



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UniCEUB**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**VICTOR FURTADO DA SILVA**

**SENSOR CAPACITIVO MICROCONTROLADO**

**Orientador: Professora MC Maria Marony Sousa Farias**

Brasília  
Junho, 2013

**VICTOR FURTADO DA SILVA**

**SENSOR CAPACITIVO MICROCONTROLADO**

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação.

Orientador: Professora MC Maria  
Marony Sousa Farias

Brasília  
Junho, 2013

**VICTOR FURTADO DA SILVA**

**SENSOR CAPACITIVO MICROCONTROLADO**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília  
(UniCEUB) como pré-requisito  
para a obtenção de Certificado de  
Conclusão de Curso de Engenharia  
de Computação.

Orientador: Professora MC Maria  
Marony Sousa Farias

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação,  
e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas -  
FATECS.

---

Prof. Abiezer Amarília Fernandes  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup> Maria Marony Sousa Farias, mestre em Engenharia Elétrica – UFPB – PB.  
Orientador

---

Prof. Flávio Antonio Klein, mestre em Estatística e Métodos Quantitativos – UNB – DF.  
UniCEUB

---

Prof. Luciano Henrique Duque, mestre em Engenharia Elétrica.  
UniCEUB

---

Prof<sup>a</sup> Layany Zambrano H. Damázio, meste em Engenharia Elétrica – UNB – DF.  
UniCEUB

*Dedico este trabalho a minha  
família, meus amigos e a todos que de  
alguma forma torcem pelo meu sucesso.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus.

Agradeço a minha esposa Grazielly e aos meus filhos, Maria Clara e Gabriel por estarem ao meu lado em todas as alegrias e dificuldades em que passei.

Um agradecimento especial a minha família. A minha mãe Vitória, ao meu pai Renato, minhas tias Marlene e Rosário e ao meu tio Carlos, por me incentivarem sempre em todas as decisões da minha vida, e dedicarem sua vida a minha criação e educação.

Agradeço aos meus amigos que torcem por mim, em especial ao Felipe Souto por me incentivar e ajudar na realização do projeto.

Agradeço a minha orientadora Maria Marony pelo seu apoio e ensinamento ao longo do curso.

Agradeço aos meus amigos de turma, principalmente aos amigos que cursaram comigo meus últimos semestres.

Agradeço a todos os professores que se dedicaram em passar seu conhecimento.

E por fim a todas as pessoas que de alguma maneira me ajudaram durante essa etapa da minha vida.

*“Sim, você poderia ser o maior  
 Você pode ser o melhor  
 Você pode ser o King Kong batendo no seu peito*

*Você pode vencer o mundo  
 Você pode vencer a guerra  
 Você pode conversar com Deus, ir bater à sua porta*

*Você pode jogar suas mãos para cima  
 Você pode bater o relógio  
 Você pode mover uma montanha  
 Você pode quebrar rochas  
 Você pode ser um mestre  
 Não espere pela sorte  
 Dedique-se e você se encontrará*

*Estando no hall da fama  
 E o mundo conhecerá o seu nome  
 Porque você brilha com a chama mais viva  
 E o mundo conhecerá o seu nome  
 E você estará nas paredes do hall da fama*

*Você poderia completar o desafio  
 Você poderia dar tudo de si  
 Você poderia andar pelo inferno com um sorriso*

*Você poderia ser o herói  
 Você poderia conseguir o ouro  
 Quebrando todos os recordes  
 Que eles pensaram que nunca poderiam ser quebrados*

*Faça-o pelo povo  
 Faça-o pelo seu orgulho  
 Você nunca saberá se nem ao menos tentar*

*Faça-o pelo seu país  
 Faça-o pelo seu nome  
 Porque haverá um dia*

*Estando no hall da fama  
 E o mundo conhecerá o seu nome  
 Porque você brilha com a chama mais viva  
 E o mundo conhecerá o seu nome  
 E você estará nas paredes do hall da fama*

*Seja um campeão  
 Nas paredes do hall da fama*

*Sejam estudantes  
 Sejam professores  
 Sejam políticos  
 Sejam pregadores*

*Sejam crentes  
 Sejam líderes  
 Sejam astronautas  
 Sejam campeões  
 Sejam aqueles que buscam a verdade”*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE QUADROS .....	X
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	XI
RESUMO .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	11
1.1 – Apresentação do Problema .....	11
1.2 – Motivação .....	11
1.3 – Objetivos .....	12
1.4 – Metodologias .....	12
1.5 – Escopo do Trabalho .....	12
1.6 – Resultados Esperados .....	13
1.7 – Estrutura do Trabalho .....	13
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
2.1 – Microcontroladores .....	14
2.1.1 – Microchip PIC16F628A .....	14
2.1.2 – Pinos do PIC16F628A .....	16
2.1.3 – Kit de Gravação PICkit2 .....	18
2.1.3.1 – Hardware .....	18
2.1.3.2 – Software .....	19
2.1.4 – IDE CCS C Compiler .....	20
2.2 – Sensores Capacitivos .....	21
2.2.1 – Funcionamento do sensor capacitivo .....	21
2.2.2 – Aplicabilidade de um sensor capacitivo .....	23
2.3 – Linguagens de Programação .....	23
CAPÍTULO 3 – IMPLEMENTAÇÃO .....	24
3.1 – Descrição da Implementação .....	24
3.2 – Descrições do hardware utilizado .....	24
3.3 – Topologia .....	25
3.4.1 – Proteus® .....	26

3.4.2.1 – Elaboração do Sensor Capacitivo.....	27
3.4.2.4 – Alimentação dos Circuitos .....	30
3.4.2.2 – Montagem do Circuito Microcontrolado.....	31
3.4.2.3 – Montagem do Circuito de Relés.....	35
3.5 – Softwares .....	38
3.5.1 – <i>Firmwares</i> dos Microcontroladores .....	39
CAPÍTULO 4 – TESTE E RESULTADOS .....	41
4.1 – Testes .....	41
4.2 – Simulação do Protótipo.....	43
4.3 – Dificuldades .....	44
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
5.1 - Conclusões.....	45
5.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros .....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama de Blocos do PIC16F628A. ....	16
Figura 2.2 - PIC16F628A.....	17
Figura 2.3 - Gravador PICKit2.....	18
Figura 2.4 - PICKit2 Programmer. ....	19
Figura 2.5 - Um compilador. ....	20
Figura 2.6 - CCS C Compiler. ....	21
Figura 2.7 - Descrição de funcionamento do sensor capacitivo.....	22
Figura 2.8 - Gráfico da capacitância do sensor capacitivo.....	23
Figura 3.1 - Topologia do projeto.....	25
Figura 3.2 - Fluxograma do projeto.....	26
Figura 3.3 - Simulação dos circuitos no Proteus®. ....	27
Figura 3.4 - <i>Layout</i> do sensor capacitivo.....	28
Figura 3.5 - Sensor capacitivo transferido para a placa de fenolite.....	28
Figura 3.6 - Processo de corrosão do sensor capacitivo.....	29
Figura 3.7 - Retirada de resíduos do sensor capacitivo. ....	29
Figura 3.8 - Sensor capacitivo. ....	30
Figura 3.9 - Ligação do regulador de tensão. ....	31
Figura 3.10 - PIC16F628A. ....	31
Figura 3.11 - Circuito do microcontrolador no <i>protoboard</i> . ....	33
Figura 3.12 - <i>Layout</i> do circuito do microcontrolador. ....	34
Figura 3.13 - <i>Layout</i> do circuito do microcontrolador. ....	35
Figura 3.14 - Simulação do circuito de relés.....	36
Figura 3.15 - <i>Layout</i> do circuito de relés.....	36
Figura 3.16 - Placa do circuito de relés ligada à régua.....	37
Figura 3.17 - Circuito de relés final.....	38
Figura 3.18 - Fluxograma.....	39
Figura 4.1 - Gráfico do sensor sendo acionado várias vezes.....	42
Figura 4.2 - Gráfico de carga e descarga do sensor.....	43
Figura 4.3 - Primeiro layout do sensor capacitivo.....	43
Figura 4.4 - Fórmula para o cálculo da capacitância.....	44

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 – Funções e descrições dos pinos do PIC16F628A.....	17
--	----

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>μF</b>	Micro-Farad, unidade de capacitância
<b>A</b>	Ampere, unidade de carga elétrica
<b>CCP</b>	Compare, Capture e PWM
<b>EEPROM</b>	Erasable Electronically Programmable Read Only Memory
<b>GLP</b>	Gás Liquefeito de Petróleo
<b>HEX</b>	Hexadecimal
<b>I/O</b>	Entrada e saída
<b>ICSP</b>	In Circuit Serial Programming
<b>IDE</b>	Integrated Development Environment
<b>kHz</b>	Kilohertz, unidade de frequência
<b>LED</b>	Diodo Emissor de Luz
<b>MCU</b>	Microcontrolador
<b>MHz</b>	Megahertz, unidade de frequência
<b>MΩ</b>	Megaohm, unidade de resistência
<b>PCB</b>	Placa de Circuito Impressa
<b>PDIT</b>	Plastic Dual In Line Package
<b>PIC</b>	Programmable Interface Controller
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>RISC</b>	Reduced Instruction Set Computer
<b>RS-232</b>	Recommended Set Computer
<b>TTL</b>	Transistor-Transistor Logic
<b>UCP</b>	Unidade Central de Processamento
<b>ULA</b>	Unidade Lógica Aritmética
<b>USART</b>	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>V</b>	Volts
<b>VDC</b>	Voltage Direct Current
<b>Ω</b>	Ohm, unidade de resistência.

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado um protótipo que visa a substituição e modernização dos interruptores residenciais. O projeto integra sensores capacitivos sensíveis ao toque, que poderão ser acionados com alguns materiais condutores ou não como: plástico, papel, pano e outros materiais que possam fazer do sensor um protótipo com design mais sofisticado. Também integra o projeto um circuito composto por componentes ligados ao microcontrolador PIC16F628A programado em linguagem C para executar as rotinas propostas no trabalho, que são de acionar um ventilador e um abajur pelo simples toque do dedo no sensor. Outro circuito que faz parte do projeto é um circuito de relés que foi integrado a uma régua de energia para que fosse possível acionar quaisquer equipamentos elétricos que fosse conveniente ao projeto. A ideia principal do projeto é a criação do sensor capacitivo para que ele possa ter um design mais interessante que os interruptores residenciais antigos e possa trazer algo mais seguro para a utilização de crianças.

**Palavras Chave:** Sensor capacitivo, microcontrolador PIC16F628A.

## ABSTRACT

We present a prototype that aims to replace and modernize the residential switches. The project integrates capacitive touch sensors, which can be triggered with some conductive material or not as plastic, paper, cloth and other materials that can make a prototype sensor with more sophisticated design. Also integrates design a circuit composed of components connected to the PIC16F628A microcontroller programmed in C language routines to perform the proposed work, which are to trigger a fan and a lamp by the simple touch of the finger on the sensor. Another circuit that is part of the project is a circuit relay which was integrated into a power strip so that it was possible to run any electrical equipment that is convenient to the project. The main idea of the project is the creation of the capacitive sensor so that it can have a more interesting design than the old residential switches and can bring something safer for children to use.

Keywords: Capacitive sensor, microcontroller PIC16F628A.

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

### **1.1 – Apresentação do Problema**

Conforto e segurança são objetivos perseguidos pelo homem moderno. Novas tecnologias disponíveis no mercado permitem que a qualidade de vida atinja altos níveis de satisfação, a um preço satisfatório e comedido.

O mundo capitalista motiva à busca de novas experiências e bem-estar material fundamenta-se no desejo de tornar a vida mais próxima do ideal de prazer, contentamento e plenitude sócio econômica.

Neste projeto é proposto a modernização dos interruptores de luz e ventiladores, substituindo-os por sensores sensíveis ao toque, equipamentos com baixo custo e com uma melhor aparência que são padrões exigidos em mundo moderno.

A ideia de construir um sensor capacitivo capaz de acionar vários equipamentos elétricos ou eletrônicos tem base na crescente evolução tecnológica do mundo nos dias de hoje. Temos vários exemplos de como o aderimos a essa modernidade: hoje, são fabricados celulares com telas capacitivas sensíveis ao toque, teclados que não possuem mais teclas e que utilizam sensores capacitivos para detectar o comando acionado, e são inúmeros exemplos que mostra como o mundo está se modernizando. Com isso a ideia de construir esse tipo de interruptor veio a tona e será apresentado neste projeto.

### **1.2 – Motivação**

A motivação para realização deste projeto surgiu em dois momentos distintos: O primeiro foi pela curiosidade de ver como os equipamentos atuais usam telas capacitivas, temos celulares, tablets, notebooks, eletrodomésticos e outros aparelhos que usam o recurso. Já no segundo momento a ideia de fazer o interruptor que pudesse substituir os interruptores residenciais com um design mais sofisticado e gerar segurança, com a possibilidade de esconder o sensor evitando assim que crianças possam vir a causar algum tipo de acidente como: choque elétrico. A ideia foi criar um protótipo que pudesse utilizar a tecnologia para criação do sensor, melhorando o design em relação aos interruptores antigos e para que ele pudesse acionar equipamentos elétricos com apenas o toque do dedo.

### **1.3 – Objetivos**

O projeto possui o objetivo de desenvolver um sensor capacitivo que com o toque do dedo é capaz de acionar o funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos.

Os objetivos específicos são:

1. O desenvolvimento de um protótipo que simule um interruptor que pode acionar uma luz e um ventilador com um simples toque no sensor;
2. Desenvolver circuitos que são capazes de integrar o sensor com um microcontrolador e acionar a luz e o ventilador.

### **1.4 – Metodologias**

Para a realização da montagem do protótipo, foram utilizadas diversas fontes bibliográficas sendo as principais: livros, revistas, sites de internet, monografias e artigos científicos. Foram feitos também estudos e testes sobre componentes eletrônicos, linguagens de programação e softwares para a construção dos circuitos necessários na implementação.

Para atingir os objetivos propostos, utilizaram-se vários componentes eletrônicos. O principal para garantir o correto funcionamento do sistema foi o microcontrolador PIC 16F628A. Também foi utilizado alguns softwares como o Proteus®, ARES e o CCS C Compiler para simulação, criação de layouts e estruturação do código, respectivamente.

