

**ALAN VALENTE ZIMMER**

**SISTEMA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL CONTROLADO VIA REDE  
DOMÉSTICA**

Guaratinguetá - SP

2014

**Alan Valente Zimmer**

**SISTEMA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL CONTROLADO VIA REDE  
DOMÉSTICA**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Julien B. Da S. Sampaio.

Guaratinguetá

2014

Zimmer, Alan Valente  
Sistema de Automação Residencial Controlado Via Rede Doméstica /  
Z721s Alan Valente Zimmer – Guaratinguetá : [s.n], 2014.  
40 f : il.  
Bibliografia: f. 39-40

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.  
Orientador: Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio

1. Microcontroladores 2. Automação residencial I. Título

CDU 621.381


**Alan Valente Zimmer**


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

  
Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. DANIEL JULIËN B. DA S. SAMPAIO  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. SAMUEL EUZÉDICE DE LUCENA  
UNESP-FEG

  
Prof. MSc. FERNANDO RIBEIRO FILADELFO  
UNESP-FEG

**OUTUBRO de 2014**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a minha mãe pela orientação, conselhos, dedicação e apoio durante toda a minha vida,

à minha família, pelo apoio e confiança,

à minha noiva, Alessandra, pela motivação, suporte e companheirismo ao longo dos últimos anos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio*, pela confiança e suporte durante o desenvolvimento do trabalho,

ao *Prof. Dr Samuel Euzédice de Lucena*, pela paciência e suporte ao longo do desenvolvimento do projeto,

ao *Fernando Filadelfo* pela colaboração ao longo do desenvolvimento do trabalho,

às amizades que fiz durante a graduação, em especial aos meus amigos Saulo, Cristiano e Victor.

ZIMMER, A. V. **Sistema de automação residencial controlado via redes domésticas.** 2014. 40f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

### **RESUMO**

O presente trabalho trata do desenvolvimento de um sistema de automação residencial controlado por microcontrolador PIC, o qual deverá se conectar a uma rede doméstica utilizando protocolo TCP/IP. Isto foi motivado pela viabilidade da implementação de um sistema de automação com funções básicas e de baixo custo, que atualmente não se encontra no mercado. Primeiramente é apresentado um breve histórico sobre sistemas de automação e uma introdução sobre microcontroladores PIC. Em seguida, uma visão geral do sistema a ser implementado. Depois é apresentada a proposta de um circuito e seus elementos sensores e atuadores e um *software* para gerenciar o sistema todo, o qual foi montado e testado em laboratório. Por fim, apresentam-se os resultados obtidos do protótipo, com relação ao consumo de energia, custo, eficiência e confiabilidade.

**PALAVRAS CHAVE:** Automação Residencial. Microcontrolador PIC. Rede Doméstica.

ZIMMER, A. V. **Residential automation system controlled via domestic network**. 2014. 40f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

### **ABSTRACT**

The present work develops a residential automation system controlled by PIC microcontroller connected to a domestic network using the TCP/IP protocol. This was motivated by the viability of building an automation system to control basic elements of a house with low cost, which cannot be found nowadays. Initially is presented a brief history of the automation systems and an introduction about PIC microcontrollers. Afterwards is presented an overview of the system to be implemented. Then it is shown a suggested circuit and the sensor and actuator elements as well as the software to manage the system, this was all build and test in the laboratory. In the end are the results obtained from the prototype, like the energy consumption, the cost, efficiency and reliability.

**Keywords:** Residential Automation. PIC Microcontroller. Domestic Network.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- PIC18F4620.....	14
Figura 2 - Módulo HanRun ENC28J60.....	14
Figura 3 - PCF8574. ....	15
Figura 4 - Camadas do TCP/IP.....	16
Figura 5 - Diagrama de organização do trabalho. ....	17
Figura 6 - Página principal. ....	20
Figura 7 - Circuito sensor. ....	21
Figura 8 - Circuito atuador. ....	23
Figura 9 - Circuito do protótipo.....	25
Figura 10 - Circuito montado no <i>protoboard</i> . ....	27
Figura 11 - Módulo principal do sistema montado no laboratório.....	28
Figura 12 - Sensores montados no laboratório. ....	28
Figura 13 - Atuadores do sistema montados no laboratório.....	29
Figura 14 - Mapa de Karnaugh para lógica de acender as lâmpadas. ....	32
Figura 15 - Mapa de Karnaugh para lógica de apagar as lâmpadas. ....	32
Figura 16 - Tempo de resposta do microcontrolador a uma série de requisições. ....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela verdade para ascender as lâmpadas. ....	31
Tabela 2 - Tabela verdade para apagar as lâmpadas. ....	31
Tabela 3 - Potência dissipada por bloco. ....	34
Tabela 4 - Potências mínimas e máximas de exemplos de sistemas. ....	35
Tabela 5 - Custo dos componentes por bloco.....	35
Tabela 6 - Preços dos componentes para exemplos de sistemas. ....	35

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CCS	Custom Computer Services
CI	Circuito Integrado
CLK	Clock
CLP	Controlador Lógico Programável
CS	Chip Select
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIP	Dual In-line Package
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
I/O	Input/Output
I2C	Inter-Integrated Circuit
INT	Interrupt
IP	Internet Protocol
MAC	Media Access Control
PC	Personal Computer
PIC	Programmable Interface Controller
PLC	Power Line Carrier
RST	Reset
SI	Signal Input
SO	Signal Output
SPI	Serial Peripheral Interface
TCP	Transmission Control Protocol

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	10
1.2	OBJETIVOS .....	11
1.3	MOTIVAÇÃO .....	11
1.4	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA .....	11
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
2.1	COMPONENTES .....	13
<b>2.1.1</b>	<b>PIC 18F4620 .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Módulo HanRun ENC28J60 .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3</b>	<b>PCF8574.....</b>	<b>15</b>
2.2	PROTOCOLO TCP/IP.....	15
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>17</b>
3.1	COMUNICAÇÃO COM A REDE.....	17
3.2	CIRCUITO SENSOR E ATUADOR .....	20
<b>3.2.1</b>	<b>Circuito Sensor .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Circuito atuador .....</b>	<b>22</b>
3.3	CIRCUITO PROTÓTIPO.....	24
3.4	DETALHES DO PROGRAMA.....	29
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
4.1	CONSUMO DE ENERGIA .....	34
4.2	CUSTO DO PROJETO.....	35
4.3	EFICIÊNCIA .....	36
4.4	CONFIABILIDADE .....	37
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA .....</b>	<b>40</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Automação é a aplicação de técnicas e equipamentos computadorizados ou mecânicos para diminuir o uso da mão-de-obra em qualquer processo, tornando-o assim mais simples e eficiente (WIKIPEDIA). A automação residencial tem como objetivo diminuir e facilitar a intervenção do ser humano nas tarefas e rotinas domésticas, tornando o lar mais prático, seguro e confortável. Entre estas rotinas encontra-se, por exemplo, a operação de sistemas como segurança, iluminação, controle de temperatura e entretenimento (HOMEDIGITAL).

A automação originou-se na década de 60, na indústria, com os dispositivos CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) devido aos avanços da microeletrônica. Na década de 70 surgiu a automação residencial nos Estados Unidos com os módulos inteligentes X-10, que utilizavam a própria rede elétrica para comunicação dos dispositivos, denominados PLC (*Power Line Carrier*). Na década de 80, a popularização dos computadores pessoais (PCs) trouxe uma nova opção na área da automação residencial, pois assim era possível centralizar o controle dos dispositivos no computador. Porém algumas desvantagens são evidentes, como a necessidade de manter o computador ligado o tempo todo, o que gera um alto consumo de energia, bem como a possibilidade de falha no PC, o que faria com que o sistema todo falhasse. A partir de então, começaram a serem desenvolvidos dispositivos dedicados (embarcados) a estas tarefas, utilizando microprocessadores e microcontroladores, excluindo então os PCs.

Paralelamente inúmeras outras tecnologias foram criadas e também podem ser incorporadas à automação residencial, como os controles remotos infravermelhos de televisores, controles por radiofrequência para acionamento de portões com motores elétricos, ares condicionados e outros equipamentos de entretenimento.

A internet de banda larga trouxe ao usuário a possibilidade de controle e monitoramento da sua residência de qualquer local onde se possa ter acesso a internet, desde que o sistema da sua residência também esteja a ela conectado. Adicionado a isso, há uma convergência tecnológica onde um único dispositivo (*smartphone, tablet, PC*) pode ter acesso a diversos serviços (telefonia, internet, monitoramento e controle). Nesses casos, um *software* ainda é necessário para realizar o controle da residência. Apesar de todas estas tecnologias facilitarem a implementação de sistemas de automação em nossas residências, no mercado brasileiro, essa tendência ainda não foi bem incorporada na área da construção civil. O

mercado automobilístico possui muito mais eletrônica embarcada atualmente do que nossas residências, mesmo que nossas casas tenham preço muito mais elevado (SRA ENGENHARIA).

Para automatizar um cômodo ou uma residência por completo, é necessário estudar inicialmente a planta do imóvel e as necessidades do usuário, e então criar os módulos do programa a ser feito para gerenciamento dos recursos desejados.

O sistema de automação de ambientes pode custar entre R\$10 mil e R\$30 mil, dependendo dos serviços que o usuário gostaria que estivessem disponíveis em seu sistema (G1, 2012).

