, 2019.

Outra forma de ligação são os interruptores paralelos, utilizados para a execução do circuito *Three Way*, onde dois interruptores comandam uma mesma lâmpada. Os interruptores paralelos possuem três caminhos para a corrente e permitem comandar uma mesma lâmpada de dois pontos diferentes. O esquema de ligação pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Circuito elétrico de um interruptor paralelo.



Fonte: BP, 2020.

Hoje em dia existem inúmeros interruptores no mercado. Por essa razão, é comum que haja confusão por parte do consumidor já que há grande variabilidade entre os modelos, sendo que alguns podem ser usados apenas como ligação simples e outros já podem ser ligados tanto no modo simples quanto no modo paralelo. Além disso podem ser controlados com um clique, outros já possuem uma forma inteligente de controle, seja por simples *touch* (controle por um contato básico do dedo no interruptor digital) ou então através de aplicativos pelo celular.

2.1.2 Controle por aplicativo

Atualmente, a tendência dos sistemas mais modernos, inclusive sistemas comerciais, está baseada na utilização de dispositivos móveis como forma de interfaceamento visual táctil, sendo normalmente utilizados *tablets* e celulares.

Com a finalidade de tornar simples a inclusão de um interruptor em uma residência e se ter o controle da iluminação através do celular, foram desenvolvidos diversos equipamentos controlados via aplicativos através da rede sem fio, um exemplo é o *Avi-on Switch* (Figura 3). Essa nova tecnologia se conecta via *Bluetooth* a um adaptador especial (que fica entre a lâmpada e a tomada) ou a uma lâmpada com comunicação *Bluetooth*, também deste fabricante (TONIDANDEL). A grande vantagem é que para sua instalação não é necessário realizar nenhum tipo de reforma na residência, apenas fixá-lo na parede.

Figura 3 - Interruptor sem fio da marca *Avi-on Swith*

Fonte: Gizmodo, 2019.

2.1.3 Controle por voz

Até pouco tempo atrás, o uso de comandos de voz em sistema iluminação residencial era restrito ao uso de *software* com alto custo de licenciamento, além de requerer a instalação de *hardware* específico para a captação do áudio. Entretanto, recentemente ocorreu a massificação do desenvolvimento das assistentes de voz. Este movimento foi iniciado principalmente pela *Amazon*, com sua assistente *Alexa* (Figura 4), a qual ainda hoje é a mais utilizada por possibilitar alta integração com os serviços da empresa. Posteriormente, empresas como a *Google* e *Apple* lançaram produtos semelhantes, como o *Google Home* e o *Apple Home Kit*, respectivamente, os quais são baseados nos assistentes de voz já presentes em seus aparelhos móveis. Diversas outras marcas lançaram produtos semelhantes com menor sucesso.

Figura 4 - Assistente virtual *Alexa*.

Fonte: Amazon, 2020.

A principal característica desses assistentes de voz é que dependem da internet devido a necessidade de demandar um grande processamento de dados no lado do servidor, devido a isso sua aquisição exige um alto investimento e risco de segurança no tráfego de dados cliente/servidor, além disso, caso usuário perca a conexão com a internet ficará sem comunicação com seus equipamentos locais. Dessa forma, uma solução alternativa seria um controle local com hardware *standalone* (sem conexão com a internet).

2.2 MICROCONTROLADORES

O microcontrolador é um componente bastante versátil, podendo, através de sua programação, possuir diversas aplicações. O microcontrolador pode realizar desde o controle da velocidade e posição de um guindaste até o controle das lâmpadas decorativas de uma árvore de natal. Basicamente, o modo de operação do microcontrolador irá variar de acordo com a necessidade. Para a maioria dos sistemas dedicados, o microcontrolador apresenta-se como a solução mais viável em função do baixo custo, facilidade de uso, versatilidade e da enorme aplicabilidade (BATISTA, 2011).

Os microcontroladores reúnem em um único componente os elementos de um sistema microprocessado completo (memória ROM, memória RAM, interface paralela, interface serial, temporizador, contador de eventos, controlador de interrupções, entre outros). A parte mais importante do microcontrolador é o microprocessador ou a Unidade de Processamento Central (CPU, *Central Processing Unit*) (BERTONHA, 2007).

Existem várias famílias de microcontroladores, dentre os mais conhecidos e utilizados estão:

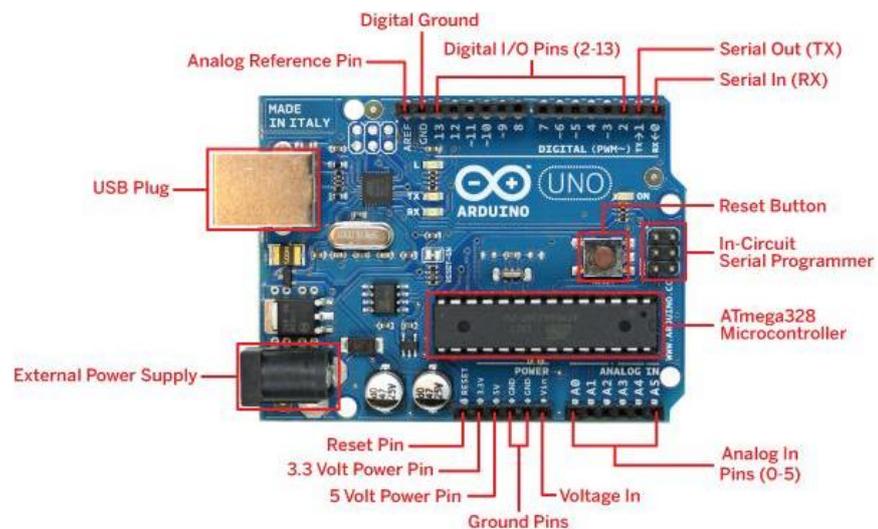
- PIC – Fabricado pela Microchip;
- MCS51 – Fabricado pela Intel e outros;
- M68HC11 – Fabricado pela Motorola;
- AVR – Fabricado pela Atmel.

2.2.1 Plataforma Arduino

Arduino é uma plataforma de código aberto fundado por Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis. Foi desenvolvido inicialmente na Itália pelo Instituto de Design de Interação Ivrea (*Interaction Design Institute Ivrea*). As placas Arduino utilizam microcontroladores ATMEL e dispõem de circuitos de entradas e saídas que são facilmente configuradas através da linguagem de programação Arduino e sua IDE (ARDUINO, 2019).

Existem diversos modelos de placas Arduino, mas a primeira placa desenvolvida foi a Arduino UNO, recomendada para iniciantes. Baseado no microcontrolador ATmega328P, possui 14 pinos de entrada e saída digitais, 6 pinos de entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de energia, um conector ICSP e um botão de reset, conforme consta na Figura 5 (ARDUINO, 2019).

Figura 5 - Arduino UNO

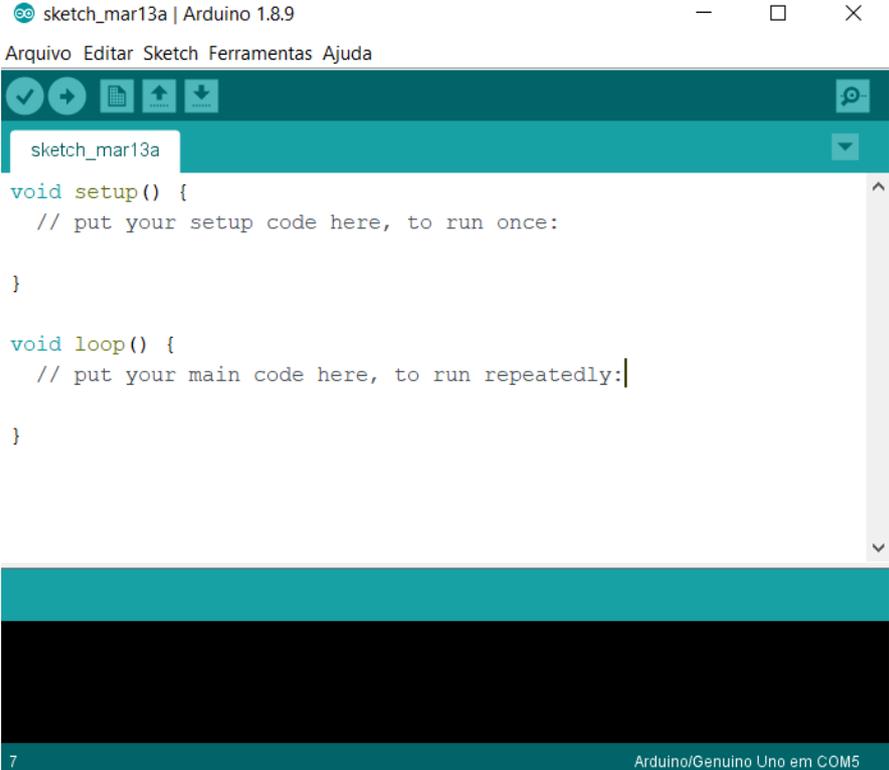


Fonte: Bodgarage, 2019.

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento dos códigos no Arduino – como pode ser vista na Figura 6 – é uma aplicação multiplataforma escrita em Java, que aceita

comandos em C/C++, e pode ser encontrada para download gratuitamente no site do Arduino (ARDUINO, 2019).

Figura 6 - Arduino IDE



```
sketch_mar13a | Arduino 1.8.9
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_mar13a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

7 Arduino/Genuino Uno em COM5
```

Fonte: Elaboração dos autores, 2019.

Na tabela 1 são elencadas as especificações técnicas do Arduino UNO.

Tabela 1 - Especificações Arduino UNO

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Fonte: Arduino, 2019.

Tanto sinais analógicos quanto digitais podem ser processados no Arduino. Essa capacidade se dá devido à existência de dois padrões de comunicação presentes na placa (ARDUINO, 2019). Os sinais gerados no mundo real são de natureza analógica e para serem processados por qualquer equipamento de natureza eletrônica necessitam de conversão em um sinal digital (LALOND, ROSS, 1999).