### **1.5 – Escopo do Trabalho**

O escopo do projeto consiste em disponibilizar um protótipo com um sensor capacitivo capaz de substituir os interruptores residenciais visando uma estética mais agradável. O sensor foi construído, montado e ligado a um circuito controlado por um microcontrolador da empresa Microchip, família PIC e modelo 16F628A, foram inseridas algumas rotinas com o uso da linguagem de programação C para que com a integração a um circuito de reles o sensor fosse capaz de ligar o equipamento escolhido.

## **1.6– Resultados Esperados**

Como resultado do desenvolvimento deste projeto é esperado um protótipo de um sensor capacitivo, capaz de aumentar sua capacitância quando tocado pelo dedo humano, podendo ser revestido por materiais condutores ou não condutores, como: papel, pano, plásticos, madeira, ferro e outros, não alterando as características de seu funcionamento, com o aumento da capacitância espera-se que o microcontrolador seja acionado e com isso execute as rotinas que foram programadas em linguagem C, após o microcontrolador ser acionado o circuito de relés que é integrado ao circuito do microcontrolador fará o acionamento dos equipamentos elétricos.

## **1.7 – Estrutura do Trabalho**

Esta monografia é dividida em cinco capítulos, incluindo a INTRODUÇÃO, que trata da introdução ao tema proposto, a motivação do projeto e os principais objetivos. E essa seção que descreve toda a estrutura da monografia.

No segundo capítulo, REFERENCIAL TEÓRICO, trata de assuntos como sensor capacitivo, microcontroladores, e as linguagens de programação utilizadas. Nesse capítulo é apresentada também uma visão geral do projeto.

No terceiro capítulo, IMPLEMENTAÇÃO, é apresentado o desenvolvimento do projeto, como a integração entre o sensor capacitivo e o circuito elaborado juntamente com o microcontrolador, desenvolvimento do código na linguagem C e outras informações.

No quarto capítulo, TESTES E RESULTADOS abordam toda a parte de teste do protótipo, ajustes de problemas encontrados e suas dificuldades.

No quinto capítulo, CONSIDERAÇÕES FINAIS, são apresentadas a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

Para o correto entendimento do desenvolvimento desse projeto é necessário o conhecimento do uso de algumas tecnologias. Neste capítulo são descritos os fundamentos teóricos e a descrição dos hardwares e softwares que viabilizaram a construção deste projeto. Foram enfatizados os principais itens que compõe esse projeto, são eles: microcontroladores, sensores capacitivos e linguagens de programação.

### **2.1 – Microcontroladores**

Microcontroladores são chips com circuitos integrados contendo em seu interior um processador, periféricos de entrada e saída e memória. Podem ser programados para funções específicas de controle. Através da programação dos microcontroladores, é possível controlar suas saídas tendo como referência as entradas ou um programa interno. A diferenciação entre os diversos microcontroladores basicamente são: quantidade de memória interna, velocidade de processamento, pinos de entrada/saída e arquitetura (Trevisan, 2001).

O microcontrolador escolhido para o desenvolvimento deste projeto foi o PIC16F628A por ser de prévio conhecimento do autor e possuir um amplo suporte disponível na comunidade *Web*.

#### **2.1.1 – Microchip PIC16F628A**

A Microchip Technology Inc.® é uma empresa americana de semicondutores e fabricante dos microcontroladores da família PIC. O modelo citado está disponível em uma ampla gama de modelos para melhor adaptar-se as exigências de projetos específicos, diferenciando-se pelo número de linha de I/O e pelo conteúdo do dispositivo. É iniciado com modelo pequeno identificado pela sigla PIC12Cxx dotado de 8 pinos, até chegar a modelos maiores com sigla PIC17Cxx dotados de 40 pinos, conforme Trevisan (2001). Uma descrição detalhada da tipologia do PIC é disponibilizada no site da fabricante Microchip ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)). No site também é possível encontrar informações técnicas e exemplos de aplicações.

O modelo utilizado no desenvolvimento deste projeto foi o PIC16F628A. Este modelo foi escolhido por já possuir uma arquitetura completa, sem a necessidade de utilizar componentes externos como um cristal oscilador. Segue suas especificações:

- Arquitetura de Harvard. Nessa arquitetura a Unidade Central de Processamento (UCP) é interligada à memória de dados e à memória de programa por barramento específico;
- 18 pinos sendo que 16 de I/O, configuráveis;
- Suporta osciladores de até 20MHz;
- Atua na faixa de 2V até 5.5V;
- 2 osciladores internos (4MHz e 48kHz);
- Tamanho do bus de programa de 14 bits;
- Tamanho do bus de dados de 8 bits;
- 35 instruções;
- 10 interrupções disponíveis, entre elas estão: timers, externa, mudança de estado, EEPROM, USART, CCP e comparador;
- Memória de programação FLASH com 2.048 palavras;
- Permite a gravação do programa diversas vezes no mesmo chip;
- Memória EEPROM, não-volátil, interna com 128 bytes;
- Módulo CCP (Capture, Compare e PWM);
- Um canal de comunicação serial USART;
- 224 posições de memória de dados com capacidade de armazenamento de 8 bits em cada posição;
- Tecnologia RISC.

De acordo com Zanco (2005, p.34), a Figura 2.1 “apresenta o diagrama em blocos da arquitetura interna do PIC 16F628A em que se destacam as memórias de programa, RAM e EEPROM, a ULA, contador de programa e os periféricos presentes no MCU.”

No diagrama também estão destacados 2 grupos, PORTA e PORTB, que são referentes aos pinos configuráveis de entrada e saída do microcontrolador. Cada um desses grupos possuem 8 pinos. Na PORTA estão associados os pinos denominados RA0, RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6 e RA7. Os pinos referentes a PORTB são denominados RB0, RB1, RB2, RB3, RB4, RB5, RB6 e RB7.

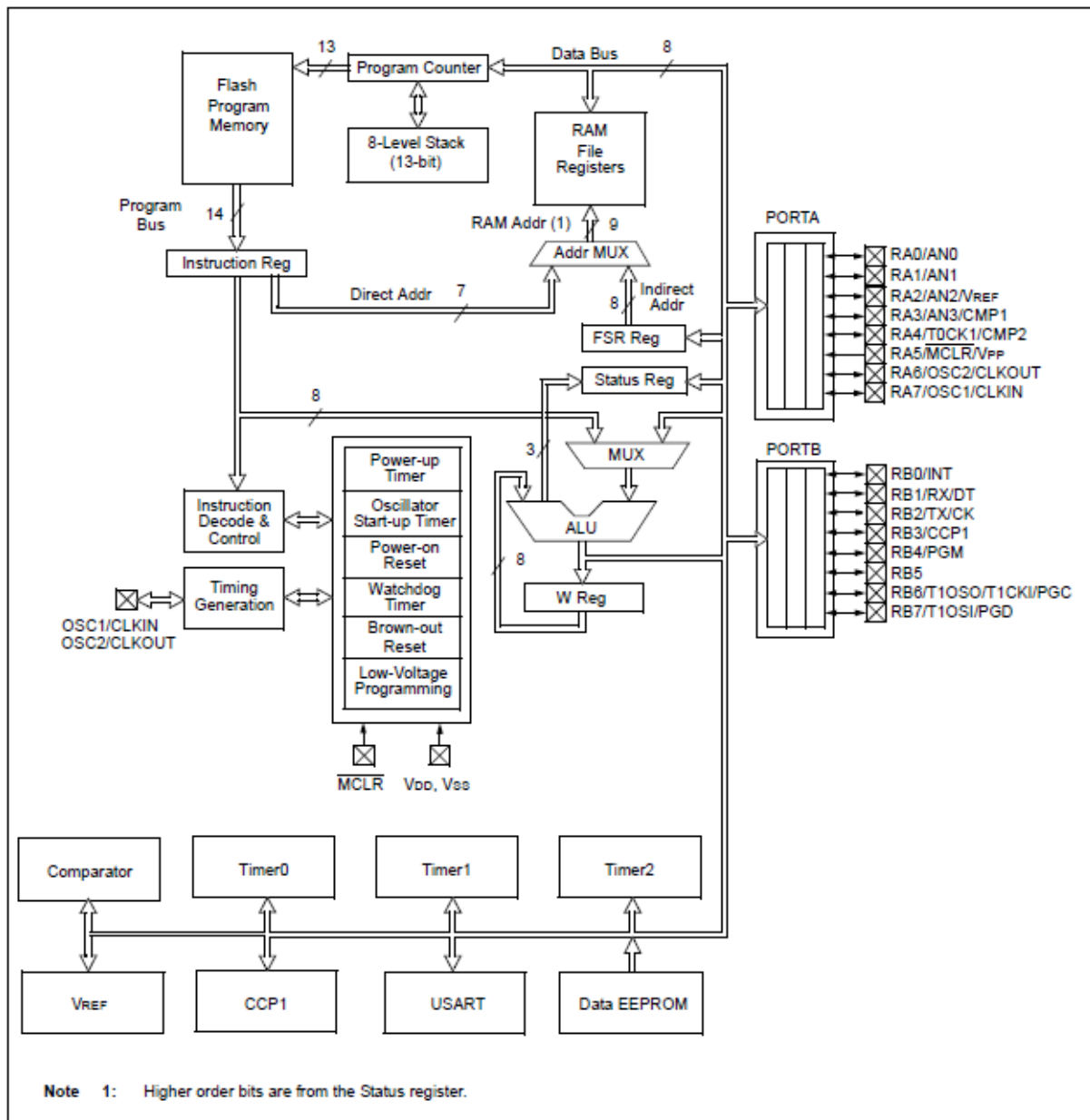


Figura 2.1 - Diagrama de Blocos do PIC16F628A.

(FONTE: Microchip Technology®, 2005, p. 10)

### 2.1.2 – Pinos do PIC16F628A

Na Figura 2.2 é mostrado como estão dispostos os pinos das portas PORTA e PORTB no chip de encapsulamento PDIP e a Quadro 2.1 ilustra as funções e descrições de cada um desses pinos.

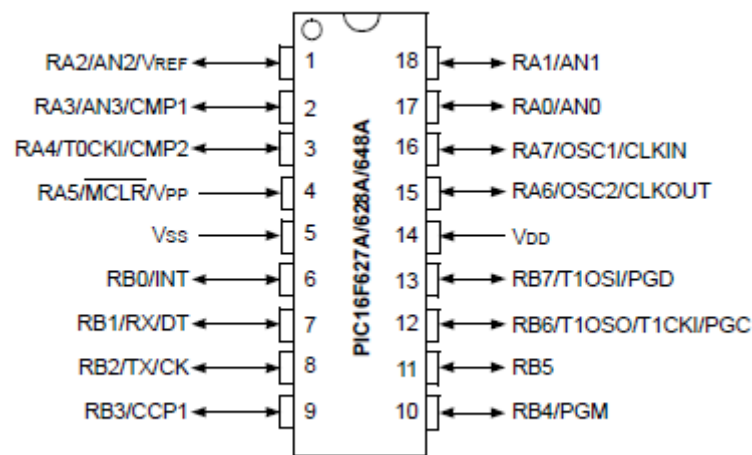


Figura 2.2 - PIC16F628A

(FONTE: Microchip Technology®, 2005, p. 4)

Quadro 2.1 - Funções e descrições dos pinos do PIC16F628A.

Pino	Função	Tipo	Descrição
1	RA2/AN2/Vref	Entrada/saída	PORTA bit 2 / Entrada do comparador analógico / Saída da tensão de referência
2	RA3/AN3/CMP1	Entrada/saída	PORTA bit 3 / Entrada do comparador analógico / Saída comparador 1
3	RA4/T0CKI/CMP2	Entrada/saída	PORTA bit 4 / Entrada de clock externo do timer 0 / Saída comparador 2. *Esse pino possui saída com dreno aberto*
4	RA5/MCLR/VPP	Entrada	PORTA bit 5 / Reset CPU / Tensão de programação
5	VSS	Alimentação	Terra
6	RB0/INT	Entrada/saída	PORTB bit 0/ Entrada de interrupção externa
7	RB1/RX/DT	Entrada/saída	PORTB bit 1/ Recepção USART (modo assíncrono) / Dados (modo síncrono)
8	RB2/TX/CK	Entrada/saída	PORTB bit 2/ Transmissão USART (modo assíncrono) / Clock (modo síncrono)
9	RB3/CCP1	Entrada/saída	PORTB bit 3 / Entrada ou saída do módulo CCP
10	RB4/PGM	Entrada/saída	PORTB bit 4 / Entrada de programação LVP*
11	RB5	Entrada/saída	PORTB bit 5
12	RB6/T1OSO/T1CKI/ PGC	Entrada/saída	PORTB bit 6 / Entrada do oscilador do TMR1 / Entrada de clock do TMR1 / Clock na programação ICSP*
13	RB7/T1OSI/ PGD	Entrada/saída	PORTB bit 7 / Entrada do oscilador do TMR1 / Dados na programação ICSP
14	VDD	Alimentação	Alimentação positiva (3V a 5V)
15	RA6/OSC2/CLKOUT	Entrada/saída	PORTA bit 6 / Entrada para cristal oscilador / Saída de clock
16	RA7/OSC1/CLKIN	Entrada/saída	PORTA bit 7 / Entrada para cristal oscilador / Entrada de clock externo
17	RA0/AN0	Entrada/saída	PORTA bit 0/ Entrada do comparador analógico
18	RA1/AN1	Entrada/saída	PORTA bit 1/ Entrada do comparador analógico
*LVP - Baixa voltagem de programação.			*Dreno aberto - Uma fonte de alimentação externa deve ser aplicada ao pino.
*ICSP - Programação in-circuit			

(FONTE: Zanco, 2005, p. 37)

Os pinos RB1 e RB2 são utilizados para a comunicação serial (USART) e além dos pinos de alimentação VSS e VDD são fundamentais para o funcionamento desse projeto.

### 2.1.3 – Kit de Gravação PICKit2

Para gravar o firmware desenvolvido no microcontrolador, é necessário que um equipamento coloque o microcontrolador em seu modo de gravação e transfira o código compilado para a sua memória. O equipamento utilizado no desenvolvimento desse projeto foi o Gravador USB PICKit2, fornecido pela empresa RóboticaSimples® (página na web: <http://roboticasimples.com/>).