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento, prototipagem e teste de um circuito de baixo custo, com base em um microcontrolador PIC (*Programmable Interface Controller*), e seu *software*, utilizando linguagem de programação C através do compilador CCS (*Custom Computer Services*), que terá como função principal controlar funções básicas de uma residência como acender e apagar luzes, e deverá se conectar a uma rede doméstica através de um roteador, utilizando protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) e aplicação HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), possibilitando assim o controle do sistema por meio de outros dispositivos conectados a esta rede, como computadores, celulares, *smartphones* e *tablets* ou qualquer outro dispositivo que tenha acesso a um navegador de internet.

## 1.3 MOTIVAÇÃO

Os sistemas de automação residencial vêm crescendo no mercado nos últimos anos. Em 2012, no Brasil, aproximadamente 250 empresas faturaram aproximadamente R\$ 4 bilhões e um crescimento de 30% era esperado para o ano de 2013 (G1). Entretanto, o acesso a esta tecnologia ainda é bastante limitada devido a seus custos elevados.

## 1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Nessa seção é apresentada uma visão geral do trabalho, apresentando uma breve descrição dos temas abordados em cada capítulo.

No capítulo dois são apresentados o hardware escolhido e o método de comunicação entre o sistema de automação e o dispositivo controlado pelo usuário.

O capítulo três trata do desenvolvimento do projeto, este é dividido em quatro partes. A primeira trata da configuração e programação do módulo de ethernet para funcionamento junto ao microcontrolador. Em seguida são detalhados os circuitos desenvolvidos para fazer o papel de sensores e atuadores sobre as lâmpadas. A terceira parte descreve o circuito completo do protótipo montado no laboratório. Por ultimo são discutidos alguns outros detalhes do programa que faz o controle das lâmpadas.

No capítulo quatro são apresentados os resultados obtidos a partir do protótipo que foi desenvolvido no capítulo anterior, montado e testado no laboratório, dados sobre potência dissipada, custo do projeto, eficiência e confiabilidade do sistema.

No capítulo cinco uma breve conclusão sobre os resultados apresentados no capítulo quatro.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Aqui são apresentados alguns componentes relevantes para o projeto, bem como algumas características e motivos que levaram a escolha dos mesmos.

### 2.1 COMPONENTES

#### 2.1.1 PIC 18F4620

Os microcontroladores PIC são uma família de microcontroladores fabricados pela Microchip. Possuem uma grande variedade de modelos, periféricos internos, baixo custo e facilidade de programação, já que possui um compilador de linguagem C, o que os tornam bastante atrativo para o desenvolvimento de projetos em diversas áreas.

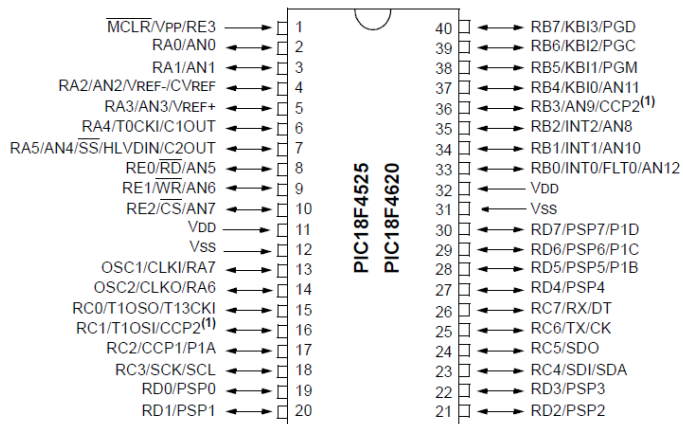
O microcontrolador escolhido para o projeto foi o PIC 18F4620, pois é um microcontrolador de baixo custo e fácil de encontrar no mercado. Já havia também certo conhecimento sobre o funcionamento e as características do mesmo através de um contato prévio na matéria de Sistemas Microprocessados, bem como seu desempenho satisfatório para a aplicação proposta. Este componente também possui algumas características desejáveis para o desenvolvimento do trabalho proposto.

Algumas das características relevantes do PIC18F4620 para o projeto são:

- Frequência de operação até 40MHz.
- Comunicação SPI™ (*Serial Peripheral Interface*) e I<sup>2</sup>C™ (*Inter-Integrated Circuit*).
- Faixa de operação de 2,0V a 5,5V.
- Memória de Programa (*Flash*) de 64kbytes.
- 36 Portas I/O (*Input/Output*) digitais.
- Apresentado na forma DIP (*Dual In-line Package*) 40 pinos.

A Figura 1 mostra uma imagem esquemática do PIC18F4620.

Figura 1- PIC18F4620.



Fonte: (MICROCHIP)

### 2.1.2 Módulo HanRun ENC28J60

O circuito integrado (CI) ENC28J60 é um controlador de ethernet fabricado pela Microchip que pode se comunicar com os microcontroladores PIC através de interface SPI. O módulo HanRun traz um CI ENC28J60 conectado a um conector RJ45, que permite fácil conexão com qualquer tipo de roteador através de um cabo de rede par trançado. Este módulo opera com tensão de 3,3V.

Figura 2 - Módulo HanRun ENC28J60.

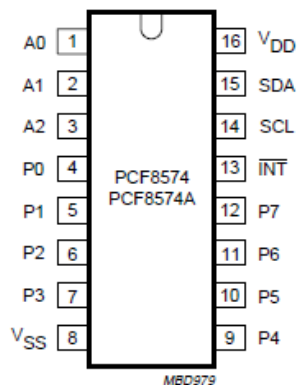


Fonte: (HP SPIN)

### 2.1.3 PCF8574

O PCF8574 é um expensor de portas I/O digitais para barramentos I<sup>2</sup>C. Ele possui três pinos para definir o endereço do chip, oito portas I/O digitais e duas entradas para o barramento I<sup>2</sup>C. Quando conectado ao barramento, ele recebe um sinal I<sup>2</sup>C em série que deve conter o endereço do chip, seguido da operação (escrita ou leitura de dados) e, se for para escrever, os dados a serem colocados nas portas de saída. Este CI opera numa faixa de tensão de 2,5V a 6V. É apresentado no formato DIP 16 pinos. A Figura 3 mostra o esquemático do componente

Figura 3 - PCF8574.



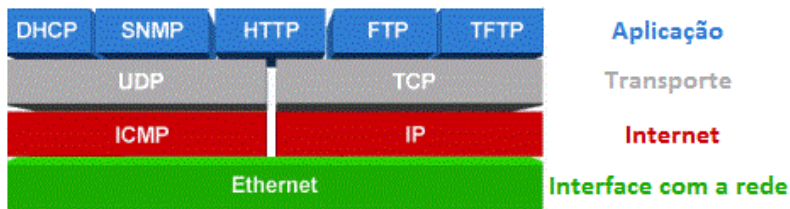
Fonte: (MANUAL)

## 2.2 PROTOCOLO TCP/IP

O protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) é um conjunto de protocolos criados para internet que permite a comunicação entre computadores e outros dispositivos em uma rede, seja ela local ou global. Este protocolo se popularizou principalmente pela popularização da internet, e também pela implementação das redes sem fio, que permitiu que vários tipos de outros dispositivos, como celulares e *tablets* também fizessem uso desse mesmo protocolo para se comunicar com a internet ou em redes locais. Um dos fatores que colaborou com tudo isso é que este protocolo possui uma arquitetura aberta, ou seja, qualquer fabricante pode adotar este protocolo sem ter que pagar por direitos autorais.

A arquitetura do TCP/IP é dividida em quatro camadas, como se pode ver na Figura 4.

Figura 4 - Camadas do TCP/IP.



Fonte: (MICROCHIP)

- Camada de Aplicação: é a camada que faz a comunicação entre a aplicação escolhida, no caso deste projeto será a HTTP, e a camada de transporte (TCP) através de uma porta. As aplicações utilizam sempre a mesma porta, e através dela a camada de transporte sabe o tipo de conteúdo do pacote de dados a receber.

- Camada de Transporte: recebe os dados enviados pela camada de aplicação e os transforma em pacotes, para então serem repassados para a camada de internet. O TCP é o mais utilizado, pois este verifica se o dado chegou ou não ao destino. Já ao receber dados da camada de internet, o TCP é quem coloca os pacotes em ordem e verifica se todos foram recebidos de forma correta, e se houver uma falta ele requisita a retransmissão dos pacotes que faltam.

- Camada de Internet: na transmissão de dados, a camada de internet divide os pacotes de dados em datagramas e adiciona a eles informações sobre o destino que eles devem tomar.

