

RODRIGO GORTE

**CONTROLE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA UM GABINETE
RESPONSÁVEL PELA TRANSMISSÃO DE INTERNET VIA RÁDIO SUJEITO
A INTEMPÉRIES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação como requisito parcial para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Automação De Processos Industriais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Bertotti.

PATO BRANCO

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**CONTROLE DE TEMPERATURA E UMIDADE PARA UM GABINETE RESPONSÁVEL PELA TRANSMISSÃO DE INTERNET VIA RÁDIO SUJEITO A INTEMPÉRIES**”, do acadêmico **RODRIGO GORTE** foi considerado **APROVADO** de acordo com ata de defesa nº **137** de **2012**, a qual encontra-se na coordenação do curso.

Fizeram parte da Banca os Professores

FÁBIO LUIZ BERTOTTI (ORIENTADOR)

EMERSON GIOVANI CARATI

MARIA DE LOURDES SANT´ANA DAL MOLIN

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida. Agradeço a toda minha família pelo apoio nas dificuldades onde recebi muitos incentivos para continuar essa importante caminhada em minha vida. Em especial minha esposa Katiane pela motivação com que me ajudou a chegar ao fim deste. Sou muito grato também aos professores da UTFPR pelo conhecimento que me foi transmitido, essencial para o desenvolvimento deste, aos professores Fabio Luiz Bertotti e Angelo Alfredo Hafner por sanar as dúvidas decorrentes desse período, pelas ideias e orientações para conclusão do projeto.

RESUMO

GORTE, Rodrigo. **Controle de temperatura e umidade para um gabinete responsável pela transmissão de internet via rádio sujeito a intempéries.** 2012. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.

O presente trabalho trata da implementação de um sistema microcontrolado para controle de temperatura e umidade em gabinetes que abrigam equipamentos de rede sem fio para internet, visando evitar que estes sejam danificados com as intempéries de condições climáticas. O sistema é constituído por um sistema microcontrolado com sensores de temperatura e umidade, dois exaustores, um ventilador e uma resistência para desumidificação. Um gabinete agregando o sistema proposto foi montado para que testes em laboratório e em campo sejam realizados.

Palavras-chave: Temperatura, Umidade, Sensor, Microcontrolador, Equipamentos de rede, Internet.

ABSTRACT

GORTE, Rodrigo. Temperature and humidity controller for a weatherproof cabinet housing wireless network equipment. 2012. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.

This paper presents the implementation of a temperature and humidity controller system using a microcontroller in order to control the temperature and the humidity in enclosures that houses wireless Internet network equipment aiming to prevent them to being damaged by weather conditions. The system consists of a microcontroller system with temperature and humidity sensors, two exhausters, a fan and a dehumidification resistance. A cabinet adding the proposed system was assembled to carry laboratory and field tests.

Keywords: Temperature, Humidity, Sensor, Microcontroller, Computer network equipments, Internet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de camadas OSI.....	17
Figura 2: Diagrama em blocos do projeto.	27
Figura 3: Sensor de temperatura LM35.....	28
Figura 4: Sensor de umidade HIH-4000.....	29
Figura 5: Conjunto de desenvolvimento Launchpad para microcontroladores MSP430 da Texas Instruments.	31
Figura 6: Display LCD de 2 linhas por 16 colunas.....	33
Figura 7: Diagrama esquemático da fonte de alimentação.	34
Figura 8: Circuito sugerido para o LM317.	35
Figura 9: Circuito do amplificador não inversor.	36
Figura 10: Circuito de condicionamento de sinal projetado para o sensor de temperatura.....	36
Figura 11: Circuito de condicionamento de sinal para o sensor HIH-4000.....	37
Figura 12: Circuito do amplificador diferencial utilizado.	38
Figura 13: Diagrama esquemático do circuito de processamento e IHM.	40
Figura 14: Diagrama esquemático do circuito de acionamentos.....	41
Figura 15: Esquema sugerido de montagem dos atuadores.....	42
Figura 16: Fluxograma do <i>firmware</i> do microcontrolador.....	43
Figura 17: Desenho da PCI do equipamento.	48
Figura 18: Placa de circuito impresso pronta	49
Figura 19: Gabinete montado para testes.	50
Figura 20: Resultados de teste preliminar obtidos para temperatura e umidade considerando um gabinete com o sistema de controle e outro sem o uso deste.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Conexões do microcontrolador.....	39
Tabela 2: Lógica de controle, onde L significa Ligado, D significa Desligado. .	46