Segundo o fornecedor RobóticaSimples (2009), o gravador de PIC/EEPROM USB, integra-se ao ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) MPLAB, grava Firmwares criados por qualquer linguagem de programação, identifica o microcontrolador a ser gravado, possui conector ICSP (In-Circuit Serial Programming™) que permite gravar o seu PIC diretamente em sua placa, conta ainda com Analisador Lógico de 3 canais e conversor RS232<=>TTL sobre USB que permite comunicar o seu computador diretamente com PIC.

#### 2.1.3.1 – Hardware

O hardware do PICKit2 é composto por um circuito com conectores USB e ICSP, um soquete ZIF de 40 pinos e um cabo USB para conexão com o computador como é mostrado na Figura 2.3 - Gravador PICKit2.



Figura 2.3 - Gravador PICKit2.

(FONTE: Braga ,2010, p. 68).

No soquete, podem ser conectados os PIC's de 8 a 40 pinos para gravação. Também pode ser conectado a qualquer porta USB, versões 1.1 ou 2.0.

### 2.1.3.2 – Software

Além do circuito de gravação, o kit é composto pelo *software* PICKit2 Programmer. Desenvolvido pela Microchip Inc. para plataformas Windows, Linux e MAC OS, nele é possível o controle das funções do gravador tais como: ler, gravar, apagar e verificar o microcontrolador.

O programa também identifica o microcontrolador conectado, fornecendo ao usuário funções específicas que cada um requer.

A Figura 2.4 ilustra a tela do *software* PICKit2 Programmer.

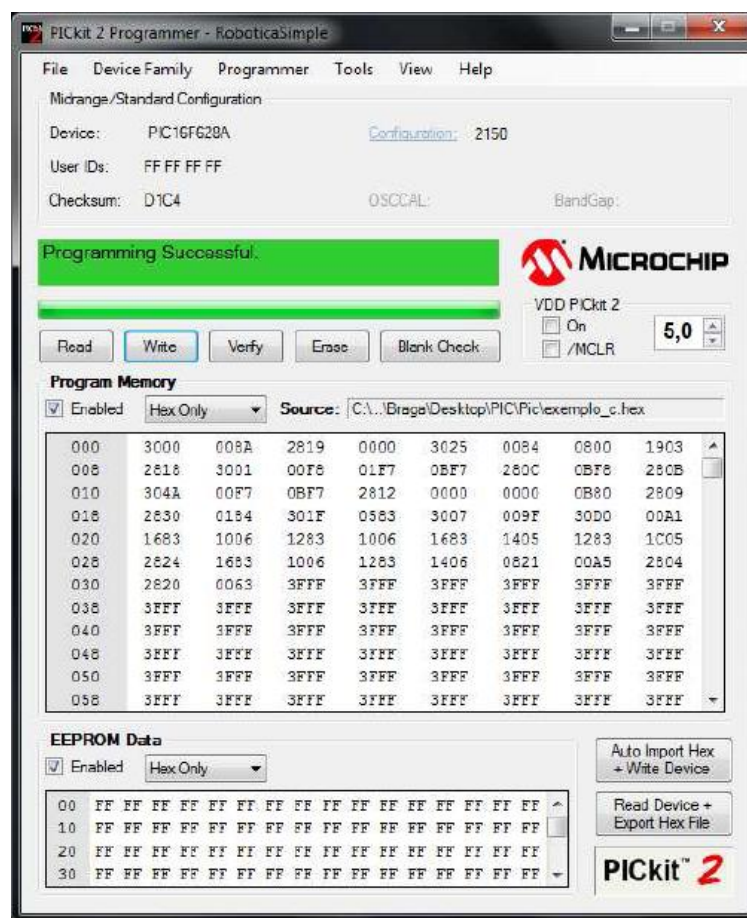


Figura 2.4 - PICKit2 Programmer.

(FONTE: Braga, 2010, p. 69)

Para a gravação dos microcontroladores, é necessário carregar o Programmer com o firmware compilado, descrito no item 2.3, no seu formato hexadecimal (.HEX). O software aceita somente arquivos com essa extensão. Feito isso, é possível a transferência do firmware para o microcontrolador.

### 2.1.4 – IDE CCS C Compiler

O IDE (*Integrated Development Environment* – Ambiente de Desenvolvimento Integrado) CCS C Compiler, fornecido pela CCS Inc., é um ambiente de desenvolvimento da linguagem de programação C específico para microcontroladores PIC. Ele integra os operadores padrões da linguagem C e funções específicas para os registradores PIC, proporcionando aos desenvolvedores uma poderosa ferramenta para a programação do hardware.

Esse ambiente permite o desenvolvimento e compilação do firmware dos microcontroladores PIC e foi utilizado no projeto para este fim. Além disso, nele também é possível depurar o código desenvolvido.

Segundo o Aho (2008,p,1), “um compilador é um programa que recebe como entrada um programa em uma linguagem de programação – a linguagem *fonte* – e o traduz para uma programa equivalente em outra linguagem – a linguagem *objeto*; (ver Figura 2.5). Um papel importante do compilador é relatar quaisquer erros no programa fonte detectados durante esse processo de tradução.”

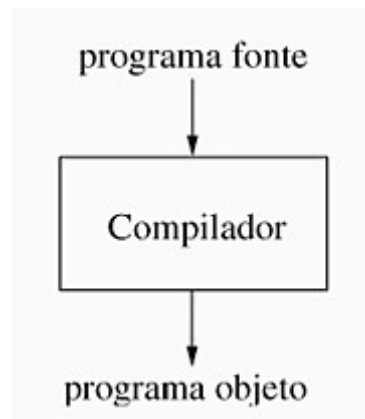


Figura 2.5 - Um compilador.

(FONTE: Aho, 2008, p. 1)

No caso do CCS C Compiler, o programa desenvolvido na linguagem C é traduzido para a linguagem de máquina que os microcontroladores PIC podem interpretar.

É mostrada na Figura 2.6 a tela principal de desenvolvimento do ambiente.

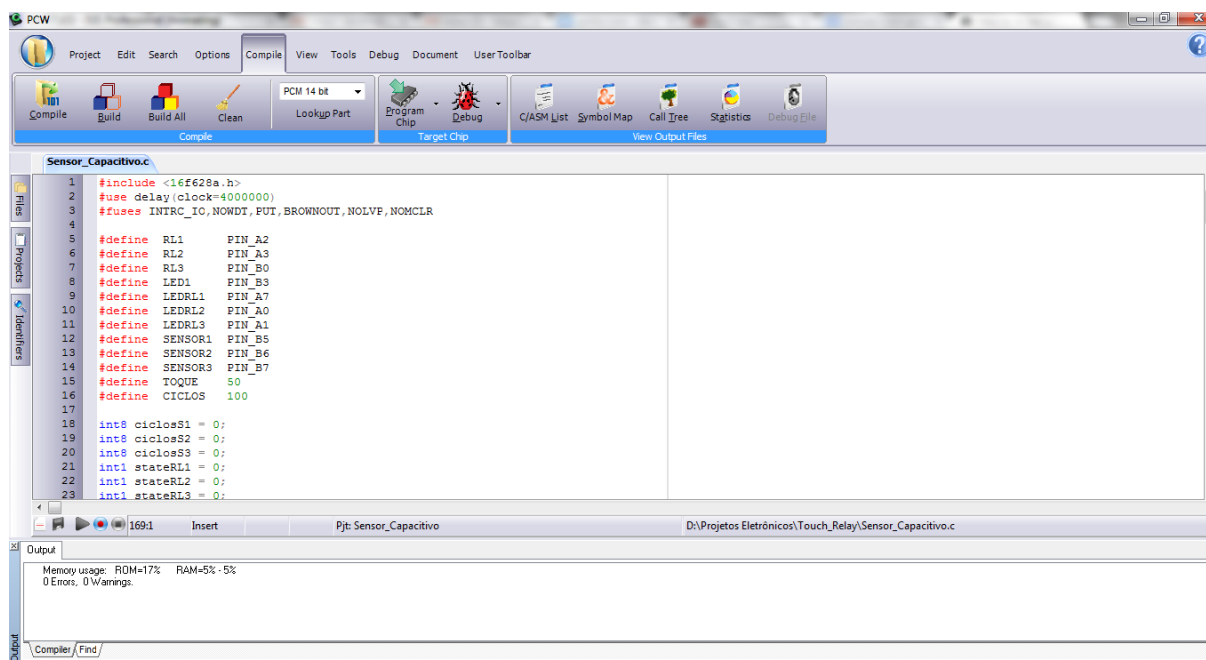


Figura 2.6 - CCS C Compiler.

(FONTE: Autor)

## 2.2 – Sensores Capacitivos

Segundo (Newton C. Braga, 2007) o sensor capacitivo é uma tecnologia em alta nos dias atuais, de fácil abordagem e muito interessante, pois funciona como uma das armaduras de um capacitor. Especificamente, o projeto utiliza um microcontrolador que possibilita uma abordagem diferenciada quando o sensor é tocado, fazendo com que seja possível com um simples toque dos dedos comutar um circuito de diversas formas e utiliza-lo em equipamentos eletrônicos.

### 2.2.1 – Funcionamento do sensor capacitivo

O elemento fundamental para a detecção do toque capacitivo é o próprio capacitor variável, com um toque o sensor sensível pode ser construído por “abertura” de uma estrutura de modo que o capacitor do campo elétrico pode ser acionado por um simples toque do dedo humano, como mostrado na Figura 2.7.

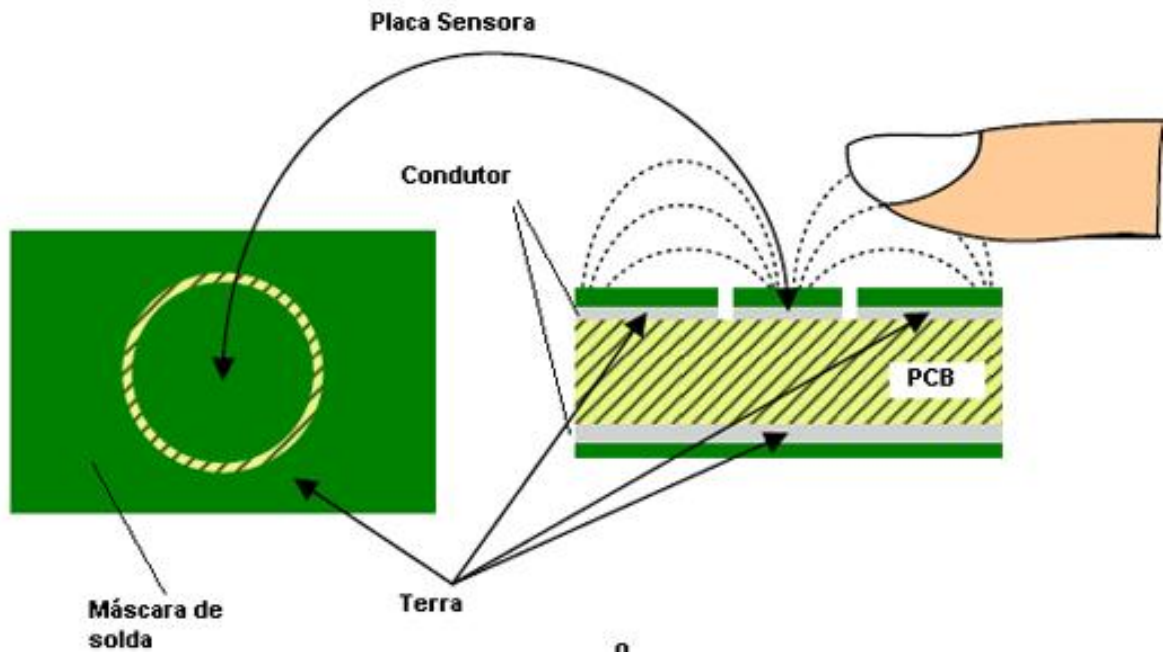


Figura 2.7 - Descrição de funcionamento do sensor capacitivo.

(FONTE: Newton C. Braga, 2007)

Na Figura 2.7 temos um capacitor PCB (placa de circuito impressa) formada entre o bloco central de cobre, o campo elétrico vaza para a parte de cima do capacitor fazendo com que se crie uma interação entre o sensor e o condutor, com isso cria-se uma capacitância base. Quando um dedo entra em contato com a zona superior aberta, o acoplamento do dedo no sensor capacitivo aumenta a capacidade de estrutura para além da capacitância base, ao medir continuamente a capacitância do sensor o sistema compara o resultado com uma capacidade pré-determinada de linha de base, caso seja maior o microcontrolador pode determinar ligar/desligar as funções programadas em sua rotina. Conforme ilustrado na Figura 2.8.

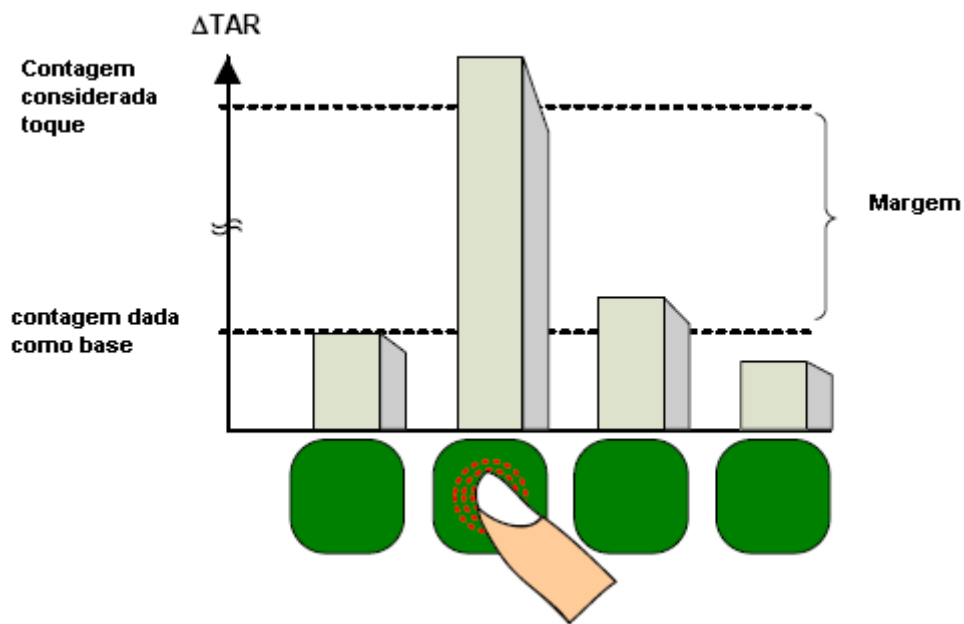


Figura 2.8 - Gráfico da capacitância do sensor capacitivo.  
(FONTE: Newton C. Braga, 2007)

### 2.2.2 – Aplicabilidade de um sensor capacitivo

Os sensores capacitivos são largamente utilizados para a detecção de objetos de natureza metálica ou não, tais como: madeira, papelão, cerâmica, vidro, plástico, alumínio, laminados ou granulados, cimento, argila e etc.