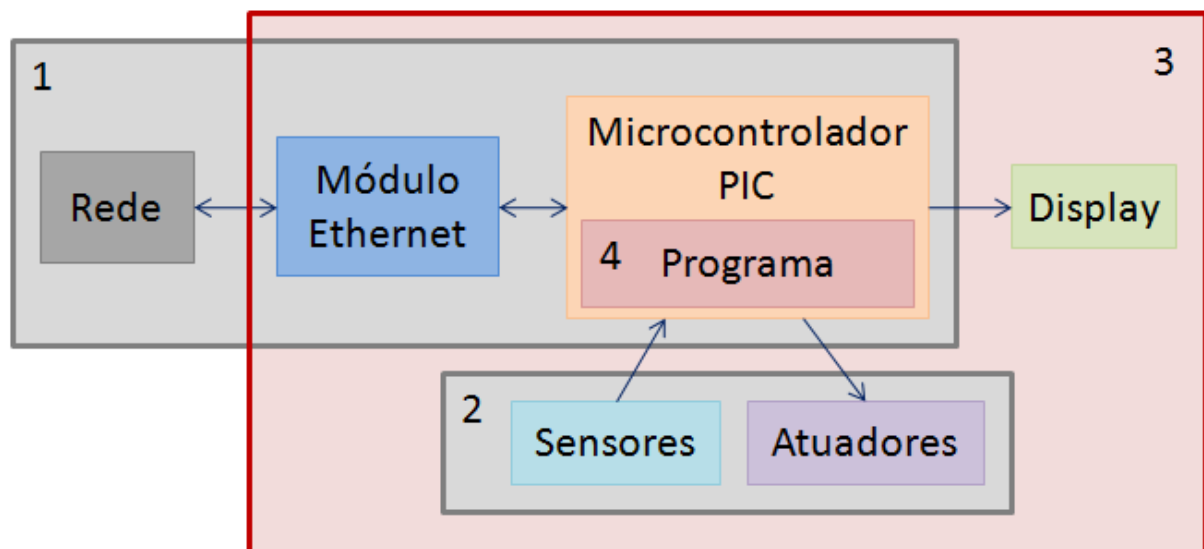
- Camada de Interface com a Rede: é responsável por transmitir os datagramas para o meio físico, o cabo par trançado, e também de encontrar a rota mais próxima e confiável para os datagramas chegarem ao seu destino (FAQ INFORMATICA).

### 3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento do *hardware* e *software* para gerenciar o sistema de automação proposto.

O trabalho foi organizado conforme mostra o diagrama da Figura 5. Inicialmente foi desenvolvida a comunicação entre o microcontrolador, o módulo de Ethernet e a rede. Em seguida foram desenvolvidos os circuitos sensores e atuadores independentes. Após esta etapa, foi desenvolvida a interface e integração dos sensores, atuadores e um *display* ao circuito. E por fim foi desenvolvido o programa para controle do circuito todo.

Figura 5 - Diagrama de organização do trabalho.



Fonte: Autoria Própria

#### 3.1 COMUNICAÇÃO COM A REDE

Como já apresentado anteriormente, o componente que deverá fazer a comunicação entre o microprocessador e a rede será um módulo da HanRun que contém um *chip* ENC28J60 da Microchip e uma porta de Ethernet RJ45, para conexão de cabo de rede par trançado.

A Microchip disponibiliza uma extensa biblioteca para dar suporte a seus microcontroladores e periféricos, bem como uma pilha do protocolo TCP/IP com suporte a algumas aplicações para ser utilizada em seus microcontroladores. Para isso basta baixar e instalar as bibliotecas disponíveis no site da Microchip, e em seguida executar o configurador

da pilha TCP/IP. Algumas configurações devem ser escolhidas para utilização do protocolo HTTP, como o tipo de aplicação, que será um servidor web. É preciso escolher também o protocolo de transporte, no caso o TCP, o endereço MAC (*Media Access Control*) que a placa deverá usar, e também o número máximo de conexões simultâneas que o microcontrolador deverá aceitar e também o local de armazenamento e o tipo dos arquivos a serem guardados no servidor. Neste caso, os arquivos estarão armazenados na memória *flash* como arquivos do tipo .c. Isto significa que todos os arquivos farão parte do programa do microcontrolador. Outra definição importante a ser feita dentro do programa principal para que a pilha TCP/IP funcione corretamente é o endereço IP que o dispositivo deverá utilizar ao se conectar na rede. Este endereço é necessário para cada terminal conectado a uma rede e deve ser único dentro daquela rede. Existe uma opção chamada DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), que permite que cada terminal de uma dada rede receba um endereço de forma automática. Quem gerencia esses endereços para que não haja conflito é o roteador ou *switch* da rede, esta opção está disponível também na pilha TCP/IP e precisa apenas ser ativada.

Juntamente com a biblioteca da Microchip, há uma biblioteca exclusiva para uso do chip ENC28J60. Essa mesma biblioteca pode ser utilizada para a placa da HanRun utilizada nesse projeto, para isto basta importar o arquivo ENC28J60.C e alguns outros arquivos que são necessários para o funcionamento desta biblioteca, todos eles estão descritos na própria biblioteca do ENC28J60. É também necessário definir os pinos de comunicação que o PIC irá usar para se comunicar com o módulo, as definições necessárias também são encontradas nesta biblioteca, e assim é formada uma comunicação SPI entre o PIC e o módulo de Ethernet. Alguns outros pinos envolvidos no controle do módulo também precisam ser definidos, estes são:

- SI (*Signal Input*): Entrada de sinal;
- SO (*Signal Output*): Saida de sinal;
- CS (*Chip Select*): Seleção de chip;
- CLK (*Clock*): Sinal do relógio;
- RST (*Reset*): Sinal de reset;
- INT (*Interrupt*): Sinal de interrupção;

Estes são os pinos de controle do módulo ENC28J60 que são relevantes para o projeto, e precisam ser definidos no programa principal, e suas instruções são encontradas na própria biblioteca.

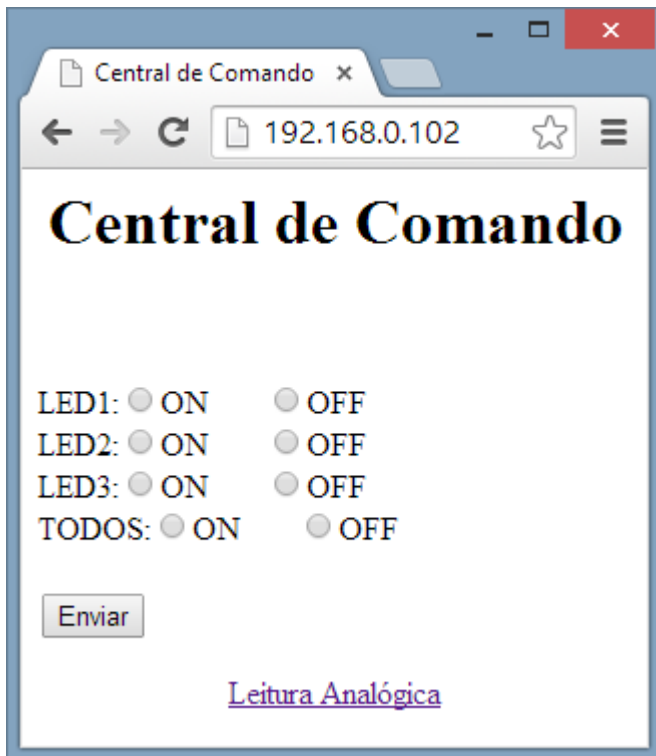
Feito isto, o servidor está quase pronto para se conectar e se comunicar dentro de uma rede, sendo ainda necessário definir o que fazer com as informações recebidas da rede e o que enviar para a rede quando algo for requisitado.

Ao digitar o endereço do módulo em um navegador de internet de qualquer dispositivo conectado a mesma rede que o módulo, ele tentará acessar o conteúdo armazenado no servidor do módulo enviando como parâmetro a *string* '/', e assim é definida a página principal do servidor, ou seja, quando o parâmetro '/' for recebido, a página principal deverá ser enviada, e a partir daí, é possível definir quantos outros parâmetros forem necessários para quantas outras páginas se quiser, definimos então outra string a ser recebida chamada de *'analog'*, que será associada a uma segunda página.

As páginas deverão ser programadas em HTML (*HyperText Markup Language*), que é uma linguagem de marcação simples e leve para páginas Web e pode ser interpretada por qualquer tipo de navegador.

Em seguida foram programadas as páginas principal e analog. A página principal contém os botões para controle de acender e apagar lâmpadas, e a página analog contém apenas a informação sobre o estado de cada lâmpada. Para cada botão da página principal, o navegador passa um parâmetro definido pelo nome do botão e a ação do botão, se o usuário deseja acender a lâmpada, o parâmetro é '1', e se deseja apagar o parâmetro é '0', tendo definido, por exemplo, o nome do primeiro botão como "led1". Se o usuário pressionar este botão para acender a lâmpada vinculada a esta variável, o programa deverá receber dois parâmetros dizendo que o botão "led1" foi pressionado e que a opção para este botão é '1', assim o programa principal saberá qual ação tomar. A página analog contém apenas um bit para cada lâmpada conectada ao sistema, todos eles na mesma linha, separados por um caractere "espaço". Esses bits representam o estado de cada lâmpada, se a lâmpada estiver acesa o bit é "1" e se estiver apagada o bit é "0". Essa informação é lida através de sensores de tensão conectados a cada lâmpada, sendo essa informação atualizada em tempo real no microprocessador. Porém, a página que mostra essa informação para o usuário só é atualizada quando a página é novamente requisitada pelo navegador, não há um sistema de atualização automática para que a página mostre o estado das lâmpadas em tempo real. A Figura 6 mostra a página principal carregada através de um computador.

Figura 6 - Página principal.



