

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS SANTA MÔNICA

Paulo Márcio Botelho Fraga Santos de Andrade

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
COMANDO POR VOZ E PRESENÇA PARA ACIONAMENTO
DE UMA VÁLVULA HIDRÁULICA VISANDO À ECONOMIA
DE ÁGUA

UBERLÂNDIA
2018

PAULO MÁRCIO BOTELHO FRAGA SANTOS DE ANDRADE

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
COMANDO POR VOZ E PRESENÇA PARA
ACIONAMENTO DE UMA VÁLVULA HIDRÁULICA
VISANDO À ECONOMIA DE ÁGUA

**Trabalho de Conclusão de Curso sub-
metido à Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito necessário
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Computação**

Uberlândia, abril de 2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente neste anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

A Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao meu orientador Keiji Yamanaka, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu irmão, como pioneiro na vida acadêmica, me ajudou com exemplos e conselhos para seguir bem na graduação.

A minha namorada pela ajuda nos processos cansativos de revisão e por ser essa pessoa incrível que não mede esforços em fazer o bem.

Aos amigos, companheiros de trabalho e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O Brasil é um país ao qual os recursos hídricos disponíveis são altos. Por isso, uma certa despreocupação com relação à economia de água existe entre a população brasileira. Contudo, com os recentes acontecimentos de crise hídrica presente em regiões do país, medidas e alertas a favor da economia de água surgiram. Inspirado nessa necessidade, este trabalho desenvolveu um novo dispositivo que utiliza Arduino, Sensor de Presença e Comando por Voz para criar uma nova forma econômica de acionar sistemas hidráulicos residenciais.

Palavras-chave: Arduino, Sensor de Presença, Comando por Voz, Economia de Água.

ABSTRACT

Brazil is a country to which the available water resources are high. Therefore, a certain unconcern about the water economy exists among the Brazilian population. However, with the recent events of water crisis present in regions of the country, warnings in favor of saving water have arisen. Inspired in water economy, this work has developed a new device that uses Arduino, Presence Sensor and Voice Recognition to create a new economical way of use residential water systems.

Keywords: Arduino, Presence Sensor, Voice Recognition Water Economy.

RÉSUMÉ

Le Brésil est un pays où les ressources en eau disponibles sont élevées. Par conséquent, une certaine inquiétude au sujet de l'économie d'eau existe parmi la population brésilienne. Cependant, avec les récents événements d'Hydro-crise présents dans les régions du pays, des alertes en faveur de l'économie d'eau ont émergé. Inspiré par ce besoin, ce travail a développé un nouveau dispositif qui emploie l'Arduino, le capteur de présence et la commande vocale pour créer un nouveau moyen économique d'utiliser les systèmes hydrauliques résidentiels.

Mots-clés: Arduino, Capteur de Présence, Commande Vocale, Économie d'eau

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estados da válvula de pressão.	26
Figura 2 – Válvula direcional.	27
Figura 3 – Esquemático do acionamento de uma válvula direcional com solenoide.	28
Figura 4 – Vista externa e interna de uma válvula de retenção.	29
Figura 5 – Funcionamento de uma válvula de retenção.	30
Figura 6 – Válvula controladora de fluxo (vazão).	30
Figura 7 – Esquemático do interior de uma válvula controladora de fluxo.	31
Figura 8 – Componentes de uma válvula de cartucho.	32
Figura 9 – Esquemático do interior de uma válvula de cartucho montada	33
Figura 10 – Válvulas solenoides 1/2 x 1/2	34
Figura 11 – Sinal de saída de sensores analógicos e digitais.	36
Figura 12 – Sensor de fim-de-curso com alavanca e botão.	37
Figura 13 – Esquemático de funcionamento do sensor indutivo.	38
Figura 14 – Esquemático de funcionamento do sensor capacitivo.	39
Figura 15 – Acionamento de um sensor ultra-sônico.	40
Figura 16 – Sensor fotoelétrico a laser em uma linha industrial.	40
Figura 17 – Funcionamento de um sensor óptico.	41
Figura 18 – Sensor infravermelho comum em muros de prédios e condomínios.	42
Figura 19 – Sensor de distância óptico GP2Y0A21YK0F.	45
Figura 20 – Áreas e subárea do processamento de voz.	48
Figura 21 – Aparelho fonador e cordas vocais.	50
Figura 22 – Esquemático do ouvido humano.	51
Figura 23 – Exemplo de um sinal de voz amostrado no trecho do fonema /a/.	53
Figura 24 – Gráfico de janelamento em intervalos N de amostras.	54
Figura 25 – Cadeia de Markov de quatro estados, os nós são os estados e os ramos as transições.	56
Figura 26 – HMM com três estados e quatro saídas, os nós são os estados ocultos e os ramos são as transições ocultas e as saídas visíveis.	57
Figura 27 – Modelo de identificação pela mistura Gaussiana	58
Figura 28 – Diagrama de fluxo da técnica MFCC.	60
Figura 29 – Modelo básico do ZCPA.	61
Figura 30 – Modelos de RNAs em ordem cronológica de desenvolvimento e comple- xidade.	63
Figura 31 – Módulo de reconhecimento de voz utilizado no projeto.	64
Figura 32 – Diagrama de conexões do protótipo.	68

Figura 33 – Fotos que demonstram a instalação do projeto em uma pia de banheiro residencial. 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características dos sensores apresentados nesse capítulo. . . .	43
Tabela 2 – Características funcionais dos sensores apresentados e sua viabilidade para o sistema de reconhecimento de presença.	45
Tabela 3 – Limites inferiores e superiores da entonação vocal.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
DCT	<i>Discrete Cosine Transform</i>
EIH	<i>Ensemble Interval Histogram</i>
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
GMM	<i>Gaussian Mixture Model</i>
HMM	<i>Hidden Markov Model</i>
IR-LED	<i>Infrared Light Emitting Diode</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LIBRAS	Língua Brasileira de Sinais
MFCC	<i>Mel Frequency Cepstral Coefficient</i>
MLP	<i>MultiLayer Perceptron</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PSD	Position Sensitive Detector
SNR	Relação Sinal-Ruído
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
ZCPA	<i>Zero-Crossings with Peak Amplitudes</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Objetivo	22
1.1.1	Objetivo Geral	22
1.1.2	Objetivos Específicos	22
1.2	Organização	23
2	VÁLVULA HIDRÁULICA	25
2.1	História	25
2.2	Definição	25
2.2.1	Válvulas de Controle de Pressão	26
2.2.2	Válvulas de Controle Direcional	27
2.2.3	Válvulas de Retenção	29
2.2.4	Válvulas Controladoras de Fluxo	30
2.2.5	Válvulas de Cartucho	32
2.3	A Válvula Adequada	32
3	SENSOR	35
3.1	Definição	35
3.2	Tipos de Sensores	37
3.2.1	Chaves fim-de-curso	37
3.2.2	Indutivos	38
3.2.3	Capacitivos	38
3.2.4	Ultra-sônicos	38
3.2.5	Fotoelétricos	39
3.2.6	Ópticos	40
3.2.7	Detectores de movimento por infravermelho	41
3.2.8	Pressão	42
3.3	Sistema de reconhecimento de presença	43
4	COMANDO POR VOZ	47
4.1	Introdução	47
4.2	Geração da voz	48
4.3	Captura da voz	50
4.4	Procedimento de extração e técnicas de processamento da voz	52
4.4.1	Extração da voz	52
4.4.1.1	Filtro de pré-ênfase	53

4.4.1.2	Janelamento	54
4.4.2	Processamento da Voz	55
4.4.2.1	Hidden Markov Model	55
4.4.2.2	Gaussian Mixture Model	57
4.4.2.3	Mel Frequency Cepstral Coefficient	58
4.4.3	Zero-Crossings with Peak Amplitudes	60
4.4.4	Artificial Neural Network	61
4.5	Modulo de Comando de Voz	63
5	MONTAGEM E TESTE	65
5.1	Lista de Materiais	65
5.2	Montagem	66
5.2.1	Posicionamento	66
5.2.2	Conexão	67
5.2.3	Instalação	68
5.2.3.1	Hidráulica	68
5.2.3.2	Elétrica	69
5.3	Teste	70
5.3.1	Etapa 1: Teste Funcional	71
5.3.2	Etapa 2: Teste Prático	72
5.3.3	Etapa 3: Teste de Aceitação	73
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
7	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), 2,5% da água mundial é doce. Dentre essa quantidade de água doce disponibilizada, somente 54% é disponível para consumo humano. Disso, 26% está localizada em território brasileiro, segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), para uso em agropecuária, agricultura, indústria e regiões urbanas.

Mesmo o Brasil sendo um país considerado abundante em recursos hídricos, ele representa uma pequena parcela da água mundial disponível para consumo. Isto, torna visível como os recursos de água potável, em nível mundial, deveriam ser utilizados com sabedoria, ou seja, sem desperdícios desnecessários [MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2017].

Uma outra afirmação feita pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) é: "No Brasil devido a sua abundância de água, uma quantidade evidente de desperdício vem em paralelo" [MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2017], além disso, Rebouças 2003 reafirma o que foi mencionado pelo MMA com a seguinte frase:

Num dos países mais ricos em água doce do planeta, as cidades enfrentam crises de abastecimento, das quais não escapam nem mesmo as localizadas na Região Norte, onde estão perto de 80% das descargas de água dos rios do Brasil. [Rebouças 2003]

Devido a esse fato do desperdício de água ser presente no Brasil, e a economia de água não se tratar de um problema simples que possa ser ignorado, técnicas e tecnologias que buscam reduzir a perda de água vêm adquirindo uma importância essencial. Tal aumento ocorre pela necessidade de mudar a forma como é utilizado a água.

Diante da atual maneira de consumir a água, o desperdício vem se tornando algo comum e diário, principalmente no meio doméstico, pois uma maneira de desperdiçar água está na atitude de utiliza-la de forma contínua em momentos desnecessários, gerando um consumo maior, como diz MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2017.

O desperdício também é grande nas nossas residências, envolvendo, por exemplo, o tempo necessário para tomarmos banho, a própria forma como tomamos banho, a utilização de descargas no vaso sanitário que consomem muita água, a lavagem da louça com água corrente, no uso da mangueira como vassoura na limpeza de calçadas, na lavagem de carros etc.." [MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2017].

Dentre os hábitos que geram desperdícios mencionados pelo MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2017, têm a forma como tomamos banho e a lavagem de louça:

No banho, uma boa exemplificação de mau hábito seria realizar a higienização do corpo sem fechar a válvula do chuveiro. Esse costume em não fechar a torneira provavelmente ocorre pois seria necessário reabri-la na mesma quantidade de vazão. Tal ato é necessário para retomar a temperatura da água em de chuveiros elétricos. Diante do incomodo, o banhista prefere manter a água corrente na temperatura adequada, ao contrário de ter que reajustar de forma "desnecessária".

No caso da lavagem de louça, é comum utilizar as duas mãos para realizar o procedimento. Entretanto, para que não ocorra um desperdício, a pessoa que está lavando teria que abster-se de uma das mãos para ficar fechando e abrindo a torneira, e isso pode ser algo que dificulte ou prolongue o procedimento de lavagem. Diante desse detalhe, manter a torneira sempre aberta até finalizar toda a higienização dos utensílios se torna uma opção mais confortável e menos desgastante.

A busca por uma forma mais confortável em utilizar a água sobressai ao modo econômico, dado que se o segundo não for possível de ser alcançado sem que haja um pequeno desconforto, ou gasto a mais de tempo e energia, a pessoa não se segura com relação ao gasto desnecessário. Em consequente, uma nova forma de abrir e fechar as válvulas hidráulicas, pode ser a solução para que haja a mudança de comportamento necessária. Nessa nova forma de acionar, conforto e economia de água devem ser alcançados igualmente.

Em busca de atender a essa condição, nesse trabalho será projetado e implementado um novo dispositivo. Esse produto, através de comandos por voz irá de forma confortável, abrir e fechar válvulas hidráulicas e com um sistema de reconhecimento de presença confirmar se realmente existe uma pessoa utilizando o dispositivo, para que evite acionamentos desnecessários e incorretos, fornecendo assim a união entre conforto e economia no consumo de água.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Projetar e implementar um dispositivo que diminua o consumo de água, através de um sistema de comando por voz e reconhecimento de presença, facilitando assim, o acionamento de uma válvula hidráulica.

1.1.2 Objetivos Específicos

Com base no contexto apresentado na introdução do trabalho e no objetivo geral apresentado, segue os respectivos objetivos específicos a serem desenvolvidos:

- Conceituar e pesquisar uma válvula hidráulica de acionamento elétrico.
- Conceituar e implementar um sistema de reconhecimento por presença.
- Conceituar e implementar um sistema de comando por voz.
- Integrar o acionamento da válvula hidráulica com o sistema de reconhecimento por presença e o sistema de comando por voz.
- Analisar a precisão e o funcionamento do dispositivo.
- Apresentar os resultados funcionais.

1.2 Organização

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 2 - Válvula Hidráulica: Uma breve descrição da história das válvulas é abordada e em seguida, as múltiplas definições dos tipos de válvulas existentes e suas aplicações. Na parte final é definido a válvula que foi utilizada no projeto.

Capítulo 3 - Sensor: Definição geral de sensor e a usabilidade de cada tipo de sensor apresentada. Por fim, uma comparação é feita demonstrando o sensor adequado que foi utilizado.

Capítulo 4 - Comando por Voz: Introdução e detalhamento do sistema de geração e captura de voz no ser humano, para entendimento das técnicas bio-inspiradas de extração e processamento da voz. Consequente, é apresentado o módulo de comando de voz.

Capítulo 5 - Montagem e Teste: Passo a passo da montagem e instalação do prototipo desenvolvido, mais os conjuntos de testes realizados para averiguar a eficácia da ideia desenvolvida neste documento.

Capítulo 6 - Resultado e Discussões: Apresentação e análise dos resultados, além de pequenas observações sobre os acontecimentos reais ocorridos durante os testes.

Capítulo 7 - Conclusão: Apresentação dos pontos finais.

2 VÁLVULA HIDRÁULICA

2.1 História

Quando se trata da origem das válvulas, pensa-se em torno do século 19 ou 20, entretanto a utilização de equipamentos semelhantes já era notável no antigo império romano, menciona IMEDIATO VÁLVULAS E CONEXÕES 2016. Suas cidades não eram perfeitamente localizadas, todavia existia um sistema de captação da água doce mais próxima para o interior urbano da época.

Esse sistema com aquedutos não iria funcionar adequadamente se não utilizasse de dispositivos próximos as atuais válvulas hidráulicas. Um detalhe que confirma tal aproximação entre os dispositivos é que "foram feitos de uma liga de bronze que tem uma notável semelhança com a química bronze ASTM B62 de hoje" [IMEDIATO VÁLVULAS E CONEXÕES 2016], ou seja, a tecnologia das válvulas hidráulicas é utilizada desde o império romano.

Continuando no fluxo do tempo, as válvulas passaram por múltiplas modificações e aperfeiçoamentos. Elas que um dia eram feitas de bronze, se adaptaram a um novo material no início do século 20, o aço fundido. O desenvolvimento delas não pararam por ai, as válvulas que antes eram mecanismos puramente mecânicos, diante da pressão por mais precisão, se tornaram dispositivos eletromecânicos. Maskrey e Thayer 1978 explicam bem sobre esses acontecimentos:

The demand to achieve more accurate and faster control at high power levels, especially in the areas of machine tools, primary flight controls, and automatic fire control produced an ideal marriage of hydraulic servomechanisms with electronic signal processing. Information could be transduced, generated, and processed more easily in the electronic medium than as pure mechanical or fluid signals, while the delivery of power at high speeds could be accomplished best by the hydraulic servo. [Maskrey e Thayer 1978]

Assim chega-se aos atuais sistemas de válvulas hidráulicas. A junção da eletrônica e das técnicas de controle ao acionamento das eletroválvulas são cada vez mais precisos e eficientes, isso tudo para atender a demanda do mundo moderno.

2.2 Definição

"Uma válvula hidráulica é um sistema que direciona o fluxo de líquido e óleo através do sistema hidráulico" [OMEGA OLEO HIDRAULICA 2016]. Para atender aos múltiplos

objetivos, variadas técnicas e tecnologias foram aplicadas no desenvolvimento das válvulas hidráulicas, agregando benefícios variados para elas. Por isso, em busca de organizar as válvulas existentes, elas foram classificadas em grupos, cada um com suas especificações. A seguir, segue os principais grupos existentes e uma breve explicação sobre cada um:

- Válvulas de Controle de Pressão
- Válvulas de Controle Direcional
- Válvulas de Retenção
- Válvulas Controladoras de Fluxo
- Válvulas de Cartucho

2.2.1 Válvulas de Controle de Pressão

As válvulas de controle de pressão são comuns dentre o meio industrial. O seu funcionamento é simples e se baseia no equilíbrio de forças entre uma mola e a pressão que o fluido faz. Quando a pressão do fluido supera drasticamente a força da mola, ela se comprime totalmente, e quando o contrário ocorre, a força da mola é bem maior que a pressão do fluido, a válvula fecha completamente. Esses dois estados podem ser vistos claramente na figura 1 [Hannifin 1999].



Figura 1 – Estados da válvula de pressão.

Devido a esses dois estados tem-se dois tipos de válvulas de pressão:

- Normalmente Abertas: Estão sempre abertas permitindo a passagem de fluido, todavia se a pressão diminuir aonde ela está fixada, a mola será puxada fechando a válvula.