Mesmo para fins de detecção, o sensor capacitivo dotado de ajuste de sensibilidade é extremamente versátil, resolvendo problemas de automação de difícil solução com sistemas convencionais.

### 2.3 – Linguagens de Programação

Neste projeto, foi utilizada a linguagem de programação C, devido à facilidade de programação do microcontrolador utilizado. A linguagem de máquina do PIC16F628 não foi utilizada devido à dificuldade de programação e depuração do programa, dado que este microcontrolador possui apenas 35 instruções.

## CAPÍTULO 3 – IMPLEMENTAÇÃO

Para o correto entendimento da implementação do trabalho, é necessário entender o protótipo do projeto juntamente com seus circuitos e o seu código fonte. Neste capítulo são apresentados ao leitor esses tópicos fundamentais para a compreensão geral da implementação do projeto. Ele está dividido em duas partes principais: a primeira parte trata do modelo do *hardware* desenvolvido para exemplificar a solução que é composta pelo sensor capacitivo, o circuito do microcontrolador e o circuito de relés. A segunda parte trata dos *softwares*, que executa no microcontrolador.

### 3.1 – Descrição da Implementação

Definidos os conceitos, teorias e apresentadas às técnicas e dispositivos, é iniciada a fase de implementação. Ela consiste em, de forma organizada, executar as tarefas previstas em planejamento e chegar ao produto final.

Antes de iniciar a implementação do projeto é necessário à confecção do sensor capacitivo, pois ele é o foco principal do projeto.

Realizado a confecção do sensor, foi construído o circuito do microcontrolador, que engloba a montagem do circuito com seus componentes e a programação do microcontrolador, terminado essa etapa foi feita à conexão com o sensor. Passando essa fase o circuito foi testado com LEDs substituindo os equipamentos elétricos que engloba o escopo do projeto.

Com o circuito do microcontrolador montado, foi necessária a construção do circuito de relés para a integração entre o circuito do microcontrolador e o equipamento elétrico.

### 3.2 – Descrições do hardware utilizado

Foram utilizados dois circuitos para que fosse implementado o projeto: o primeiro contém o microcontrolador, que é uma parte muito importante do protótipo, juntamente com os outros componentes que são:

- Resistores de 10M, 10K 220 ohms;

- LEDs;
- Regulador de tensão LM7805;
- Microcontrolador PIC16F628A;
- Capacitores de 10 $\mu$ F, 100 $\mu$ F, 10pF.

O segundo é o circuito de relés que faz a ligação entre o circuito do microcontrolador e o equipamento a ser acionado, esse circuito contém os seguintes componentes:

- Resistor de 4k7 ohms;
- Relés de 5V;
- Diodo 1N4007;
- Transistor BC337.

### 3.3 – Topologia

Para alcançar os objetivos propostos, uma topologia foi mostrada na Figura 3.1, a fim de facilitar o entendimento do envio do sinal entre os dispositivos eletrônicos.

A figura ilustra o funcionamento do projeto proposto, e tem a seguinte ideia:

1. O sensor tem uma capacitância base, quando é tocado ele aumenta sua capacitância.
2. O microcontrolador detecta o aumento da capacitância e executa as rotinas propostas no projeto;
3. Acionamento do circuito de relé.
4. Com o relé acionado os equipamentos ligados na rede elétrica são acionados.

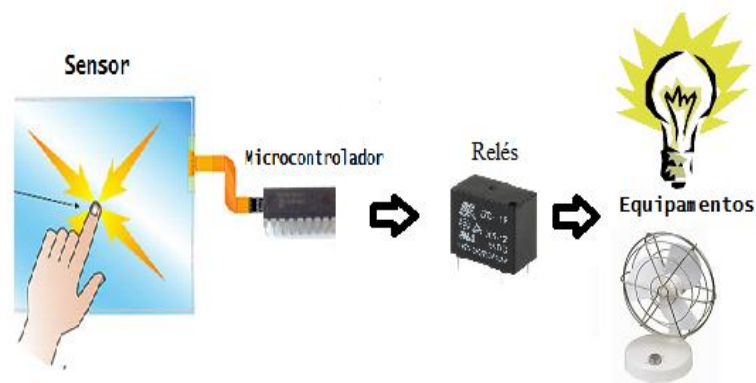


Figura 3.1 - Topologia do projeto.

(FONTE: Autor)

### 3.4 – Fluxograma do Projeto

A Figura 3.2 ilustra um fluxograma de funcionamento do projeto quando o sensor é tocado e quando não há o toque no sensor.

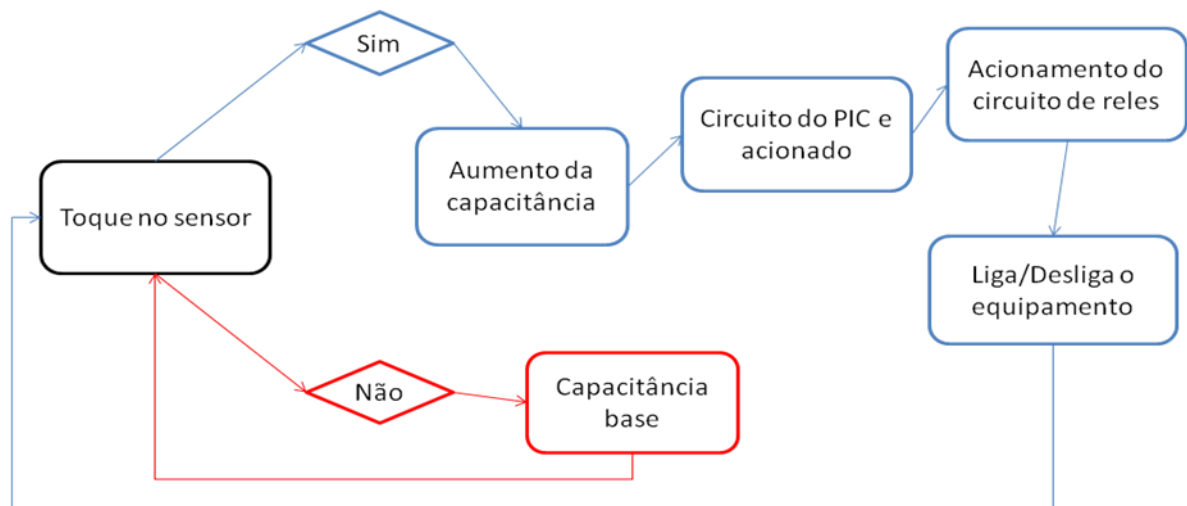


Figura 3.2 - Fluxograma do projeto

(FONTE: Autor)

### 3.4 – Hardware para Montagem dos Circuitos

Nesse tópico são abordados todos os circuitos montados durante a construção do projeto. Estes circuitos foram simulados pelo programa Proteus® e testados utilizando circuitos em *protoboard*. Após validar os testes, foi criado o *layout* do circuito impresso do protótipo final pelo *software* ARES®, visando poupar maiores erros e proporcionar o funcionamento correto do protótipo abordado durante este trabalho.

#### 3.4.1 – Proteus®

O programa Proteus ISIS Schematic Capture® da Labcenter Electronics® na versão 7.6, foi utilizado neste trabalho para permitir a simulação do circuito do projeto antes da

montagem das placas, e para confecção do layout do sensor capacitivo e das placas. Após várias simulações e testes neste software foi possível então partir para a construção dos circuitos na prática. Com isso, ele possibilita menos erros na configuração, montagem das peças eletrônicas e mais segurança na criação do projeto.

A simulação ocorre quase em tempo real. Isso é possível devido à interação com o desenho usado na tela com indicadores, LEDs, botões, componentes eletrônicos dos mais variados tipos. Permite um misto de simulação de circuitos, componentes animados e modelos de microprocessadores (GONÇALVES, 2010). Dessa forma, facilita a co-simulação em completos projetos baseados em programação de microcontroladores e em programas para desenho de circuito impresso. A Figura 3.2 ilustra a simulação do projeto no software Proteus®.

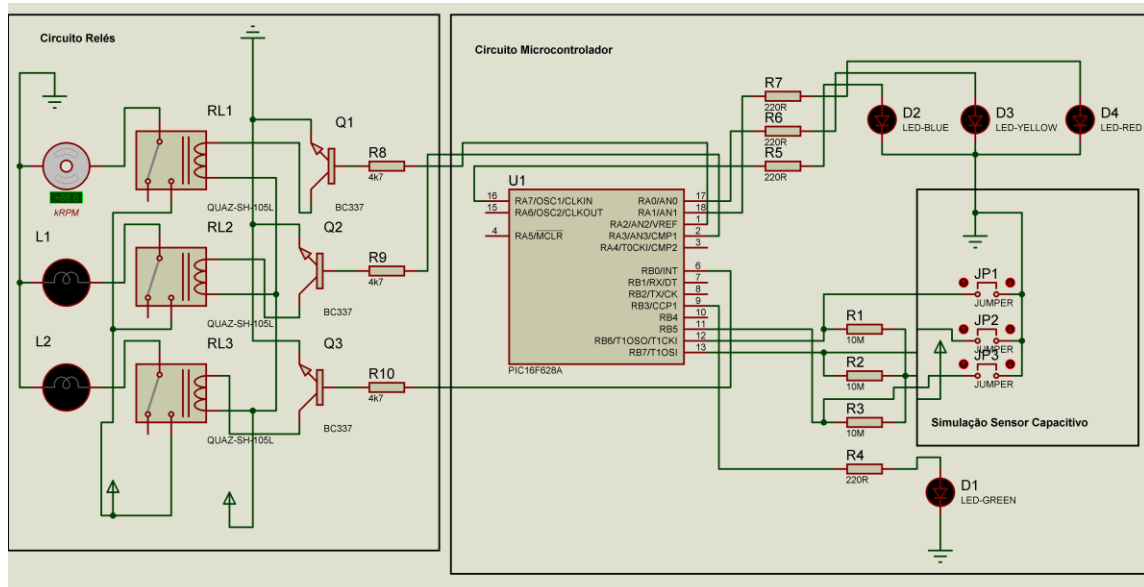


Figura 3.3 - Simulação dos circuitos no Proteus®.

(FONTE: Autor)

### 3.4.2.1 – Elaboração do Sensor Capacitivo

Com a utilização do *software* ARES®, que é um software específico para desenho de circuitos impressos, foi desenhado o *layout* do sensor para ser impresso em uma placa de fenolite. Assim possibilitou a confecção do sensor. A figura 3.3 ilustra o *layout* do sensor.

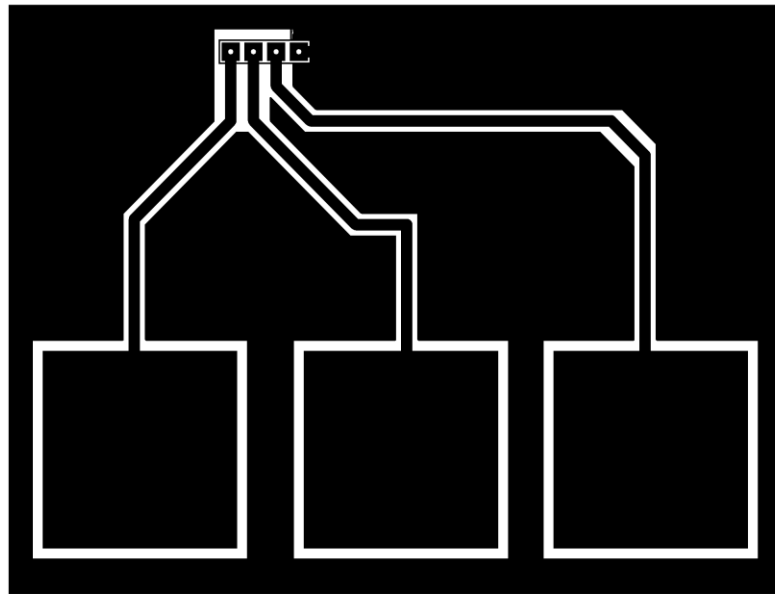


Figura 3.4 - *Layout* do sensor capacitivo.

(FONTE: Autor)

O *layout* foi impresso em transparência para retroprojektor em impressora LASER e o método de transferência do desenho para a placa de fenolite foi à transferência térmica.

A figura 3.4 ilustra o *layout* transferido na placa de fenolite.

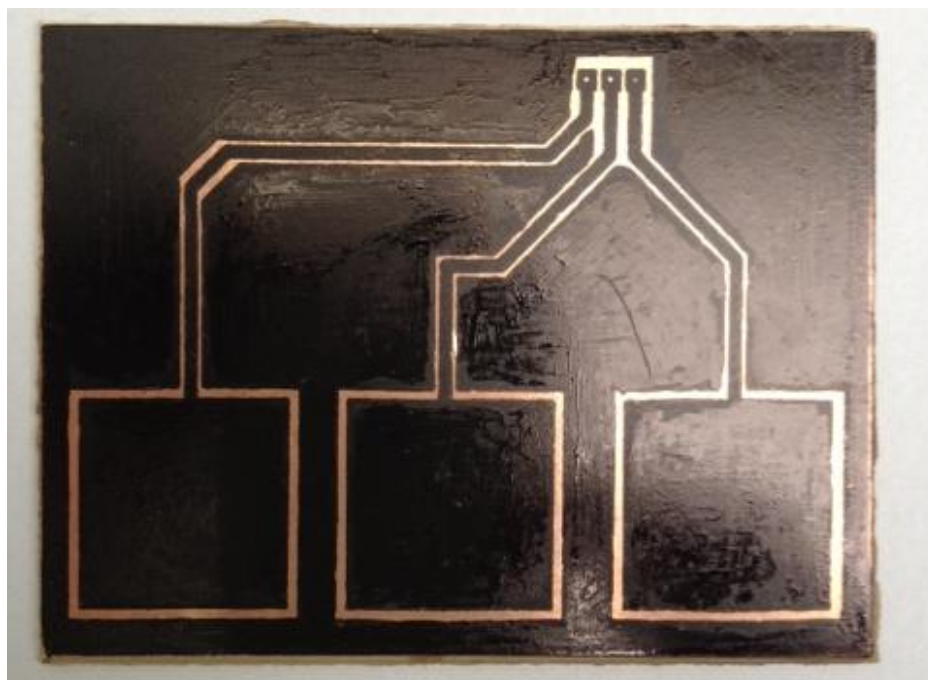


Figura 3.5 - Sensor capacitivo transferido para a placa de fenolite.