Fonte: Autoria Própria

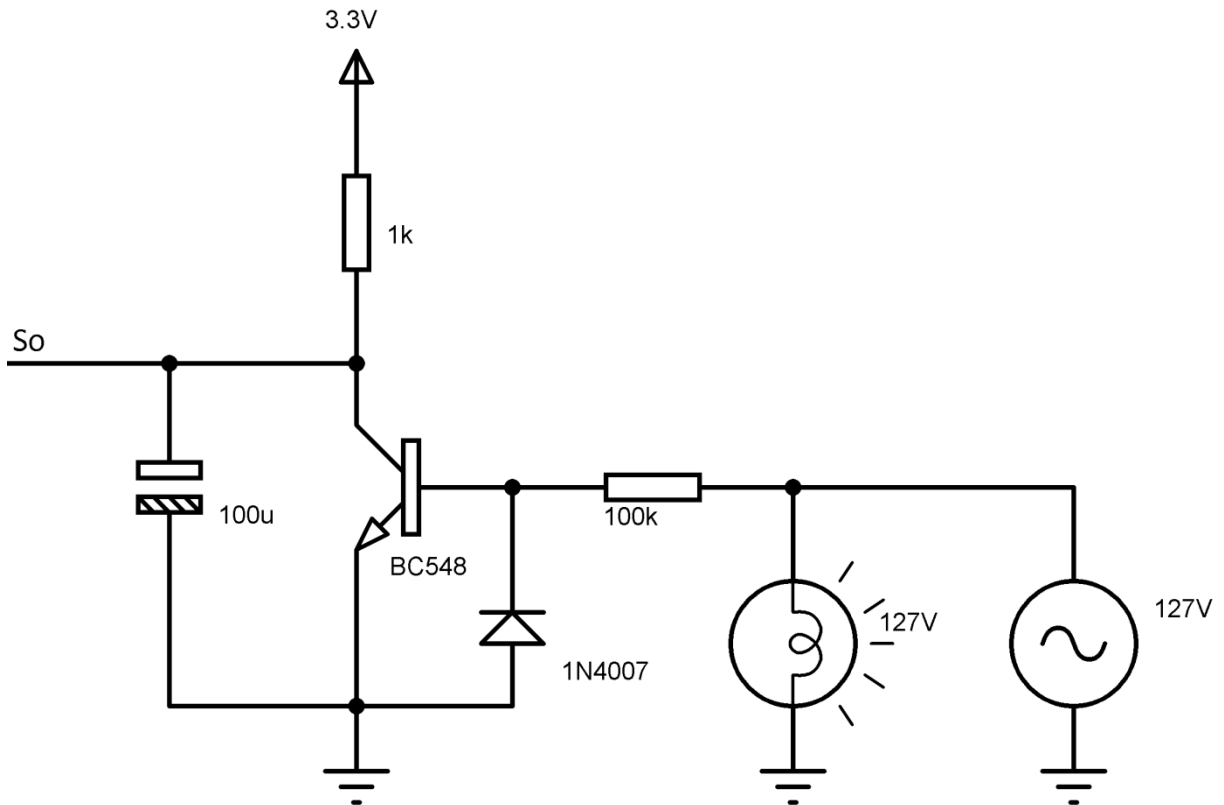
## 3.2 CIRCUITO SENSOR E ATUADOR

Para controle das lâmpadas através do sinal digital oferecido pelo microprocessador foi necessário o desenvolvimento de um circuito para retornar o estado da lâmpada para o PIC e outro para atuar sobre a lâmpada. Os sinais de entrada e saída de cada um desses circuitos foram conectados a dois CIs PCF8574. Um deles deverá repassar os sinais dos sensores para o PIC e o outro deverá receber um comando do PIC para enviar os sinais para os circuitos atuadores.

### 3.2.1 Circuito Sensor

O circuito sensor foi desenvolvido tendo em mente a necessidade de saber se há tensão sobre a lâmpada ou não, assim pode-se saber se a lâmpada está ligada ou não. Para tal, foi desenvolvido o circuito da Figura 7.

Figura 7 - Circuito sensor.



Fonte: Autoria Própria

O circuito sensor funciona da seguinte forma: quando há tensão na lâmpada, durante o semi-ciclo positivo, o transistor conduz, o que faz com que o capacitor se descarregue rapidamente com constante de tempo praticamente nula, pois a resistência em série com o capacitor nesse caso é a resistência do transistor na condução que é muito baixa. Assim o sinal de saída (So) chega próximo de 0,2V, o que é suficientemente baixo para que o CI PCF8574 reconheça como valor lógico baixo, sendo que este lê valor lógico alto a partir de 2,3V. No semi-ciclo negativo o transistor para de conduzir, assim a fonte de 3,3V carrega o capacitor lentamente sem tempo suficiente para que se carregue totalmente antes que outro semi-ciclo positivo comece e este se descarregue novamente, pois para carga do capacitor, a resistência em série com este é de 1kΩ, logo,

$$T = 5 * R * C = 5 * 1000 * 0,0001 = 500ms$$

Como a frequência da rede é de 60Hz, a duração do semi-ciclo negativo é de,

$$SCn = \frac{1}{120} = 8,3ms$$

Portanto não há tempo suficiente para que o capacitor se carregue durante o semi-ciclo negativo, e a tensão continua sendo baixa. Em medição no laboratório tivemos um sinal de saída de 0,4Vpp com sinal médio de 0,4V. O diodo faz papel de proteger o transistor durante o semi-ciclo negativo, já que uma tensão reversa de 127V certamente danificaria o transistor, e a resistência de 100kΩ limita a corrente para a base do transistor e a potência dissipada pelo circuito em funcionamento.

A potência total dissipada pelo circuito em funcionamento é de,

$$P_t = P_{dc} + P_{ac} = \frac{3,3^2}{1000} + \frac{127^2}{100000} = 172mW$$

### 3.2.2 Circuito atuador

O circuito atuador foi desenvolvido com base em um componente chave, o relé T73S515-5. As principais características deste relé são:

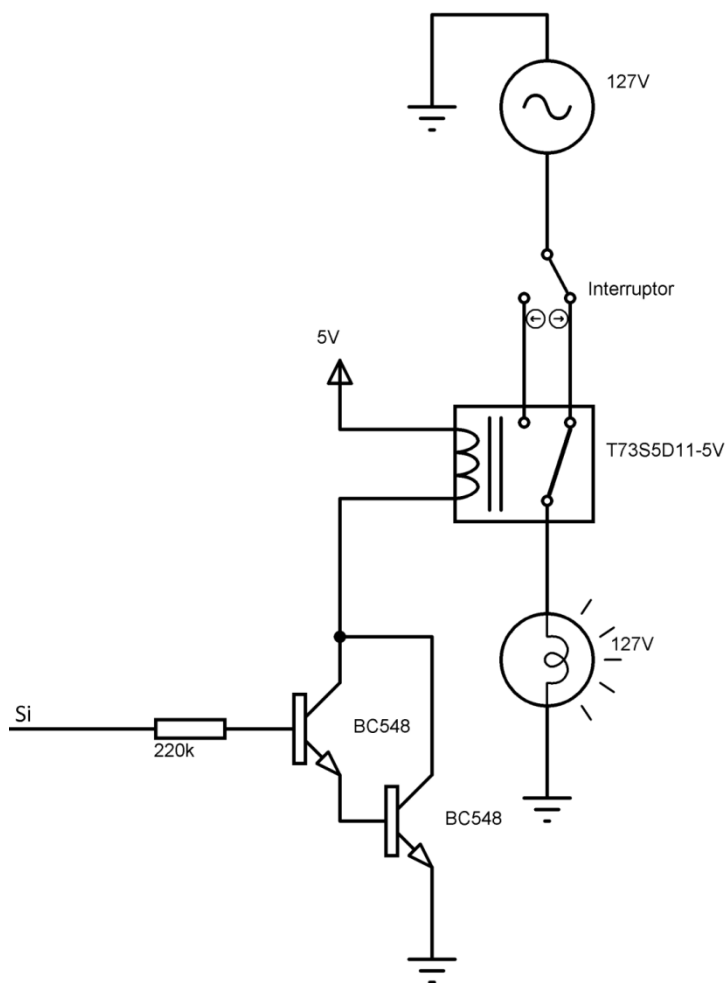
- Tensão nominal da bobina: 5VDC;
- Potência dissipada pela bobina: 450mW;
- Tensão mínima de fechamento: 3,2V;
- Tensão máxima para abertura: 0,25V;
- Resistência da bobina: 56Ω;

A partir destes dados nota-se que é necessário um circuito amplificador para operar o relé, pois nenhum circuito integrado consegue suprir a potência necessária para operar nem ao menos um único relé. Calcula-se então a corrente necessária para uma fonte de 5V operar o relé,

$$I_r = \frac{5}{56} = 89mA$$

Para isso foi desenvolvido o circuito da Figura 8.

Figura 8 - Circuito atuador.



Fonte: Autoria Própria

O circuito atuador funciona de forma bastante simples. Ao receber um sinal de entrada os transistores conduzem e a bobina do relé é acionada. O circuito foi montado com dois transistores em formato Darlington para minimizar a corrente requerida do CI que fornece o sinal, sendo assim a corrente necessária para operar o relé é

$$I_i = \frac{3,3 - 1,3}{220000} = 9,1\mu A$$

Dado que o valor de  $\beta$  para o transistor nessas condições é 100, nesta configuração a corrente máxima, que deverá passar pelo transistor e, conseqüentemente, pela bobina do relé, é

$$I_c = \beta * \beta * I_i = 100 * 100 * 0,0000091 = 91mA$$

Esta corrente é mais que suficiente para operação do relé, que é de 89mA, e menor que a corrente máxima suportada pelo transistor, que é de 100mA. E a potência máxima requisitada pelo PCF8574 com todas as suas portas conectadas e operantes será

$$P_t = 8 * 3,3 * 0,0000091 = 240\mu W$$

Este valor é praticamente desprezível perante o fato do mesmo fornecer uma potência máxima de 400mW em todas as suas saídas juntas.