2.2.2 Linguagem de programação

Segundo Manzano e Oliveira (2012), o processo de programação pode ser descrito como uma comunicação entre um ser humano tecnicamente preparado e um computador através de uma linguagem de programação para que a máquina consiga compreender.

Normalmente, o que precisa ser comunicado entre ser humano e um computador é um algoritmo. Cormen et al. (2012) definem como algoritmo qualquer procedimento computacional bem definido que toma algum valor ou conjunto de valores como entrada e produz algum valor ou conjunto de valores como saída. Dizem ainda que um algoritmo é correto se, para toda instância de entrada, ele parar com a saída correta.

Como principal item necessário para programação destaca-se o computador, ou seja, um equipamento eletrônico capaz de executar algumas etapas de trabalho, como: receber, armazenar, processar lógica e aritmeticamente dados com o objetivo principal de resolver problemas (MANZANO; OLIVEIRA, 2012). O próximo passo é escolher entre as diversas linguagens de programação diferentes presentes atualmente. Apesar da grande variedade encontrada, destaca-se um pequeno grupo das que realmente são utilizadas.

- Linguagem C

Esta linguagem de programação foi desenvolvida por Dennis Ritchie como uma evolução da linguagem B. Entre outras características adicionadas, a de maior relevância foi a utilização de tipos de dados, uma vez que, antes disso, havia a necessidade de o programador tratar os dados diretamente. Já na linguagem C++ foram adicionados recursos que possibilitam o seu uso para programação orientada a objetos (DEITEL; DEITEL, 2013a). Ambas linguagens, permitem a utilização de funções, o que agiliza muito o desenvolvimento de projetos e manutenção, uma vez que torna possível a utilização de funções já validadas e amplamente utilizadas, não havendo a necessidade de desenvolvimento destas.

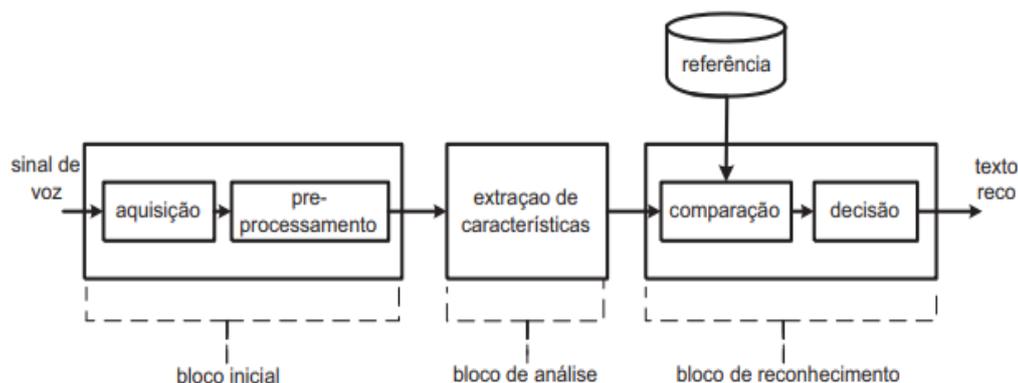
- Java

Segundo Deitel e Deitel (2013b), a linguagem de programação Java foi desenvolvida pela empresa Sun Microsystems, no início da década de 90, através de um projeto de pesquisa corporativa. Foi inicialmente pensada como uma linguagem para facilitar a convergência de computadores e eletrodomésticos, mas com a popularização da internet, foi amplamente utilizada para criação de conteúdo dinâmico para páginas da web.

2.2.3 Reconhecimento de voz

Segundo Spaans (2004), a primeira interação de uma máquina com a voz humana foi o *Radio Rex*, um cachorro de brinquedo criado nos anos 20 que reconhecia a pronúncia do seu nome. O autor chama a atenção para o fato de que a interação entre os seres humanos e a tecnologia está em constante mudança e reconhecer a fala é uma força motriz nesse processo. O reconhecimento de voz é uma tecnologia que permite máquinas equipadas com microfones interpretarem a fala humana, para transcrição (transformar suas palavras em texto) ou comandos de voz (executar ações). Para converter fala em texto ou em algum comando de computador, um sistema de reconhecimento de fala precisa passar por diversas etapas conforme o diagrama de blocos da figura 7.

Figura 7 - Diagrama de blocos geral de um sistema de reconhecimento.



Fonte: Adaptado pelos autores, 2020.

A Fig. 7 representa a estrutura geral de um sistema de reconhecimento de voz, composto por três blocos principais, que serão analisados a seguir.

2.2.4 Aquisição e pré-processamento do sinal de voz

Inicialmente, é preciso fazer a aquisição do sinal de voz de entrada ao sistema. Este sinal é transmitido através de ondas de pressão, as quais, antes de passar para o pré-processamento, exigirão sua conversão para onda elétrica, o que será realizado através de microfones e amplificadores, originando um sinal elétrico analógico. Uma vez amostrado, quantizado e codificado o sinal de voz procedente do microfone, ocorrerá o pré-processamento, que visa eliminar o ruído (PICONE, 1993) e deixar o sinal de voz tão limpo como o bloco de extração requiera, ou seja, depurar o sinal para robustecer o processo de codificação e eliminar componentes não desejadas, realizando assim um escalado do sinal para reduzir sua margem dinâmica e evitar possíveis erros na quantificação. O pré-processamento desse sinal inclui as seguintes etapas: pré-ênfase, segmentação, janelamento e transformada de Fourier.

2.2.4.1 Pré-ênfase

Antes da segmentação do sinal é aplicado um filtro digital passa-alta de primeira ordem, a fim de compensar os efeitos dos pulsos globais (MORENO, 1996) e ressaltar as frequências dos formantes. Esse procedimento justifica-se por duas razões: (a) evitar a perda de dados durante o processo de segmentação, já que a maior parte da informação está contida as frequências baixas e (b) remover a componente DC do sinal, aplainando-o espectralmente.

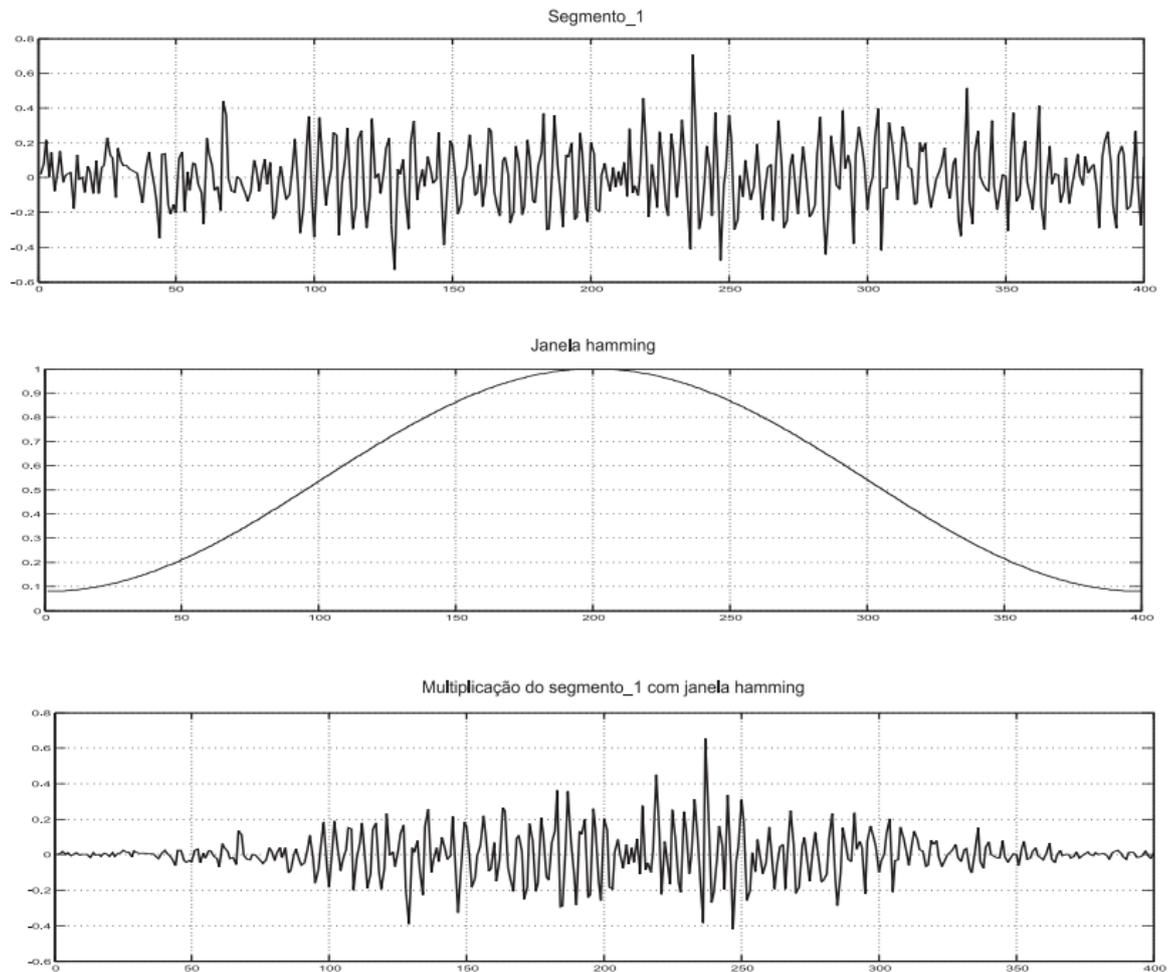
2.2.4.2 Segmentação

No reconhecimento de sinais de voz, é preciso determinar com precisão os pontos de início e fim das palavras, ou seja, distinguir as partes do sinal que tem informação de voz daquelas que não tem, visando reduzir o tempo de cálculo. Portanto, o sinal de voz é segmentado em quadros relativamente pequenos, nos quais assumem-se características de quase estacionariedade (SEPÚLVEDA, 2004).