(FONTE: Autor)

Com o desenho transferido, o sensor foi imerso em uma solução química de percloroeto de ferro para proceder com a corrosão do cobre nas áreas não cobertas pelo desenho das trilhas. Após a corrosão, o sensor foi limpo com thinner e palha de aço para remover os resíduos de tinta. Nas Figuras 3.5 e 3.6 é mostrado o processo de corrosão e limpeza de resíduos, respectivamente e é mostrado na Figura 3.7 o resultado obtido.



Figura 3.6 - Processo de corrosão do sensor capacitivo.  
(FONTE: Autor)

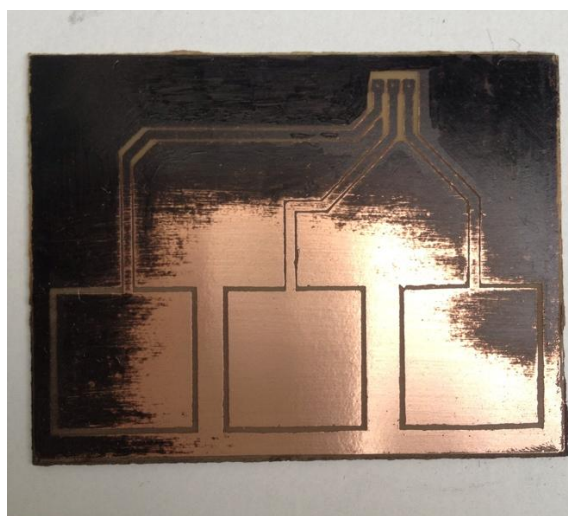


Figura 3.7 - Retirada de resíduos do sensor capacitivo.  
(FONTE: Autor)

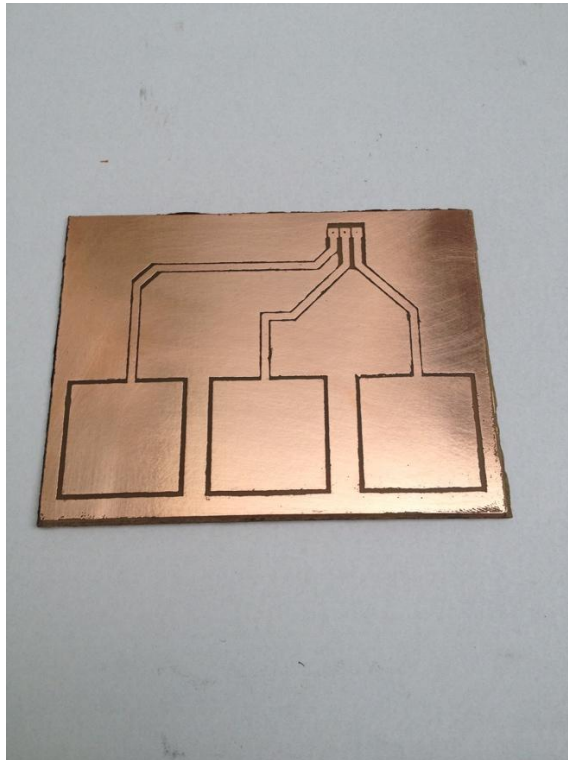


Figura 3.8 - Sensor capacitivo.

(FONTE: Autor)

#### 3.4.2.4 – Alimentação dos Circuitos

Para alimentar os circuitos, uma fonte externa de 16.5VDC e de 1.0A foi utilizada. Como a tensão da fonte era superior à tensão de trabalho dos demais componentes, foi necessário um regulador de tensão que ajustasse para 5VDC.

O regulador de tensão em questão foi o LM7805 o qual foi conectado segundo instruções recomendadas no *datasheet* do fabricante. O regulador possui três pinos, um de entrada, um de terra e um de saída. A entrada suporta tensões de 6VDC até 35VDC e faz a regulação para 5VDC.

Como recomendação do fabricante para eliminar ruídos provenientes da rede elétrica, foi utilizado um capacitor de 100 $\mu$ F/50V entre o pino de entrada e o terra do LM7805, além de outro capacitor de 10 $\mu$ F/50V entre a saída e o terra. Neste circuito também foi utilizado um LED para indicar quando o mesmo estiver ligado. O LED foi conectado em série com um resistor de 220 $\Omega$  entre os pinos 2 e 3 do regulador.

Na Figura 3.8 é apresentado o esquemático no Proteus® da ligação do regulador.

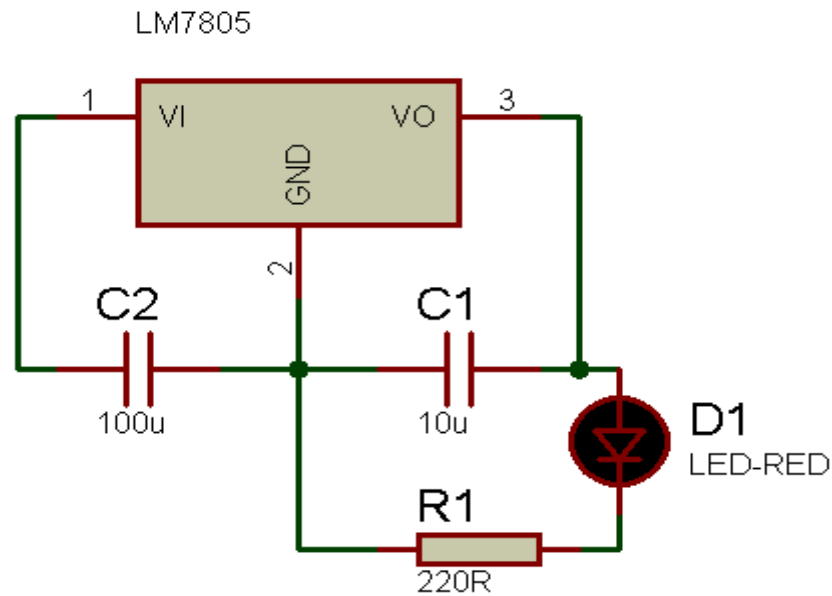


Figura 3.9 - Ligação do regulador de tensão.

(FONTE: autor)

### 3.4.2.2 – Montagem do Circuito Microcontrolado

O microcontrolador PIC16F628A foi ligado de forma a verificar a capacitância do sensor e quando houver alteração da capacitância devido a um toque acionar o circuito de relés para ligar ou desligar equipamentos que estão conectados a rede 220V. Nele foram conectados LED's indicadores, resistores, capacitores, além do próprio sensor capacitivo. Foi também ligado conectores para integrar com o circuito de relés. A Figura 3.9 ilustra o microcontrolador utilizado neste projeto.

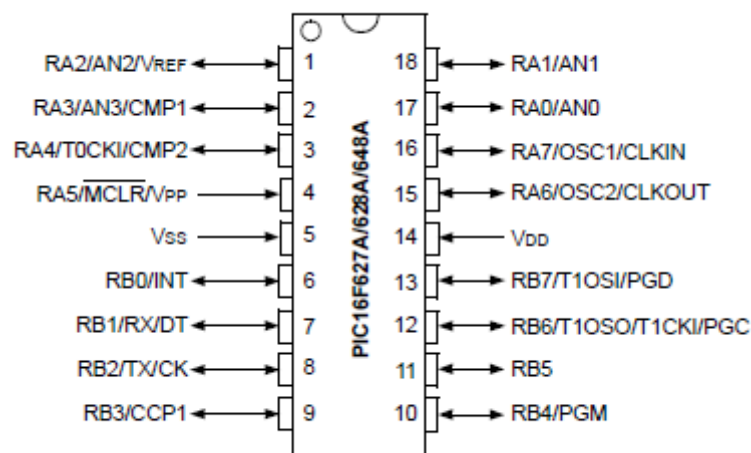


Figura 3.10 - PIC16F628A.

(FONTE: Microchip Technology®, 2005, p. 4)

Os pinos do microcontrolador ficaram conectados da seguinte forma:

- Pino 1 – Acionamento do primeiro relé;
- Pino 2 – Acionamento do segundo relé;
- Pino 4 – Resistor  $10K\Omega$  e 5V;
- Pino 5 – Terra;
- Pino 6 – Acionamento do terceiro relé;
- Pino 9 – LED indicativo geral do circuito;
- Pino 11 – Sensor Capacitivo 1 e Resistor  $10M\Omega$ ;
- Pino 12 – Sensor Capacitivo 2 e Resistor  $10M\Omega$ ;
- Pino 13 – Sensor Capacitivo 3 e Resistor  $10M\Omega$ ;
- Pino 14 – Alimentação 5V;
- Pino 16 – LED indicativo do relé 1;
- Pino 17 – LED indicativo do relé 2;
- Pino 18 – LED indicativo do relé 3;

Os pinos 1, 2 e 6 são utilizados para acionamento dos relés quando o microcontrolador detectar o aumento da capacitância nos sensores.

O pino 4 do PIC é para *reset* do microcontrolador. O resistor conectado a ele é do tipo *pull-up*, que eleva a tensão do pino ao nível alto (5V) evitando que ocorram *resets* inesperados. Essa ligação é recomendada pelo próprio fabricante, Microship Inc.

Os pinos 5 e 14 são utilizados para alimentação do microcontrolador que está ligado em uma fonte de corrente contínua de 5V. Também foi ligado um capacitor cerâmico de 1pF para eliminar ruídos da fonte.

Os pinos 9, 16, 17, 18 são para ligação de LEDs indicativos do circuito.

Os pinos 11, 12, 13 são para a ligação dos sensores capacitivos com o microcontrolador.

Na Figura 3.10 é apresentado o circuito montado no *proto-board*.

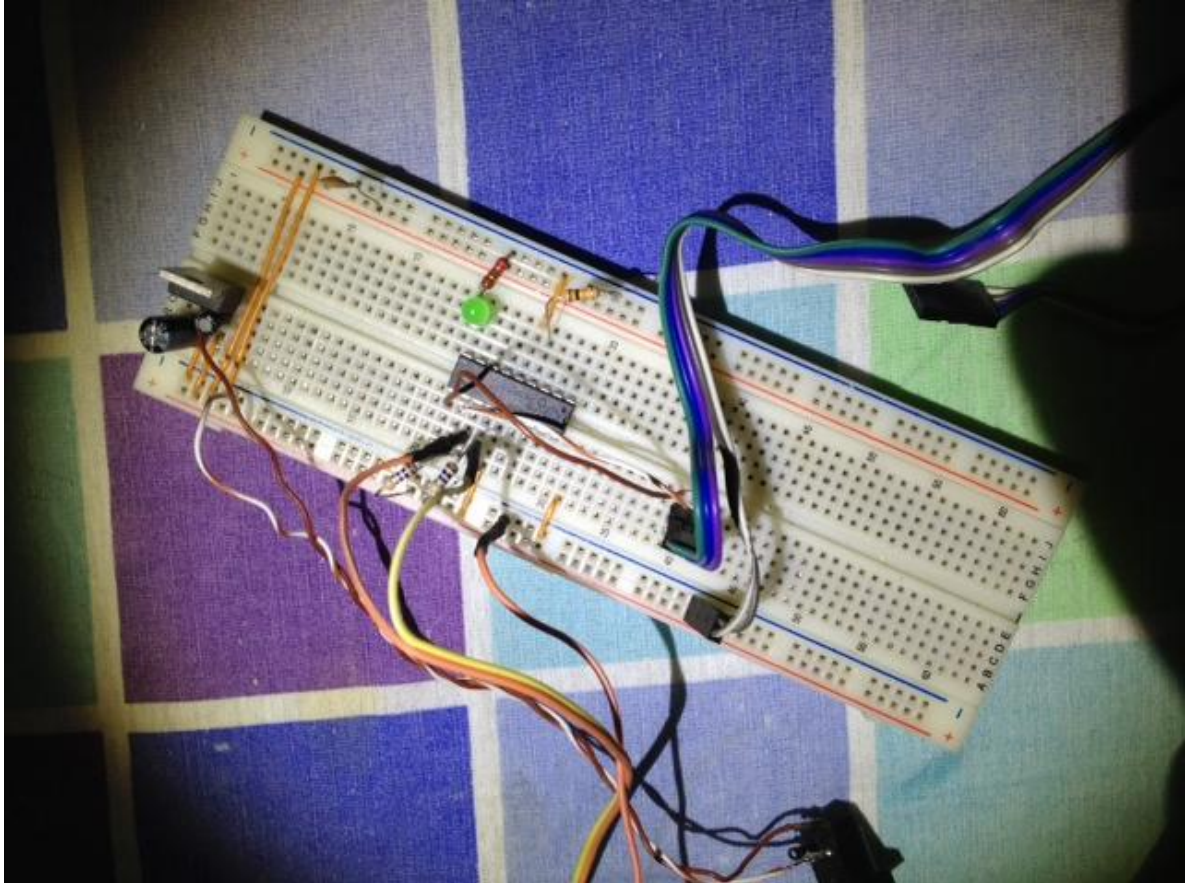


Figura 3.11 - Circuito do microcontrolador no *protoboard*.

(FONTE: autor)

Depois dos testes feito utilizando o *protoboard* foi possível desenhar o circuito final do projeto, utilizando o *software* ARES®, esse circuito foi montado para evitar que ocorram problemas de mau contato ou ligações erradas que poderiam acontecer se fosse utilizado o *protoboard*. A Figura 3.11 ilustra o *layout* do circuito microcontrolado.