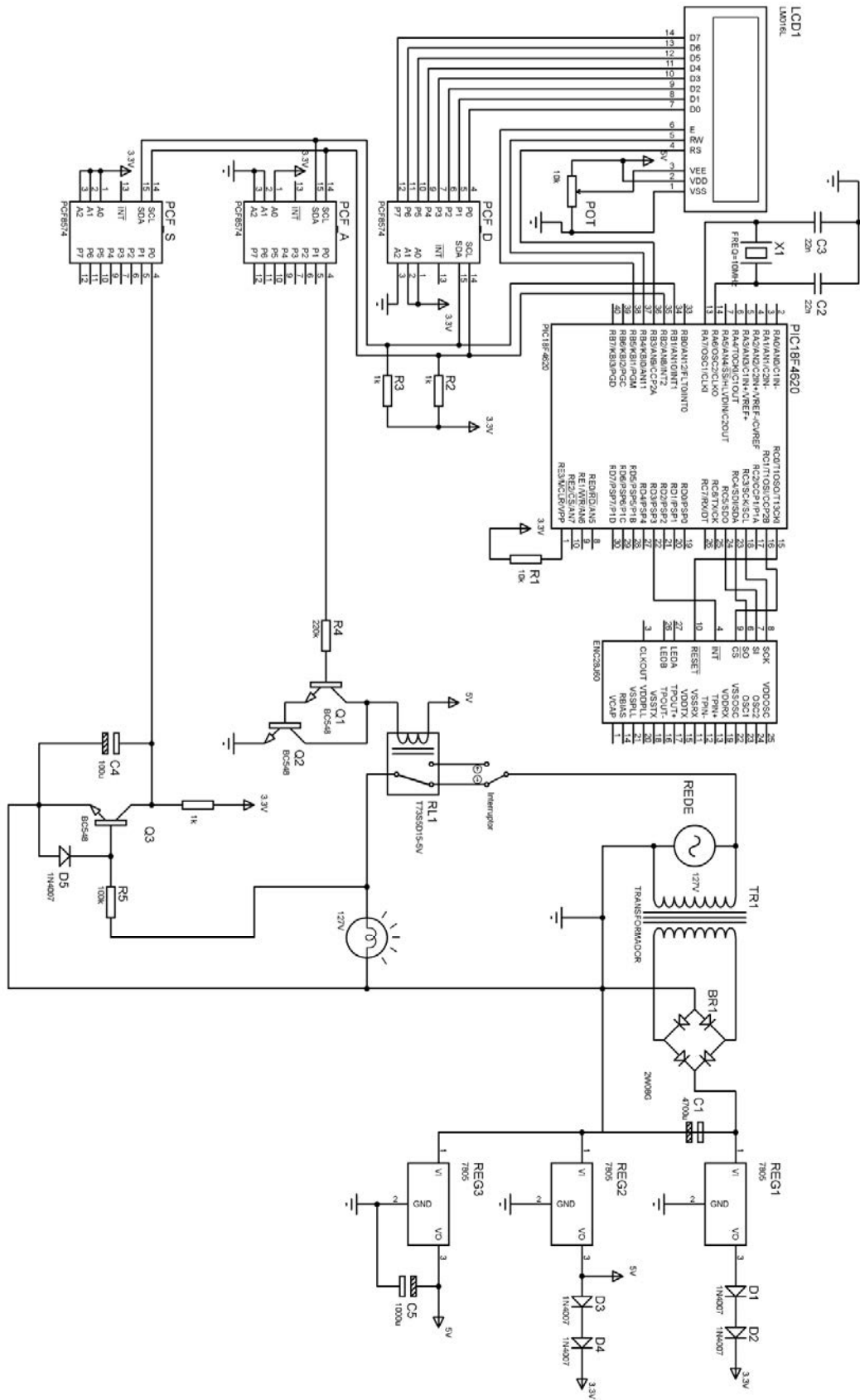
### 3.3 CIRCUITO PROTÓTIPO

Para montar e testar tudo que foi desenvolvido até aqui, foi montado o circuito conforme mostra a Figura 9.

O protótipo consiste num microcontrolador PIC18F4620, conectado ao módulo HanRun ENC28J60, o qual por sua vez deve ser conectado a uma rede doméstica através de um cabo de rede par trançado. O PIC também é conectado através de um barramento I<sup>2</sup>C a três diferentes expansores PCF8574, um deles está conectado aos atuadores, outro aos sensores das lâmpadas e o terceiro ao barramento de dados de um *display* de cristal líquido de 16x2 caracteres, os barramentos de controle do display estão conectados diretamente ao PIC.

Para alimentação do circuito foi usado um transformador de 127V para 7,5V (TR1), o que fornece uma tensão de pico de aproximadamente 11V. Em seguida foi usada uma ponte de diodos (BR1) para aproveitar os dois semi-ciclos da tensão de entrada e um capacitor (C1) para eliminar o *ripple*, após esta etapa, a alimentação que deverá chegar no circuito foi dividida em três reguladores de tensão KIA7805, que fornecem uma tensão de saída de 5V. Como o módulo do ENC28J60 trabalha apenas com tensão próxima a 3,3V, foram usados dois diodos em série para baixar a tensão para um valor próximo a 3,3V. O regulador REG1 foi usado exclusivamente para alimentar os circuitos do PIC e do módulo de Ethernet. A partir da saída do regulador REG2 foi conectada a alimentação do *display* de cristal líquido, pois este necessita de uma alimentação de 5V, porém, para os sinais de entrada, ele consegue ler nível lógico alto a partir de 2,2V, o que nos permite conectá-lo diretamente com o microcontrolador e o expensor sem nos preocupar com a diferença no nível de tensão de operação dos componentes, e então foram usados novamente dois diodos em série para baixar a tensão e fazer a alimentação dos CIs PCF8574 e dos circuitos dos sensores. O terceiro regulador, REG3, foi usado exclusivamente para alimentar os relés, já que estes são responsáveis por maior parte da potência dissipada. O capacitor C5 foi usado para eliminar ruídos no sinal após o regulador REG3.

Figura 9 - Circuito do protótipo.



Fonte: Autoria Própria

No *display* de cristal líquido, além da alimentação e das entradas de dados e os pinos de controle, também é necessário fazer uma conexão com um potenciômetro (POT) para ajustar o contraste do *display*.

O oscilador usado para o microcontrolador é um cristal de 10MHz (X1), seus terminais devem ser conectados diretamente aos pinos correspondentes aos de oscilador externo do PIC, e foram usados dois capacitores de 22nF (C2 e C3) conectados entre cada terminal do cristal e o terra.

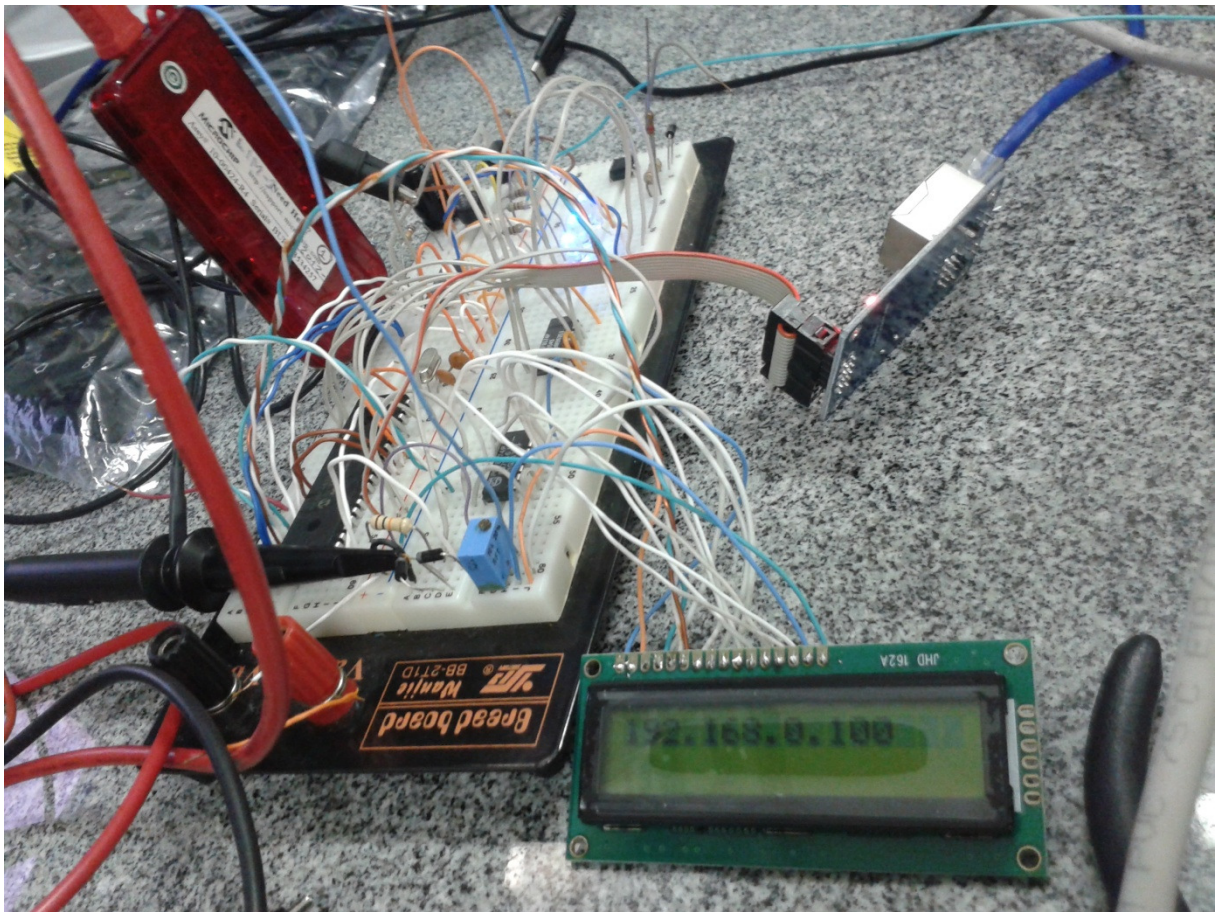
No barramento I<sup>2</sup>C que se conecta aos expansores PCF8574, é recomendado uso de resistores de *pull-up*, estes são os resistores R2 e R3 que devem ser conectados entre o barramento e a fonte, no caso a saída do REG2 após os diodos D3 e D4.