- Normalmente Fechadas: Estão sempre fechadas impedindo a passagem de fluido, mas conforme a pressão vai aumentando e superando a força da mola, uma quantidade gradual de fluido passará pela válvula.

Devido ao funcionamento dessas válvulas, suas principais utilizações são de controle da pressão, pelo seu comportamento de abrir com o aumento da pressão, o que pode aliviar o circuito hidráulico com o aumento da vazão do fluido, e como válvula de segurança. Essa última configuração geralmente é utilizada em válvulas de pressão do tipo normalmente fechadas, pois em estado de operação normal elas ficam fechadas, mas caso alguma obstrução ocorra nos encanamentos ao qual ela esta acoplada a pressão irá subir rapidamente, e a válvula ira abrir completamente funcionando como um escape para o fluido, estabilizando assim a pressão do circuito hidráulico.

Analisando as características da válvula de pressão, ela não aparente ser uma boa escolha para ser utilizada na implementação do projeto desse documento. O seu controle de pressão é bastante interessante, entretanto no projeto isso não será um benefício, já que torneiras em geral já controlam a vazão e a pressão de água. A válvula que será utilizada terá somente dois estados de funcionamento, aberto e fechado, além disso ela vai precisar de um controle eletrônico que será detalhado nos próximos capítulos.

2.2.2 Válvulas de Controle Direcional

"As válvulas de controle direcional consistem de um corpo com passagens internas que são conectadas e desconectadas por uma parte móvel" [Hannifin 1999]. Essa parte móvel é conhecida como **Carretel** e são extremamente utilizadas nas válvulas direcionais devido a sua simplicidade. O carretel fica acoplado a alguma estrutura que realiza uma força que o segura em uma posição. Essa posição pode ser a que permite a passagem de fluidos pelos canais da válvula ou que obstrui o caminho, por isso seu estado de aberto e fechado depende exclusivamente da posição do carretel. Na figura 2 temos um modelo industrial de uma válvula direcional.



Figura 2 – Válvula direcional.

As válvulas direcionais possuem dois tipos segundo ao seu estado inicial, as normalmente abertas e as normalmente fechadas, assim como as válvulas de pressão anteriormente mencionadas. Entretanto, seu estado inicial geralmente é fixado por uma mola presa ao carretel, e conforme fatores externos a influencia ela pode abrir ou fechar. Dentre esses fatores de acionamentos, temos:

- Força Muscular: Acionamento por botões, alavancas e pedais.
- Força Pneumática: Acionamento por pilotos pneumáticos.
- Força Hidráulica: Acionamento por pilotos hidráulicos.
- Força Elétrica: Acionamento por solenoides.

A mais interessante para a produção do projeto desse trabalho é a válvula direcional movida por solenoide. Seu funcionamento é baseado na lei da indução eletromagnética, como explica Hannifin 1999 e como mostra a figura 3:

Quando uma corrente elétrica passa pela bobina, gera-se um campo magnético. Este campo magnético atrai o induzido e o empurra para dentro da bobina. Enquanto o induzido entra na bobina, ele fica em contato com um pino acionador e desloca o carretel da válvula direcional para uma posição extrema. [Hannifin 1999]

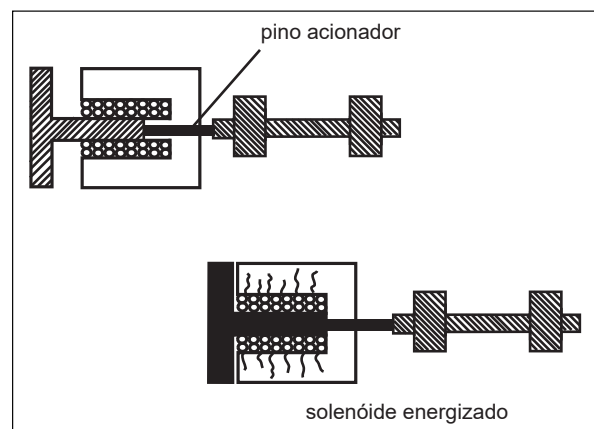


Figura 3 – Esquemático do acionamento de uma válvula direcional com solenoide.

Como o projeto utiliza-se de um sistema eletrônico para acionamento, a válvula direcional é indicada para ser utilizada. A possibilidade de utilizar a energia elétrica em uma válvula direcional com solenoide para determinar se o fluxo de água está aberto ou fechado pode ser a forma que o sistema eletrônico irá controlar o fluxo de água.

2.2.3 Válvulas de Retenção

Em comparação com outros dispositivos hidráulicos, as válvulas de retenção são aparentemente pequenas. Analisando sua estrutura, ela é composta por vias de entrada e saída, assim como as válvulas direcionais, e por um assento móvel preso a uma mola de pressão, assim como as válvulas de pressão. Por causa dessa semelhança, é comum dizer que as válvulas de retenção são a união entre as válvulas direcionais e as válvulas de pressão, buscando fornecer o controle de fluxo da primeira e o controle de pressão da segunda, respectivamente. Seu assento móvel é a parte responsável por obstruir uma das vias da válvula, por isso seu formato é geralmente esférico ou em disco. A seguir, na figura 4 [Hannifin 1999], pode-se observar melhor como é o seu interior:

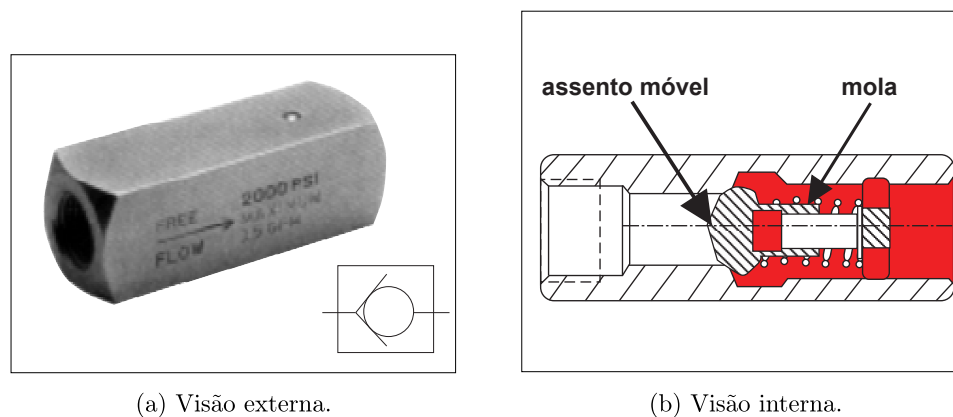


Figura 4 – Vista externa e interna de uma válvula de retenção.

A válvula de retenção, ao contrário da válvula direcional, ela não permite o controle de fluxo em múltiplas direções, somente em uma única direção informada por uma seta no dispositivo. Por causa disso ela é classificada como uma válvula unidirecional.

O funcionamento da válvula é bastante simples: Pela via de entrada fica pressionado por uma mola o assento móvel, conforme a pressão de entrada vence a pressão da mola, que geralmente é bem baixa, a válvula abre permitindo a passagem do fluido pela via de saída. Caso o sentido do fluxo inverta e ele passa a retornar pela via de saída, a pressão invertida arrasta o assento móvel em direção a via de entrada, fechando-a completamente. Dessa forma a válvula retém o fluxo de retorno, por isso o nome de válvula de retenção. A figura 5 demonstra bem o funcionamento da válvula de retenção.

Mesmo com seu funcionamento bastante simples, válvula de retenção possui variadas aplicações. Um exemplo bem comum é utiliza-la como uma válvula de isolamento, como em um tanque, impedindo que o reservatório descarregue o fluido de volta. Outra utilização comum dela é como uma válvula de desvio, ou válvula de "by pass", permitindo assim que o fluxo contorne alguns componentes se necessário. Em casos mais específicos, em que a mola do assento móvel de baixa pressão do assento móvel é trocada por uma mola de

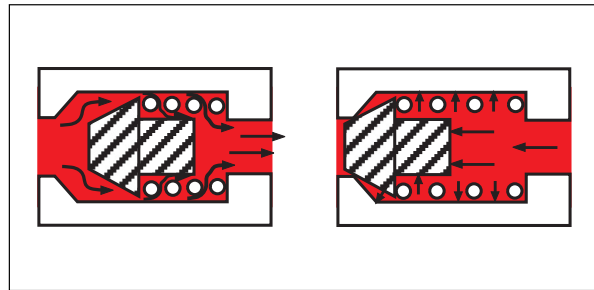


Figura 5 – Funcionamento de uma válvula de retenção.

alta pressão, a válvula pode ser utilizada como controle de pressão, entretanto isso é bem incomum.

A válvula de retenção por mais simples e multifuncional, ela não possui um controle a base de eletricidade, por isso ela não é uma boa escolha para a implementação do projeto.

2.2.4 Válvulas Controladoras de Fluxo



Figura 6 – Válvula controladora de fluxo (vazão).

As válvulas controladoras de fluxo, ou válvulas controladoras de vazão, são as válvulas mais conhecidas. A sua função básica é de controlar a quantidade de fluido que passa em uma determinada parte de um encanamento, assim como seu nome sugeri. Para isso, ela utiliza uma espécie de orifício variável. Para compreender bem um orifício variável, tem-se que entender o que é um orifício em um circuito hidráulico. No caso, "um orifício é uma abertura relativamente pequena no curso do fluxo de fluido" [Hannifin 1999], e o fluxo pelo orifício pode variar de três formas:

1. O fluxo diminui conforme há uma diminuição do tamanho do orifício e vice-versa.
2. O fluxo pode aumentar ou diminuir com a diferença de pressão que surge através do orifício.
3. O fluxo pode ser alterado pela temperatura do fluido.

Para o funcionamento de um orifício variável, é utilizada a primeira forma citada logo acima de variar o fluxo de um fluido com orifício. Se o orifício for de tamanho variável, o fluxo do fluido também será variável, assim funciona a válvula controladora de vazão, que se utiliza de um orifício variável para controlar o fluxo. O exemplo de Hannifin 1999 a seguir demonstra o funcionamento de um orifício variável.

O tamanho de um orifício controla a taxa de fluxo através dele. Um exemplo do dia a dia é uma mangueira de jardim onde surgiu um vazamento. Se o furo na mangueira for pequeno, o vazamento se dará na forma de gotejamento ou aspersão. Mas se o furo for relativamente grande, o vazamento será na forma de jato. Em ambos os casos, o furo na mangueira é um orifício que mede o fluxo de água para o ambiente externo. A quantidade de fluxo medida depende do tamanho da abertura. [Hannifin 1999]

Para recriar o funcionamento de um orifício variável, a válvula controladora de fluxo utiliza uma estrutura muito simples. Ela possui uma via por onde passa o fluido, e no seu interior existe uma haste em formato de parafuso de rosca. A ponta da haste tem formato de um cone, e a abertura do orifício é determinado pela distância entre a ponta da haste e a sua sede cônica. O ajuste fino da abertura pode ser feito graças ao enroscamento da haste ser possível na válvula. A figura 7 mostra o interior da válvula.

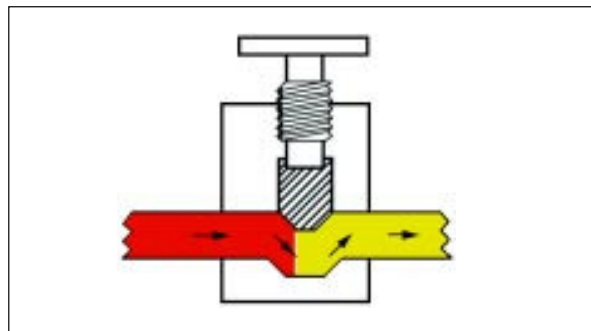


Figura 7 – Esquemático do interior de uma válvula controladora de fluxo.

A válvula controladora de fluxo está de forma indireta já presente na implementação do projeto, as torneiras são um dos tipos mais comuns de válvulas controladoras de vazão presentes de forma constante no dia a dia. Inclusive em encanamento para chuveiros a torneira esta aplicada. Ou seja, por mais que ela não seja adequada para a implementação

do projeto pela falta do controle pela energia elétrica, ela estará presente no circuito hidráulico como um dos componentes que irá controlar o fluxo de água que será utilizado.

2.2.5 Válvulas de Cartucho

A válvula de Cartucho ou elemento lógico do circuito hidráulico, é muito versátil. Sua estrutura básica é como a de uma válvula direcional com duas vias, mas com a vantagem de ter múltiplas configurações. Além disso, os elementos lógicos podem ser inseridos nos blocos manifold economizando uma grande quantidade de espaço. Os blocos manifold são blocos de variados tamanhos que possuem um conjunto de vias entre as suas faces, nele pode ser acoplado múltiplas válvulas, mas no caso da válvula de cartucho, elas são colocadas dentro dos blocos manifold.



Figura 8 – Componentes de uma válvula de cartucho.

Na figura 8 [Hannifin 1999] pode-se ver as múltiplas partes de um elemento lógico, ele é constituído de um embolo, com várias áreas diferenciais de ação do óleo, uma mola e várias formas de tampa para o conjunto, cada uma com uma forma de pilotagem. A figura 9 mostra como é uma válvula de cartucho montada e cada um dos seus componentes.

A válvula de cartucho por mais versátil que seja, não possui um controle elétrico pois suas funcionalidades são semelhantes as das válvulas de retenção. Além disso sua vantagem de poder ser colocada dentro de um manifold não será um diferencial, pois os sistemas hidráulicos domésticos são muito simples para a utilização de um manifold. Assim, os elementos lógicos não são indicados para a utilização no projeto.

2.3 A Válvula Adequada

O projeto, assim como informado anteriormente, irá utilizar uma válvula para realizar o corte e a abertura do fluxo de água, para isso uma das válvulas já citadas será utilizada, dentre elas temos:

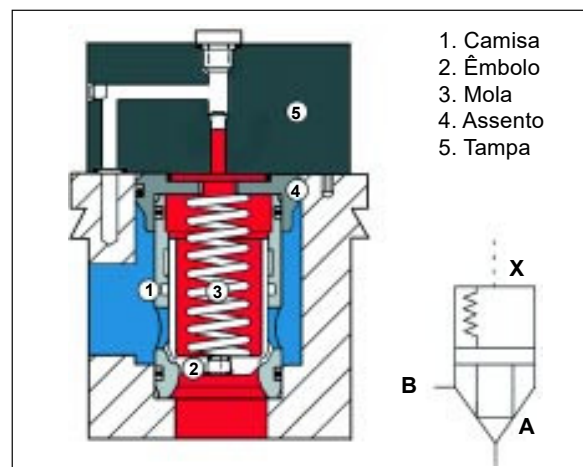


Figura 9 – Esquemático do interior de uma válvula de cartucho montada

- Válvulas de Controle de Pressão: Especializadas em controle de pressão de um circuito hidráulico. Sua vantagem é poder controlar de múltiplas formas a pressão do circuito de forma passiva, ou seja, sem a utilização de nenhum outro dispositivo. Sua desvantagem é ter que ser previamente dimensionada, caso seja utilizada para situações emergenciais como válvula de segurança, o que pode ser inviável caso o circuito hidráulico mude muito de forma e pressão dentre as formas.
- Válvulas de Controle Direcional: Utilizam de um sistema de controle de fluxo a base de um carretel móvel, graças a isso pode-se direcionar o fluxo de maneira variada para múltiplos caminhos. Sua vantagem é poder direcionar o fluxo utilizando múltiplos controles como, força muscular, pneumática, hidráulica e elétrica. Sua desvantagem é não possuir um controle de pressão e vazão muito bom o que a torna desnecessárias em situações que exija um controle refinado de ambos.
- Válvulas de Retenção: Bastante recomendadas como válvulas de isolamento, seu controle de pressão e fluxo unidirecional pode ser bastante útil principalmente como válvulas de desvio em um circuito hidráulico. Sua vantagem é fornecer um controle de pressão direcional e por ter um formato bem pequeno em comparação as outras válvulas. Sua desvantagem é ser uma válvula de acionamento passivo, dessa forma ela não possui múltiplas maneiras de ser acionada.
- Válvulas Controladoras de Fluxo: Muito utilizada devido a simplicidade em controlar vazão e pressão de uma forma bem precisa. Sua vantagem é poder controlar a quantidade de vazão com ajuste fino sem a utilização de técnicas avançadas. Sua desvantagem é ser uma válvula ativa que só possa ser controlada de forma muscular, o que a torna ineficaz quando necessita de uma ação imediata.
- Válvulas de Cartucho: Com grande versatilidade, pode ser montada dentro de um

manifold para realizar controle de vazão e pressão. Sua vantagem é ser montável e muito versátil para múltiplas utilizações. Sua desvantagem é não ser uma válvula muito potente em situações específicas e não possuir um controle ativo.

Baseando no fato de que o sistema será implementado em um circuito hidráulico com torneiras, como chuveiros ou pias, válvulas controladoras de fluxo não serão muito úteis. Outro detalhe é que o sistema residenciais hidráulico não possui uma pressão muito alta para ser controlada e não faz o uso de manifold. Por isso válvulas de retenção, controle de pressão e cartucho não são muito adequadas.



(a) Válvula Solenoide 127V

(b) Válvula Solenoide 220V

Figura 10 – Válvulas solenoides 1/2 x 1/2

Como o projeto necessita de uma válvula que realize o controle direcional de fluxo para dois estados de funcionamento, aberto e fechado, e que esse controle seja feito por um acionamento elétrico, a válvula mais adequada seria a válvula de controle direcional com solenoides. Seu funcionamento utilizando as leis do eletromagnetismo para determinar seu estado de funcionamento é o necessário para que o sistema de reconhecimento de voz e presença possa influenciar no fluxo hidráulico de uma torneira de pia, por exemplo.