Tendo em conta a duração dos fones, o tamanho do quadro geralmente é de 20 a 30ms, com um deslocamento típico de 10 ms entre quadros. Isso impede a perda de representação de um segmento. Uma vez segmentado o sinal, o quadro é armazenado como um vetor de atributos para o posterior processamento.

2.2.4.3 Janelamento

Segmentar o sinal de voz traz o problema de descontinuidade ao início e ao final de cada quadro, devido ao fato de cada um começar e terminar bruscamente. É necessário então diminuir este efeito, multiplicando cada quadro por uma janela que seja adequada, visando suavizar as bordas do quadro até chegar a zero e realçando a parte central para acentuar as propriedades características do segmento, como mostra a Fig. 8. No reconhecimento de voz, existem diferentes tipos de janelas, no entanto, a mais utilizada é a janela Hamming (MITRA; KUO, 2006).

Figura 8 - Segmento janelado com *hamming*

Fonte: Damasceno, 2005.

2.2.4.4 Transformada de Fourier

Enquanto uma função no domínio do tempo indica como a amplitude do sinal muda no tempo, sua representação no domínio da frequência permite saber quantas vezes essas mudanças ocorrem. Para o reconhecimento de voz, o sinal é transformado em suas componentes frequências, sendo possível assim diferenciar as vozes de diferentes locutores e determinar as palavras que foram ditas (SIQUEIRA, 2011). Devido ao fato do sinal de voz não ser estacionário, extrai-se o espectro de potência de cada um dos quadros janelados usando a transformada discreta de Fourier (DFT) (OPPENHEIM, 1999).

2.2.5 Extração de características

Basicamente, o objetivo deste bloco é representar o sinal de voz de forma adequada para o reconhecedor através de conjuntos de vetores de componentes que representam o espectro de cada segmento de voz. A partir deste conjunto de vetores, obtém-se uma compressão do sinal, suprimindo a informação irrelevante para sua posterior análise fonética dos dados pré-processados. Esse conjunto de vetores pode ser representado de diversas formas, utilizando parâmetros que caracterizem diferentes aspectos do sinal e cuja interpretação física seja imediata. Deve-se considerar que o número de parâmetros precisa ser pequeno para não saturar a base de dados, já que quanto mais parâmetros tenha o vetor, menos confiáveis serão os resultados e mais custosa a implementação.

2.2.6 Comparação e Decisão

O sistema de reconhecimento em seu bloco final compõe-se de três subestruturas fundamentais que visam misturar e comparar os vetores de características com os padrões de referência. Essas referências representam os diferentes objetos a reconhecer, que podem ser sílabas, fonemas ou palavras dependendo do modelo de linguagem e da arquitetura do reconhecedor. Depois de obter o vetor de características e os padrões de referência, é realizada a comparação entre as referências e as frases a reconhecer. Esta forma de comparação está ligada ao projeto do sistema de reconhecimento, o qual precisa estabelecer um modelo eficiente para identificar uma palavra entre várias. Uma das técnicas mais utilizadas nos últimos tempos é a mistura de gaussianas para a representação e construção dos modelos de classificação (LUIZ, 2004).

2.2.7 Classificação dos sistemas

Tendo em vista o que foi explanado no tópico anterior, é possível concluir que os desafios para o desenvolvimento de sistemas RAF são grandes, principalmente porque a voz humana possui diversos influenciadores, como: o sotaque, sexo, idade, entonação e a variabilidade do próprio ambiente e do canal de comunicação, como também a similaridade fonética entre determinadas elocuições. A influência desses fatores no reconhecimento depende do sistema que se deseja implementar (BETTELHEIM; STEELE, 2010; PRABHAKAR; SAHU, 2013).

Sendo assim, conforme o projeto escolhido, é possível classificar o sistema quanto a sua dependência em relação ao usuário:

- **Dependente do usuário:** é desenvolvido para funcionar com um único usuário falante que deve ser aquele que treinará o sistema de STT (*Speech to Text*). Esses sistemas são geralmente mais fáceis de serem desenvolvidos além de mais precisos, mas não são tão flexíveis (CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, 2011).
- **Independente do usuário:** é desenvolvido para funcionar com qualquer falante de uma determinada língua. Esses sistemas são os mais difíceis de desenvolver e não são tão precisos, no entanto são mais flexíveis (CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, 2011).
- **Adaptativo ao usuário:** é desenvolvido para adaptar sua operação às características dos novos usuários. Possui média dificuldade de desenvolvimento e níveis moderados de precisão e flexibilidade (CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, 2011).

Atualmente, devido à popularização dos assistentes virtuais, a grande maioria dos sistemas são independentes do usuário pois possuem conexão através da internet com um servidor remoto para manter um grande volume de dados treinados e muita tecnologia para processamento (SANTOS, 2016). No mercado existem inúmeros equipamentos que utilizam essa tecnologia, como: celulares, assistente pessoal digital (PDAs), entre outros, permitindo fazer ligações, acessarem agendas, enfim, efetuar comandos somente através da voz.

Além de facilitar o cotidiano, cada vez mais é utilizada como auxílio/apoio por pessoas com necessidades especiais ou mobilidade reduzida. O comando de voz pode ser aplicado de diversas formas, como: na acessibilidade ao computador (softwares de reconhecimento de voz), no controle de ambiente (acionamento por voz dos sistemas de iluminação, áudio e vídeo, ar-condicionado, persianas e diversos outros equipamentos) e na mobilidade do indivíduo (cadeiras de rodas motorizadas e comandadas por voz). Para a maioria das pessoas, este tipo de tecnologia pode ser considerado meramente um artigo de conforto, mas, para usuários com necessidades especiais, o comando de voz pode facilitar muito a execução de atividades rotineiras (acender uma lâmpada/ abrir uma janela).

No entanto, todas essas facilidades envolvem uma grande quantidade de dados processados por segundo. Sendo assim, a melhor forma de controle e manutenção deste sistema é através de equipamentos externos (servidores) que estão localizados em diversos lugares do mundo e acessados pela internet, pois oferecem constante atualização e consulta nos dados necessários. Entretanto, em caso de qualquer falha de conexão ou indisponibilidade do sistema,

perde-se todos os controles que a grande rede dispõe. Dessa forma, o melhor caminho é o controle através de um módulo isolado da rede.

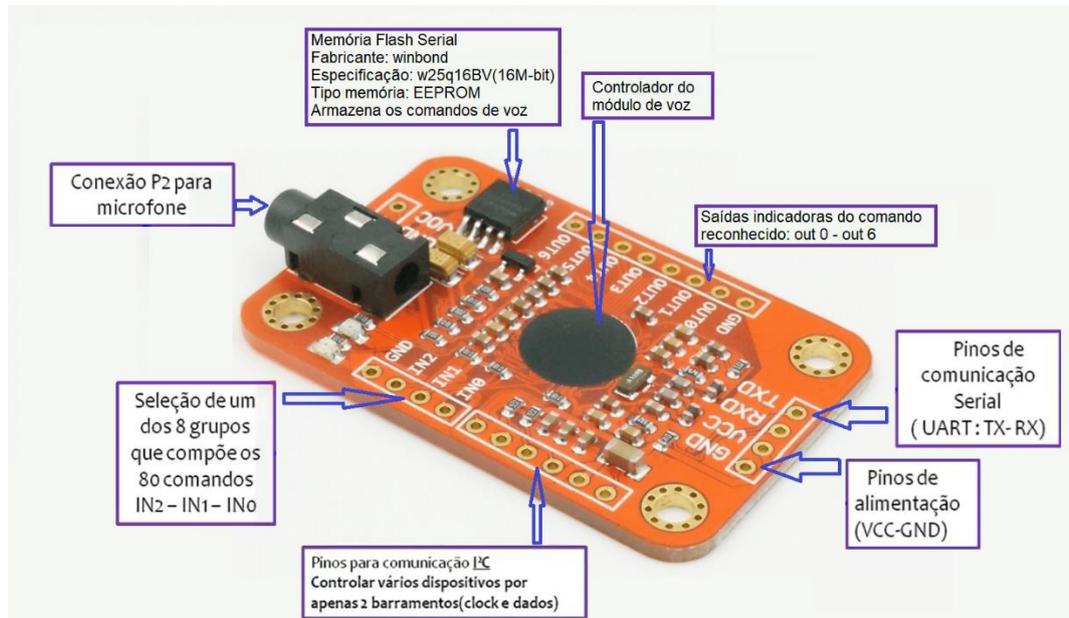
2.2.8 Módulo de comando de voz

O *Elechouse voice recognition module V3* (figura 9) é um dos módulos que quando reconhece a voz ou som gravado previamente responde com uma mensagem ou uma ação. Um dos mais compactos e simples de controlar do mercado. Existem duas maneiras de usar este módulo: usando a comunicação serial por meio da linguagem hexadecimal – através de um microcontrolador externo - ou através dos seus próprios pinos GPIO internos. A placa V3 tem capacidade para armazenar até 80 comandos, cada um com uma duração de 1500 milissegundos. Este não converterá seus comandos em texto, mas o comparará com um conjunto de vozes já gravadas. Portanto, tecnicamente, não há barreiras linguísticas para usar este produto. É possível gravar o comando em qualquer idioma ou literalmente qualquer som pode ser gravado e usado como um comando. Portanto, é preciso treiná-lo primeiro antes de reconhecer qualquer comando de voz (ELECHOUSE, 2020).

Ao usar o módulo com seus pinos GPIO, suas saídas fornecerão apenas 7 comandos dos 80. No entanto, é possível usar todos os outros através de comandos aos pinos IN0, IN1 e IN2. Para esse método, é preciso selecionar e carregar 7 comandos no reconhecedor, que enviará saídas para os respectivos Pinos GPIO se algum desses comandos de voz for reconhecido. Se isso for usado com o Arduino, não é preciso se preocupar com os recursos limitados (ELECHOUSE, 2020).