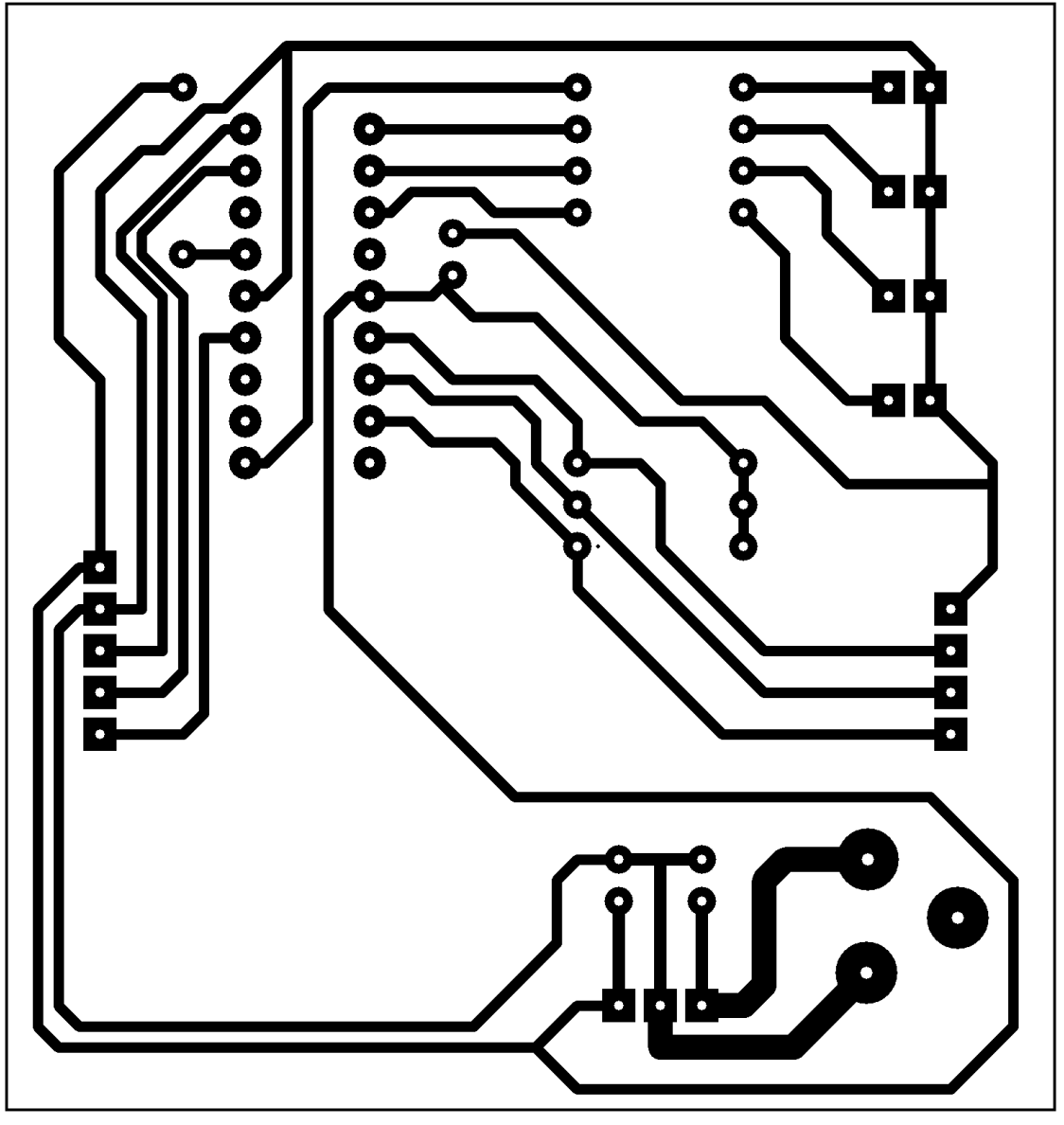


Figura 3.12 - *Layout* do circuito do microcontrolador.

(FONTE: autor)

O mesmo procedimento da confecção do sensor capacitivo foi utilizado para circuito microcontrolado. Depois é mostrado o resultado final do circuito na Figura 3.12.



Figura 3.13 - *Layout* do circuito do microcontrolador.

(FONTE: autor)

### 3.4.2.3 – Montagem do Circuito de Relés

O circuito de relés foi montado para ser integrado ao circuito do microcontrolador. Cada relé é acionado por um dos pinos do PIC16F628A. Para o correto funcionamento do circuito na rede elétrica, foram utilizados transistores e diodos para isolar a alimentação do circuito da rede elétrica.

O microcontrolador aciona o transistor BC337 que libera a alimentação do relé. O relé então energiza a bobina interna e permite a passagem da corrente elétrica, ligando o equipamento.

Para o acionamento dos equipamentos elétricos neste projeto, foi utilizada uma régua elétrica que foi modificada para ligar-se aos relés.

Quando um relé é acionado, uma das tomadas da régua também é acionada. Desse modo foi possível utilizar qualquer equipamento elétrico sem a necessidade de alterar suas características.

A Figura 3.13 ilustra a simulação do circuito de relé no Proteus®.

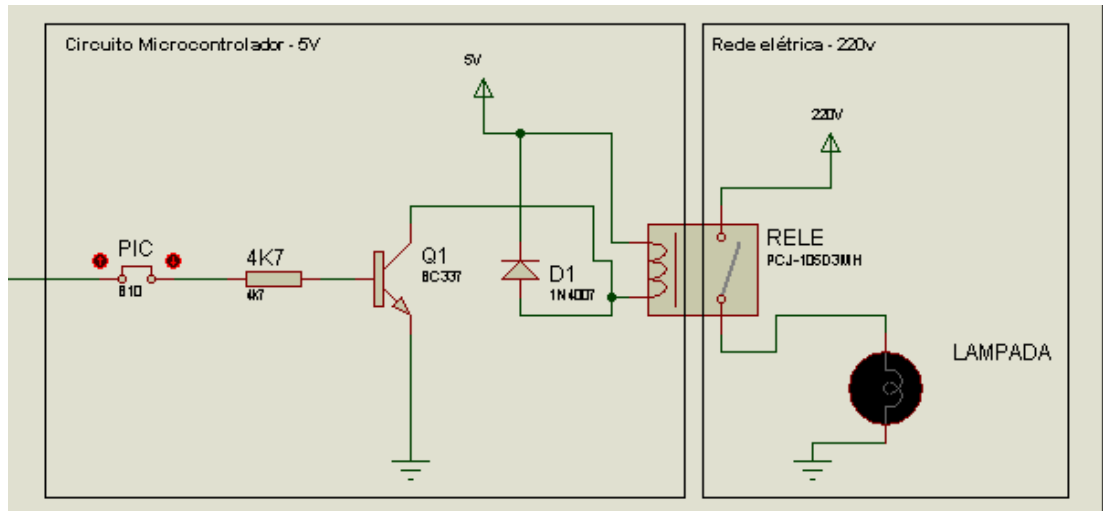


Figura 3.14 - Simulação do circuito de relés.

(FONTE: autor)

Com as simulações feitas no Proteus® foi possível partir para a montagem do circuito impresso final do projeto. O layout foi feito utilizando o software ARES® e pode ser visto na Figura 3.14.

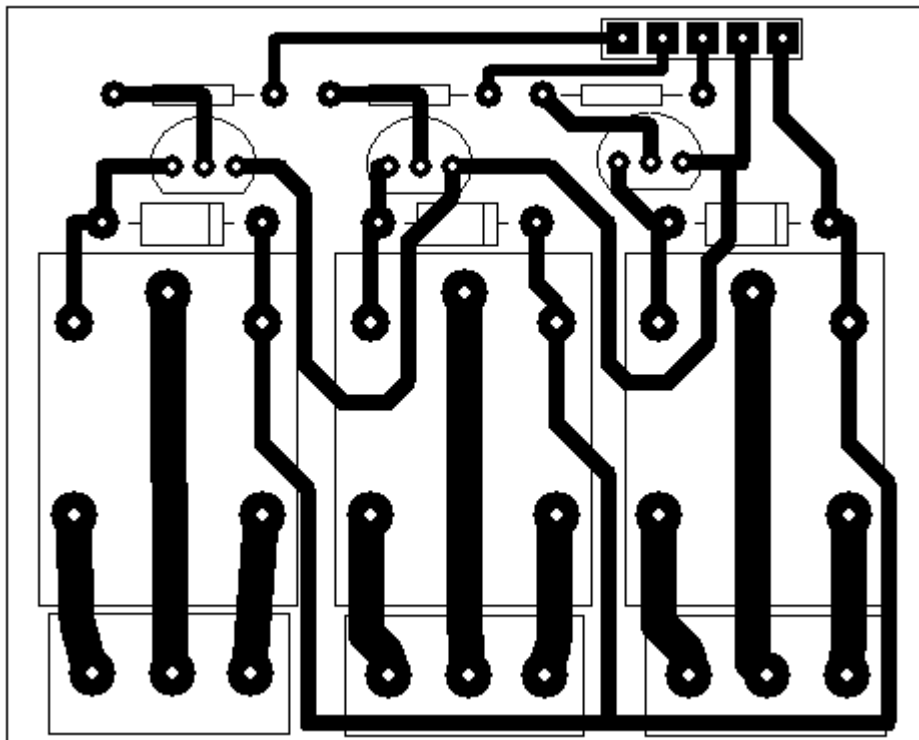


Figura 3.15 - Layout do circuito de relés.

(FONTE: autor)

O layout foi impresso em transparência e passado a placa por transferência térmica. Nas Figura 3.15 e 3.16 é mostrado o circuito de relés final montado com a régua elétrica modificada e o circuito de relés final respectivamente.

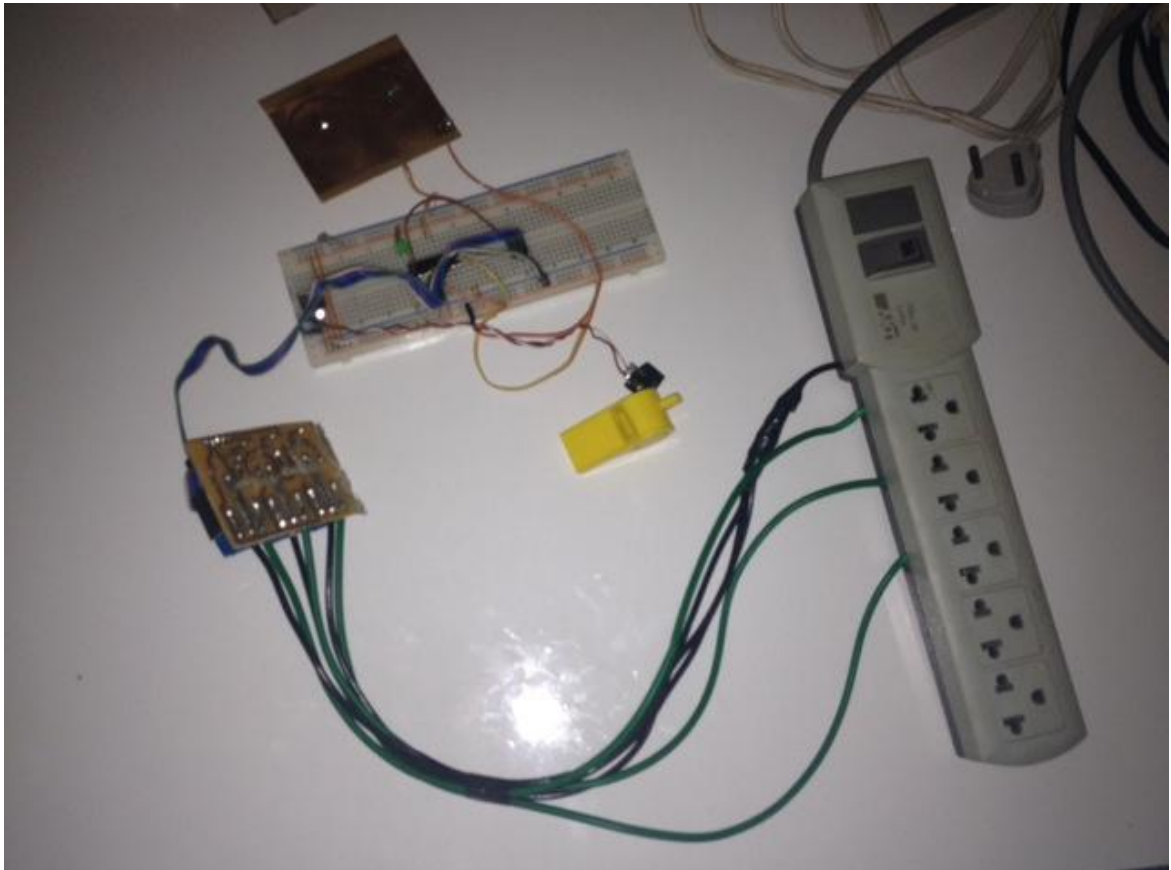


Figura 3.16 - Placa do circuito de relés ligada à régua.