Por isso a válvula que será utilizada no projeto é a **Válvula Solenoide 1/2 x 1/2** como mostra na figura 10, ao qual o sistema irá energizar ou não a sua solenoide para permitir ou não a passagem de água.

3 SENSOR

3.1 Definição

Sensores é o "termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida)" [Wendling 2010]. Dentre as grandezas físicas que se podem capturar, têm-se:

- Temperatura
- Pressão
- Posição
- Velocidade
- Aceleração
- Corrente Elétrica
- Tensão Elétrica

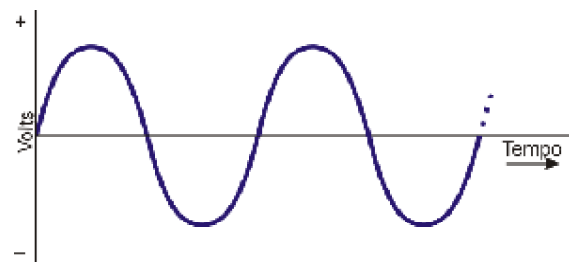
Os sensores nem sempre liberam um sinal elétrico de forma que possa ser utilizado, uma adaptação desse sinal deve ser realizada para que um sistema de controle, por exemplo, possa utilizar o sinal e realizar as ações necessárias. Para realizar essa conexão entre o sensor e o sistema de controle utiliza-se ma interface que irá ajustar o sinal a ser lido pelo sistema.

Para compreender melhor a situação anteriormente citada, tem-se a seguinte situação: Um sensor após realizar sua leitura das características externas, transmite um sinal de tensão muito baixo, esse sinal não possui a potência necessária para o sistema de controle operar, para isso uma interface de amplificação do sinal é utilizado para aumentar a potência do sinal.

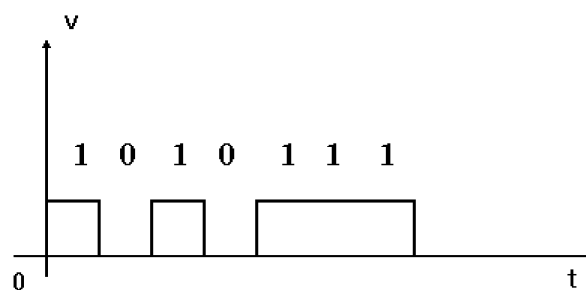
Outra característica dos sensores é serem divididos em duas classes, os sensores analógicos e os sensores digitais.

- **Sensores Analógicos:** Possui leitura contínua liberando um sinal ao longo do tempo. Detém de uma faixa de operação e utiliza-se de circuitos eletrônicos não digitais para medir uma variável. A figura 11a mostra o sinal de saída de um sensor analógico.

- **Sensores Digitais:** Seu funcionamento ao longo do tempo permite que seja interpretado somente dois valores, geralmente uma referência ao qual se chama de nível zero e um outro valor maior ou menor que a referência ao qual se chama de nível um (assim como no sistema binário de numeração). Não existe uma grandeza física digital, mas a forma que a grandeza é lida faz com que o sistema de controle a interprete dessa forma, somente com dois estados. A figura 11b mostra o sinal de saída de um sensor digital.



(a) Analógico



(b) Digital

Figura 11 – Sinal de saída de sensores analógicos e digitais.

Com relação a forma de acionar os sensores, eles são divididos em dois grupos:

- **Sensores Ativos:** Necessitam de um acionamento por uma fonte externa, conhecida como sinal de excitação. O sensor para gerar o sinal de saída precisa do estímulo externo mais o sinal de excitação.
- **Sensores Passivos:** Não necessita de uma fonte de energia adicional para seu funcionamento. Gera um sinal elétrico diretamente a um estímulo externo.

Para o funcionamento do sistema de reconhecimento de presença e de comando por voz desse projeto, foi necessário determinar quais eram os tipos de sensores a serem utilizados. Por causa disto, foi necessário compreender os tipos de sensores disponíveis e quais as suas finalidades.

3.2 Tipos de Sensores

Dentre os tipos de sensores que existem, MAZZAROPPI 2007 cita os seguintes:

- Chaves fim-de-curso
- Indutivos
- Capacitivos
- Detectores por ultrassom
- Fotoelétricos
- Ópticos
- Detectores de movimento por infravermelho
- Sensores de Pressão

3.2.1 Chaves fim-de-curso

Um sensor simples, que possui como estrutura uma alavanca mais um botão, figura 12, que ao serem pressionados ativam o sensor liberando o sinal de nível um, caso não estejam mais pressionados o sinal de saída é de nível zero. Seu estado comum é não estar pressionado, entretanto se o botão estragar e ficar continuamente pressionado, o sensor não funciona corretamente, indicando estar sempre acionado. Este é um sensor de presença do tipo ativo.



Figura 12 – Sensor de fim-de-curso com alavanca e botão.

3.2.2 Indutivos

Com uma estrutura mais complexa, seu funcionamento utiliza-se da variação de um campo eletromagnético para detectar a presença de um objeto. Uma bobina energizada gera um campo magnético a sua frente e se um objeto for colocado dentro deste campo, correntes parasitas são induzidas no objeto. Essas correntes geram um campo contrário ao campo do sensor, enfraquecendo o campo eletromagnético da bobina [MAZZAROPPI 2007]. Um oscilador, em conjunto com um sistema de disparo, transforma essa variação do campo em um sinal de saída para o sensor. A explicação acima pode ser vista na figura 13 [Silveira 2017]. Esse sensor é classificado como de presença do tipo ativo.

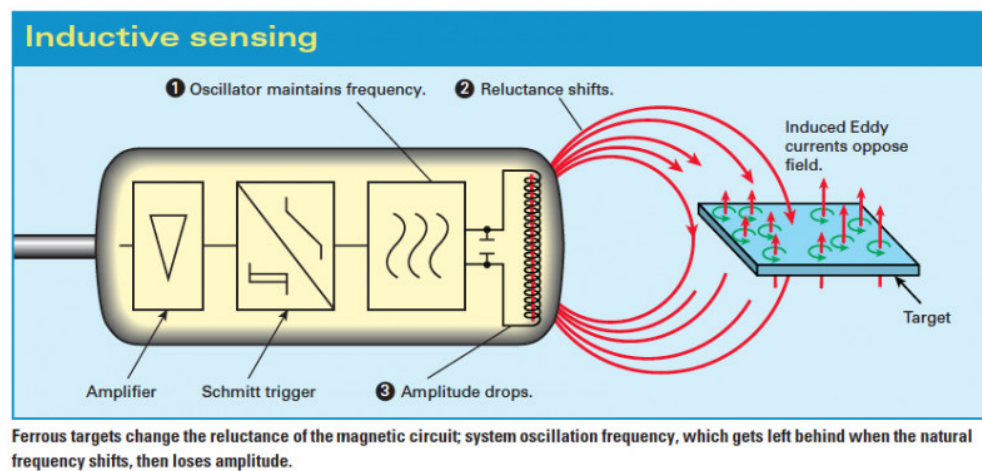


Figura 13 – Esquemático de funcionamento do sensor indutivo.

3.2.3 Capacitivos

Sua estrutura é tão complexa como a do sensor indutivo. Para seu funcionamento utiliza-se um campo eletrostático gerado por um sistema de excitação. Conforme se aproxima um objeto, figura 14, o campo é afetado aumentando a capacitância da ponta do sensor. Após atingir uma determinada capacitância um oscilador é acionado liberando um sinal, que após passar por um filtro retificador, ele ativa o sistema de saída comutando o sinal de saída do nível zero para o nível um. Segundo MAZZAROPPI 2007, quanto maior for o objeto e sua constante dielétrica, mais fácil será para o sensor capacitivo detectar sua presença. Esse sensor é classificado como de presença do tipo ativo também.

3.2.4 Ultra-sônicos

O sensor utiliza as ondas ultrassônicas, que são ondas não audíveis com frequência maior que 20kHz, para adquirir a presença e a posição de um objeto. Seu funcionamento se baseia nos transdutores piezoelétricos [Fraden 2004], esse material possui a característica

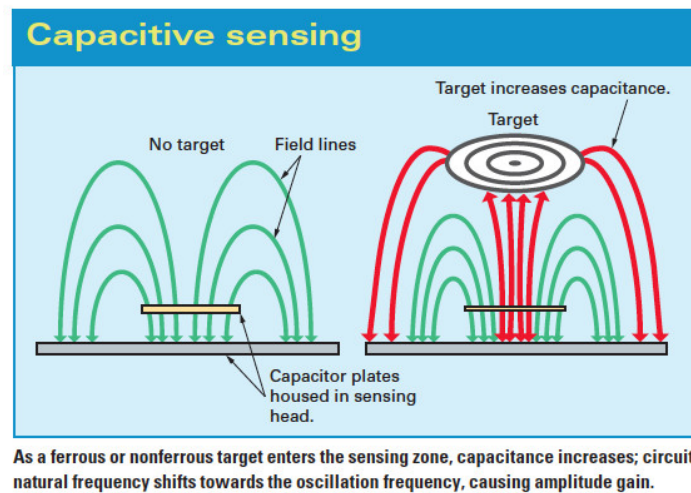


Figura 14 – Esquemático de funcionamento do sensor capacitivo.

de vibrar ao ser excitado por um campo elétrico e suas vibrações mecânicas propagam pelas superfícies sólidas, líquidas e gasosas.

Essas ondas ultrassônicas se propagam em formato de cone como mostra a figura 15, e conforme o intervalo de tempo e a frequência com a qual essa onda retorna para o sensor é possível obter a distância e a velocidade do objeto. Existe quatro variáveis que podem afetar a propriedade da onda:

- Ângulo da superfície do alvo
- Aspereza da superfície reflexiva
- Temperatura
- Umidade

A forma mais comum de encontra-lo é com o emissor da onda e o receptor juntos no mesmo encapsulamento, respectivamente são chamados de *trigger* e *echo*. Esse sensor por informar a distância e a velocidade do objeto, e por necessitar de uma corrente elétrica para gerar as ondas ultrassônicas, ele é classificado como sensor de presença e movimento do tipo ativo.

3.2.5 Fotoelétricos

O sensor fotoelétrico é "um sensor que detecta um feixe de luz visível ou invisível, e responde a uma variação na intensidade de luz recebida" [MAZZAROPPI 2007]. Por isso o sensor possui na sua estrutura dois componentes, um emissor e um receptor. O emissor é responsável por ser a fonte luminosa, o mais comum de se utilizar é um *Light Emitting*

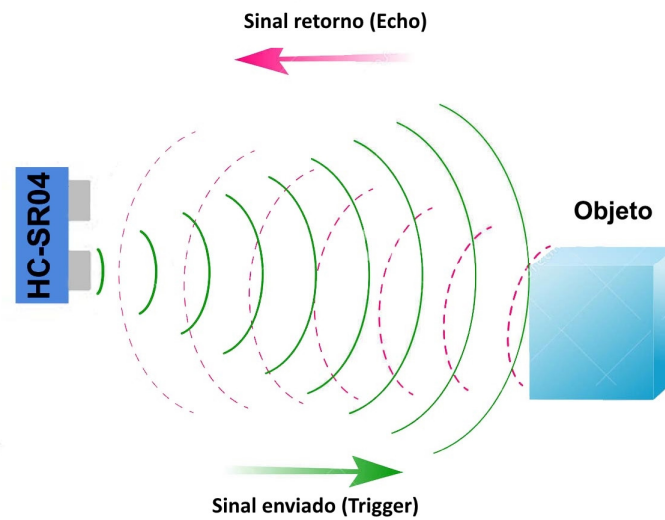


Figura 15 – Acionamento de um sensor ultra-sônico.

Diode (LED) ou laser. No receptor utiliza-se de um elemento optoeletrônico, aos quais são dispositivos que reagem a luz do emissor liberando um sinal elétrico como resposta.

Assim, no receptor contém um fotodiodo ou um fototransistor, ambos são dispositivos optoeletrônicos. Para um funcionamento adequado do sensor, o receptor é ajustado para capturar somente feixes de luzes na frequência do emissor. O sensor fotoelétrico é classificado como sensor de presença do tipo ativo.



Figura 16 – Sensor fotoelétrico a laser em uma linha industrial.

3.2.6 Ópticos

Bastante utilizados diante da sua simplicidade, os sensores ópticos podem detectar objetos a distância relativamente longas. Seu funcionamento não é afetado por campo

magnéticos nem por interferências eletrostáticas e sua composição básica é: uma fonte luminosa, um fotodetector é um dispositivo para orientação da luz, como lentes e fibras ópticas.

Alguns detectores ópticos utilizam a técnica da polarização da luz. Os fótons que constitui a luz possuem um campo elétrico que indica a sua polarização, e como a luz contém um conjunto de fótons polarizados de forma aleatória, após incidir a luz em um polarizador, os fótons de um único sentido passará, enquanto todos os outros fótons serão absorvidos. Dessa forma um único feixe de luz polarizado é obtido.

Esse feixe de luz é transmitido por um emissor e conforme ele é refletido por um objeto, ele é direcionado a um receptor. A figura 17 mostra bem esse funcionamento. O sensor óptico é bem simples e útil, e devido ao seu funcionamento ele é classificado como sensor de presença do tipo ativo.

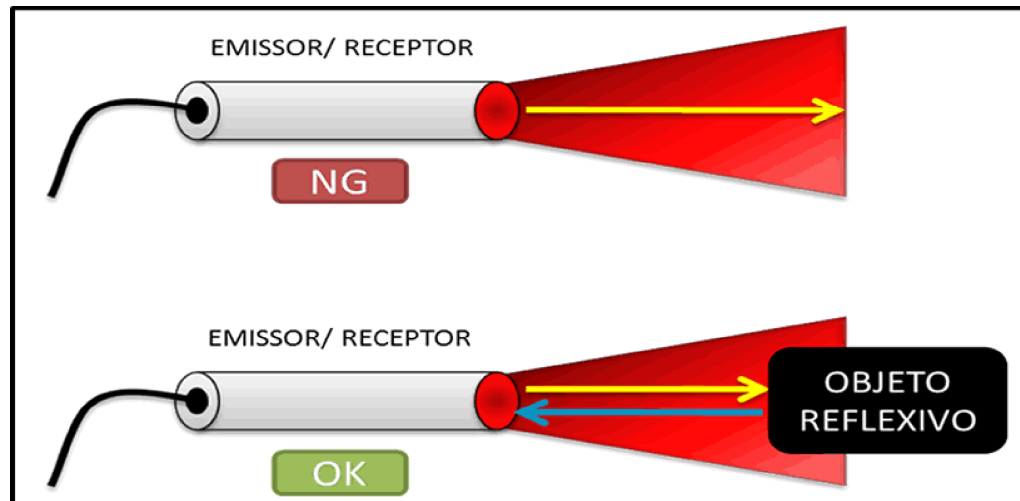


Figura 17 – Funcionamento de um sensor óptico.

3.2.7 Detectores de movimento por infravermelho

O princípio de funcionamento desse dispositivo está na detecção de movimento por calor. Isso é baseado na teoria da emissão de radiação eletromagnética de qualquer objeto cuja temperatura seja superior ao zero absoluto, e a intensidade dessa radiação é governada pela lei de Stefan-Boltzmann [Fraden 2004].

Para detectar o movimento do objeto é necessário que ao realizar o movimento o objeto quente e gere um contraste térmico com relação ao ambiente, dessa forma o sensor poderá detectar a presença e fornecer uma tensão de saída fornecida pela equação 3.1.

$$V = G (T_b^4 - T_s^4) \quad (3.1)$$

- V = Tensão de saída.
- G = Constante do sensor.
- T_b = Temperatura absoluta do objeto detectado em Kelvin.
- T_s = Temperatura absoluta da face do sensor em Kelvin.

Para detectar essa temperatura um termistor, uma termopilha ou um detector piroelétrico é utilizado, mas devido a sua simplicidade, baixo custo e alta resposta, os piroelétricos são os mais utilizados. Eles funcionam como um componente piezoelétrico, a diferença é que a vibração mecânica ocorre com a expansão e contração do material com um fluxo de temperatura, gerando assim uma tensão elétrica.



Figura 18 – Sensor infravermelho comum em muros de prédios e condomínios.

O sensor infravermelho não necessita de um sistema de excitação externo para seu funcionamento, o detector piroelétrico produz uma tensão elétrica de saída somente com a variação ambiente de temperatura detectada, por isso esse sensor é classificado como detector de movimento do tipo passivo.

3.2.8 Pressão

Este é um sensor bastante versátil, o sensor de pressão utilizando extensômetro se baseia no funcionamento de um efeito piezoresistivo. Nesse efeito, a deformação mecânica e um fator que causa a variação da resistência de um material, condutor ou semicondutor, por causa disso ele pode ser aplicado em múltiplas ocasiões como:

- Medição de deslocamento

- Medição de vibrações
- Medição de pressão
- Detecção de presença

Uma outra forma de construir o sensor de pressão é ao invés de utilizar um elemento piezoresistivo, utiliza-se um material piezoelétrico. Esse cristal quando submetido a uma tensão elétrica, sofre uma deformação mecânica, como informado anterior, e vice-versa, sujeitando um cristal piezoelétrico a uma deformação mecânica ele conseqüentemente gera uma tensão elétrica equivalente. Por isso ele também é utilizado em sensores de pressão, além dos extensômetros. Devido a essa versatilidade na composição do sensor de pressão, ele possui duas classificações:

Quando se utiliza do extensômetro ele varia a resistência, mas não gera uma tensão elétrica, por isso necessita de um circuito eletrônico como excitação, devido a isso ele fica classificado como sensor de presença do tipo ativo. Todavia, se utilizar um cristal piezoelétrico ele não necessita de uma excitação sendo classificado como sensor de presença do tipo passivo.