O dispositivo funciona em uma faixa de tensão de entrada de 4,5 – 5,5 volts e consumirá uma corrente menor que 40 mA. Este módulo pode trabalhar com precisão de reconhecimento de 99% se for usado em condições ideais. A escolha do microfone e o ruído no ambiente desempenham um papel vital ao afetar o desempenho do módulo. É melhor escolher um microfone com boa sensibilidade e tentar reduzir o ruído em seu plano de fundo enquanto fornece comandos para obter o máximo desempenho do módulo (ELECHOUSE, 2020).

Figura 9 - Placa *Elechouse voice recognition moduleV3*



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Através do módulo de voz não é possível acionar grandes cargas devido ao limite de corrente fornecido pela placa ser baixo. Para isso, será necessário a inclusão de um intermediário no projeto. Dessa forma, a solução mais simples é o uso de relés.

2.2.9 Comando Relé Eletromagnético

Os relés são interruptores simples operados eletricamente e mecanicamente. Consistem basicamente em um eletroímã e um contato, com um mecanismo de comutação do contato realizado com a ajuda do eletroímã que, após ter uma de suas bobinas energizadas, gera um campo magnético que fecha o contato interno do relé. Com o contato fechado, outro circuito passa a ficar energizado, podendo ser de uma tensão diferente do circuito anterior (BRAGA, 2010).

Os relés são utilizados principalmente para controlar circuitos de alta tensão a partir de um sinal de baixa potência. Como os sistemas embarcados comumente possuem como principal dispositivo os microcontroladores, os relés são de extrema importância para controle de outros equipamentos, uma vez que os microcontroladores normalmente são capazes de fornecer sinais equivalentes a 5V e, no mundo atual, normalmente encontram-se máquinas e equipamentos que funcionam a partir de 110 ou 220 volts.

O relé utilizado neste projeto é acionado com 5V e é capaz de suportar até 15A. Uma ilustração do modelo escolhido pode ser observada na figura 10.

Figura 10 - Relé Eletromagnético



Fonte: Metaltex, 2015.

Além disso, os relés contribuem no fator segurança, já que inexistente contato elétrico entre o circuito que alimenta a bobina e o circuito dos contatos, ou seja, não há passagem de corrente entre o circuito que aciona o relé e o circuito controlado. Para altas tensões, este isolamento é fundamental (BRAGA, 2010).

Embora o relé utilizado neste projeto seja de 5V, a corrente necessária para seu acionamento é de 72mA, valor superior ao fornecido pelo pino do Arduino. Sendo assim, é necessário um transistor bipolar para gerar um ganho e atingir a corrente de acionamento do relé.

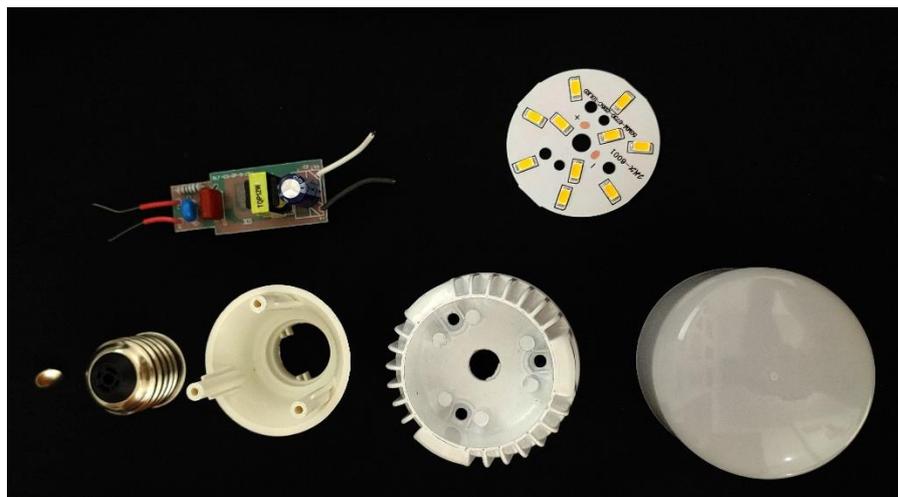
3 DESENVOLVIMENTO

Essa seção aborda toda as etapas de desenvolvimento, será apresentado a ideia inicial para um sistema de controle de iluminação automático que após análise foi descontinuado. Seguindo então com um controle através da voz, detalhando as etapas de construção e os testes elaborados para confirmar a eficácia do sistema.

3.1 SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO AUTOMÁTICO

Tendo em vista o objetivo de desenvolver uma lâmpada com capacidade de ajuste da potência de forma automática, adquirimos algumas amostras de uma lâmpada em regime SKD (*Semi Knock-Down*), do fornecedor *BLF Lighting LTD.*, para ter acesso às estruturas internas sem correr o risco de danificar o dispositivo.

Figura 11 - Lâmpada em regime SKD



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Para efetuar o controle da potência de forma automática, precisamos de 3 principais elementos: o primeiro se trata do LDR, responsável pela leitura do ambiente, necessário para que a lâmpada possa reconhecer quando há muita ou pouca iluminação; o segundo componente é o microcontrolador, responsável por receber o sinal lido no LDR, avaliar e encaminhar uma tratativa; o terceiro é o Mosfet, que por sua vez faria o controle da potência conforme demanda recebida do microcontrolador.

Dado esse mapeamento de componentes, a partir da execução de um projeto, o protótipo da lâmpada foi desenvolvido. O LDR ficou posicionado na parte superior do *case* inclinado para cima, evitando a influência direta pela luz gerada na lâmpada.

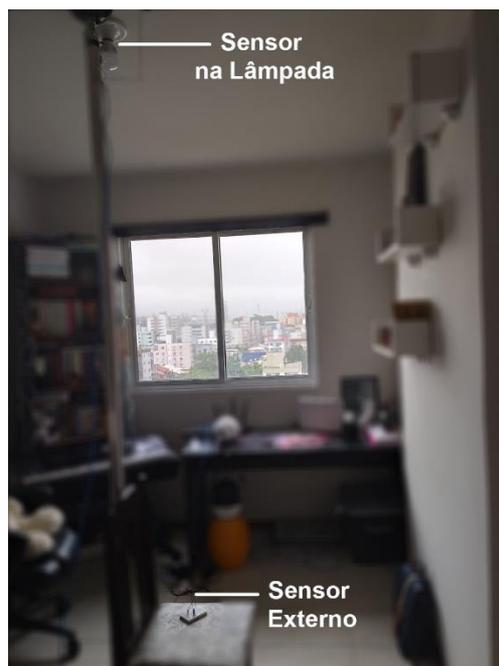
Figura 12 - Lâmpada com o LDR instalado



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Os objetivos principais dos testes foram avaliar o impacto da luz da lâmpada na leitura do ambiente e realizar um mapeamento de níveis de potência versus iluminação, para que o sistema pudesse realizar o controle. As medições foram feitas no LDR da lâmpada e em um segundo LDR, cuja função seria ler o ambiente de forma independente em um ponto oposto.

Figura 13 - Cenário de testes



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

A medição foi realizada em três cenários de iluminação diferentes: ambiente somente com iluminação artificial, ambiente somente com a luz do dia e ambiente com a luz do dia e iluminação artificial. Os resultados mostraram que há uma variação muito grande no sensor com uma variação pequena no ambiente. Essa variação sensível inviabilizou a criação de níveis de potência para o autoajuste da iluminação da lâmpada. Até então, não foi encontrada uma solução para controle utilizando essa sensibilidade. Caso continuasse com esse projeto, o sistema teria alterações frequentes de iluminação, gerando um desconforto visual ao usuário.

Após algumas análises do sistema proposto anteriormente, surgiu a ideia de um controle utilizando reconhecimento de voz de forma totalmente *offline* (sem conexão com a internet) onde o próprio sistema seria responsável por captar o sinal, identificar o controle e realizar o comando da lâmpada, trazendo os benefícios que foram citados em capítulos anteriores do trabalho.

3.2 SISTEMA COM ACIONAMENTO POR VOZ

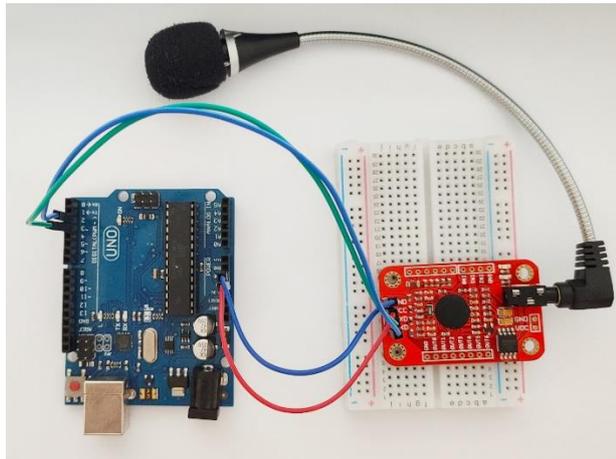
Para o projeto proposto, há alguns elementos fundamentais conforme a figura 20: microcontrolador para controle da carga; microfone para captura do sinal; o módulo de reconhecimento de voz para gravar e reconhecer os sons e relé para atuar conforme demanda do módulo. Para um projeto menos complexo, é possível configurar o módulo de reconhecimento de voz para operar de forma independente com suas próprias GPIOs, tornando o projeto mais eficaz e econômico.

Para isso, é necessário alterar sua configuração de controle de grupo, tornando possível a utilização das saídas do módulo para controle, visto que, frequentemente, o módulo é utilizado apenas para reconhecimento de voz e um microcontrolador externo é responsável pelo controle do sistema. Sendo assim, as entradas e saídas do módulo estão desabilitadas por padrão.

O fabricante disponibiliza a biblioteca deste módulo para download gratuito no seu site e, por questões de experiência e acessibilidade, foi utilizado o Arduino apenas para configuração e gravação de comandos de reconhecimento de voz, conforme descrito a seguir.

Para realizar a comunicação serial com o módulo, foi conectado o pino 2 do Arduino com o TX do módulo e 3 do Arduino com RX do módulo conforme figura 14. Para alimentação, utilizamos o próprio Arduino com seus pinos 5V e GND.