(FONTE: autor)

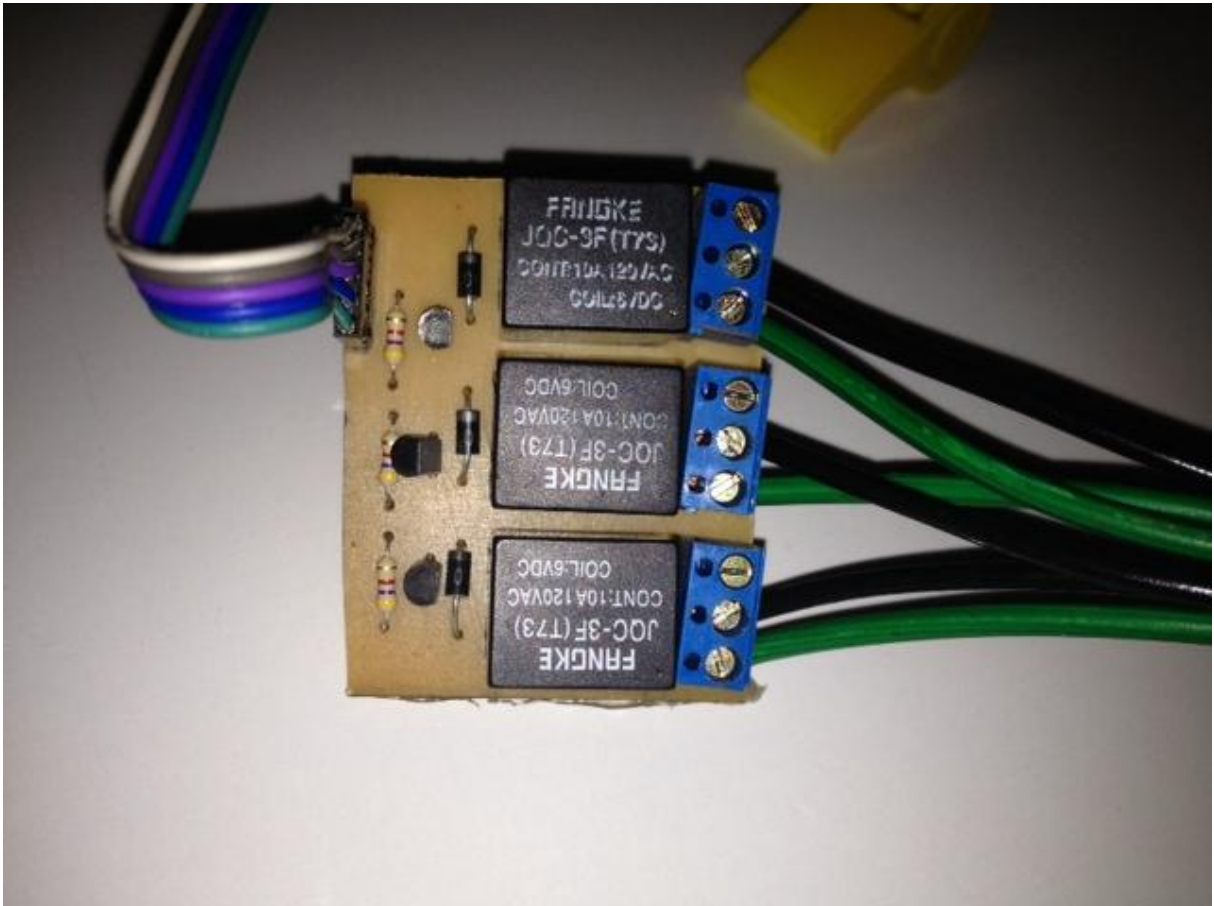


Figura 3.17 - Circuito de relés final.

(FONTE: autor)

### 3.5 – Softwares

O microcontrolador, para funcionar do modo que é necessário para o funcionamento do projeto, precisa de um software que interprete os sinais externos como o toque no sensor capacitivo e execute uma tarefa. Para isso foi desenvolvido um firmware em linguagem C que é gravada na memória do microcontrolador. Quando o microcontrolador for energizado, esse software começa a executar de forma contínua. A Figura 3.17 ilustra o fluxograma do firmware desenvolvido.

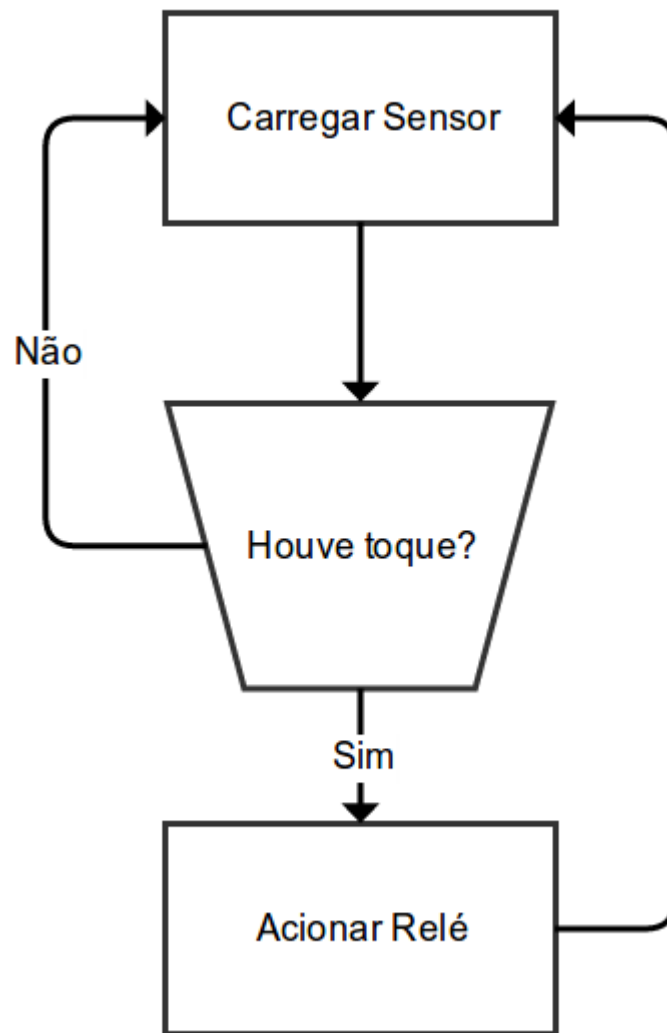


Figura 3.18 - Fluxograma.

(FONTE: autor)

### 3.5.1 – Firmwares dos Microcontroladores

A principal função do microcontrolador é aguardar a mudança da capacitância no sensor capacitivo e realizar alguma tarefa específica. O pino do sensor conectado ao microcontrolador se mantém carregado e aguardando o toque no sensor para iniciar a execução de outro trecho do código. Quando ocorre o toque no sensor capacitivo, o microcontrolador executa uma função que aciona um relé do circuito de relés. O projeto conta com 3 sensores e 3 relés, cada sensor é responsável por acionar um relé.

O firmware também foi desenvolvido para acionar LED's indicativos para cada relé, eles informam ao usuário o estado geral do circuito e dos relés. Os LED's foram usados somente para facilitar a visualização do circuito.

Durante a inicialização do microcontrolador, que ocorre quando o circuito é energizado pela primeira vez, foi programado um teste geral de circuitos, função `testaCircuitos()` do código fonte. Esse trecho do código é utilizado para verificar se todos os circuitos estão ligados corretamente, a cada 200ms os pinos do microcontrolador são ligados e desligados. Durante esse procedimento podemos notar no funcionamento do circuito o acionamento de todos os componentes tais como LED's e Relés.

Outra função chamada `toggleRelay()` faz parte do programa que executa no microcontrolador. Essa função foi criada para facilitar o acionamento e gerenciamento das portas do microcontrolador. Cada vez que é chamada, essa função passa como parâmetro qual o pino do microcontrolador será acionado. O diferencial dessa função para a função padrão do microcontrolador, é manter o status desse pino, quando houver uma nova chamada para acionar esse pino, é verificado o atual estado do pino e então a função executa o acionamento inverso. Exemplificando, caso o pino `PIN_B0` esteja desligado e foi utilizado pela função `toggleRelay()`, o estado dele mudará para ligado e essa informação fica armazenada no microcontrolador. Caso o pino `PIN_B0` seja acionado novamente, a função `toggleRelay()` verifica que ele já estava em estado ligado e desliga o pino do microcontrolador. Essa configuração facilitou o gerenciamento do circuito de relés e possibilitou economizar no tamanho do código fonte final.

## CAPÍTULO 4 – TESTE E RESULTADOS

Após a implementação do projeto foi necessária à realização de procedimentos para verificar a sua funcionalidade. Foram realizados diversos testes com os sensores:

1. Verificação de capacidade de sensibilidade ao toque;
2. Testes para medir a espessura do isolante;
3. Verificação de interferências;
4. Testes com materiais condutores e não condutores que podem vir a revestir o sensor;
5. Verificação dos aparelhos elétricos.

Além destes testes, foram feitas diversas simulações testando os sensores com os circuitos e os equipamentos elétricos utilizados no projeto.

Durante a implementação e a realização dos testes surgiram dificuldades que alteraram o fluxo do trabalho induzindo a novos procedimentos para resolução dos problemas encontrados.

### 4.1 – Testes Realizados e Resultados Obtidos com o Protótipo.

Foram realizados vários testes após a implementação do protótipo e obtidos alguns resultados que foram determinantes para o sucesso do projeto:

1. **Verificação de capacidade de sensibilidade ao toque**, foi testado a capacidade de acionamento do sensor e foi constatado que o sensor limita sua capacidade de aumento da capacitância de acordo com a energia que alimenta o circuito, pois em certas tomadas ele conseguia acionar os equipamentos mesmo revestido por 3 cartões de plásticos, já em outras tomadas só acionava com 1 cartão, daí foi concluído que a energia limitava a sensibilidade do sensor.
2. **Testes para medir a espessura do isolante**, foram confeccionados diversos sensores até que chegássemos a um tamanho ideal de isolamento, o tamanho ideal que serviu para o protótipo é de 1mm na parte onde ocorre o toque no sensor e 0.4mm na trilha.

3. **Verificação de interferências** foi constatado à necessidade de isolamento dos fios que integram o sensor ao circuito microcontrolado, pois os mesmo quando eram tocados também alteravam a capacitância do sensor, uma solução possível, mas que devido a dificuldade de encontrar o material não pode ser testado e a de isolar os cabos por meio de cabos blindados.
4. **Testes com materiais condutores e não condutores que podem vir a revestir o sensor**, foram testados materiais como pano de microfibra, transparências, papéis, plásticos, placas de fenolite, borracha e mesmo revestido com todos os materiais citados o sensor foi capaz de alterar sua capacitância e acionar o circuito microcontrolado.
5. **Verificação dos equipamentos que foram ligados à rede elétrica**, testando se os equipamentos estavam em perfeito funcionamento para o uso no projeto.
6. **Medição do gráfico do sensor** foi medido no osciloscópio o gráfico do sensor para tomar conhecimento do comportamento do protótipo quando o sensor é acionado e quando o sensor não está sendo acionado. As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram, respectivamente as ações citadas.

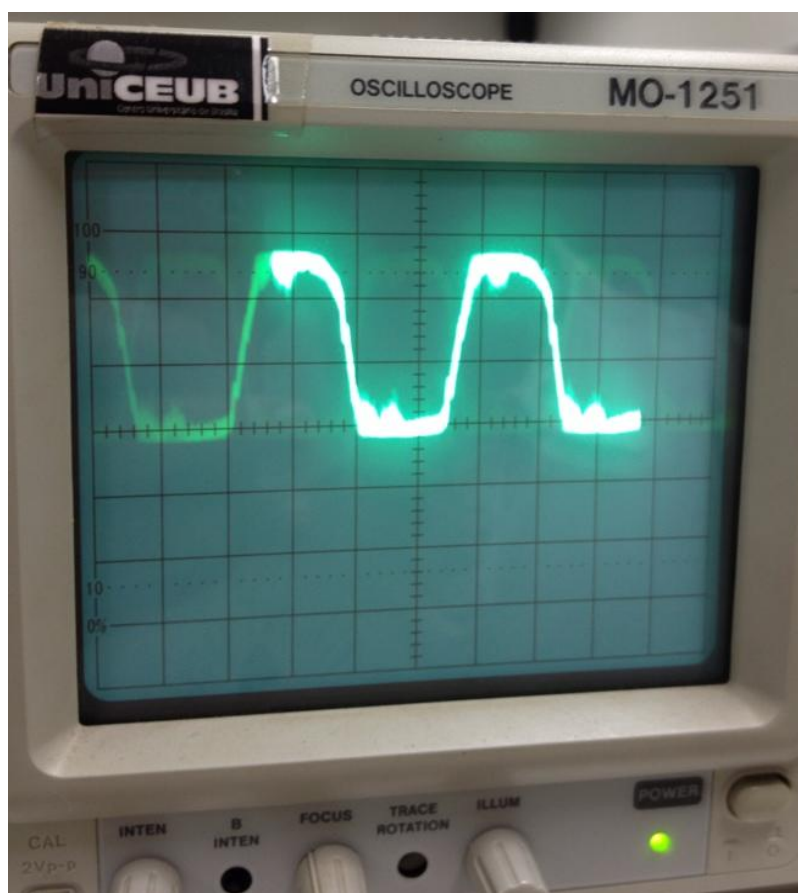


Figura 4.1 - Gráfico do sensor sendo acionado várias vezes.

(FONTE: autor)

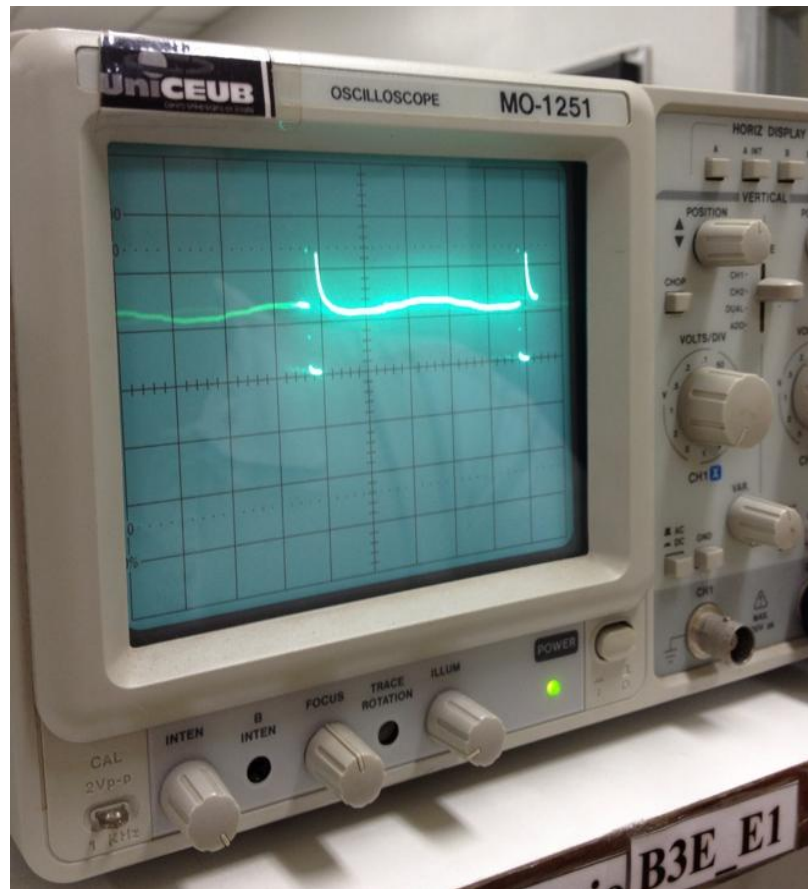


Figura 4.2 - Gráfico de carga e descarga do sensor.