3.3 Sistema de reconhecimento de presença

Para a construção do projeto mencionado será utilizado um sistema de reconhecimento de presença, a fim de detectar quando o usuário estiver próximo utilizando a pia, o chuveiro, o tanque, entre outros sistemas hidráulicos domésticos. Para isso um dos sensores anteriormente explicados deverá ser utilizado, por isso segue na tabela 1 [MAZZAROPPI 2007] uma síntese comparativa da classificação dos sensores, presença ou movimento, e o seu tipo, ativo ou passivo.

Tabela 1 – Principais características dos sensores apresentados nesse capítulo.

Sensor	Classificação	Tipo
Chaves fim-de-curso	Presença	Ativo
Indutivos	Presença	Ativo
Capacitivos	Presença	Ativo
Ultra-sônicos	Presença e Movimento	Ativo
Fotoelétricos	Presença	Ativo
Ópticos	Presença	Ativo
Infravermelho	Movimento	Passivo
Pressão (Extensômetro)	Presença	Ativo
Pressão (Piezoelétrico)	Presença	Passivo

Por se tratar de um sistema de reconhecimento de presença, o sensor infravermelho não é o mais indicado. Imagine que uma pessoa fique imóvel por um tempo razoável, como no banho, neste momento o sistema poderá identificar que ela não está mais no ambiente e fechar o chuveiro. Isto ocorre pois o sensor infravermelho se trata de um dispositivo que reconhece o movimento, ao invés da presença.

O sensor capacitivo necessita que um material faça o papel de dielétrico para variar seu campo eletrostático, por causa desse fato a distância necessária para ele detectar é muito curta, aproximadamente 60mm [MAZZAROPPI 2007], inviabilizando sua utilização no reconhecimento de presença do sistema.

Com relação ao sensor indutivo, por utilizar das correntes parasitas geradas pela indução eletromagnética, ele é indicado para detectar a presença de materiais metálicos, o que o torna também inviável para a aplicação.

Outro dispositivo que é restringido pelo material que será detectado é o fotoelétrico. Isso ocorre pois o seu feixe de luz tem que estar contínuo partindo do emissor ao receptor, como mostrava na figura 16 da subseção 3.2.5 na página 39. Assim ele é muito bom para contagem de materiais transparentes, o que não é o caso deste sistema de reconhecimento de presença.

Os sensores de pressão e chave fim-de-curso, são sensores acionados por contato mecânico e pressionamento contínuo, respectivamente. Como neste projeto busca-se o acionamento a distância utilizando um comando por voz, que foi detalhado no próximo capítulo, a utilização de sensores que não podem ser acionados a distância é inviável. Por isso, ambos os sensores de pressão e chave fim-de-curso não são indicados para a aplicação deste projeto.

Dentre todos os sensores citados, o sensor ultrassônico e o óptico foram os que sobraram como viáveis para a aplicação. Isso ocorre porque ambos detectam qualquer material, possuem detecção a uma distância considerável e ambos são sensores de presença como mostrava a tabela 1. Entretanto o ambiente que será aplicado o sensor, será partes residenciais que contém manuseio de água, ou seja, proteger o sensor com uma proteção será necessário. Dentre eles, o sensor ultrassônico necessita de ficar exposto para que nada bloqueie as suas ondas ultrassônicas impedindo o seu funcionamento. Enquanto isso o sensor óptico se coloca-lo dentro de uma caixa transparente seu funcionamento será mantido. Dentro de tal condição que necessita ser atendida para sua aplicação, o sensor óptico foi o escolhido para implementar o sistema de reconhecimento de presença. Sua versatilidade e simplicidade tornaram-no indicado para ser usado.

Para visualizar de uma forma resumida tudo que foi mencionado, a tabela 2 mostra de forma direta o sensor, qual material detecta, a distância de detecção informada por MAZZAROPPI 2007 e sua viabilidade para o projeto.

Tabela 2 – Características funcionais dos sensores apresentados e sua viabilidade para o sistema de reconhecimento de presença.

Sensor	Material detectável	Distância sensora	Viabilidade
Chaves fim-de-curso	Qualquer	Não aplicável	Inviável pela distância
Indutivos	Metálicos	$\approx 60mm$	Inviável por material
Capacitivos	Qualquer	$\approx 60mm$	Inviável pela distância
Ultra-sônicos	Qualquer	$< 20m$	Inviável pela proteção
Fotoelétricos	Transparentes	$< 200m$	Inviável pelo material
Ópticos	Qualquer	$< 3m$	Viável pela usabilidade
Infravermelho	Qualquer	$< 15m$	Inviável pela detecção
Pressão	Qualquer	Não aplicável	Inviável pela distância

Com base na classe de sensor viável para o projeto foi escolhido utilizar o sensor **GP2Y0A21YK0F**, figura 19. Analisando suas especificações, ele é um sensor de distância óptico que utiliza um diodo emissor infravermelho ou *Infrared Light Emitting Diode* (IR-LED), um detector sensível de posição ou *Position Sensitive Detector* (PSD) e um circuito para processamento de sinais. Sua medição não é influenciada pela variedade reflexiva dos objetos, nem pela temperatura do ambiente e muito menos pela duração de uso, além de ser um dispositivo próprio para robôs de limpeza e regiões sanitárias.



Figura 19 – Sensor de distância óptico GP2Y0A21YK0F.

O GP2Y0A21YK0F é próprio para ser utilizado em ambientes como banheiros e cozinhas, uma vez que essas áreas possuem uma variação na temperatura ao qual o sensor possa resistir sem problemas. Outro fator importante é de serem áreas sanitárias aos quais o sensor foi devidamente projetado, por isso o sensor foi definido como viável para a aplicação deste projeto.

4 COMANDO POR VOZ

4.1 Introdução

A humanidade constantemente utilizou dos seus conhecimentos em busca de mais conforto na vida, diante disso surgiu múltiplas tecnologias que buscam utilizar as funções do corpo humano para interagir objetos através do processamento de sinais. A utilização da voz para isso não se trata de uma surpresa devido a sua naturalidade para indicar comandos.

Essa naturalidade ao utilizar a voz é evidenciada no cotidiano de uma pessoa, pois através dela pode-se obter um conjunto rico de informações, como:

- Idade
- Sexo
- Idioma
- Grupo sociocultural
- Estado emocional
- Estado de saúde
- Região de moradia

Por causa de todas essas características que podem ser passadas pela voz que o homem considera ela um meio importante para se comunicar com a máquina. As máquinas em si, não possuem menos do que um século que adquiriram a habilidade de reconhecer a voz humana. O reconhecimento com sucesso da pronúncia de certas palavras possui registros desde 1952, confirma Cuadros e Ferreira 2007 que além disso menciona os anos 60 como uma época explosiva na realização de trabalhos com relação à voz, isso tudo graças ao uso do espectrógrafo [Koenig, Dunn e Lacy 1946] em conjunto com os computadores digitais para descobrir propriedades da voz.

Alcançando os tempos atuais, o reconhecimento de voz evoluiu bastante, entretanto envolta de 60 anos não foi o suficiente para adquirir o reconhecimento quase perfeito da voz. Os computadores de hoje reconhecem palavras isoladas, através de uma pronúncia um pouco pausada, e dependem de um banco de dados muito grande para guardar uma grande quantidade de palavras, caso isso não seja possível o sistema se limita a poucos vocábulos. Dentre todos os problemas enfrentados no reconhecimento de voz, o ruído externo é o mais

complicado e que até hoje é motivo de pesquisa em busca de uma técnica que consiga separar perfeitamente o sinal vocal dos ruídos. Por causa deste fato, a comunicação homem máquina através da voz ainda não está em perfeito domínio.

A área que engloba os estudos sobre a voz e a área de **processamento de voz**, ela é dividida em síntese, construção da voz; reconhecimento, compreensão da voz, e codificação, converter a voz em dados. Cada uma possui suas divisões, como o foco deste trabalho está no reconhecimento, temos as seguintes subáreas: reconhecimento de fala, reconhecimento de locutor, identificação da linguagem, ect. A figura 20 [Cuadros e Ferreira 2007] demonstra essa organização.



Figura 20 – Áreas e subárea do processamento de voz.

Para uma melhor compreensão de como funciona o reconhecimento de voz, as próximas seções explicarão como o sistema fonador e o sistema auditivo humano funcionam, como é feita a extração da voz, quais são as técnicas de processamento e qual o módulo de reconhecimento de voz utilizado.

4.2 Geração da voz

Para compreender o sistema de reconhecimento de voz, será necessário entender como a voz é gerada e do que ela é formada. Com relação a primeira parte, geração da voz, o ser humano possui toda uma estrutura biológica que provém as capacidade de geração de sons ou sinais sonoros. Dentre as partes do corpo humano que prover a geração da voz, temos:

- Pulmões: Responsável pelo acúmulo de ar para a geração de fluxo, uma fonte de energia sonora.
- Laringe: Contém as cordas vocais.
- Faringe: Canal ressonante funcionando como um filtro.
- Cavidades orais/bucais: Região ressonante para filtragem bucal.

- Cavidades nasais: Região ressonante para filtragem nasal.

Além dessas partes que são responsáveis pela geração do sinal sonoro em si, temos outras partes que manipulam o sinal sonoro, responsáveis pela articulação da voz. Dentre elas, temos:

- Os lábios
- Os dentes
- O alvéolo
- O palato
- O véu palatino
- A língua

Todas essas partes em conjunto formam o sistema gerador de voz humana. Para seu funcionamento, explica Valiati 2000, os pulmões funcionam como reserva e se enchem de ar, em seguida eles expõem o um fluxo de ar pela traqueia até a laringe chegando na glote, um orifício entre as cordas vocais. A glote permanece aberta durante o procedimento normal respiratório, todavia a cada momento que as cordas vocais são estiradas para a produção de som, a glote se fecha obstruindo a passagem de ar, dessa forma a glote abre e fecha modulando a passagem de ar em pulsos discretos [Furui 2000].

Assim, analisando o canal tubular que começa da glote até os lábios, obtém-se "*um tubo acústico não uniforme e não variável*" [Rabiner e Gold 1975]. Esse tubo possui características ressonantes que filtram o som que vem da fonte, que no caso são os pulsos discretos anteriormente mencionados. A região nasal também funciona como uma região de filtragem, em que os sons emitidos são os sons nasais. O que determina o percurso do fluxo de ar, se será em direção oral ou nasal, é o véu palatino, que ao abrir ou fechar consegue permitir ou obstruir o fluxo de ar pela cavidade nasal. A seguir, na figura 21 [Valiati 2000], pode-se ver uma representação do aparelho fonador com todas as partes anteriormente citadas e das cordas vocais.

A voz, assim como qualquer outro sinal sonoro, possui uma frequência, que no caso da voz humana existe a frequência fundamental que recebe o nome de *pitch*. Essa frequência não é constante, variando diante da pressão sobre a glote, da tensão aplicada nas cordas vocais e da quantidade de massa das bordas vibrantes. Todas essas características juntas determina a entonação da pronúncia da voz, por isso pode-se obter as faixas de frequência que determinam a entonação feminina, masculina, infantil e da linguagem articulada. Na tabela 3 [FOLMER-JOHNSON 1968] observa-se os limites inferiores e superiores das entonações.

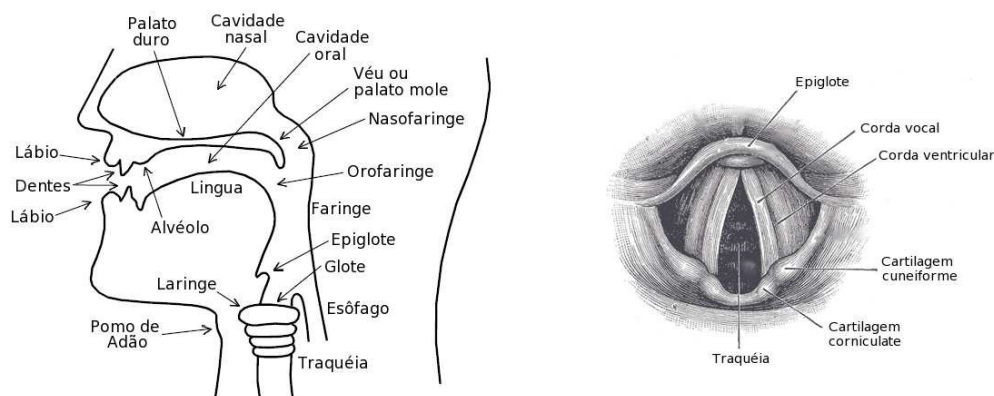


Figura 21 – Aparelho fonador e cordas vocais.

Tabela 3 – Limites inferiores e superiores da entonação vocal.

Entonação	Limite Inferior	Limite Superior
Masculina	80Hz	150Hz
Feminina	150Hz	250Hz
Infantil	250Hz	Indefinido
Linguagem Articulada	250Hz	500Hz

Por fim, Luft 1991 explica que a onda acústica da voz pode ser manipulada pelos lábios e pelas narinas. Logo, diante da posição de ambas as aberturas, obtém múltiplos sons que estão classificados como vocais e não vocais. Os sons vocálicos ocorrem através da produção sonora com a boca ou com as narinas abertas, permitindo a passagem de ar sem interrupções. Por exemplo, na língua portuguesa existem as vogais aos quais os fonemas são classificados como sons vocálicos. Enquanto isto, os sons não vocálicos ocorrem quando existe uma barreira para a passagem de ar imposta pelo trato vocal, por isso, estes sons são associados aos sons das letras restantes do alfabeto português, as consoantes. Além disso, os sons não vocálicos são separados em dois grupos, os sons fricativos e os explosivos. Os fricativos tem origem da fricção entre as partes da região bucal, como os fonemas /f/ e /v/, enquanto os sons explosivos ocorrem quando a passagem de ar na região bucal é interrompida e subitamente liberada, como nos fonemas /b/, /p/, /t/, entre outros.

4.3 Captura da voz

Assim como existe a parte de produção da fala inspirada no aparelho fonador do ser humano, a parte de captura da voz não é diferente. Neste caso a inspiração vem do sistema auditivo ao qual é dividido em duas partes: Primeiro a recepção pelo ouvido e depois o processamento da voz pelo cérebro. Ao contrário do que se parece, o ouvido não realiza todo o trabalho com relação ao processamento da voz, explica Valiati 2000:

O ouvido não atua como um telefone receptor, mas realiza uma considerável quantidade de análise no sinal de entrada, antes de enviar a mensagem, parcialmente, processada para o cérebro. O cérebro age como um incrível processador de padrões poderosíssimos, decifrando a mensagem em tempo real. [Valiati 2000]

O ouvido humano, responsável pela captação inicial da mensagem de voz, possui três seções: Ouvido externo, médio e interno, como mostra a figura 22 [Lima 2007].

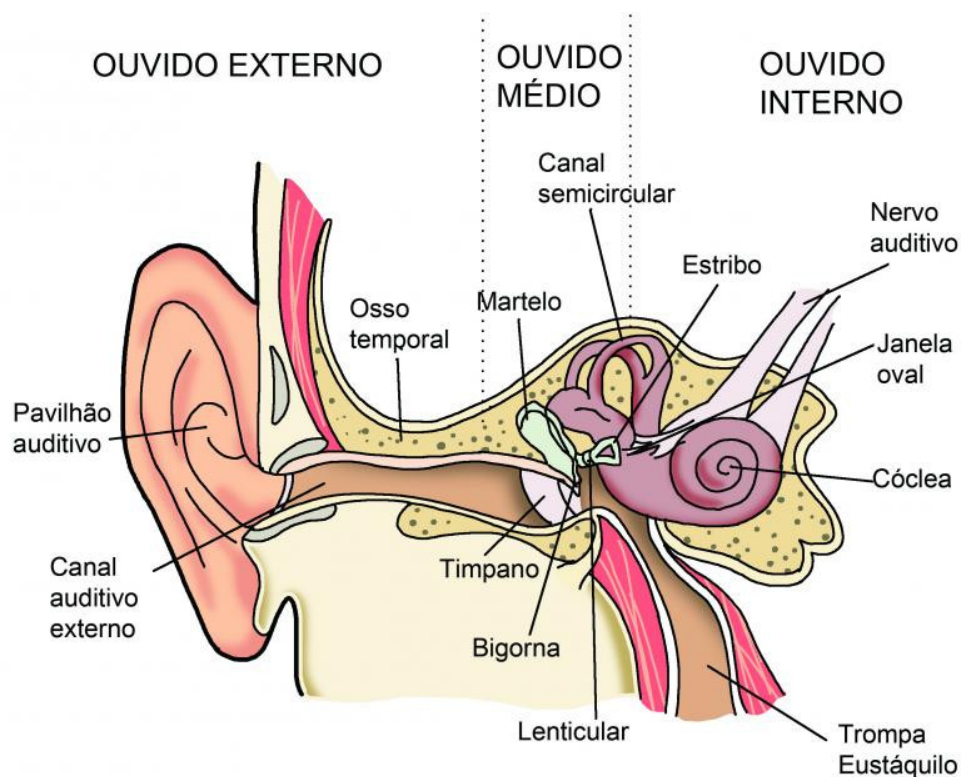


Figura 22 – Esquemático do ouvido humano.