LISTA DE SIGLAS

A	Ampere
A/D	Analogico-Digital
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
B	Byte
BOR	Brown-Out Reset
CI	Circuito Integrado
CCS	Code Composer Studio
cm	Centimetro
DIAC	<i>Diode for Alternating Current</i>
DIP	<i>Dual In-line Package</i>
E	Habilitação
EDA	<i>Electronic Design Automation</i>
E/S	Entrada/Saída
GND	Terra
I	Corrente
IHM	Interface Homem-Máquina
KB	Quilobyte
KHz	Quilohertz
LCD	Display de Cristal Liquido
MHz	Megahertz
mV	Milivolts
NC	Não-Conectado
°C	Graus Celsius
ODC	Oscilador Digital Controlável
PCI	Placa De Circuito Impresso
PWM	Modulação por Largura de Pulso
R/S	Seleção De Registro
R/W	Leitura / Escrita
RTI	Rotina de Tratamento de Interrupção
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>

USB	Barramento Serial Universal
USI	Interface Serial Universal
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
V	Volts
VAC	Volts em Corrente Alternada
VCC	Voltagem de Alimentação
VDC	Volts em Corrente Continua
WDT	Watchdog Timer

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 REDES DE COMPUTADORES E INTERNET	13
2.1.1 Conceitos de Redes de Computadores	13
2.1.2 Topologias de Redes	14
2.1.3 Protocolos de Rede	15
2.1.4 Tecnologia Ethernet e Protocolo TCP/IP	17
2.1.5 Equipamentos de redes	18
2.1.6 Meios físicos de redes	18
2.1.7 A Internet	19
2.1.8 Enlaces sem fio de longa distância.....	20
2.2 INFLUÊNCIA DE INTEMPÉRIES EM EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS	21
2.3 CONDICIONAMENTO DE AMBIENTES	22
2.4 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E UMIDADE	23
2.5 MICROCONTROLADORES.....	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA	27
3.2 PRINCIPAIS ELEMENTOS DO PROJETO.....	28
3.2.1 Sensor de temperatura LM35	28
3.2.2 Sensor de umidade HIH-4000	28
3.2.3 Microcontrolador	29
3.2.4 Kit de desenvolvimento de sistemas microcontrolados.....	30
3.2.5 Linguagem de programação e ferramenta de desenvolvimento de código	31
3.2.6 Display de LCD	32
3.2.7 Ferramenta de captura de esquemático e layout de PCB.....	32
3.3 METODOLOGIA.....	33
3.3.1 Desenvolvimento do Hardware	33
3.3.1.1 Fonte de alimentação	33

3.3.1.2 Circuitos de condicionamento de sinais para os sensores de temperatura e umidade	35
3.3.1.3 Circuito do Sistema Microcontrolado	39
3.3.1.4 Circuito de acionamento	39
3.3.1.5 Placa de circuito impresso.....	41
3.3.1.6 Gabinete do Sistema	41
3.3.2 Desenvolvimento do <i>firmware</i> para o microcontrolador	42
3.3.2.1 Inicialização do sistema de <i>clock</i>	44
3.3.2.2 Configuração do Temporizador	44
3.3.2.3 Configuração do conversor A/D.....	44
3.3.2.4 Configuração do display	45
3.3.2.5 Rotina de Tratamento de Interrupção do Temporizador A.....	45
3.3.2.6 Rotina de Tratamento de Interrupção do conversor A/D	46
3.3.2.7 Comparação de dados e ativação de saídas.....	46
4 RESULTADOS OBTIDOS	48
4.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO.....	48
4.2 PLACA CIRCUITO IMPRESSO	48
4.3 PLACA MONTADA.....	49
4.4 TESTES PRELIMINARES DE FUNCIONAMENTO	50
5 CONCLUSÕES.....	53
6 REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A demanda para o uso de internet vem crescendo constantemente, pois se tornou um meio indispensável para o trabalho, estudo e lazer de muitas pessoas. Apesar do sistema de internet ADSL ser mais rápido e confiável, as empresas de telefonia atendem apenas pequenas regiões das cidades, deixando um nicho de mercado muito grande a ser explorado pelas empresas de internet à rádio, que é o caso da empresa Cybertech Informática Ltda.

Para o sinal de internet a rádio ser transmitido para os clientes é necessária a implantação de torres de transmissões em locais estrategicamente definidos. Um ponto negativo deste tipo de difusão é que os equipamentos ficam em gabinetes no alto destas torres, estando sujeito às intempéries do ambiente, como temperatura e umidade excessivas.

Este trabalho propõe a implementação de um sistema microcontrolado capaz de desumidificar e reduzir a temperatura de equipamentos de rádio instalados no interior de gabinetes, proporcionando o aumento da vida útil destes.