Figura 14 - Ligação Arduino e Módulo



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Como interface de envio e recebimento de comandos seriais da porta serial COM do computador que estava conectada ao Arduino, foi utilizado a própria IDE do Arduino versão 1.8.12.

Figura 15 - Versão do software Arduino



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Na biblioteca do fornecedor há um código específico para configuração de controle de grupo: `vr_sample_bridge.ino`. Após carregar no módulo, todas as configurações são feitas através de comandos hexadecimais.

O comando para selecionar o modo de controle de grupo segue o seguinte padrão: `32 00 XX`, sendo que o `XX` é o modo a ser usado. No caso do presente projeto é `01` – *System*, como pode ser notado na figura 16. Após o comando, caso a configuração seja feita com sucesso, o sistema irá gerar a seguinte resposta: `AA 03 32 00 0A` (Elechouse, 2020).

Figura 16 - Configuração de controle de grupo

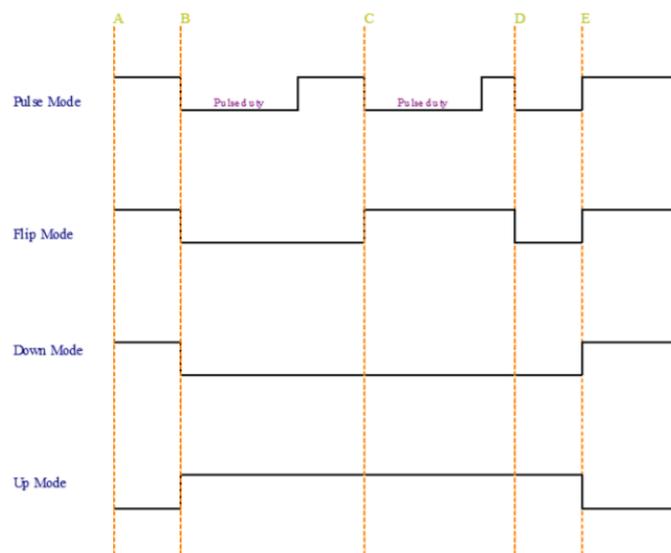
```

COM7
Elechouse Voice Recognition V3 Module "bridge" sut "30 00 02 04" to "load record 0, record 2, record 4"
01" to "check recognizer".
3. input "31" to "clear recognizer"
4. input "30 00 02 04" to "load record 0, record 2, record 4"
Elechouse Voice Recognition V3 Module "bridge" sample.
Eg:
1. Enable Arduino Serial monitor "Send with newline" feature, Baud rate 115200.
2. Input "01" to "check recognizer".
3. input "31" to "clear recognizer"
4. input "30 00 02 04" to "load record 0, record 2, record 4"
-----
> 32 00 01
< AA 03 32 00 0A
 Auto-rolagem  Show timestamp
Nova-linha 115200 velocidade Deleta a saída
  
```

Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Com isso, o módulo estará pronto para operar de forma independente, porém, será necessário informar qual o modo que suas saídas irão operar. São elas quatro possibilidades: Pulso, Flip, UP e Down. Nesse caso, será utilizado o modo Flip, pois quando o comando for reconhecido, o estado da saída será nível 1, acionando assim o relé e, quando o comando for reconhecido novamente, o estado da saída será nível 0. O comando utilizado para essa configuração é 12 XX, onde XX é o modo de operação: 00 – Pulse; 01 – Flip; 02 – UP; 03 – Down (Elechouse, 2020).

Figura 17 - Forma de operação de cada modo



Fonte: Elechouse, 2020.

Finalizado as configurações de operação necessárias, a gravação do áudio para reconhecimento foi realizada utilizando o software `vr_sample_train.ino`, disponível na biblioteca

oficial do módulo, para treinar os comandos. Após carregar o software no módulo, será necessário abrir a serial novamente para utilizar os comandos de gravação.

O comando para a gravação segue a seguinte ordem *sigtrain x comando*.

Sigtrain é a chamada de gravação do software;

X é o número do registro na memória do módulo,

Comando é uma variável para assinatura do comando que será gravado, ajuda o usuário a identificar qual comando está sendo ou foi gravado.

Assim que o comando é enviado, o módulo retornará a frase “*Speak now*” e é nesse momento que deve ser reproduzido o áudio a ser gravado. Após identificar o som, o módulo irá retornar a frase “*Speak again*”, que é uma confirmação do comando anterior. Ou seja, é necessário repetir o mesmo comando. Caso o módulo não identifique os dois áudios como sendo o mesmo, irá retornar “*Can’t match*” e repetirá as etapas. Caso consiga identificar os dois áudios como sendo o mesmo, irá retornar “*Success*” e em seguida irá informar o número do registro junto a mensagem “*Trained*” e a assinatura do comando, nesse caso “*SIG: acender*”.

Figura 18 - Gravação do comando



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Uma vez que os comandos são gravados, é necessário carregar os que desejam ser utilizados, lembrando que o módulo suporta até 80 na memória, mas pode reproduzir apenas 7 por vez. Nesse projeto, foi gravado apenas dois comandos, então a próxima etapa foi carregar essas gravações. Através do comando “*load x*” que o módulo entenderá qual gravação será utilizada no projeto. É possível carregar mais de uma gravação por vez, basta dar um espaço entre os números de registros, exemplo: “*load 0 1*”. Esse comando irá retornar as gravações que foram carregadas com sucesso, conforme imagem abaixo.

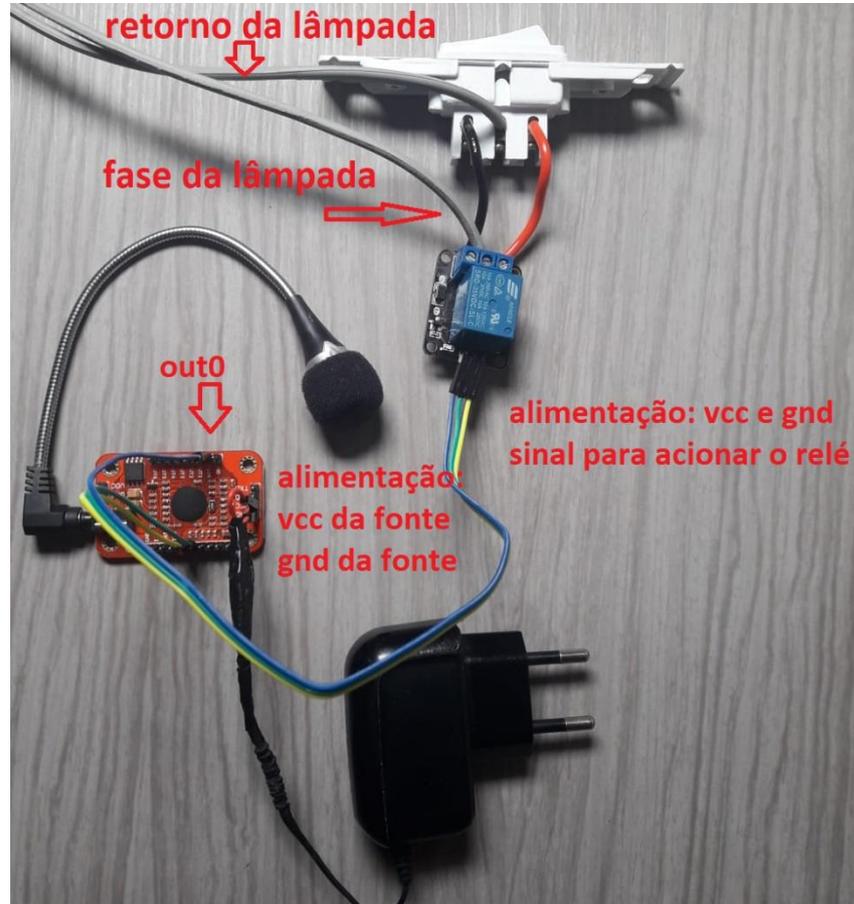
Figura 19 - Carregando as gravações



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Concluídas essas etapas, foi realizada a instalação – conforme a figura 20 - para iniciar os primeiros testes. Essa instalação consiste na ligação do módulo de reconhecimento de voz ao relé, que, por sua vez, possui uma lâmpada nos terminais que serão controlados. A alimentação e GND do módulo e relé são a mesma. Foi adaptada uma fonte com entrada 220V e saída 5Vdc/1A para o projeto. O pino de acionamento do relé é ligado na saída OUT0, que se refere ao registro 0 e foi o comando treinado para ligar e desligar o relé.

Figura 20 - Conexões do protótipo para teste



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

3.3 RESULTADOS OBTIDOS

Para testar o funcionamento e desempenho, foi desenvolvido um protótipo que simula a aplicação real e funciona de acordo com o fluxograma do anexo B. Os módulos foram instalados primeiramente dentro de uma caixa de embutir não instalada na parede para verificar a disposição dos módulos e foi instalado um interruptor paralelo, para disponibilizar uma outra forma de controle além da voz.

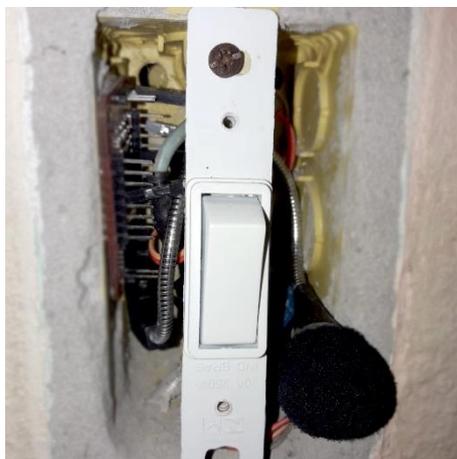
Figura 21 - Protótipo instalado na caixa de embutir



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Dado o teste anterior, chegou-se na próxima etapa: instalar em um cenário real para iniciar os testes de desempenho, conforme exibido na figura 22.