(FONTE: autor)

#### 4.2 – Simulações do Protótipo

Na simulação de funcionamento do protótipo, Foram criados dois protótipos dos sensores propostos no projeto. A Figura 4.3 ilustra o primeiro protótipo que não foi tão eficaz como o modelo seguinte ilustrado na Figura 3.8.

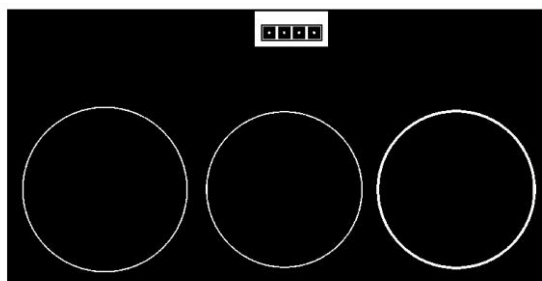


Figura 4.1 - Primeiro layout do sensor capacitivo.

(FONTE: Autor)

Também foram realizadas simulações dentro do software Proteus® para diminuir o erro na criação das placas conforme apresentado na Figura 3.3. Após as simulações em software o circuito microcontrolado foi testado no *proto-board* e depois confeccionada na placa de fenolite, já o circuito de relés após a simulação foi implementado diretamente na placa. Os circuitos funcionaram com eficiência de modo a atender as exigências do projeto.

Como o intuito do projeto é trazer um visual mais agradável nos interruptores, o protótipo atende com sucesso a ideia proposta, pois é possível utilizar vários materiais para revestir o sensor, possibilitando a criação de alguma arte a gosto do usuário.

### 4.3 – Dificuldades

Durante a implementação do projeto surgiram várias dificuldades que fizeram com que o fluxo do trabalho fosse alterado, no entanto, as dificuldades foram contornadas e resolvidas de forma simples e eficiente.

Na confecção do primeiro sensor capacitivo, foi notado que com alguns materiais que fossem revestir o sensor, sua funcionalidade estava comprometida, com algumas observações e estudos, foi constatada que a parte do isolante estava muito grossa com isso a capacitância não se alterava de forma a acionar o microcontrolador a figura 4.4 ilustra uma fórmula onde se pode comprovar que a distancia entre os condutores influencia diretamente no aumento da capacitância.

Outra dificuldade foi medir a capacitância real do sistema pelo multímetro, devido a capacitância do sistema ser muito baixa não foi possível chegar a um resultado.

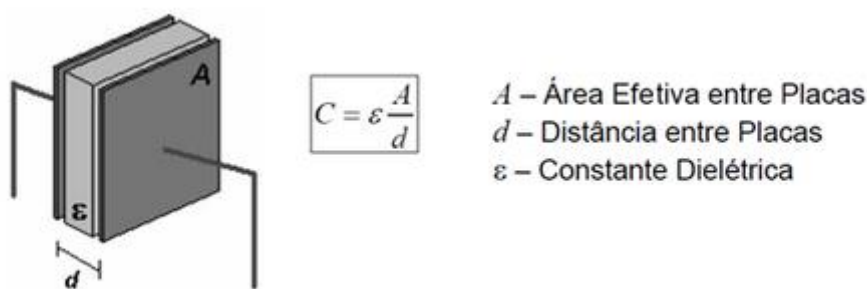


Figura 4.2 - Fórmula para o cálculo da capacitância.

(FONTE: Cesar Cassiolato, 2011)

Outra dificuldade encontrada é que se o material que revestir o sensor for muito espesso o sensor não é capaz de alterar sua capacitância.

## **CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 - Conclusões**

Foram desenvolvidos neste trabalho sensores capacitivos, que são capazes de substituírem os atuais interruptores com design mais sofisticado e tecnológico. Com os testes realizados no protótipo, o projeto funcionou conforme o previsto, o sensor foi capaz de ser acionado mesmo revestido pelos materiais citados no trabalho, o microcontrolador foi programado e executa as rotinas propostas com eficiência, desta forma o sistema consegue representar bem a função de um interruptor.

Os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados na medida em que forneceu um protótipo funcional da solução, composto pelo sensor capacitivo e os circuitos integrados a ele, algumas dificuldades encontradas como a programação do PIC e a espessura do isolamento do sensor foram obstáculos superados com certa complexidade no decorrer do projeto, já outra dificuldade como as interferências nos cabos foi apenas citada uma possível solução devido à dificuldade de encontrar o material. Os resultados obtidos através da simulação da solução mostraram relativa eficiência do sistema para substituição dos interruptores.

O microcontrolador PIC16F628A atendeu completamente as funções do protótipo e ainda poderiam ser adicionados outros componentes caso futuramente seja incluído ao projeto. O circuito foi projetado com sucesso e o funcionamento do mesmo foi excelente atendendo as expectativas criadas no início do projeto. A integração do sensor capacitivo com os demais circuitos descritos no decorrer do trabalho funcionou conforme o planejado.

### **5.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros**

Para o desenvolvimento de projetos futuros sugere-se o aprimoramento da ideia apresentada neste trabalho tais como, a utilização de outras tecnologias sem fio, utilizando aplicativos de *smartphones* para acionar equipamentos conectados a rede elétrica.

Este trabalho utilizou a tecnologia do sensor capacitivo para acionar os equipamentos ligados ao projeto. A implementação de outro tipo de tecnologia poderia gerar um maior conforto para o usuário que utilizaria a tecnologia.

O *hardware* escolhido para o desenvolvimento deste projeto implicou em limitações para o projeto. Portanto outra sugestão seria de aprimorar o código fonte inserido no microcontrolador, juntamente com o *hardware*, para que o sensor além de ligar e desligar os equipamentos pudesse ser capaz de gerenciar a intensidade dos aparelhos, por exemplo: no caso da luz, ele conseguiria aumentar ou diminuir a intensidade luminosa, no caso do ventilador, pudesse ser acionado em várias velocidades.

## REFERÊNCIAS

AHO, A.V.[et al.]. *Compiladores: princípios, técnicas e ferramentas* / Alfred V.Aho...[et al.]; Tradução Daniel Vieira; revisão técnica Mariza Bigonha – 2ª edição – São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2008.

BRAGA, Maria Luiza de Oliveira, **Janela automatizada para smart houses com sensor de chuva e aviso por SMS**, Projeto acadêmico em Engenharia de Computação do Centro universitário de Brasília. 2010. Brasília-DF.

BRAGA, N. C. (2007). **Como funciona o capacitor**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3177-mec070>>. Acesso em: 09 abr. 2013.

BRAGA, N. C. (2007). **Como funcionam os sensores capacitivos**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/5849-como-funcionam-os-sensores-capacitivos-art761>>. Acesso em: 09 abr. 2013.

BRAGA, N. C. (2007). **Sensor capacitivo com o MSP 420**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontroladores/142-texas-instruments/3514-mic033>>. Acesso em: 08 abr. 2013.

CASSIOLATO, César. (Data de publicação: 12/27/2011 10:42:49 AM) **Condicionamento de sinais analógicos e sensores**. Disponível em: <http://www.smar.com/brasil/artigostecnicos/artigo.asp?id=16> Acesso em: 09 abr. 2013

CANZIAN, E. **Comunicação Serial RS-232**. Disponível em: <[http://www.capriconsultorios.com/Aula4-Comun\\_serial.pdf](http://www.capriconsultorios.com/Aula4-Comun_serial.pdf)> Acessado em: 01 de jun. 2013.

GIMENEZ, S. P. **Microcontroladores 8051**. 1ª ed. São Paulo: Pearson, 2005.

GONÇALVES, B. S. (2010). *Sistema Operacional para Microcontroladores*. Orientador: Prof. Tony Inácio Silva. Data do artigo: 7 de maio de 2010. Acesso em 9 de março de 2013,

Disponível em Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação - DPPG:

<http://www.dppg.cba.ifmt.edu.br/blogs/2010/grupo3/?p=22>

JOSÉ, A. (2009). **Microcontroladores**. Disponível em:

<<http://lusorobotica.com/index.php?topic=1198.0>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. (2007). **PIC16F627A/628A/648A**. Datasheet: Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nano Watt Technology. DS40044F. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40044f.pdf>>. Acesso em: 12 de maio. 2013.

NASCIMENTO, Juarez do. Telecomunicações – 2ª edição – São Paulo : Makron Books, 2000.

NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. (2000). **Datasheet LM78XX Series Voltage Regulators**. Data do documento: Maio de 2000. DS007746. Disponível em: <<http://www.national.com/ds/LM/LM7512C.pdf>>. Acesso em: 22 de maio. 2013.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação em C** / Fábio Pereira. – 7. Ed. – São Paulo: Érica, 2007.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Técnicas Avançadas** / Fábio Pereira. – 3.Ed. – São Paulo: Érica, 2004.

REIS, Carlos. *Sensores*. Disponível em:

< [http://www.lpm.fee.unicamp.br/~carlos\\_reis/sensores.pdf](http://www.lpm.fee.unicamp.br/~carlos_reis/sensores.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2013.

ROBÓTICA SIMPLES. (2010). **Aula 03 - O Microcontrolador PIC 16F628A**. Disponível em: <<http://www.roboticasimples.com/cursos.php?acao=15>>. Acesso em: 18 abr. 2013.

SOUZA, D. J. **Desbravando o PIC: Ampliado e Atualizado para PIC 16F628A** / David José de Souza. – 8. Ed. – São Paulo: Érica, 2005.

TREVISAN, Pedro V. T. **Microcontroladores PIC**. Disponível em:

<<http://www.eletronica.org/index.php?post/Microcontrolador-PIC>>. Acesso em: 08 fev. 2013.

ZANCO, W. S. **Microcontroladores PIC 16F628A/648A: Uma Abordagem Prática e Objetiva** / Wagner da Silva Zanco – 1.Ed – São Paulo, SP, Brasil: Érica 2005.

## APÊNDICE

```

#include <16f628a.h>
#define delay(clock=4000000)
#define fuses INTRC_IO,NOWDT,PUT,BROWNOUT,NOLVP,NOMCLR

#define RL1    PIN_A2
#define RL2    PIN_A3
#define RL3    PIN_B0
#define LED1   PIN_B3
#define LEDRL1 PIN_A7
#define LEDRL2 PIN_A0
#define LEDRL3 PIN_A1
#define SENSOR1 PIN_B5
#define SENSOR2 PIN_B6
#define SENSOR3 PIN_B7
#define TOQUE  7
#define CICLOS 50

int8 ciclosS1 = 0;
int8 ciclosS2 = 0;
int8 ciclosS3 = 0;
int1 stateRL1 = 0;
int1 stateRL2 = 0;
int1 stateRL3 = 0;

void toggleRelay(int l)
{
    if(l == RL1)
    {
        delay_ms(100);
        if(!stateRL1)
        {
            output_high(RL1);
            output_high(LEDRL1);
            stateRL1 = 1;
        }
        else
        {
            output_low(RL1);
            output_low(LEDRL1);
            stateRL1 = 0;
        }
    }
    else if(l == RL2)
    {
        delay_ms(100);
        if(!stateRL2)

```

```

    {
        output_high(RL2);
        output_high(LEDRL2);
        stateRL2 = 1;
    }
    else
    {
        output_low(RL2);
        output_low(LEDRL2);
        stateRL2 = 0;
    }
}
else if(1 == RL3)
{
    delay_ms(100);
    if(!stateRL3)
    {
        output_high(RL3);
        output_high(LEDRL3);
        stateRL3 = 1;
    }
    else
    {
        output_low(RL3);
        output_low(LEDRL3);
        stateRL3 = 0;
    }
}
if(stateRL1 || stateRL2 || stateRL3)
{
    output_low(LED1);
}
else
{
    output_high(LED1);
}
}
void testaCircuitos() {
    output_high(RL1);
    delay_ms(200);
    output_low(RL1);
    delay_ms(200);
    output_high(RL2);
    delay_ms(200);
    output_low(RL2);
    delay_ms(200);
    output_high(RL3);
    delay_ms(200);
    output_low(RL3);
    delay_ms(200);
    output_high(LEDRL1);
}

```

```

delay_ms(200);
output_low(LEDRL1);
delay_ms(200);
output_high(LEDRL2);
delay_ms(200);
output_low(LEDRL2);
delay_ms(200);
output_high(LEDRL3);
delay_ms(200);
output_low(LEDRL3);
delay_ms(200);
output_high(LED1);
}

```

```

void main()
{
    delay_ms(500);
    testaCircuitos();
    delay_ms(500);
    while(true) {
        output_low(SENSOR1);
        output_low(SENSOR2);
        output_low(SENSOR3);
        delay_ms(1);
        output_high(SENSOR1);
        output_high(SENSOR2);
        output_high(SENSOR3);
        delay_us(2);
        output_float(SENSOR1);
        output_float(SENSOR2);
        output_float(SENSOR3);

        ciclosS1 = 0;
        ciclosS2 = 0;
        ciclosS3 = 0;
        while(input(SENSOR1) && (ciclosS1 < CICLOS))
        {
            delay_us(150);
            ciclosS1++;
        }
        if (ciclosS1 < TOQUE)
        {
            toogleRelay(RL1);
            ciclosS1 = 0;
            delay_ms(400);
        }
        while(input(SENSOR2) && (ciclosS2 < CICLOS))
        {
            delay_us(150);
            ciclosS2++;
        }
    }
}

```

```
    }  
    if (ciclosS2 < TOQUE)  
    {  
        toogleRelay(RL2);  
        ciclosS2 = 0;  
        delay_ms(400);  
    }  
    while(input(SENSOR3) && (ciclosS3 < CICLOS))  
    {  
        delay_us(150);  
        ciclosS3++;  
    }  
    if (ciclosS3 < TOQUE)  
    {  
        toogleRelay(RL3);  
        ciclosS3 = 0;  
        delay_ms(400);  
    }  
} }  
}
```