Os pinos um, dois e três dos expansores PCF8574 definem o endereço do chip, cada chip deve ter um endereço diferente se colocados no mesmo barramento I<sup>2</sup>C para que sejam acessados exclusivamente, por isso cada um deles apresenta uma conexão diferente. Como o expansor usado apresenta três bits de endereço, significa que podemos ter em um mesmo barramento até oito expansores de oito bits cada. Como são necessários dois expansores para cada oito lâmpadas, pois cada uma necessita de um para entrada e outro para saída de sinal, e temos um expansor usado para o *display*, significa que neste primeiro barramento I<sup>2</sup>C pode-se ter até três pares de expansores o que nos permite conectar até 24 lâmpadas. A partir de um segundo barramento I<sup>2</sup>C definido no microcontrolador, podemos ter mais quatro pares de expansores por barramento I<sup>2</sup>C, o que nos permite mais 32 lâmpadas a serem conectadas. Pode-se observar que há muitas portas I/O livres no PIC o que nos permitiria expandir o sistema para suportar um número maior de lâmpadas ou até mesmo outros recursos interessantes na área da automação, tendo em mente que para um redimensionamento no sistema é necessário redimensionar a fonte também.

O protótipo construído no laboratório contém três lâmpadas conectadas, a Figura 9 apresenta apenas uma por conveniência.

A Figura 10 apresenta o protótipo inicial montado no laboratório, em um *protoboard*, para testes iniciais de funcionamento.

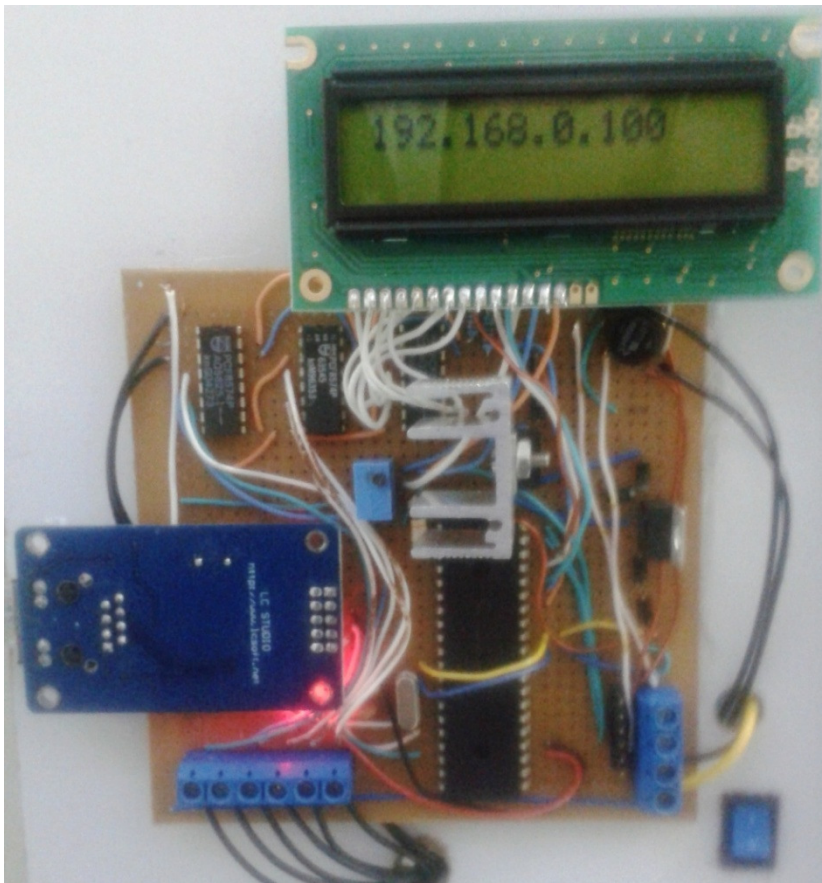
Figura 10 - Circuito montado no *protoboard*.



Fonte: Autoria Própria

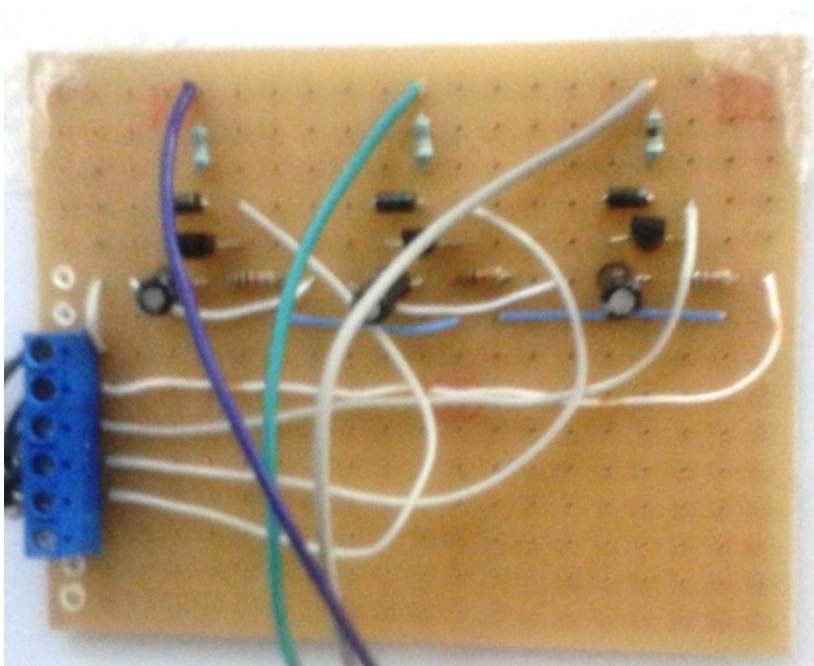
As Figuras 11, 12 e 13 mostram protótipo final do circuito montado no laboratório. A Figura 11 mostra o módulo principal, com o microcontrolador, o *display*, a placa de Ethernet, os expansores PCF8574 e parte do circuito de alimentação. A Figura 12 mostra os sensores desenvolvidos que são conectados às lâmpadas e a Figura 13 mostra os circuitos atuadores.

Figura 11 - Módulo principal do sistema montado no laboratório.



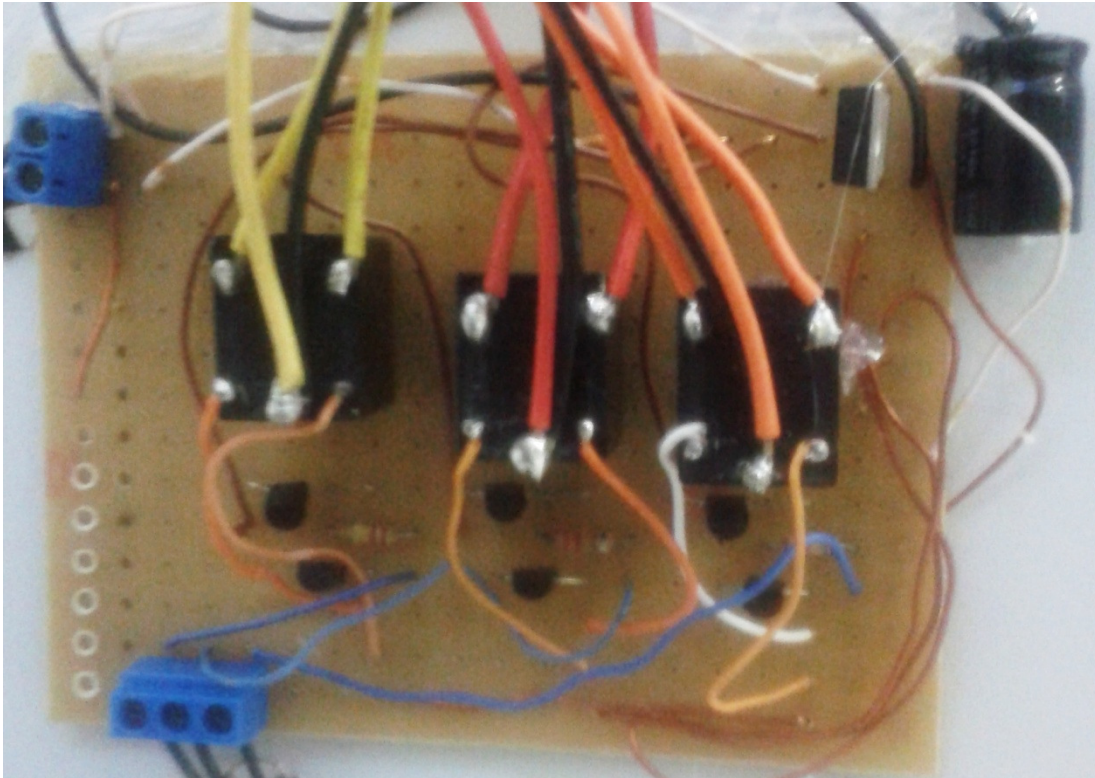
Fonte: Autoria Própria

Figura 12 - Sensores montados no laboratório.