Figura 22 - Instalação final na caixa de embutir



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Pensando em verificar a diferença no desempenho com posições diferentes do microfone, foi utilizado três tipos de instalações. No primeiro caso, manteve-se a capa do interruptor, o que não gerou um resultado satisfatório. No segundo, foi instalado o microfone para o lado de fora da capa do interruptor, conforme a figura 23. Dessa forma, não houve problemas de desempenho nos testes básicos de acionamento.

Figura 23 - Microfone no lado externo



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Em uma outra tentativa de tornar o protótipo esteticamente melhor, foi mantido o microfone do lado interno, porém feito um furo de 5mm na capa do interruptor, que foi suficiente para manter uma qualidade de captura similar ao anterior.

Figura 24 - Microfone no lado interno



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

3.4 GRAVAÇÃO

Para evitar intensidades diferentes durante a fala, foi feita a gravação do comando e reproduzida em alto falante portátil, conforme figura 25.

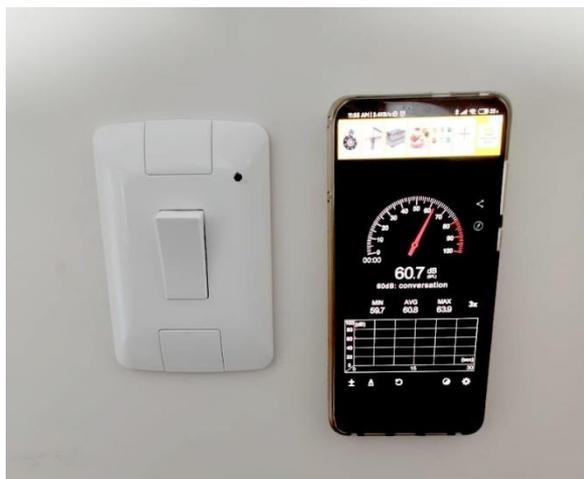
Figura 25 - Alto falante portátil



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Durante a gravação do comando, foi utilizado um aplicativo da *Abc Apps*, chamado *Sound Meter*, para medir o nível em decibéis da voz. Mesmo não sendo um equipamento profissional e calibrado, foi possível obter a mesma referência durante todo o teste, visto que o mesmo celular foi utilizado para as medições e sempre posicionado ao lado do interruptor.

Figura 26 - Posição da medição



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

O ambiente da gravação foi trabalhado ao máximo visando obter redução de ruídos externos para evitar que o módulo os capturasse e, posteriormente, na hora do acionamento, tivesse dificuldades de reconhecimento.

O ambiente estava com um nível de ruído de aproximadamente 40dB e o pico da voz foi durante a gravação de 79.4dB, conforme exibido no gráfico da figura 27.

Figura 27- Gravação dos comandos



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

3.5 AMBIENTE DE TESTE

Foram feitas 4 marcações de distância para aplicar os testes e a caixa externa sempre posicionada em frente ao interruptor.

Figura 28 - Ambiente de testes



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

3.6 TESTE COM MÍNIMO RUÍDO NO AMBIENTE

Para confirmar o funcionamento e qualidade de captura, foram elaborados dois métodos de testes: no primeiro, um ambiente silencioso onde foi trabalhado o máximo para reduzir ruídos externos e o segundo com ruídos gerados propositalmente, utilizando uma televisão sem sinal gerando então chiados no ambiente.

Foi reproduzido a gravação na caixa de som externo a distâncias diferentes entre a caixa e o módulo instalado no interruptor, conforme marcações da Figura 28. Em 1 metro de distância, tivemos o pico da voz em 73,9dB. Foram feitos 6 testes de acionamento seguidos e obteve-se uma assertividade de 100%. No gráfico da figura 29 é possível observar que o ambiente estava em torno de 40dB, o que implica em uma captura com pouquíssimo ruído e o resultado.

Figura 29 - Distância 1 metro



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Com 2 metros de distância, notou-se uma redução no pico da voz: antes estava 73,9dB e reduziu para 72,7dB, gerando uma diferença de 1,2dB. Essa redução pode ser justificada devido a maior distância. Porém, essa diferença não influenciou na assertividade, permanecendo 100%.

Figura 30 - Distância 2 metros



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Partindo para 3 metros, o pico de voz foi para 71,7dB. Aumentou-se a quantidade de reprodução para 8 vezes no intuito de ter uma amostragem maior e não ocorreu nenhuma falha, de modo que todos os comandos foram acionados.

Figura 31 - 3 metros



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

A última distância de teste entre o interruptor e caixa de som foi 4 metros. Dessa vez, a redução do pico da voz foi maior, sendo de 67,2 no pico, ou seja, uma diferença de 4,5dB em relação ao teste anterior. Porém, ainda assim, não houve falhas em nenhuma das 4 repetições.

Figura 32 - 4 metros



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Com isso, foi confirmado que em até 4 metros de distância não haverá problemas no acionamento do comando utilizando a mesma intensidade de voz utilizada na gravação, desde que o ambiente esteja em um nível de ruído de aproximadamente 40dB.

3.7 TESTE COM RUÍDO NO AMBIENTE

Visando simular aplicações comuns onde provavelmente o ambiente não estará em completo silêncio, com, por exemplo, som da televisão no fundo ou pessoas conversando, foi elaborado um método de teste para verificar a eficácia do sistema com a presença desse tipo de ruído.

As distâncias e volume da voz reproduzida na caixa de som externa se mantiveram as mesmas do teste anterior. Para aplicar um efeito de ruído constante no ambiente, ou seja, que tivesse a mesma intensidade para todos os testes, foi utilizada uma televisão no modo sinal analógico, porém sem antena conectada. Assim, obteve-se o chiado reproduzido pela televisão na ausência de sinal.

Além disso, foi realizado um segundo teste com ruído deixando a televisão ligada em um canal com pessoas conversando. Nesse teste não é possível obter uma constância no ruído, visto que há momentos em que as pessoas falam mais que em outros, produzindo uma diferença no nível de ruído gerado nos testes. Ainda assim, é um teste válido para simulação de um cenário real.

Foi iniciado o teste na distância de 1 metro. O controle do ruído se deu através do volume da televisão. Para essa distância, notamos que com um ruído de fundo de cerca de até 52dB não teríamos problemas na identificação do comando. Em todas as tentativas obteve-se o resultado esperado de acionamento do sistema.

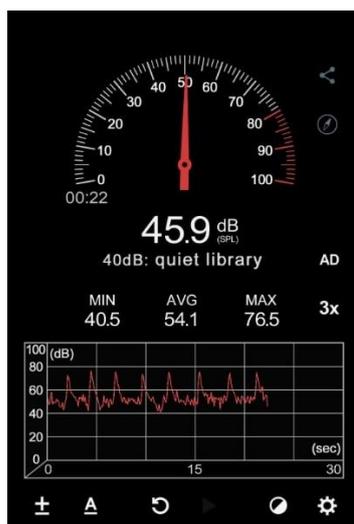
Figura 33 - 1 metro com ruído constante



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

O teste com a televisão ligada em um canal aleatório também não apresentou nenhuma falha. Mantivemos o volume da televisão por questões comparativas e, como o ruído do teste anterior teve um nível maior, já se era esperado que nesse teste o resultado também se manteria.

Figura 34 - 1 metro com ruído aleatório



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Com 2 metros de distância, para manter a assertividade em 100%, foi necessário diminuir dois pontos no volume da televisão, o que é quase imperceptível aos nossos ouvidos, porém impactante para o sistema. O ruído do ambiente chegou então a cerca de 50dB, comparado com o teste de 1 metro de distância, são apenas 2dB de diferença.

Figura 35 - 2 metros com ruído constante



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Já com o ruído aleatório, foi mantido o cenário do teste de 1 metro e o sistema não sofreu mudanças no desempenho. Todas as vezes em que foi acionado, a lâmpada ligou e desligou conforme programado.

Figura 36 - 2 metros com ruído aleatório



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Seguindo com o teste de 3 metros, primeiramente foi analisado qual era o limite de volume que o sistema iria conseguir atuar com 100% de assertividade. Chegamos a 4 pontos a menos que o primeiro teste na distância de 1 metro, com um nível de ruído de aproximadamente 48dB.

Figura 37 - 3 metros com ruído constante



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Quando submetido ao mesmo nível de ruído do primeiro teste, a assertividade caiu 60%. No gráfico observamos que a diferença entre o pico da voz e o ruído de fundo é expressivamente menor em relação a todos os outros testes que tiveram uma assertividade maior, conforme pode ser observado no gráfico da figura 38.

Figura 38 - 3 metros com ruído constante maior



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Com 4 metros e com ruído constante, não houve um bom desempenho quando o ruído estava no mesmo nível de volume dos anteriores. Mesmo com ruído, baixando dois pontos no volume em relação ao teste de 3 metros, foi possível obter 100% de assertividade.

Figura 39 - 4 metros com ruído constante



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

A diferença entre o volume de 1 metro e 4 metros são de 6 pontos, mas assim como qualquer dispositivo de reconhecimento de voz, é necessária uma reprodução limpa para obter a melhor assertividade. Ou seja, quanto menos ruído no ambiente melhor.

4 CONCLUSÃO

Nota-se que a tecnologia usada em sistemas de comando de voz, escopo do presente trabalho, além de possibilitar o acionamento remoto de diversos sistemas, proporcionando conforto e comodidade, serve como um grande auxílio para execução de tarefas cotidianas. Diante disto, este sistema foi planejado e desenvolvido conforme a proposta inicial do trabalho, apresentando um ambiente simulado e a possibilidade de controlar a iluminação deste ambiente através de comandos de fala. Para possibilitar este tipo de controle foi utilizada uma ferramenta de reconhecimento de fala para gravar e comparar os comandos para que possam ser facilmente reconhecidos pelo sistema. As funções controláveis das lâmpadas apresentadas no ambiente simulado foram as luzes dos cômodos das casas dos autores.

Em todos os testes o sistema apresentou resultados satisfatórios e, por este motivo, conclui-se diante da execução deste trabalho, que a instalação do controle do reconhecimento de voz residencial a custos reduzidos com a utilização de um módulo isolado da rede é possível. A utilização de um microcontrolador junto ao módulo de voz mostrou-se adequada ao desempenho esperado, embora desnecessária em locais com poucos comandos a executar.