- Ouvido externo: Seguindo o sentido da onda sonora, começa do pavilhão auditivo e termina no tímpano. O pavilhão auditivo funciona como se fosse uma "corneta acústica" [Valiati 2000] em conjunto com o canal auditivo externo. Suas funções são de capturar a onda sonora e direcioná-la para o tímpano. O tímpano, por sua vez, vibra com a onda sonora da mesma forma que um diafragma de um microfone.
- Ouvido médio: Após o tímpano captar a vibração, a parte média do ouvido fica responsável pela amplificação mecânica do sinal. De início a vibração passa pelo martelo, logo após na bigorna e por fim no estribo. Esse último transfere as vibrações para a parte interna e final do ouvido através de uma janela oval.
- Ouvido interno: Na parte interna do ouvido possui fluidos pelos seus canais e a cóclea, uma estrutura em espiral, está conectada com os nervos auditivos, pois ela

é responsável por receber a onda sonora amplificada que vem pela janela oval e converter de sinal mecânico para sinal elétrico. O ouvido possui em torno de 40 mil fibras nervosas, cada uma sintonizada em uma faixa de frequência. O ouvido humano consegue ouvir de 20Hz a 20KHz e pode diferenciar 1400 frequências [Valiati 2000].

Analisando a composição do sistema auditivo, observa-se que o ouvido se trata de um sistema complexo e conforme revela estudos na área da psicoacústica, a percepção humana aos sinais da voz não ocorre numa escala linear da frequência dos tons [Cuadros e Ferreira 2007]. Por isso uma nova escala foi definida com base na robustez do ouvido humano, a escala Mel, ao qual é comumente utilizada em técnicas para sistemas de reconhecimento de voz, no processamento dos parâmetros.

Para finalizar o funcionamento do sistema auditivo, a partir do momento que o sinal sonoro é captado, fica sobre responsabilidade do cérebro realizar o processamento da informação. O cérebro é parte central responsável por analisar todos os fonemas utilizados na voz, pois sua composição com mais de 86 bilhões de neurônios, torna-o um excelente sistema computacional natural, ao qual serviu de inspiração para uma das técnicas de processamento da voz que será abordada na próxima seção.

4.4 Procedimento de extração e técnicas de processamento da voz

O sistema de reconhecimento, como mencionado anteriormente é bio-inspirado no procedimento de compreensão humana da voz, ao qual ele captura e extrai o sinal elétrico da onda sonora através de um microfone, fazendo analogia com o ouvido, e em seguida realizando um processamento por um computador e uma placa de som, aos quais estarão análogos ao cérebro. A seguir, será feita uma explicação sobre essas duas etapas do reconhecimento de voz, extração da voz e processamento da voz.

4.4.1 Extração da voz

"A voz é um sinal de pressão acústica que varia com o tempo" [Cuadros e Ferreira 2007], ou seja ele é um sinal analógico. Para trabalhar com ele será necessário uma conversão de analógico para digital, pois computadores trabalham com esse tipo de sinal. Logo, um microfone é utilizado para captura do sinal sonoro em sinal elétrico e em seguida um sistema de amostragem é montado. Para garantir a amostragem de forma correta ao ponto que o sinal amostrado seja possível de restauração, o sistema utilizará uma frequência de amostragem (f_a) de duas vezes que a maior frequência do sinal amostrado (f_s), atendendo

assim ao Teorema da Amostragem [Oppenheim 1999], como mostra a equação 4.1.

$$f_a = 2 * MAX(f_s) \quad (4.1)$$

Na figura 23, tem-se um exemplo do fonema /a/ amostrado obedecendo o Teorema da Amostragem. Observa-se que a onda do sinal fica claramente visível para ser processada em um sistema computacional, entretanto dois passos devem ser realizados antes do processamento, o filtro de pré-ênfase e o janelamento.

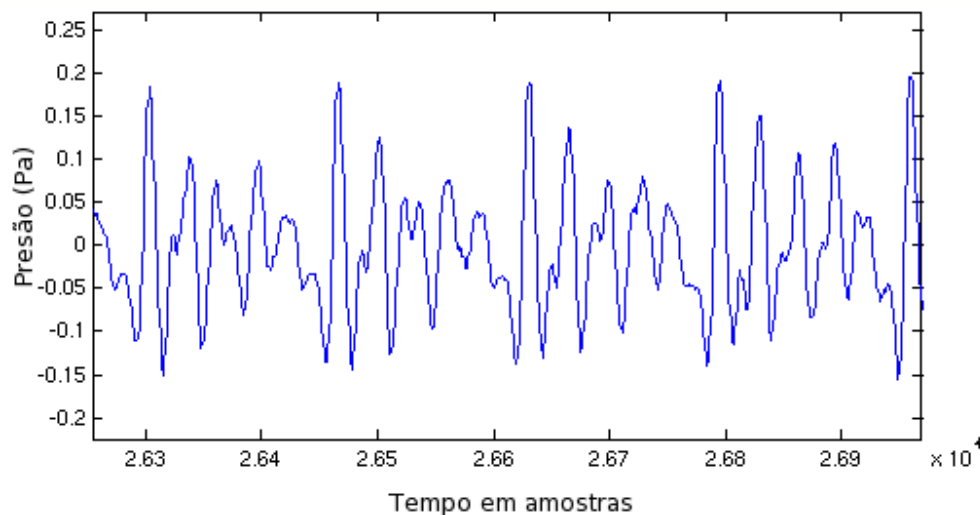


Figura 23 – Exemplo de um sinal de voz amostrado no trecho do fonema /a/.

4.4.1.1 Filtro de pré-ênfase

Observando um sinal de voz, teremos múltiplos tipos de ruídos misturados nele, dentre esses ruídos temos os de baixas frequências provenientes dos lábios e da glote [Jr, Proakis e Hansen 1993]. Por isso um filtro de pré-ênfase, que atenua as componentes de baixa frequência e incrementa as componentes de alta frequência, será utilizado para retirar os efeitos sonoros dos lábios e da glote ao mesmo tempo que gera uma estabilidade numérica, prevenindo qual instabilidade, caso exista.

A função de transferência mais utilizada para um filtro de pré-ênfase, segundo Rabiner e Juang 1993, é a equação 4.2:

$$H(z) = 1 - az^{-1}, \quad 0.9 \leq a \leq 1.0 \quad (4.2)$$

Aplicando a transformada inversa Z^{-1} na função de transferência, obtemos a

equação 4.3 de diferenças

$$Z^{-1} \{H(z)\} \rightarrow z^{-1} \{Y(z) = X(z) - az^{-1}X(z)\} \rightarrow y[n] = x[n] - ax[n-1] \quad (4.3)$$

onde o valor mais comum para a é 0.95 [Rabiner e Juang 1993].

4.4.1.2 Janelamento

Essa etapa ocorre depois da pré-ênfase, com a utilização da equação 4.3 pode-se obter intervalos de N amostras, as janelas, as quais possuem um intervalo M amostras de superposição, figura 24. Utilizando essa técnica em um intervalo N bem pequeno, obtém um efeito de estiticidade em um sinal variável no tempo [Rabiner e Juang 1993], como o sinal de voz. Trabalhando com sinais estacionários múltiplas técnicas de análise espectral tradicionais passam a funcionar.

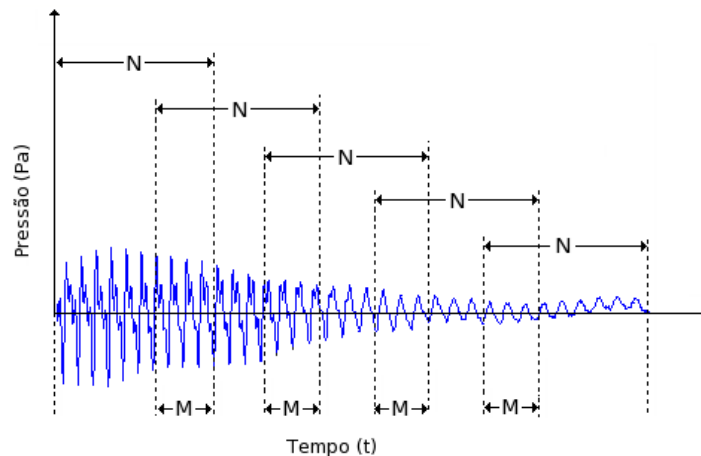


Figura 24 – Gráfico de janelamento em intervalos N de amostras.

Para realizar um janelamento adequado, utiliza-se a janela de Hamming [Jr, Proakis e Hansen 1993], a qual é definida por

$$h(n) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{c.c.} \end{cases} \quad (4.4)$$

onde n é o índice da amostra e N é o número total de amostras da janela.

Existem outros métodos e técnicas que pode ser utilizadas antes do processamento do sinal em busca de uma melhor performance, dentre elas temos: Filtro passa-altas, filtros passa banda, filtragem adaptativa, normalização, dentre outras informadas por Jr, Proakis e Hansen 1993.

4.4.2 Processamento da Voz

Quando o exercício de processamento da voz é dada ao ser humano, ou para um cachorro, o processamento ocorre de forma simples e natural pelo cérebro, todavia quando o ouvinte é um computador a tarefa se torna mais complexa. Essa complexidade se deve a forma que o computador trabalha no reconhecimento da voz, por mais que seu processamento seja rápido e preciso, a voz é uma entrada rica em conteúdo variado, como o computador é uma máquina que trabalha com padrões, essa generalização dificulta o reconhecimento da voz [Mello e Nishiyama 2011].

Para exemplificar bem essa situação, imagine uma pessoa fornecendo comandos para um computador em uma praça municipal, o computador terá que não só reconhecer o padrão de voz do falante, como filtrar todos os ruídos de ambientes e distinguir a voz de quem fornece o comando das outras presentes. Para atender essa tarefa, a informação advinda da voz não é o suficiente, padrões anteriormente adquiridos devem ser levados em consideração.

Diante de tal situação, múltiplas técnicas de processamento da voz são estudadas para que se busque uma melhor performance, dentre elas têm-se:

- *Hidden Markov Model* (HMM)
- *Gaussian Mixture Model* (GMM)
- *Mel Frequency Cepstral Coefficient* (MFCC)
- *Zero-Crossings with Peak Amplitudes* (ZCPA)
- *Artificial Neural Network* (ANN)

4.4.2.1 Hidden Markov Model

A técnica *Hidden Markov Model*, em português Modelo Oculto de Markov, baseia-se no aprendizado de sistemas com temporalidade inerente [Silva 2015]. Essa inerência se deve pelo fato de que eventos que ocorrem no momento atual são obtidos por manipulação do evento que ocorreu anteriormente. O Modelo Oculto de Markov é uma evolução da Cadeia de Markov, ou seja, antes será apresentado o que é a Cadeia de Markov e em seguida a HMM.

Cadeias de Markov: Esse se trata do modelo mais simples, existe duas versões, uma para o tempo discreto e outra para o tempo contínuo. Como se trata de processamento computacional o modelo discreto será o de interesse no momento. Assim, as Cadeias de Markov Discretas possuem como parâmetros um conjunto de C estados atuais indicado por $w_i[n]$, tal que n é o tempo discreto e $i = \{1..C\}$, e um conjunto de C estados futuros

indicados por $w_i[n + 1]$. Outro parâmetro é a existência de uma transição do estado i para o estado j , como a_{ij} , que possui uma probabilidade de ocorrer que está definida na equação 4.5 [Silva 2015].

$$a_{ij} = P(w_j[n + 1] | w_i[n]) \quad (4.5)$$

Para melhor entendimento, segue na figura 25 [Silva 2015] um modelo com quatro estados da Cadeia de Markov Discreta.

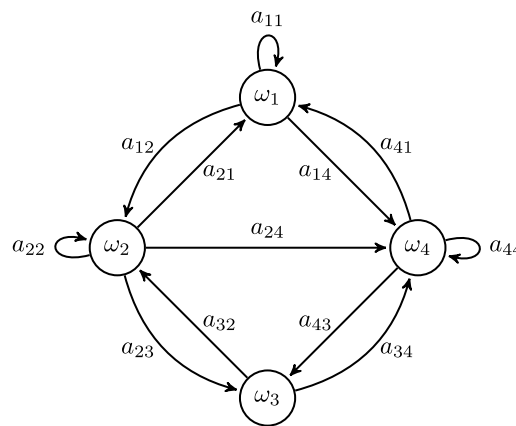


Figura 25 – Cadeia de Markov de quatro estados, os nós são os estados e os ramos as transições.

As HMMs possuem a mesma estrutura básica das Cadeias de Markov, a diferença está no estados $w[n]$ que ficam ocultos, ou seja, não se sabe exatamente quem são, mas admite-se que eles liberam um conjunto K de informações visíveis dados por v_k , onde $k = \{1..K\}$. Da mesma forma que nas Cadeias de Markov existem a probabilidade dos estados de transição a_{ij} , que nas HMMs são ocultos, ocorrerem, existe também a probabilidade b_{jk} de um estado oculto j emitir a informação visível k , como mostra a equação 4.6.

$$b_{jk} = P(v_k[n] | w_j[n]) \quad (4.6)$$

Assim, a estrutura de uma HMM de três estados com um conjunto de quatro informações visíveis é evidenciado na figura 26 [Silva 2015].

As HMMs possui como vantagem, no reconhecimento de voz, a sua resistência a múltiplos locutores ou seja, sua resposta a variação de locutor se mantém aceitável, entretanto na presença de muitos ruídos ela perde eficiência no processamento o que a deixa susceptível a ambientes ruidosos [Silva 2009].

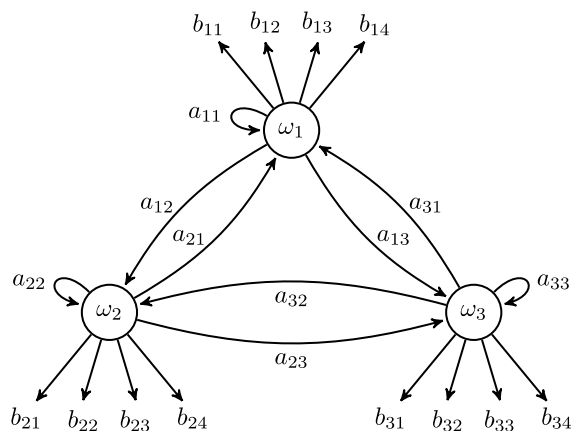


Figura 26 – HMM com três estados e quatro saídas, os nós são os estados ocultos e os ramos são as transições ocultas e as saídas visíveis.

4.4.2.2 Gaussian Mixture Model

As *Gaussian Mixture Model*, em português Modelo de Mistura Gaussiana, se trata de uma utilização matemática de densidade probabilística a fim de obter um resultado previsto [Reynolds 1995]. De início considera-se um vetor x de dimensão D e valores aleatórios a mistura de densidade para o locutor s é definido pela equação 4.7.

$$p(x|\lambda_s) = \sum_{i=1}^M p_i^s b_i^s(x) \quad (4.7)$$

A mistura de densidade é uma multiplicação ponderada linear de M componentes de densidade Gaussiana uni-modais b_i^s . Cada componente de densidade é parametrizada por um vetor de médias μ_i^s e uma matriz de covariância Σ_i^s , vide equação 4.8.

$$b_i^s(x) = \frac{1}{(2\pi)^{D/2} |\Sigma_i^s|^{1/2}} \exp^{-\frac{1}{2}(x-\mu_i^s)^t (\Sigma_i^s)^{-1} (x-\mu_i^s)} \quad (4.8)$$

Os pesos da mistura, p_i^s , satisfaz a condição $\sum_{i=1}^m p_i^s = 1$. Assim, Reynolds 1995 mostra que os parâmetros do modelo de densidade dos locutores é $\lambda_s = \{p_i^s, \mu_i^s, \Sigma_i^s\}, i = \{1..M\}$.

Com todas as misturas Gaussianas de densidade calculadas, ocorre o período de identificação. Nessa parte, considera-se um grupo de locutores $\phi = \{1..S\}$ representado pelos modelos de densidade $\lambda_1.. \lambda_S$, o objetivo é identificar dentro de um vetor de entradas $X = \{x_1..x_S\}$ qual o modelo de densidade com a máxima probabilidade posterior de ocorrer. Isso é fornecido pela regra de decisão pelo mínimo erro de Bayer [Reynolds 1995],

mostrada na equação 4.9.

$$S = \arg \max_{1 \leq s \leq S} \sum_{t=1}^T \log p(x_t | \lambda_s) \quad (4.9)$$

onde cada $p(x_t | \lambda_s)$ pode ser obtido pela equação 4.7

O modelo exemplificado pode ser visualizado na figura 27.

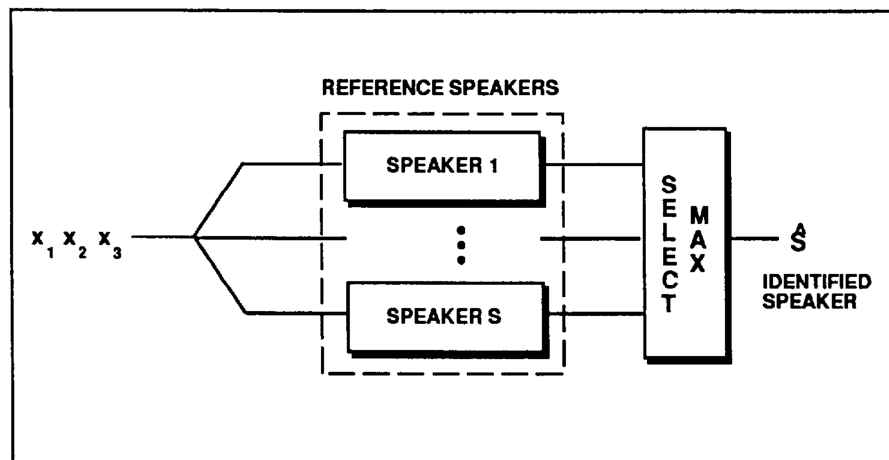


Figura 27 – Modelo de identificação pela mistura Gaussiana

Analisando a forma que a GMM é modelada, fica evidente que seu foco está na descoberta do locutor para uma respectiva voz, ou seja, ela é uma excelente técnica quando se tem múltiplos locutores para um sistema de reconhecimento de voz identificar. Entretanto, o seu processamento utiliza funções exponenciais e logarítmicas, o que torna a técnica uma grande demanda computacional. Além disso, quando se trata do problema com os ruídos ela não é efetiva.