Fonte: Autoria Própria

Figura 13 - Atuadores do sistema montados no laboratório.



Fonte: Autoria Própria

### 3.4 DETALHES DO PROGRAMA

O compilador escolhido para programação foi o *CCS C Compiler*, por possuir uma interface amigável, ferramentas que facilitam a programação e grande suporte na internet por meio de fóruns, blogs e sites de programação.

A primeira definição importante a ser feita no programa é que se deve ativar o modo de relógio com cristal externo e habilitar o PLL (*Phase Lock Loop*) que multiplica a frequência do oscilador por quatro, sendo assim, o PIC trabalhará numa frequência de 40MHz, já que temos um cristal de 10MHz, é importante também definir como parâmetro da função *delay*, que a frequência do relógio será de 40MHz, mas a frequência do cristal é de 10MHz.

Em seguida são definidos os pinos que serão usados para o barramento I<sup>2</sup>C, para este projeto foram utilizadas as saídas B1, como sinal de relógio, e B2, como sinal de dados.

As configurações necessárias para a configuração da pilha TCP/IP já foram abordadas na seção 3.1.

Nenhum *driver* foi utilizado para configuração do *display* de cristal líquido, todos os procedimentos de inicialização do display são executados no início do programa conforme as instruções do manual do produto, tendo em vista que as linhas de controle estão conectadas diretamente às saídas digitais do microcontrolador e o barramento de dados está conectado a um dos expansores, portanto é necessário que os dados sejam transmitidos através do barramento I<sup>2</sup>C. A única função do *display* é mostrar para o usuário o endereço de IP que o módulo recebeu, já que ele é definido automaticamente pelo roteador e esta informação é necessária para acessar o controle do sistema. O endereço de IP é composto por quatro bytes, separados por pontos, os quatro *bytes* são fornecidos por uma função da pilha TCP/IP, e então transformados em caracteres para em seguida serem escritos no *display*, se nenhum endereço de IP for fornecido pelo dispositivo que gerencia a rede, ou o cabo não estiver corretamente conectado, todos os *bytes* são retornados como zeros, e então uma mensagem de erro será escrita no *display*, quando a função retorna um endereço válido ele é escrito no *display* e então armazenado em outra variável, e a cada ciclo o valor atual é comparado com o anterior, assim, se o valor de algum dos bytes mudarem, o novo endereço é escrito no display, ou então a mensagem de erro, se for o caso.

Para atuação sobre as lâmpadas, uma questão importante diz respeito ao funcionamento dos expansores PCF8574, pois este faz interface entre o microcontrolador e os atuadores e sensores. Como o expensor recebe um sinal serial para atualizar o estado de suas saídas, ele não tem como receber um comando para que apenas uma única saída seja atualizada e as outras se mantenham inalteradas, por isso, cada vez que o usuário faz uma ação, a informação sobre todas as portas de saída do expensor que está conectado àquela lâmpada devem ser atualizadas. Outro fator a ser analisado, é o estado atual da lâmpada, pois o usuário pode requerer que uma lâmpada seja acesa, mas a lâmpada já se encontre neste estado, ou o contrário, o usuário aperta o botão para apagar, mas ela já se encontra apagada, nestes casos o estado da lâmpada deverá permanecer o mesmo. Por fim, é preciso analisar o fato de que o sistema atua sobre um relé, e não sobre a lâmpada diretamente, e também o usuário deverá ter em sua instalação, interruptores manuais para operar as lâmpadas sem necessidade de um dispositivo eletrônico, nos momentos que lhe forem mais convenientes. Assim é possível que uma lâmpada esteja ligada, porém o relé esteja desligado, e quando o usuário quiser apagar a lâmpada, o rele deverá ser ligado, para que assim a lâmpada apague. Com esses fatores em mente é necessário que três diferentes variáveis sejam analisadas para que cada operação seja realizada corretamente, são:

- O estado da lâmpada;

- O estado do relé;
- A solicitação do usuário;

Como o nosso expansor possui oito portas de entrada e saída, foi criada uma máscara binária, composta por oito bits, para cada operação que o usuário pode executar. A máscara é composta por bits '0' para as portas de saída que devem ser ignoradas, e um bit '1' correspondente saída da lâmpada que deve ser alterada. A partir de então, se elaboraram as tabelas verdade para a lógica de acender e apagar as lâmpadas, mostradas nas Tabela 1 e Tabela 2 respectivamente.

Tabela 1- Tabela verdade para acender as lâmpadas.

<b>M</b>	<b>L</b>	<b>R</b>	<b>S</b>
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Tabela 2 - Tabela verdade para apagar as lâmpadas.

<b>M</b>	<b>L</b>	<b>R</b>	<b>S</b>
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Sendo,

- M** o bit da máscara;
- L** o bit do estado atual da lâmpada;
- R** o bit do estado do relé;
- S** o bit de saída;

A partir das Tabelas 1 e 2, foram desenhados os mapas de Karnaugh, representados nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 14 - Mapa de Karnaugh para lógica de acender as lâmpadas.

		ML			
		00	01	11	10
R	0	0	0	0	1
	1	1	1	1	0

Fonte: Autoria Própria

Figura 15 - Mapa de Karnaugh para lógica de apagar as lâmpadas.

		ML			
		00	01	11	10
R	0	0	0	1	0
	1	1	1	0	1

Fonte: Autoria Própria

Dos mapas de Karnaugh são obtidas as funções lógicas para acender,

$$S(MLR)_{acender} = \bar{M}R + LR + M\bar{L}\bar{R}$$

e apagar,

$$S(MLR)_{apagar} = \bar{M}R + \bar{L}R + ML\bar{R}$$

as lâmpadas.

Os estados das lâmpadas são lidos antes de cada ação através dos sensores, porém, o estado dos relés é uma das variáveis do programa, como a única forma de haver uma mudança nos estados dos relés é através de uma ação executada pelo microcontrolador, ao ligar o sistema, o PIC atribui valor zero para todos os relés e guarda este valor em uma variável, a qual é atualizada sempre que uma mudança no estado de algum relé é realizada.

Para prevenir falhas na execução da pilha TCP/IP, foi criada uma rotina que retorna o programa para um ponto de reinicialização da mesma, pois não é desejável usar a função *reset* do microcontrolador ante ao fato que este procedimento resultaria na perda dos dados armazenados na variável de estado dos relés, fazendo assim com que qualquer lâmpada que

estivesse com seu respectivo relé acionado mudasse de estado quando o microcontrolador fosse reinicializado.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao longo deste capítulo são apresentados alguns dados obtidos no laboratório referentes ao consumo de energia, custo do projeto, eficiência e confiabilidade do sistema.

### 4.1 CONSUMO DE ENERGIA

Algumas medições foram feitas no laboratório para medir a potência dissipada pelo protótipo, a parte de alimentação do circuito não foi inclusa nesta análise, pois não é o foco deste trabalho e também pode ser substituída por uma fonte mais eficiente e adequada dependendo da dimensão do projeto.

Os dados obtidos estão representados na Tabela 3, o único dado que não foi adquirido através de medição é a potência dissipada pelo circuito sensor, o valor representado é o valor teórico, já calculado anteriormente.

Tabela 3 - Potência dissipada por bloco.

<b>Bloco</b>	<b>Potencia (mW)</b>
<b>PIC+Ethernet+LCD</b>	750
<b>PCF8574</b>	50
<b>Sensor</b>	172
<b>Atuador</b>	330

Os dados da Tabela 3 representam que a potência mínima dissipada pelo sistema, independentemente de sua dimensão, é de 750mW, pois estes são os componentes vitais do sistema e estão sempre em funcionamento. Os outros blocos são dependente da dimensão do sistema, para cada oito lâmpadas são necessários dois expansores, o que soma mais 100mW ao sistema, e para cada lâmpada é necessário um sensor e um atuador, porém, estes dois últimos não dissipam potência o tempo todo, o sensor apenas gasta energia quando a lâmpada está acesa, e o atuador quando o relé está acionado.

A Tabela 4 mostra valores de potência dissipada por alguns exemplos de sistemas com 8, 16 e 24 lâmpadas instaladas, são mostradas duas colunas de potência, a primeira representa a potência mínima que o sistema dissiparia se todos os sensores e atuadores estivessem em repouso, e na segunda coluna, a potência máxima, considerando que todos os elementos estão em funcionamento.

Tabela 4 - Potências mínimas e máximas de exemplos de sistemas.