1.1 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um equipamento responsável pelo controle da temperatura e da umidade em certos ambientes sujeitos a intempéries.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho consistem de:

- Realizar estudos para definir componentes do equipamento de controle de temperatura e de umidade;

- Desenvolver um sistema microcontrolado para controle de temperatura e umidade em um gabinete sujeito a intempéries;
- Implementar uma Interface Homem-Máquina (IHM) com display LCD;
- Projetar e confeccionar a Placa de Circuito Impresso (PCI) para o sistema;
- Efetuar a análise dos resultados;
- Escrever a monografia de TD.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica, obtida a partir de revisão bibliográfica, compreendendo os principais conceitos usados no desenvolvimento do presente trabalho. Os materiais e métodos empregados neste projeto são abordados no Capítulo 3, enquanto que no Capítulo 4 são apresentados e comentados os resultados obtidos. Por fim, as conclusões e as propostas de trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 5.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo serão abordados os conceitos necessários para elaboração deste trabalho. Inicialmente, os conceitos básicos sobre redes de computadores e internet são apresentados. Em seguida, a influência das intempéries nos equipamentos eletrônicos e os métodos para medir temperatura e umidade de um ambiente são discutidos. No final deste Capítulo, são apresentados os conceitos e fundamentos básicos dos sistemas microcontrolados.

2.1 REDES DE COMPUTADORES E INTERNET

2.1.1 Conceitos de Redes de Computadores

As redes são parte fundamental da história da informática. Anteriormente as redes, as médias e grandes empresas e universidades possuíam apenas um ou dois computadores com todo o trabalho centralizado neles. Com o surgimento das redes de computadores, várias máquinas passaram a ser interconectadas por uma mesma tecnologia para trocar informações entre elas, podendo estas compartilhar uma mesma informação, independentemente do sistema operacional (TANENBAUM, 1997).

Em um ambiente empresarial, as redes de computadores são importantes para o compartilhamento de recursos, tais como impressoras e banco de dados. Todo o banco de dados é mantido em um computador central com grande poder de processamento, chamado de servidor. Estes dados são acessados por máquinas de pequeno porte, como desktops e notebooks, que são denominados de clientes, cujo tipo de conexão é conhecida como Cliente/Servidor (SOARES, 1995).

Em aplicações domésticas, as redes são utilizadas principalmente para comunicação entre usuários, acesso à informações remotas, entretenimento, comércio eletrônico, pesquisa de conteúdos para estudos, entre outras aplicações. Estas redes trabalham em uma arquitetura onde não existe um

cliente e um servidor fixos, sendo conhecidas como *peer-to-peer*. Nesta forma de comunicação, os indivíduos constituem um grupo que pode se comunicar com outros grupos não existindo uma divisão entre clientes e servidores (SOARES, 1995). A não existência de servidor faz com que cada usuário mantenha seu próprio banco de dados podendo ser compartilhado com outros usuários.

2.1.2 Topologias de Redes

As classificações de redes quanto ao espaço físico que ocupam são divididas basicamente em três tipos: LAN (*Local Área Network*), MAN (*Metropolitan Area Network*), WAN (*Wide Area Network*) (TANENBAUM., 1997).

As redes locais, também conhecidas como LAN, são redes privadas em um único edifício ou instalação, e são usadas para conectar computadores e compartilhando recursos. Três características distinguem as redes LAN dos outros tipos de redes: abrangência física, tecnologia de transmissão e topologia. O padrão mais utilizado para redes LAN é o IEEE 802.3, conhecido como Ethernet (TORRES, 2001).

Redes metropolitanas ou MAN consistem de redes maiores, geralmente abrangendo uma cidade, como por exemplo, redes de TV a cabo. Nos primeiros sistemas deste tipo, uma antena era colocada no alto de uma colina e o sinal era transmitido aos assinantes, com o tempo esse sistema virou uma rede cabeada. Outro exemplo de redes MAN são as redes de internet à rádio, que cobrem um bairro ou toda uma cidade, possuindo uma torre que transmite o sinal de um servidor principal (SOARES, 1995).

As redes de maior abrangência, conhecidas como WAN, podem abranger um país ou até mesmo um continente. Um exemplo são as redes de empresas de telefonia, que possuem seus servidores para suprir o país todo e estações de sub-rede em cada cidade onde os *hosts* são os clientes de telefonia (SOARES, 1995).

Estruturalmente, as redes podem ser divididas, basicamente, em quatro topologias organizacionais (TANENBAUM, 1997):