4.4.2.3 Mel Frequency Cepstral Coefficient

A técnica, em português, Coeficiente Cepstral de Frequência Mel foi baseada em estudos da área da psicoacústica [Cuadros e Ferreira 2007], ao qual adota-se uma escala diferente, a escala *mel*, pois as frequências do sinal da voz não seguem uma escala linear. A seguir, uma breve explicação sobre a escala *mel*, banda crítica e banco de filtros triangulares:

Escala Mel: Obtida de forma experimental por Stevens e Volkman, em 1940, ao qual eles determinaram uma frequência de referência 1KHz igual a 1000mel , em seguida ele pediu que um ouvinte fosse aumentando a frequência de um tom de forma que fosse percebido o dobro, 10 vezes, que em *mel* seria 2000mels , 10000mels . O processo inverso também foi realizado na percepção de 500mels e 100mels . Como resultado foi observado que abaixo de 1KHz a escala *mel* é aproximadamente linear, enquanto acima de comportamento

logaritmo. A equação 4.10 [Cuadros e Ferreira 2007] descreve todos os pontos da escala *mel*.

$$Mel(f) = 1127 \ln\left(1 + \frac{f}{700}\right) \quad (4.10)$$

Banda Crítica: Continuando os experimentos na área da audição, foi observado que certas frequências não podem ser identificadas pelo computador dentro de uma determinada banda, todavia fora da região da banda pode ser identificada, logo essa banda foi nomeada de "Banda Crítica". Stevens e Volkman 1940 observou que o valor da banda crítica varia nominalmente de 10% a 20% da frequência central do som, seu valor inicial era de 100Hz e linear até 1Khz, acima tomava comportamento logarítmico. Por isso foi descoberto uma maior eficiência computacional na representação *cepstral* associada a escala *mel*, que ficou nomeada de "Mel-Cepstral".

Banco de filtros triangulares: Com o surgimento da escala *mel* e da banda crítica, foi decidido mudar a representação espectral do sinal incorporando ambas descobertas na definição de distorção espectral. Assim, um simples logaritmo de magnitude se tornou em um logaritmo da energia total em torno das frequências *mel*. A técnica que mais se aproximou desse cálculo foi a utilização de um banco de filtros triangulares [Davis, Biddulph e Balashek 1952], pois este banco simula a resposta em frequência da membrana basilar.

Então, com utilização dos bancos de filtros triangulares, parte-se para o cálculo dos coeficientes cepstrais de frequência *mel*. De início, realiza-se um processo de janelamento em um sinal de voz $S(n)$, como descrito na seção 4.4.1.2 na página 54. Para cada janela m , realiza-se uma *Fast Fourier Transform* (FFT) obtendo-se o espectro $S(w, m)$. O espectro modificado $P(i), i = \{1..N_f\}$ provém da saída de cada filtro expresso pela equação 4.11.

$$P(i) = \sum_{k=0}^{N/2} |S(k, m)|^2 H_i\left(k \frac{2\pi}{N}\right) \quad (4.11)$$

onde:

- N = número de pontos da FFT.
- N_f = número de filtros triangulares.
- $|S(k, m)|$ = módulo da amplitude da frequência do k -ésimo ponto na m -ésima janela.
- $H_i(w)$ = função de transferência do i -ésimo filtro triangular.

Em seguida tem-se que o conjunto de pontos $E(k)$, onde k_i é o ponto máximo do i -ésimo filtro, é expresso pelo sistema 4.12.

$$E(k) = \begin{cases} \log[P(i)] & k = k_i \\ 0 & \text{qualquer outro } k \in [0, N - 1] \end{cases} \quad (4.12)$$

Por fim, os coeficientes mel-cepstrais $c_{mel}(n)$ são obtidos pelo uso da *Discrete Cosine Transform* (DCT), dado pela equação 4.13.

$$c_{mel}(n) = \sum_{i=0}^{N_f} E(k_i) \cos\left(\frac{2\pi}{N} k_i n\right), \quad n = \{0..N_c - 1\} \quad (4.13)$$

O valor de N_c é o número de coeficientes mel-cepstrais desejado. Por exemplo, se $N_c = 10$, tem-se o vetor $c_{mel} = c_0, c_1, c_2, \dots, c_9$, onde o coeficiente c_0 possui muita informação do meio de transmissão [Jr, Proakis e Hansen 1993], o que as vezes o torna desconsiderado dependendo da aplicação. Na figura 28 mostra um diagrama sobre todo o processo da MFCC.

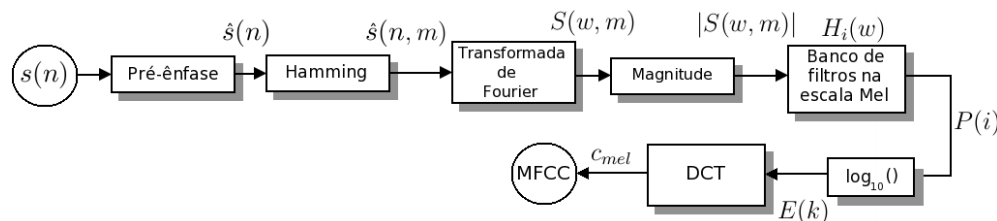


Figura 28 – Diagrama de fluxo da técnica MFCC.

4.4.3 Zero-Crossings with Peak Amplitudes

A ZCPA ou Cruzamento por Zero com Amplitude de Pico, em português, é uma técnica baseada na modificação feita por Kim et al. 1996 na *Ensemble Interval Histogram* (EIH) [Ghitza 1994], que é uma outra técnica para reconhecimento automático de voz. A ZCPA em si é bem extensa, entretanto seu processamento com relação a MFCC é bem menor, além disso "a ZCPA mostrou-se melhor do que a técnica MFCC para baixos valores de Relação Sinal-Ruído (SNR), desde que os valores dos níveis do EIH sejam bem escolhidos" [Cuadros et al. 2007].

De forma sucinta, a ZCPA utiliza um banco de filtros que ao passar o sinal de voz, a onda se divide em múltiplas sub-bandas. Na próxima etapa, é analisado cada sub-banda gerada anterior em busca do número de cruzamentos positivos de zero. Com a quantidade de cruzamentos, é realizado um cálculo do inverso do intervalo entre os paras de cruzamentos de zeros. Obtendo toda essa informação, um histograma com todos os inversos dos intervalos de todas as sub-bandas é plotado. Em seguida, um logaritmo da

amplitude de pico dentro do intervalo é aplicada como um incremento no histograma. Por fim, uma DCT é aplicada no histograma para assim obter os coeficientes ZCPA cepstrum.

A seguir, na figura 29 [Cuadros e Ferreira 2007], mostra um resumo do procedimento explicado em um modelo da ZCPA.

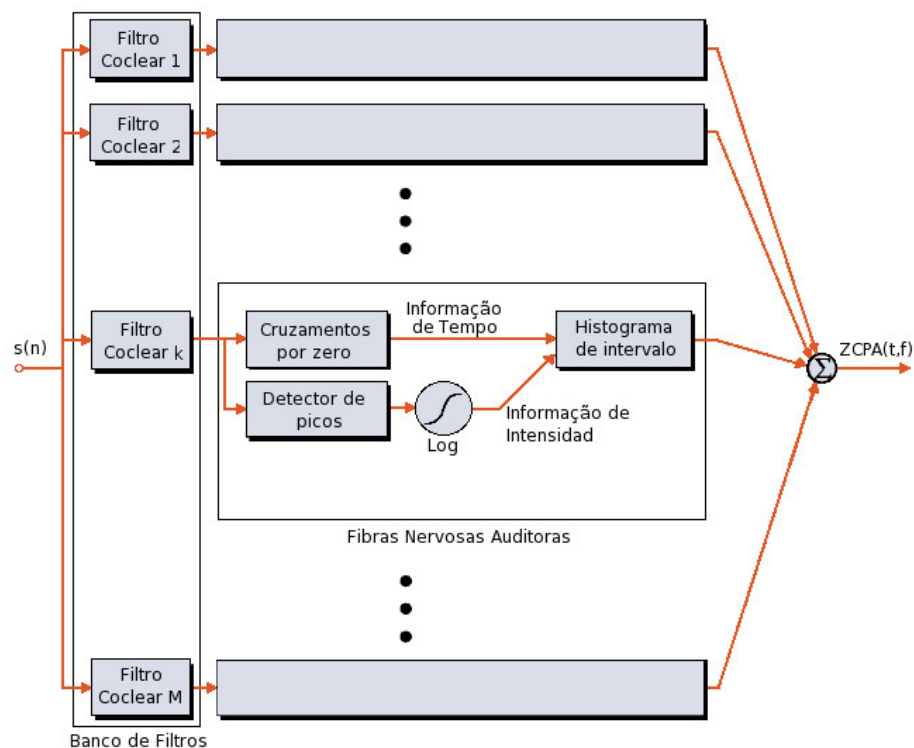


Figura 29 – Modelo básico do ZCPA.

4.4.4 Artificial Neural Network

Bastante conhecidas na área da ciência bio-inspirada, as Redes Neurais Artificiais é um técnica que simula o aprendizado do cérebro humano em forma computacional. Ou seja, busca-se pela RNA agrupar múltiplos neurônios desenvolvidos artificialmente, via linguagem computacional, de forma que eles fiquem distribuídos aleatoriamente. Essa situação gera a complexidade que o sistema necessita, em seguida um conjunto de informação é fornecida para os neurônios da rede irem se adaptando até que forneçam o comportamento necessário [Mello e Nishiyama 2011].

As RNA tiveram um longo caminho para obterem o reconhecimento atual, passando por tempos de esquecimento, a seguir uma pequena lista explicando a evolução da RNA fornecida por Tavares 2001.

- 1943 - Warren McCulloch e Walter Pitts: Primeiros estudos que sugeriram a criação de uma máquina que simulasse o cérebro.

- 1949 - Donald Hebb: Surgiu com o primeiro neurônio artificial em seus estudos, demonstrando um aprendizado simples que serviu de base para futuros estudos.
- 1958 - Frank Rosenblatt: Em conjunto com outros foi o responsável pela criação do primeiro neurônio artificial realmente funcional, o Perceptron, sua base era o aprendizado por padrões previamente estabelecidos.
- 1960 - Widrow e Hoff (Regra Delta): Responsável pelo desenvolvimento do neurônio Adaline, seu comportamento utilizava a realimentação delta para o seu aprendizado de padrões, tornando-o mais eficiente que o Perceptron.
- 1969 - Minsky e Papert (banho de água fria): Nessa época ocorreu um excesso de estudos na área indicando um avanço absurdo das redes neurais, o que descredibilizou as pesquisas que ainda estavam amadurecendo, como consequência as redes neurais foram entrando no esquecimento, ocorrendo somente pesquisas silenciosas.
- 1982 - John Hopfield (redes auto associativas): Foi com Hopfield, renomado físico de reputação mundial, após publicar estudos mostrando o poder de uma rede neural que as pesquisas foram se aquecendo novamente.
- 1986 - David Rumelhart e James McClelland (Backpropagation): Graças a esses dois que o gatilho final para as redes neurais explodirem no mundo foi acionado, seus estudos com a computação paralela e o surgimento da RNA com retropropagação serviram de base para o futuro das RNAs.

A seguir, na figura 30 [Kaetsu 2017], segue a evolução dos modelos de RNAs citados anteriormente. Na figura 31a tem o primeiro modelo proposto por McCulloch, o neurônio possui x_i entradas para w_i pesos, onde $i = \{1..p\}$, uma saída y e uma função degrau de entrada 4.14.

$$f(a) = \begin{cases} f(a), & a \geq \Theta \\ 0, & a < \Theta \end{cases} \quad \text{onde } a = \sum_{i=1}^p x_i w_i \quad (4.14)$$

Em seguida, na figura 30b observa-se uma rede de perceptrons com duas camadas, uma camada de entrada que recebera todos os dados e uma camada de saída, em que cada neurônio está conectado com todos os neurônios da camada de entrada. A próxima, na figura 30c é uma rede de adalines que junta todas as suas respostas para um único adaline mestre, o madaline. E por último, na figura 31b a complexa rede de multicamadas (MLP), do Inglês *MultiLayer Perceptron*, sua composição é de múltiplos perceptrons conectados entre si. Assim como antes, a camada de entrada e de saída se mantiveram, entretanto foi acrescentado n-camadas intermediárias e graças a essa estrutura os sinais de entrada ficam indo e voltando pelas camadas aperfeiçoando seus valores. Este efeito é chamado de *Backpropagation*.

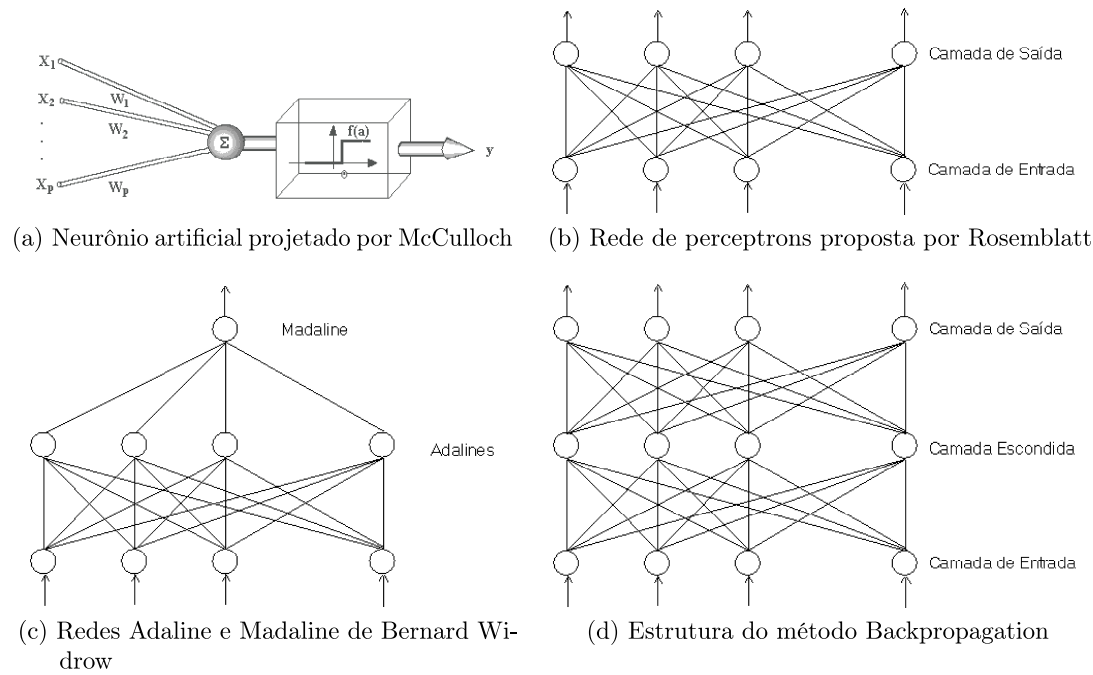


Figura 30 – Modelos de RNAs em ordem cronológica de desenvolvimento e complexidade.

As RNAs na área de reconhecimento de voz possuem uma afinidade muito boa [Mello e Nishiyama 2011]. Isso ocorre por ser uma técnica bio-inspirada no cérebro, que analogamente é o responsável pelo processamento do sinal de voz no ser humano. Como elas têm um excelente desempenho em aprender padrões, os ruídos passam a não ter um efeito grande e a introdução de novos locutores não se torna um problema, por ela se adaptar a novas informações. Assim, diante de tais privilégios, uma grande quantidade de trabalhos e estudos acadêmicos estão sendo desenvolvidos envolvendo aplicação de RNA para o processamento em sistemas de reconhecimento de voz.

4.5 Modulo de Comando de Voz

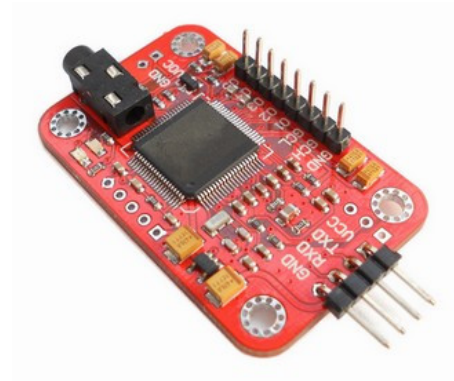
Dentro do projeto de economia de água proposto, uma das partes mais importantes é o sistema de comando de voz. Ele será o responsável por modificar drasticamente o acionamento da válvula hidráulica, fornecendo assim o conforto necessário para incentivar o comportamento econômico d'água. Valiati 2000 em seu trabalho explica bem quais são os pré-requisitos para um sistema de comando por voz:

A aquisição de uma amostra de fala, com o uso de um computador, ocorre através de um microfone e de uma placa de som. Ambos mecanismos citados são indispensáveis, o primeiro é responsável pela captura do som irradiado em determinado ambiente e pela sua conversão em um sinal elétrico, conduzindo-o a uma placa de som, que por sua vez transforma o impulso elétrico em dados discretizados, possibilitando a sua manipulação pelo computador. Também é necessário que o computador possua algum software que permita o manuseio de informações sonoras, ou melhor, o registro e reprodução das mesmas, tornando possível o armazenamento deste tipo de informação. [Valiati 2000]

Contudo, desenvolver um sistema de reconhecimento de voz e um software que processe os comandos fornecidos seria uma complexidade muito grande, ao qual não é o foco do projeto. Por isso, o módulo SPCE061A da SUNPLUS foi escolhido para ser utilizado. Este módulo contém uma placa de reconhecimento de voz que com uma entrada de microfone para a captura da voz, um circuito eletrônico para armazenamento dos comandos e múltiplas saídas digitais que são acionadas conforme um dos comandos memorizados é fornecido em seu estado de escuta. Tanto o microfone quanto a placa SPCE061A podem ser visualizados na figura 31.