A partir do estudo e implementação do sistema de reconhecimento de voz discutido neste trabalho, pode-se concluir que, embora sistemas independentes com alto-falante também estão disponíveis, eles são de alto custo e necessitam de conexão com a internet. Assim, o módulo de reconhecimento de voz V3 - que é um sistema dependente de gravação previa - é o mais adequado para uso em projetos onde o objetivo seja tornar os sistemas automatizados e disponíveis sem necessidade de internet.

Verificou-se na prática que os assuntos abordados por esse TCC foram muito além tanto das expectativas quanto dos assuntos abordados durante o curso, tendo em vista todos os problemas encontrados que levaram a inúmeras soluções propostas e executadas ao longo do ano. Durante a implementação do projeto foram observadas diversas dificuldades, entre elas pode-se destacar a pesquisa inicial para escolha da melhor forma de controle inteligente da lâmpada, após descartar as ideias menos prováveis e a decisão estabelecida houve um problema para escolha de um módulo *standalone* que se enquadrasse nas características necessárias ao projeto e do custo envolvido, além disso outra grande dificuldade foi encapsular todos os componentes do sistema dentro da caixa de luz do interruptor a ser controlado que consumiu muitas horas de trabalho e análise do problema. O maior problema enfrentado foi devido a impossibilidade de acessar o laboratório da universidade – para análise e testes de confiabilidade do sistema - devido ao acesso restrito a instituição nestes tempos de pandemia.

No entanto, pode-se dizer que os desafios e dificuldades encontradas levaram a um amplo conhecimento e crescimento pessoal em diversas áreas. Claro que esta linha de pesquisa tem ainda muitos pontos a serem analisados, desenvolvidos e melhorados que poderiam auxiliar na popularização e redução de custos do sistema. O que fica evidente é a necessidade de envolvimento de fabricantes de equipamento de automação e desenvolvedores para que a solução torne-se viável e acessível a qualquer pessoa. É nesse âmbito que destacamos algumas sugestões para continuação em futuros trabalhos:

- Desenvolvimento e integração entre diversos módulos para verificar custo e automatizar toda a iluminação;
- Integração com outros dispositivos de automação, como sensores de aberturas de janelas ou cortinas, centrais multimídia e outros;

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. U. B.; THOMAZINI, D. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. 4 ed. 2005.

ALVES, Luís F. R.; **Projetos de Iluminação**. Ouro Preto / MG: UFOP, 2003.

AMARAL, J.V.do; GONÇALVES, A.C.M. **Análise de Iluminação de lojas de moda: visando conforto e eficiência**. São Paulo: NUTAU, 2002.

AMAZON. **Echo Dot (3ª Geração): Smart Speaker com Alexa**: Cor Preta. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Echo-Dot-3%C2%AA-Gera%C3%A7%C3%A3o-Cor-Preta/dp/B07PDHSJ1H>>. Acesso em: 12 out. 2019b.

AIP TECHNOLOGY. **AIP Technology, Iluminação Pública Inteligente**. Disponível em: <<http://www.aiptechnology.com.br>>. Acesso em 28/07/2015.

ARDUINO. **What is Arduino?**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

_. **Arduino Uno Rev3**. Disponível em: < <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 22 mai. 2019.

ARTHAS, Kael. **Tutorial Wireless. 2004**. Disponível em: <https://kaelnetworks.wordpress.com/2010/07/12/tutorial-redes-wireless/> . Acessado em: 04 mai. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413. **Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 13 p.

_. NBR 5461. **Iluminação: Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 68 p.

BASTOS, Felipe Carlos. **Análise da Política de Banimento de Lâmpadas Incandescentes do Mercado Brasileiro**. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BATISTA, Ygo Neto; **Microcontrolador PIC**. Disponível em: <http://ygo.pesqueira.ifpe.edu.br/didaticos/micro_PIC.pdf>. Acesso em: 04 set. 2011.

BEECORP. **Iluminação do ambiente: Entenda como ela afeta a saúde da equipe**. 2016. Disponível em: <<https://beecorp.com.br/blog/iluminacao-do-ambiente-afeta-a-equipe>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

BERTONHA, Eduardo. **Microcontroladores 8051**. UTFPR: Curitiba, 2007.

BOLZANI, Caio Augustus Morais. **Desenvolvimento de simulador de controle de dispositivos residenciais inteligentes: uma introdução aos sistemas domésticos**. 2004. 115f. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Carlos, São Paulo, 2004.

- BRAGA, N. C. **Tudo Sobre Relés**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/597-como-funcionam-osreles>>. Acesso em: 15 out. 2016.
- CARDOSO, L. F. C. **Sistema de automação residencial via rede usando microcontroladores e sensores**. REUCP, Petrópolis, v.8, n°2 , p70-83, 2014.
- CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. **What is speech recognition?** Disponível em: <www.speech.cs.cmu.edu/comp.speech/Section6/Q6.1.html> . Acesso em: 10 nov. 2018.
- CHADHA, Karishma. **Improving the Usability of App Inventor through Conversion between Blocks and Text**. 2014. Disponível em: <<https://repository.wellesley.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1290&context=thesiscollection>>. Acesso em: 17 abr. 2019
- CLARK, Andrew. **App Inventor launches second iteration**. 2013. Disponível em: <<http://news.mit.edu/2013/app-inventor-launches-second-iteration>>. Acesso em: 10 de mai. 2019.
- COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalação Elétrica**. 4. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.
- EYES, Lotonn. **Ergoftalmologia: a visão, o trabalho e as novas tecnologias**. Disponível em: <<http://www.portaldosolhos.com.br/ergoftalmologia-a-visao-otrabalho-e-as-novas-tecnologias>> Acesso em: 4 mar. 2019.
- F. Sepúlveda Sepúlveda et al., **Extraccion de parametros de señales de voz usando tecnicas de analisis en tiempo-frecuencia**. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales, 2004.
- FRANCISCO, Antônio. M. S. **Autômatos Programáveis**. 4ed, 2007.
- FERNANDES, Rúben Filipe de Carvalho. **Eficiência Energética de Edifícios versus Qualidade de Iluminação**. 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994. _____. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GIZMODO. **Interruptor inteligentes**. Disponível em: <<http://gizmodo.uol.com.br/voce-pode-colocar-estes-interruptores-sem-fio-em-qualquer-lugar/>>. Acesso em: 19 maio 2019.
- GOOGLE DEVELOPERS. **Android Developers**, 2013. Disponível em: <<http://developer.android.com/>>. Acesso em: 10 de mai. 2019.
- HAMILTON, Duda; MARKUN, Paulo. **Celesc: 50 anos de Luz**. 18. ed. Florianópolis: Abecelesc, 2006.

HUANG, Xuedong; ACERO, Alex; HON, Hsiao-Wuen. **Spoken language processing: a guide to theory, algorithm and system development**. 1. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

IBGE. Censo demográfico 2010: **Resultados gerais da amostra. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000008473104122012315727483985.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2015. Citado na página 32.

J. Siqueira, “**Reconhecimento de voz continua com atributos mfcc, ssch e pncc, wavelet denoising e redes neurais**,” Master’s thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.

KERSCHBAUMER, Ricardo. Engenharia de controle e Automação. **Microcontroladores**. Instituto Federal Catarinense, 2018.

LALOND, David E; ROSS, John A. **Princípios de dispositivos e circuitos eletrônicos**. São Paulo: MAKRON books, 1999. v. 2.

LOPES, Leonardo Barbosa. **Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Pública**. 2014. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LUMICENTER. **Manual de informações técnicas**. Paraná. 2015. . Disponível em: <http://www.lumicenteriluminacao.com.br/pt/tecnologia/informacoes_tecnicas.html >. Acesso em: 29 mai. 2019.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **MIT App Inventor – about us**. s. d. Disponível em: <<http://appinventor.mit.edu/explore/about-us.html>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

MELLO, H. A; INTRATOR E.. **Dispositivos Semicondutores**. 4 ed. 1980.

MERCADO LIVRE. **Foto Transistor Npn L14g3 Receptor**. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-753597205-foto-transistor-npn-l14g3-receptor-_JM>. Acesso em: 04 mai. 2019.

MME (2007). Ministério de Minas e Energia - **Plano Nacional de Energia 2030**, Disponível em www.mme.gov.br/mme/menu. Acesso em 19 de julho de 2010.

MONTEIRO, E.; BOAVIDA, F. **Engenharia de Redes Informáticas**. Lisboa: FCA – Editora de Informática, Lda, 2000.

NETO, Egydio Pilotto. **Cor e Iluminação nos Ambientes de Trabalho**. São Paulo, Livraria Ciência e Tecnologia Editora, 1980.

O. Luis, S. Sergio, and B. Ricardo, “**Reconocimiento de voz usando segmentacion de energia usando modelos ocultos de markov de densidad continua**,” 2004.

OLIVEIRA, A. I. A.; GAROTTI, M. F.; SÁ, N. M. C. M. **Tecnologia de ensino e tecnologia assistiva no ensino de crianças com paralisia cerebral**. Revista Ciência & Cognitiva, Vol 13, n3, p 243-262, Rio de Janeiro, dez., 2008.

OLIVEIRA, Sérgio. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. Editora Novatec, 2017.

OSRAM. **Manual Luminotécnico**. 2012. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/ferramentas_&_catlogos/downloads/iluminacao_geral/manual_do_curso_iluminacao_conceitos_e_projetos796562/index.html> . Acesso em: 24 mai. 2019.

P. Moreno, **Speech recognition in noisy environments**. PhD thesis, Carnegie Mellon University, 1996

PEIXOTO, F. **Com termelétricas Brasil coloca em risco credibilidade em meio ambiente**. Disponível em: <https://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2009/090401_brasil_termeletricas_risco.shtml> Acesso em: 04 mai. 2019.

PEREIRA, F. O. R; SOUZA, M. B. **Conforto ambiental: iluminação**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 120p. Apostila.