<b>Nº de Lâmpadas</b>	<b>Potencia mín(<i>mW</i>)</b>	<b>Potência máx(<i>mW</i>)</b>
<b>8</b>	850	4.866
<b>16</b>	950	8.982
<b>24</b>	1.050	13.098

#### 4.2 CUSTO DO PROJETO

O custo dos componentes do projeto, novamente excluindo a parte de alimentação, está representado na Tabela 5 por blocos, de forma similar a Tabela 3.

Tabela 5 - Custo dos componentes por bloco.

<b>Bloco</b>	<b>Preço (R\$)</b>
<b>PIC+Ethernet+LCD</b>	87,01
<b>PCF8574</b>	5,16
<b>Sensor</b>	0,97
<b>Atuador</b>	3,33

A Tabela 6 mostra o preço dos componentes para montagem dos mesmos exemplos citados na Tabela 4, para suporte de 8, 16 e 24 lâmpadas.

Tabela 6 - Preços dos componentes para exemplos de sistemas.

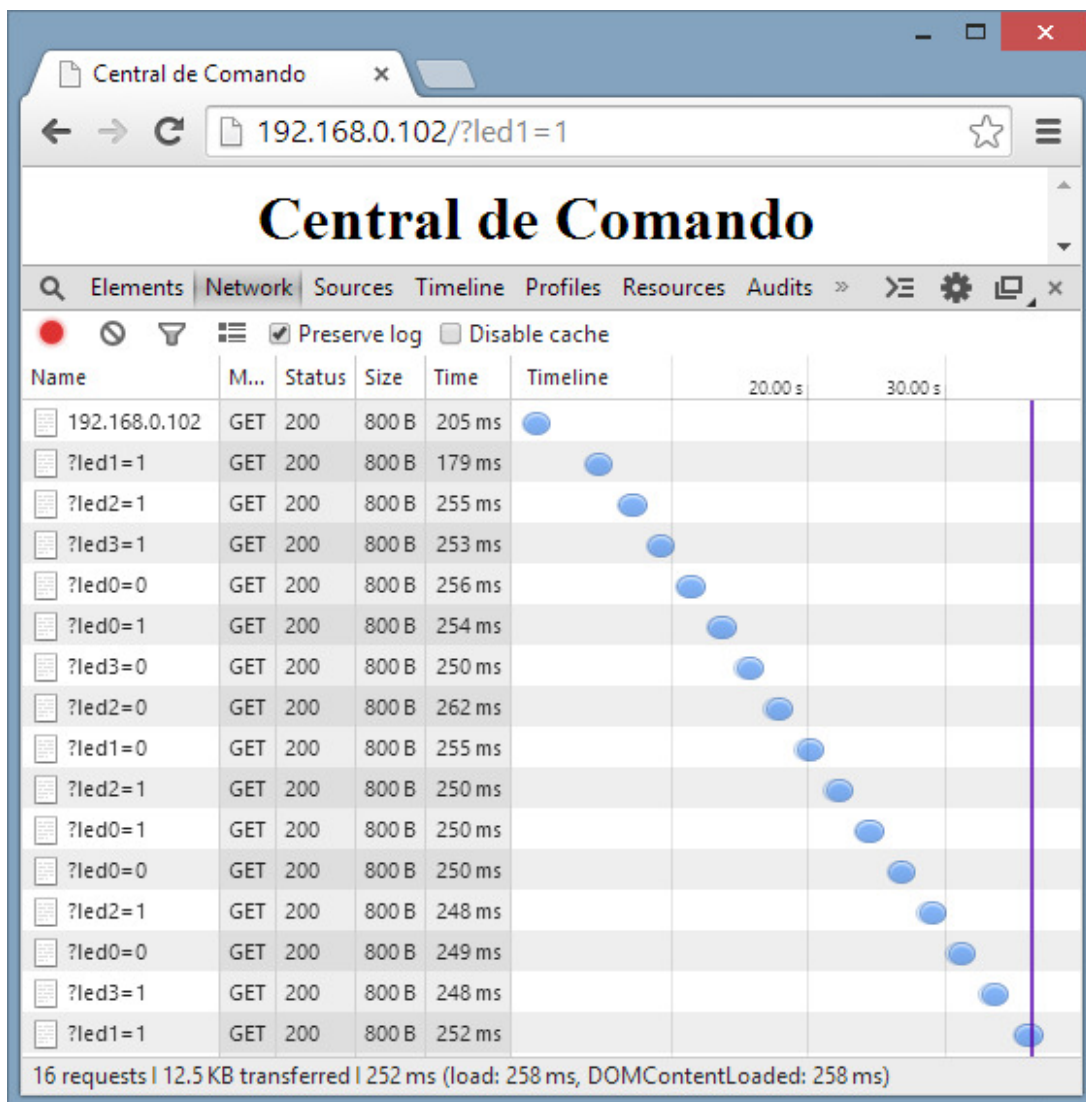
<b>Nº de Lâmpadas</b>	<b>Preço (R\$)</b>
<b>8</b>	131,73
<b>16</b>	176,45
<b>24</b>	221,17

É importante ter em mente que este preço não inclui componentes como fios e solda, tampouco fonte de alimentação, montagem ou instalação do sistema.

### 4.3 EFICIÊNCIA

O fator a ser analisado nesta seção diz respeito à velocidade de resposta do sistema, dadas as requisições feitas pelo usuário através do navegador. A Figura 16 mostra o tempo de resposta do microcontrolador ao receber uma série de comandos através do navegador.

Figura 16 - Tempo de resposta do microcontrolador a uma série de requisições.



Fonte: Autoria Própria

Pode-se ver que todos os pacotes foram atendidos e respondidos em um tempo menor que 300ms, um tempo alto em termos da velocidade em que o microcontrolador trabalha, tendo em vista que está operando em uma rede local, porém, para tal aplicação o tempo de resposta é aceitável.

#### 4.4 CONFIABILIDADE

Durante os testes no laboratório, alguns problemas foram identificados e corrigidos, como travamento da pilha e engarrafamento de informações que gerava atrasos na resposta do sistema. Após correção, o sistema apresentou bom desempenho e confiabilidade, porém ainda há possibilidade de outras falhas, já que o teste no laboratório foi bastante limitado.

## 5. CONCLUSÃO

Analisando-se os resultados obtidos ficou claro que o projeto de automação residencial com microcontrolador PIC obteve desempenho satisfatório aliados a um baixo custo e baixa potência dissipada. O projeto, porém, apresenta algumas limitações, como a inviabilidade de conexão simultânea de dois ou mais dispositivos, o que pode vir a causar um engarrafamento de dados e possível travamento da execução da pilha TCP/IP, uma possível solução para este problema seria a utilização de um microcontrolador mais robusto ou até mesmo de outro método de comunicação mais eficiente para este propósito.

## REFERÊNCIAS

FAQ INFORMATICA. Disponível em: < <http://faqinformatica.com/o-que-e-o-tcpip-e-as-camadas/>> Acesso em 30 de jun. 2014.

G1. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/pme/noticia/2013/05/empresa-fatura-r-1-milhao-com-servicos-de-automacao-residencial.html>> Acesso em 29 de ago. de 2014.

HOMEDIGITAL. Disponível em:  
<<http://www.homedigital.com.br/automacao/oQueEAutomacao/>> Acesso em 29 de ago. de 2014.

HPSPIN. Disponível em: < [www.hpspin.com.br/site1](http://www.hpspin.com.br/site1)> Acesso em 4 de mar. 2014.

MICROCHIP. Disponível em: <[www.microchip.com/tcpip](http://www.microchip.com/tcpip)> Acesso em 4 de mar. 2014.

SRA ENGENHARIA. Disponível em:  
<[http://sraengenharia.blogspot.com.br/2013/01/historico-da-automacao-residencial\\_10.html](http://sraengenharia.blogspot.com.br/2013/01/historico-da-automacao-residencial_10.html)> Acesso em 30 de jun. de 2014.

WIKIPEDIA. Disponível em: <[pt.wikipedia.org/wiki/Automação](http://pt.wikipedia.org/wiki/Automação)> Acesso em 20 de ago. 2014.

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2004. 672 p.

CCS FORUM. Disponível em: < <http://www.ccsinfo.com/forum/>> Acesso em 4 de mar. 2014.

ELETROAQUILA. Disponível em: < [www.eletraquila.net](http://www.eletraquila.net)> Acesso em 3 de jun. 2014.

KARNAUGH MAP EXPLORER. Disponível em:  
< [http://www.ee.calpoly.edu/media/uploads/resources/KarnaughExplorer\\_1.html](http://www.ee.calpoly.edu/media/uploads/resources/KarnaughExplorer_1.html)> Acesso em 20 de ago. 2014.

PEREIRA, F. **PIC Programação em C**. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2003. 355 p.

SOLDAFRIA. Disponível em: <[www.soldafira.com.br](http://www.soldafira.com.br)> Acesso em 3 de jun. 2014.

TECHOPEDIA. Disponível em: < [www.techopedia.com](http://www.techopedia.com)> Acesso em 20 de ago. 2014.

THE MICROCHIP TCP/IP STACK. Disponível em:  
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00833b.pdf>> Acesso em 3 de jun. 2014.

ZANCO, W. da S. **Microcontroladores PIC18 com linguagem C**. 1ª ed. São Paulo:Érica, 2010. 446 p.