(a) Microfone



(b) SPCE061A

Figura 31 – Módulo de reconhecimento de voz utilizado no projeto.

5 MONTAGEM E TESTE

5.1 Lista de Materiais

Esse projeto busca como parte principal gerar uma nova forma de acionar válvulas hidráulicas, a fim de fornecer um conforto a mais para acionar circuitos hidráulicos residenciais e além disto, modificar comportamentos de consumo da água de forma que o mesmo seja eficiente e econômico. Para isso três tecnologias foram selecionadas e agrupadas para realizar essa tarefa:

- Válvula Solenoide: Responsável por fornecer um controle fácil e barato sobre os circuitos hidráulicos através de acionamentos eletrônicos.
- Sensor de Presença: Será utilizado para indicar se existe ou não um usuário utilizando a água, caso contrário indicará um sinal para cortar o fluxo d'água.
- Módulo de Reconhecimento de Voz: Ator da função mais complexa do projeto, sua função é reconhecer a voz do locutor a fim de fornecer comandos para o sistema, realizando assim um controle por voz.

Para realizar a tarefa de controlar e integrar todos esses dispositivos foi necessário a escolha de um microcontrolador. Como se trata de um projeto protótipo, uma plataforma barata e simples conseguirá realizar todas as atividades simultaneamente sem complicações. Por isso, a plataforma de prototipagem Arduino foi escolhida.

Alguns acessórios foram necessários, dentre eles um microfone para o módulo de reconhecimento, um relé, alguns jumpers para conectar as entradas eletrônicas entre os componentes, cabos de energia para o controle da válvula, uma fonte de 12V para fornecer energia para o Arduino (poderia ser utilizado um cabo USB ligado à um computador, entretanto só é viável em momentos de teste), uma pequena caixa para armazenar os componentes na implementação e uma fita isolante.

Em síntese segue a lista de componentes utilizados:

- Um microcontrolador Arduino.
- Uma válvula Solenoide de 127V.
- Um sensor de presença GP2Y0A21YK0F.
- Um módulo de reconhecimento de voz.

- Um microfone.
- Um relé.
- Uma fonte de energia 12VDC.
- Três cabos de energia 2,5mm de diâmetro.
- Um plug macho de tomada.
- Uma caixa pequena (16cm x 11cm).
- Uma fita isolante.
- 15 jumpers.

5.2 Montagem

A seguir segue os procedimentos utilizados para montar o protótipo de testes do projeto. O mesmo utilizará todos os materiais listados no índice anterior, com o detalhe da caixa não ser uma caixa hermética, aprova de água, o que seria mais adequado para se colocar em um ambiente úmido. Entretanto, por se tratar de um protótipo de testes, uma caixa de papelão pequena basta para alguns usos.

5.2.1 Posicionamento

Para iniciar a montagem do projeto foi feito uma análise do posicionamento de cada dispositivo dentro da caixa com relação a sua posição de instalação, que seria do lado esquerdo de uma torneira, assim temos:

- Arduino: Posicionado na borda inferior da esquerda, pois ele teria um cabo de energia saindo do invólucro.
- Sensor de presença: Posicionado na parte inferior a direita, de forma a ficar o mais próximo possível do local ao qual se posiciona para receber o fluxo de água da torneira.
- Relé: Posicionado entre o Arduino e o sensor, na parte inferior central. Ao lado do microcontrolador, que é responsável pelo seu acionamento, necessita-se menos de jumpers grandes e evita um contingente de jumpers atravessando toda a caixa, dificultando uma manutenção, em casos de problemas.
- Módulo de reconhecimento de voz: Posicionado na parte superior da direita, acima do sensor de presença. Como o usuário da pia estaria na altura ou acima da pia, o

comando de voz viria da parte de cima da caixa, por isso o modulo foi posicionado na parte superior, para que o microfone acoplado nele, possa ficar o mais alto possível.

5.2.2 Conexão

Para cada dispositivo um tipo de conexão foi feita conforme as necessidades básicas de funcionamento, em conjunto com o que código foi desenvolvido em Arduino, para o controle de todo o conjunto. Para isso as seguintes conexões foram feitas:

1. Arduino: Utilizando os jumpers informados na lista de materiais, foram feitas conexões de alimentação de 5V e de referência GND para o relé, o sensor de presença e o módulo de reconhecimento. Dentre os pinos digitais, o dois e o três foram utilizados para comunicação serial entre o Arduino e o módulo de reconhecimento de voz, enquanto isso o pino digital sete foi utilizado como saída para acionar o relé. Dentre os pinos analógicos, o pino A4 foi utilizado como entrada para o sensor de presença, para que a distância medida possa ser lida pelo conversor A/D do Arduino. Observa-se que o Arduino é a unidade responsável pelo controle de todos os módulos, por isso é a que possui a maior parte das conexões. Por fim, o Arduino é alimentado externamente via USB ou Bateria ou Fonte de Alimentação.
2. Sensor de presença: De conexões simples, ele possui um cabo preto ligado ao GND, um vermelho ligado à 5V e um cabo amarelo conectado ao pino A4 do Arduino.
3. Relé: Responsável pela alimentação da válvula hidráulica quando acionado, ele possui conexões GND e 5V, uma conexão IN1 com o pino digital sete do Arduino, e dois cabos de energia saindo aos quais, um passa pela parte elétrica da válvula hidráulica, enquanto outro vai direto para a tomada de 127V.
4. Módulo de reconhecimento de voz: Para seu funcionamento dois cabos, 5V e GND, também são conectados ao Arduino. Além deles, as saídas RX e TX do módulo são conectadas respectivamente nos pinos digitais dois e três do Arduino para realizar a comunicação serial entre os dispositivos. Um microfone é conectado no módulo com sua maior parte externa a caixa, ele será responsável pela captura da voz.

O diagrama da figura 32 mostra de forma mais clara como foram feitas as ligações citadas logo acima.

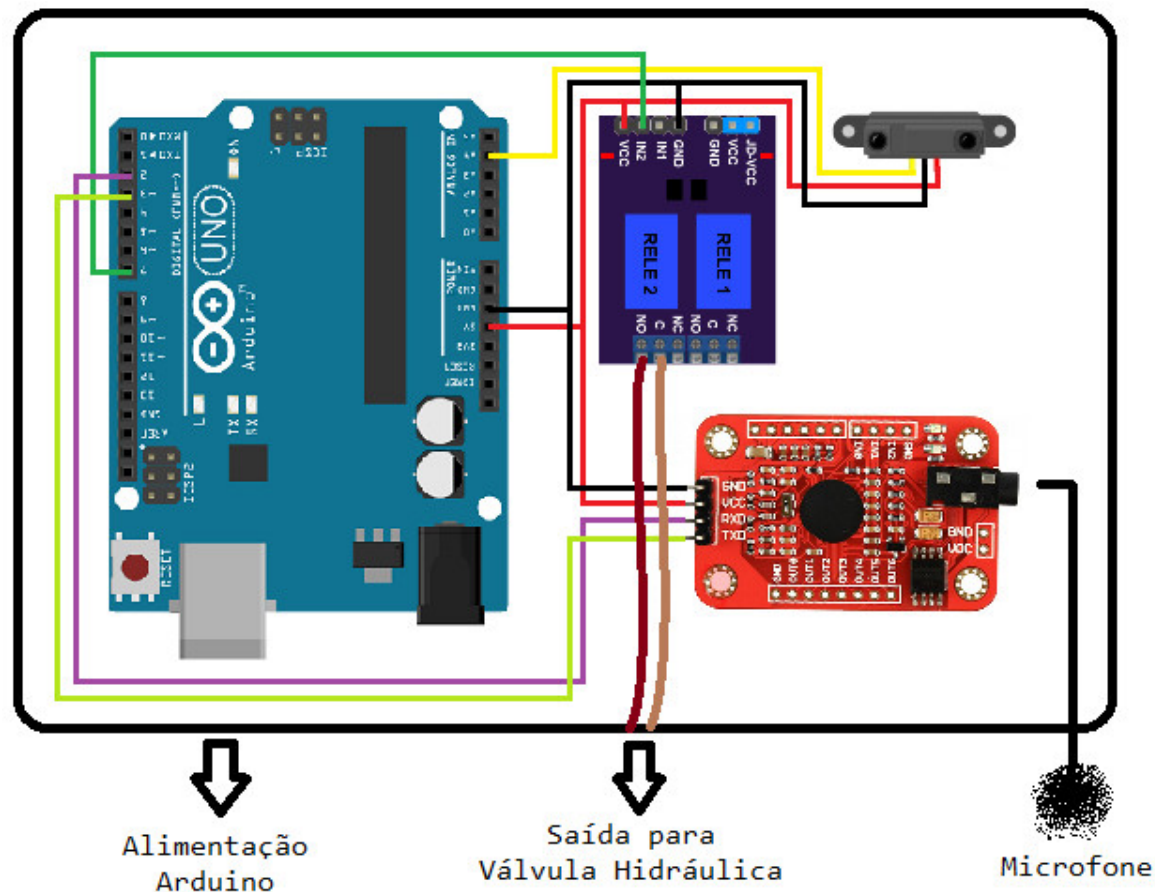


Figura 32 – Diagrama de conexões do protótipo.

5.2.3 Instalação

Essa parte exige um pouco de cuidado, pois irá manipular a parte hidráulica e elétrica do local de instalação, como uma pia de banheiro ou de cozinha, por isso na falta de conhecimentos sobre os riscos dessas instalações é aconselhável que seja feito com a supervisão de uma pessoa conhecedora.

Este projeto foi escolhido ser instalado na pia do banheiro, por ser um lugar bem propício para a economia de água por maus hábitos. Assim, foi realizada uma higienização da pia do banheiro, retirando todos os objetos de cima. Em seguida, com um pano seco foi retirado a umidade remanescente sobre a superfície. Com o ambiente preparado, iniciou-se a instalação pela primeira etapa, a parte hidráulica, em seguida o protótipo foi devidamente instalado ao lado da torneira e a segunda etapa foi realizada, a parte elétrica. Ambos os processos estão devidamente detalhados a seguir.

5.2.3.1 Hidráulica

Nessa etapa foi feito a colocação da válvula solenoide entre o encanamento fornecedor de água e a mangueira de alimentação da torneira. Nesta etapa foi necessário que o

fornecimento de água para a torneira fosse fechado, evitando assim um vazamento de água. Primeiro, com as mãos, foi desanexado a mangueira do conector hidráulico presente, a remoção foi simples e fácil, em seguida, com a ajuda de uma chave de boca o conector foi removido do encanamento, liberando um pouco de água remanescente. Nesse momento foi anexado a válvula hidráulica ao encanamento sem a utilização de fita veda rosca, pois ela impede o enroscamento completo da válvula. Por fim, a mangueira era enroscada na válvula solenoide fechando o circuito hidráulico.

Um detalhe importante, ao qual foi observado, é uma seta presente na parte inferior da válvula hidráulica que indica o sentido do fluxo de água. Caso essa seta fique na posição contrária a válvula não vai funcionar, pois ela é unidirecional, ou seja, em pleno funcionamento libera um fluxo de água em um único sentido, o fluxo em contra sentido é barrado.

5.2.3.2 Elétrica

Com o dispositivo devidamente posicionado ao lado esquerdo da torneira, dois fios de energia foram utilizados: um fio da distância da tomada até o relé da caixa e outro do relé até um dos pinos da válvula solenoide. Na entrada de referência do relé foi parafusado o fio que vinha da tomada, enquanto na entrada normalmente aberta foi parafusado o fio que vai para a válvula.

A escolha da entrada normalmente aberta não foi arbitrária, esta escolha serve de precaução a mau funcionamento, pois se algum problema ocorrer no dispositivo e o relé não for mais energizado o circuito de alimentação da válvula ficará aberto, e se fechará somente em caso de funcionamento pleno, reforçando um funcionamento precavido de gastos de água em mau funcionamento.

Por fim para finalizar o circuito elétrico, leva-se o terceiro fio diretamente da tomada até o outro pino da válvula. Para efeitos de segurança os fios foram analisados se não possuíam fissuras e os terminais da válvula foram devidamente isolados por fita isolante, para em caso de vazamento de água um curto-circuito não ocorra. Para uma instalação mais elegante um plug macho foi utilizado nas duas pontas perto da tomada, tornando a energização do circuito mais fácil e segura.

A seguir, na figura 33, pode-se visualizar a instalação do dispositivo em uma pia de banheiro. As fotos estão ordenadas de cima para baixo e da esquerda para direita, com uma foto grande mostrando o interior da caixa, ao qual foi devidamente explicado na subseção anterior deste capítulo.

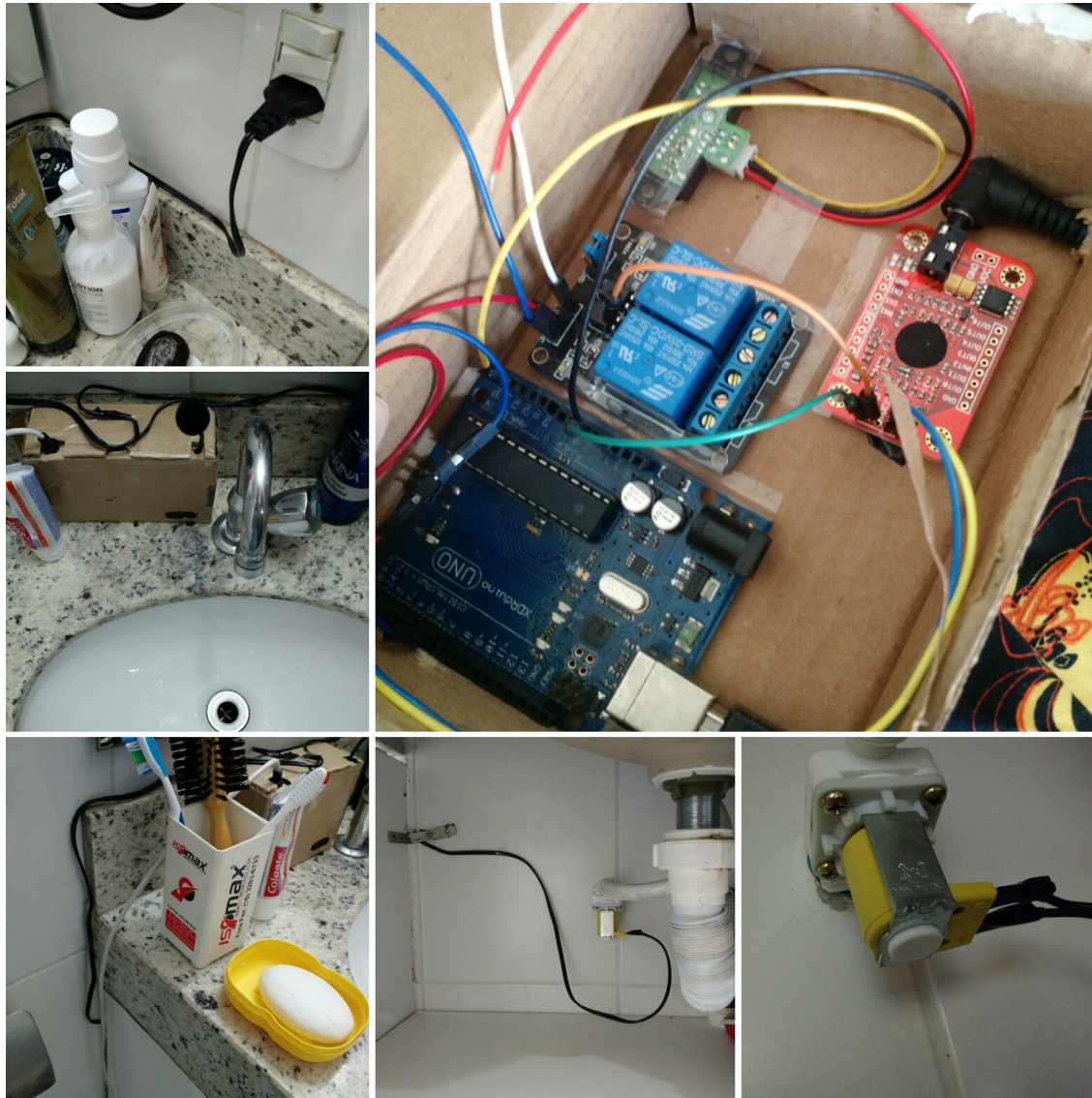


Figura 33 – Fotos que demonstram a instalação do projeto em uma pia de banheiro residencial.