PEREIRA, Lúcio; DA SILVA Michel. **Android Para Desenvolvedores**. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

RAMIRES, D. F. **Automação de ambiente utilizando reconhecimento de fala**. Monografia tecnólogo em processamento de dados. São Paulo, 2011.

REGIS FILHO, G. I.; SELL, Ingeborg. **Síndrome da Má-Adaptação ao Trabalho em Turnos - Uma Abordagem Ergonômica**. Itajaí/SC: Editora da Universidade do Vale do Itajaí, 2000. 132 p.

RIBEIRO, Tiago Samuel de Almeida Pereira. **Luminotécnica: métodos de avaliação**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

ROBBINS, Jennifer Niederst. **Aprendendo Web Design: guia para iniciantes**. 3ed. Bookman, 2010.

RODRIGUES, R. L.; MACIEL, A. M. A.; FILHO, E. C. B. C. **Desenvolvimento de uma ferramenta para a produção de mídias utilizando personagem animado com síntese de voz, Anais do 23º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2012), ISSN 2316-6533**. Rio de Janeiro, nov., 2012.

RS COMPONENTES. **Fotodiodo Osram**. Disponível em: <<https://pt.rs-online.com/web/p/fotodiodos/4975661/>>. Acesso em: 04 mai. 2019.

RUFINO. Nelson Murilo de Oliveira. **Segurança em Redes de Computadores: Aprenda a Proteger suas Informações em Ambientes Wi-Fi**. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2007.
SILVA, S.F.P. **Lâmpadas Elétricas e Luminotécnica**. 2006. Apostila disciplina de instalações elétricas – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2006.

S. Mitra and Y. Kuo, **Digital signal processing: a computer-based approach**, vol. 2. McGraw-Hill New York, 2006.

SANTOS, B. P. et al. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. 2016. Disponível em: <http://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>, Acesso em 24 mai. 2019.

SECRETARIA DE DIREITOS HUMANOS. **Dados sobre o envelhecimento no Brasil. Coordenação Geral dos Direitos do Idoso**, 2012. Disponível em: <<http://www.sdh.gov.br/assuntos/pessoa-idosa/dados-estatisticos/DadosobreoenvelhecimentoNoBrasil.pdf>>. Acesso em: 29mai. 2015. Citado 3 vezes nas páginas 32, 39 e 123.

SOARES, Luiz Fernando G. **Redes Locais**. 1ed. Campus, 1986.

SPAANS, M. A. *On Developing Acoustic Models Using HTK*. 113 f. Dissertação (*Master of Science*)—Delft University of Technology, Delft, 2004. Citado 12 vezes nas páginas 43, 44, 45, 47, 55, 59, 60, 62, 63, 64, 65 e 68.

TAVARES, J. C. **Tópicos de administração aplicada à segurança do trabalho**. 5ª ed.rev. e ampl. – São Paulo: Editora Senac, São Paulo, 2006.

TONIDANDEL, F., TAKIUCHI M., MELO E. **Domótica Inteligente: Automação baseada em comportamento**. Congresso Brasileiro de Automação. (2004).

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

UFRGS. **Fotodiodos**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/SENSORES-Fotodiodo.html>>. Acesso em: 04 mai. 2019.

UFRGS. **Fototransistor**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/SENSORES-Fototransistor.html>>. Acesso em: 04 mai. 2019.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. **About W3C**. Disponível em: <<http://www.w3.org/Consortium/>> . Acesso em: 20 out. 2015.

ANEXOS

ANEXO A – Código usado para teste após a gravação previa dos comandos

```

#include <SoftwareSerial.h> // biblioteca para comandos serial
#include "VoiceRecognitionV3.h" // biblioteca de comunicação entre arduino e placa de voz

VR myVR(2,3); // 2:RX 3:TX

uint8_t records[7]; // salva as gravações
uint8_t buf[64];

// Leds indicadores de pais e filhos
int Led_Arduino = 13;
int Led_Ligar = 12;
int Led_Desligar = 11;
int Led_Sala = 10;

unsigned Long tempo_limite;
unsigned Long tempo_espera;

// Variaveis para armazenar o estado do comando reconhecido
boolean comando_Arduino = false;
boolean comando_Ligar = false;
boolean comando_Desligar = false;
boolean comando_Sala = false;

//COMANDO AVÔ // comando grupo1
#define Arduino (0)

//COMANDOS PAIS // comando grupo2
#define Ligar (1)
#define Desligar (2)

//COMANDOS FILHOS // comando grupo3
#define Sala (3)

void printSignature(uint8_t *buf, int len)
{
    int i;
    for(i=0; i<len; i++){
        if(buf[i]>0x19 && buf[i]<0x7F){
            Serial.write(buf[i]);
        }
        else{
            Serial.print("[");
            Serial.print(buf[i], HEX);
            Serial.print("]");
        }
    }
}

```

```

void printVR(uint8_t *buf)
{
    Serial.println("VR Index\tGroup\tRecordNum\tSignature");

    Serial.print(buf[2], DEC);
    Serial.print("\t\t");

    if(buf[0] == 0xFF){
        Serial.print("NONE");
    }
    else if(buf[0]&0x80){
        Serial.print("UG ");
        Serial.print(buf[0]&(~0x80), DEC);
    }
    else{
        Serial.print("SG ");
        Serial.print(buf[0], DEC);
    }
    Serial.print("\t");

    Serial.print(buf[1], DEC);
    Serial.print("\t\t");
    if(buf[3]>0){
        printSignature(buf+4, buf[3]);
    }
    else{
        Serial.print("NONE");
    }
    Serial.println("\r\n");
}

```

```

void setup()
{
  /** initialize */
  myVR.begin(9600);

  Serial.begin(9600);
  Serial.println("COMANDOS PAIS E FILHOS");

  // Declarar todos pinos como saída para os LEDs
  pinMode(Led_Arduino, OUTPUT);
  pinMode(Led_Ligar, OUTPUT);
  pinMode(Led_Desligar, OUTPUT);
  pinMode(Led_Sala, OUTPUT);
  if(myVR.clear() == 0){
    Serial.println("Recognizer cleared.");
  }else{
    Serial.println("Not find VoiceRecognitionModule.");
    Serial.println("Please check connection and restart Arduino.");
    while(1);
  }

  //Carregar todos os comandos no VR3
  if(myVR.load((uint8_t)Arduino) >= 0){
    Serial.println("onRecord loaded");
  }

  if(myVR.load((uint8_t)Desligar) >= 0){
    Serial.println("offRecord loaded");
  }

  if(myVR.load((uint8_t)Ligar) >= 0){
    Serial.println("onRecord loaded");
  }

  if(myVR.load((uint8_t)Sala) >= 0){
    Serial.println("offRecord loaded");
  }
}

```

```

void loop()
{
  int ret;
  ret = myVR.recognize(buf, 50);

  if(ret>0){
    switch(buf[1]){
      // Verifica se o comando Arduino para iniciar o sistema foi reconhecido
      case Arduino:
        // Verifica se o sistema já está iniciado
        if(comando_Arduino==false){
          comando_Arduino = true;
          tempo_limite = millis();
          Serial.println("Olá Mestre, o que você deseja?");
          // Ola mestre, o que você deseja? (áudio)
          digitalWrite(Led_Arduino, HIGH);
        }
        else{
          Serial.println("Já estou esperando suas ordens!");
          // Já estou esperando suas ordens (áudio)
        }
        break;

      case Ligar:
        if(comando_Arduino==true){
          comando_Ligar = true;
          comando_Desligar = false;
          Serial.println("Qual equipamento deseja ligar?");
          //Qual equipamento deseja acionar? áudio
          digitalWrite(Led_Ligar, HIGH);
          digitalWrite(Led_Desligar, LOW);
          // Pois não senhor, o que deseja ligar?
        }
        break;
    }
  }
}

```

```

case Desligar:
    if(comando_Arduino==true){
        comando_Ligar = false;
        comando_Desligar = true;
        Serial.println("Qual equipamento deseja desligar?");
        //Qual equipamento deseja desligar? áudio
        digitalWrite(Led_Ligar, LOW);
        digitalWrite(Led_Desligar, HIGH);
        // Pois não senhor, o que deseja ligar?
    }

    break;

case Sala:

    if(comando_Ligar==true){
        if(digitalRead(Led_Sala)==HIGH){
            Serial.println("Lampada1 já está ligada");
            //Senhor a lampada já está ligada
        }
        else{
            Serial.println("Ligando sala..");
            //Será um prazer atender
        }

        digitalWrite(Led_Sala, HIGH);
        comando_Arduino = false;
        comando_Ligar = false;
        comando_Desligar = false;

        digitalWrite(Led_Ligar, LOW);
        digitalWrite(Led_Desligar, LOW);
        digitalWrite(Led_Arduino, LOW);
    }

```

```

        if(comando_Desligar==true){
            if(digitalRead(Led_Sala)==LOW){
                Serial.println("Lampada já está desligada");
                //Senhor a lampada da sala já está desligada
            }
            else{
                Serial.println("Desligando lampada..");
                //Será um prazer atender
            }
            digitalWrite(Led_Sala, LOW);
            comando_Arduino = false;
            comando_Ligar = false;
            comando_Desligar = false;

            digitalWrite(Led_Ligar, LOW);
            digitalWrite(Led_Desligar, LOW);
            digitalWrite(Led_Arduino, LOW);
        }

        break;

        default:
            Serial.println("Record function undefined");
            break;
    }
    printVR(buf);
}

// Calcular tempo de espera sem resposta

if(comando_Arduino==true){
    tempo_espera = millis() - tempo_limite;
    if(tempo_espera > 5000){
        Serial.println("Tempo esgotado!");
        comando_Arduino = false;
        comando_Ligar = false;
        comando_Desligar = false;
        digitalWrite(Led_Arduino, LOW);
        digitalWrite(Led_Ligar, LOW);
        digitalWrite(Led_Desligar, LOW);
    }
}
}

```

ANEXO B – Fluxograma das ações executadas no projeto.