5.3 Teste

Após realizar a instalação completa do projeto, vem a parte de validar os múltiplos conceitos aos quais foram abordados durante todo esse documento, para isso foi feito um planejamento de teste subdividido em três etapas:

- Etapa 1: Teste funcional - Avaliar todas as funcionalidades técnicas do dispositivo, como tempo de resposta, por exemplo.
- Etapa 2: Teste prático - Avaliar com práticas reais a usabilidade do dispositivo.
- Etapa 3: Teste de aceitação - Avaliar a reação de usuários perante o funcionamento

do dispositivo.

5.3.1 Etapa 1: Teste Funcional

Nesta etapa foi realizado os testes de funcionamento, ou seja, se o dispositivo estava acionando como deveria, dentro o tempo necessário para sua ativação e se sua ativação estava ocorrendo de forma fácil e sem problemas. Para validar, casos de teste foram realizados com o projeto completamente instalado e em pleno funcionamento, ou seja, os comandos "Abre, *Ouvre* e *Open*" foram treinados para acionar o fluxo d'água e os comandos "Fecha, *Ferme*¹ e *Close*²" para fechar o fluxo e todos treinados utilizando uma voz masculina e uma feminina. Assim, segue os casos de teste:

1. Pronunciar o comando "Abre": O fluxo de água foi liberado.
2. Pronunciar o comando "Fecha": O fluxo de água foi cortado.
3. Com o fluxo aberto, distanciar da pia: O fluxo é cortado após 3 segundos como programado no código.
4. Conversar perto do dispositivo: Nenhum acionamento foi feito.
5. Pronunciar um comando do dispositivo com um tom de voz não treinado: Nenhum acionamento foi feito.
6. Reproduzir um comando por um gravador: O respectivo acionamento ocorreu.
7. Executar um comando em língua estrangeira treinada: O respectivo acionamento ocorreu.
8. Executar um comando em língua estrangeira não treinada: Nenhum acionamento foi feito.
9. Desligar completamente o dispositivo, religar e executar todos os casos anteriores: Todos os casos tiveram os seus respectivos resultados como anteriormente.
10. Realizar um comando com um barulho intenso do lado: Nenhum acionamento foi feito.

O caso de teste um, dois e três, foram feitos para verificar o funcionamento básico e esperado do dispositivo, como todos ocorreram como o esperado, foi confirmado o funcionamento do dispositivo dentro o mínimo esperado. O caso de teste quatro foi feito para avaliar acionamentos acidentais ao conversar perto do dispositivo e como nada ocorreu,

¹ Os comando *Ouvre* e *Ferme* são, respectivamente, abrir e fechar em francês.

² Os comandos *Open* e *Close* são, respectivamente, abrir e fechar em inglês.

têm-se que o acionamento só ocorre de forma intencional, o que evita o desperdício de água por acionamentos acidentais.

O caso de teste cinco e seis foram feitos para avaliar se existia limitações do módulo de reconhecimento de voz, como reconhecer tons não treinados e tons gravados. O primeiro demonstrou que o módulo não reconhece tons não treinados o que pode dificultar sua generalização na hora de reconhecer vozes, enquanto isso, o segundo já demonstrou que vozes gravadas podem ser reconhecidas e como vozes gravadas são vozes reconstruídas, possuem perdas com relação à voz original, demonstra que o sistema possui uma certa tolerância no seu reconhecimento o que permite que pequenas variações não afetem seu desempenho.

Os casos de teste sete e oito avaliam se caso um estrangeiro venha a utilizar o dispositivo. Como resultado o reconhecimento foi normal, dentro o esperado, ou seja, não existe restrição fonética no seu reconhecimento, o que permite uma internacionalização do projeto.

O caso de teste nove foi realizado para caso tenha uma perda energética, o dispositivo voltaria a funcionar plenamente com a volta da energia? Como resultado a perda energética não afetou seu desempenho e ele retornou ao pleno funcionamento com a volta da energia.

Por fim, no caso de teste dez foi realizado um teste de robusteza do módulo de reconhecimento de voz. Entretanto percebeu-se que o módulo possui suas limitações, assim como o ser humano, e após uma certa quantidade de ruído no ambiente ele perde seu poder de reconhecimento e não escuta os comandos repassados por voz.

Assim, terminou os testes funcionais, na próxima etapa iniciaram os testes práticos.

5.3.2 Etapa 2: Teste Prático

Essa etapa de teste valida o desempenho do dispositivo no dia a dia, avaliando o seu funcionamento constantemente durante um período de um fim de semana. O local de instalação foi em um banheiro residencial compartilhado por dois estudantes da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), um cursando Engenharia de Computação e o outro Administração e ambos trabalham no turno da manhã e da tarde. A seguir uma descrição sobre as utilizações no sábado e no domingo:

Sábado: No turno da manhã, atividades de higienes pessoais foram feitas, dentre elas escovar os dentes, lavar o rosto e pentear o cabelo. O estudante de administração utilizou o banheiro normalmente sem relatar nenhum problema de funcionamento do dispositivo, enquanto isso o estudante de engenharia relatou uma observação, enquanto ele escovava os dentes ele costumava manter a torneira aberta escoando água, mas devido ao dispositivo ela não permaneceu aberta evitando o gasto desnecessário de água pelo estudante. No

turno da tarde, a movimentação foi pouca com idas para o banheiro como casual aos quais geraram uso da pia somente para a higiene das mãos. Finalmente, no turno da noite foi um pouco mais agitado, com o estudante de administração se arrumando para sair, nesse momento ele relatou uma vantagem e uma desvantagem do dispositivo. A vantagem foi ao fazer a barba, neste momento ele pode concentrar ambas as mãos em realizar o ato de se barbear, sem ter que ficar abrindo e fechando a torneira usando uma das mão, bastava utilizar os comandos de acionamento pela voz, o que gerou um conforto maior para o ato. A desvantagem, segundo o aluno, foi o cuidado que teve para não derramar água no dispositivo, o que no final acabou evitando um desperdício de água.

Domingo: No turno da manhã, ambos utilizaram o banheiro da mesma forma que no sábado, sem nenhum relato de problemas ou observações. No turno da tarde ocorreu tudo de forma tranquila, até que uma outra estudante, do curso de Letras em Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) da UFU, foi visitar o estudante de engenharia e ela relatou ter dificuldade em usar o dispositivo, pois sua voz não era bem reconhecida, nesse momento a voz dela foi treinada e o dispositivo não apresentou mais problemas em reconhecimento, entretanto essa situação demonstrou de forma clara suas limitações em generalizar o comando. No turno da noite, ambos os estudantes usaram a pia para higiene pessoal e não relataram nenhum problema.

5.3.3 Etapa 3: Teste de Aceitação

Nesse último teste foi feito uma gravação do dispositivo funcionando e mostrado para três pessoas que não sabiam do que se tratava o vídeo antes de vê-lo. O intuito é analisar a primeira impressão e perguntar se a pessoa interessaria ou não por ter um dispositivo desse na sua residência. As três pessoas escolhidas são de ambientes diferentes e não se conhecem, o motivo disso é evitar que uma possa de alguma forma comentar para a outra ocorrido reservando assim o fator surpresa da primeira vez. Dentre os escolhidos têm-se um estudante de enfermagem, um estudante de sistemas da informação e um estudante de arquitetura. A seguir o relato dado por cada um ao ver o vídeo e a resposta dada por eles quando foi feita a seguinte pergunta, "Você gostaria de ter um dispositivo assim no seu banheiro?":

Estudante de Enfermagem: Após ver o vídeo ele fez o seguinte comentário: "*Uau, como a torneira foi aberta? Foi utilizado a voz? Que prático!*", em seguida foi feita a pergunta e ele respondeu: "*Com certeza, achei muito moderno.*"

Estudante de Sistemas da Informação: Após ver o vídeo ele questionou: "*Como você desenvolveu essa tecnologia, já é possível usar a voz assim?*", após uma explicação

sobre o projeto foi feita a pergunta e ele respondeu: *"Essa versão me parece um protótipo, mas uma versão final adoraria!"*

Estudante de Arquitetura: Após ver o vídeo ele não acreditou e perguntou: *"Como que foi feito este efeito especial?"*, após descrever sobre o projeto a pergunta foi feita e ele respondeu: *"Muito maneiro, com certeza colocaria, um luxo tecnológico isso!"*

Analisando as primeiras impressões, percebe-se que há um certo espanto como o que ocorre, demonstrando que o ato de acionar algo pela voz, principalmente para quem não é da área de projetos e desenvolvimentos tecnológicos, é algo muito fora do comum, todavia as respostas das perguntas mostraram uma aceitação boa da ideia aqui proposta.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando os resultados obtidos durante os testes, observa-se que a técnica de unir o reconhecimento de presença e o comando por voz venham a ser úteis para evitar o mal uso de equipamentos hidráulicos. Isso foi observado pelo estudante de engenharia ao realizar os testes práticos, mostrando como a mudança comportamental pode ser alcançada utilizando novas tecnologias.

Além disso, o Brasil com seu grande acesso hídrico gerou práticas cômodas e hábitos com grande consumo de água, como mencionou MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2017 ao explicar do grande consumo de água em pias na seção 1 na página 22. Entretanto o dispositivo demonstrou fornecer o conforto necessário para que o usuário não desperdice mais água, tornando as duas mãos livres para realizar o ato de higienização enquanto o dispositivo controla o fluxo de água utilizando a voz do usuário.

Contudo, por se tratar de um protótipo, ele apresentou algumas limitações que o impeça de ser aplicado em certos lugares, como banheiros públicos. O motivo disso vem na complexidade do módulo de reconhecimento, que possui uma certa robustez na coleta de informação, mas continua limitado pelos ruídos aos quais são explicados na seção 4.4 na página 52, ou seja, quando se é utilizado em um momento muito ruidoso ele não responde aos comandos, o que é um desafio até hoje no processo de reconhecimento de voz [Mello e Nishiyama 2011].

Finalmente, observa-se como o dispositivo demonstrou eficaz diante de sua simplicidade. Mesmo se tratando de um simples protótipo, ele conseguiu unir duas ideias com um certo grau de complexidade e executá-las de forma fluída, gerando não só uma aceitação razoável dos usuários, como também uma mudança comportamental necessária de forma confortável. O ato de economizar água vem sendo tratado ao um bom tempo na sociedade, entretanto se trata de um assunto complexo de executar, já que as mudanças de hábitos ao se utilizar a água geraria um desconforto que muitos não estão dispostos a sentir [MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA 2017]. Todavia, os usuários que utilizaram o protótipo se sujeitaram as boas práticas de economia de água, pois o dispositivo força uma mudança para hábitos econômicos, mas em troca ele fornece uma nova forma futurística e confortável de se usar uma torneira, abrindo-a pela voz.

7 CONCLUSÃO

A economia de água é um problema que precisa ser solucionado o quanto antes, e a prática do desperdício é um dos principais vilões a serem combatidos. Como o desperdício se trata, em sua maior parte em maus hábitos e práticas, utilizar a tecnologia para incentivar a realização de boas atitudes econômicas seria uma forma astuta de solucionar.

Com o avanço tecnológico tornou-se possível utilizar, sensor de presença, reconhecimento de voz e energia elétrica para gerar um acionamento inteligente, econômico e confortável de simples adaptação. Por isso, a produção de um dispositivo que integrasse isso tudo foi a chave demonstrada para coibir o gasto desnecessário de água.

Através dos resultados obtidos, ficou claro que a mudança comportamental não ocorrerá de forma fácil. Entretanto, o incentivo feito pelo dispositivo foi o suficiente para ceder os usuários as boas práticas, as vezes sem ele nem perceber, por isso o incentivo em utilizar tecnologia para gerar economia de água é um ótimo passo para solucionar essa problemática hídrica.

Logo, buscar novas formas de acionar sistemas hidráulicos com diferentes combinações de dispositivos possa ser algo muito promissor. Além disso, aperfeiçoar a estrutura de reconhecimento de voz também é uma ótima opção de pesquisa, pois dessa forma desenvolvendo um dispositivo com reconhecimento mais sofisticado que possa ser usado até em banheiros públicos é um passo para um produto refinado, elegante e comercializável.

REFERÊNCIAS

CUADROS, C. D. et al. Comparação entre as técnicas de mfcc e zcpa para reconhecimento robusto de locutor em ambientes ruidosos. *Rio de Janeiro, RJ*, 2007. Citado na página 60.

CUADROS, C. D. R.; FERREIRA, E. L. C. O. Reconhecimento de voz e de locutor em ambientes ruidosos: comparação das técnicas mfcc e zcpa. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Telecomunicações, 2007. Citado 6 vezes nas páginas 47, 48, 52, 58, 59 e 61.

DAVIS, K.; BIDDULPH, R.; BALASHEK, S. Automatic recognition of spoken digits. *The Journal of the Acoustical Society of America*, ASA, v. 24, n. 6, p. 637–642, 1952. Citado na página 59.

FOLMER-JOHNSON, T. N. Oscilações, ondas, acústica. *São Paulo: Nobel*, 1968. Citado na página 49.

FRADEN, J. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. 5. ed. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 41.

FURUI, S. *Digital speech processing: synthesis, and recognition*. [S.l.]: CRC Press, 2000. Citado na página 49.

GHITZA, O. Auditory models and human performance in tasks related to speech coding and speech recognition. *IEEE Transactions on speech and audio processing*, IEEE, v. 2, n. 1, p. 115–132, 1994. Citado na página 60.

HANNIFIN, P. *Tecnologia Hidráulica Industrial*. Jacareí, São Paulo, 1999. Apostila M2001-1 BR. Citado 7 vezes nas páginas 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32.

IMEDIATO VÁLVULAS E CONEXÕES. Uma breve história das válvulas. 2016. Disponível em: <<http://www.imediatovalvulas.com.br/uma-breve-historia-das-valvulas/>>. Citado na página 25.

JR, J. R. D.; PROAKIS, J. G.; HANSEN, J. H. *Discrete time processing of speech signals*. [S.l.]: Prentice Hall PTR, 1993. Citado 3 vezes nas páginas 53, 54 e 60.

KAETSU, C. Y. T. e D. Y. Histórico das redes neurais artificiais. 2017. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/ia/neurais/#historico>>. Citado na página 62.

KIM, D.-S. et al. Feature extraction based on zero-crossings with peak amplitudes for robust speech recognition in noisy environments. In: IEEE. *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1996. ICASSP-96. Conference Proceedings., 1996 IEEE International Conference on*. [S.l.], 1996. v. 1, p. 61–64. Citado na página 60.

KOENIG, W.; DUNN, H.; LACY, L. The sound spectrograph. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Asa, v. 18, n. 1, p. 19–49, 1946. Citado na página 47.

LIMA, A. P. de A. B. *Psicologia I*. Recife, 2007. Citado na página 51.

LUFT, J. A. *Reconhecimento Automático de Voz para Palavras Isoladas e Independente de Locutor*. Tese (Doutorado) — Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Escola de Engenharia, 1991. Citado na página 50.

MASKREY, R.; THAYER, W. A brief history of electrohydraulic servomechanisms. *Moog Technical Bulletin*, v. 141, 1978. Citado na página 25.

MAZZAROPPI, M. Sensores de movimento e presença. *Monografia para obtenção de grau em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio, Escola Politécnica, Rio de Janeiro*, 2007. Citado 5 vezes nas páginas 37, 38, 39, 43 e 44.

MELLO, A. U. M. d.; NISHIYAMA, C. N. Reconhecimento de fonemas utilizando redes neurais pulsadas. 2011. Citado 4 vezes nas páginas 55, 61, 63 e 75.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Água: Um recurso cada vez mais ameaçado. p. 26–29, 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/3%20-%20mcs_agua.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 75.

OMEGA OLEO HIDRAULICA. Tudo sobre válvulas hidráulicas. 2016. Disponível em: <<http://www.omegaoleohidraulica.com.br/tudo-sobre-valvulas-hidraulicas>>. Citado na página 25.

OPPENHEIM, A. V. *Discrete-time signal processing*. [S.l.]: Pearson Education India, 1999. Citado na página 53.

RABINER, L. R.; GOLD, B. Theory and application of digital signal processing. *Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc., 1975. 777 p.*, 1975. Citado na página 49.

RABINER, L. R.; JUANG, B.-H. Fundamentals of speech recognition. PTR Prentice Hall, 1993. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 54.

REBOUÇAS, A. d. C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. *Bahia análise & dados*, v. 13, p. 341–345, 2003. Citado na página 21.

REYNOLDS, D. A. Speaker identification and verification using gaussian mixture speaker models. *Speech communication*, Elsevier, v. 17, n. 1, p. 91–108, 1995. Citado na página 57.

SILVA, A. G. d. Reconhecimento de voz para palavras isoladas. *Universidade Federal de Pernambuco*, 2009. Citado na página 56.

SILVA, A. P. Modelos ocultos de Markov. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 55 e 56.

SILVEIRA, G. C. L. C. B. Sensor indutivo: O que é e como funciona. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensor-indutivo/>>. Citado na página 38.

STEVENS, S. S.; VOLKMANN, J. The relation of pitch to frequency: A revised scale. *The American Journal of Psychology*, JSTOR, v. 53, n. 3, p. 329–353, 1940. Citado na página 59.

TAVARES, D. M. Redes neurais. *Campinas: Instituto de Computação da Unicamp*, 2001. Citado na página 61.

VALIATI, J. F. Reconhecimento de voz para comandos de direcionamento por meio de redes neurais. 2000. Citado 6 vezes nas páginas 49, 50, 51, 52, 63 e 64.

WENDLING, M. *Sensores*. Guaratinguetá, São Paulo, 2010. Versão 2.0. Citado na página [35](#).