- **Anel:** Cada dado se propaga no decorrer de todo o anel onde todas as máquinas trabalham em série uma retransmitindo os pacotes para as outras, as máquinas transmitem e recebem ao mesmo tempo, sem a necessidade de ser criada uma regra para transmissão e várias máquinas podem acessar a mesma transmissão;
- **Barramento:** um cabo que percorre linearmente todos os computadores onde, a cada vez, no máximo, uma máquina pode assumir a condição de mestre e transmitir para as demais, enquanto isso as outras máquinas não podem desempenhar a função de enviar dados. Para isso é necessário o uso de uma regra para o caso de duas ou mais máquinas desejarem transmitir. Tipo de rede presente na interface LAN;
- **Ponto a Ponto:** são redes ligadas em modo serial onde podem haver várias máquinas, mas apenas uma comunica e outra recebe os pacotes e as outras tem apenas a função de receber e retransmitir como uma repetidora. Um exemplo de uso da topologia ponto a ponto são as redes WAN;
- **Estrela:** topologia onde todas as máquinas transmitem para um concentrador que é responsável por retransmitir para outras máquinas. Trata-se de uma topologia aplicada em pequenas redes, do tipo LAN, domésticas;
- **Árvore:** onde pequenas redes se derivam de uma rede principal em uma topologia de hierarquia onde um concentrador se deriva de outro concentrador.

2.1.3 Protocolos de Rede

Os protocolos definem como será o funcionamento de uma rede, como os dados enviados por programas serão transmitidos pela rede. Trata-se de uma linguagem comum para que os dispositivos de uma rede consigam se comunicar. Os protocolos são a solução para que ao serem feitas várias

tentativas de transmissão, todas as máquina consigam fazê-la de maneira organizada (SOARES, 1995).

Quando as redes surgiram, cada fabricante utilizava sua própria tecnologia de comunicação, não havendo possibilidade de comunicar dois equipamentos ou soluções de dois fabricantes diferentes. Para simplificar e padronizar os métodos de comunicação de computadores, a ISO (*International Standards Organization*) desenvolveu um modelo de referência chamado OSI (*Open Systems Interconnection*), para os fabricantes criarem protocolos a partir desse modelo. Este é um modelo que propõe o uso de sete camadas, conforme mostra a Figura 1, cujas funções são (TORRES, 2001):

- 1- **Camada física:** responsável por receber os dados da camada de enlace e transformar em sinal compatível com o meio físico onde os dados serão transmitidos;
- 2- **Camada de enlace:** recebe as informações provenientes da camada de rede e transforma em dados que serão enviados para a camada física;
- 3- **Camada de rede:** recebe as informações provenientes da camada de transporte, e as transforma em pacotes de dados, atribuindo a estes endereços lógicos;
- 4- **Camada de transporte:** recebe os dados da camada de seção e segmenta-os para serem repassados para a camada de rede;
- 5- **Camada de sessão:** permite que duas máquinas ou aplicações diferentes estabeleçam uma sessão de comunicação entre estas;
- 6- **Camada de apresentação:** converte o dado recebido pela camada de aplicação em um formato comum a ser usado na transmissão;
- 7- **Camada de aplicação:** faz a interface entre o protocolo de comunicação e o aplicativo que transmite ou recebe dados na rede.

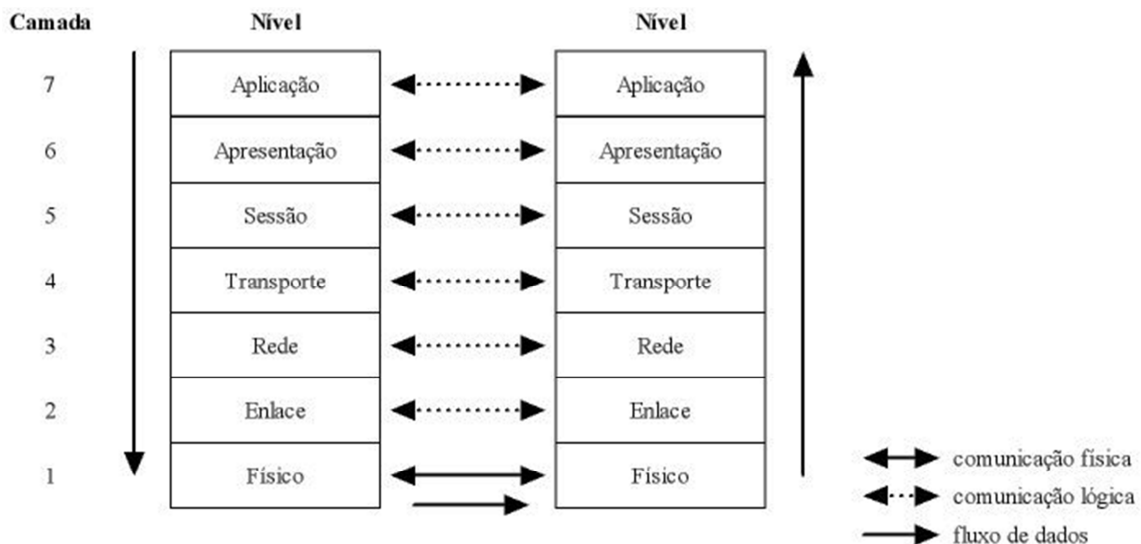


Figura 1: Modelo de camadas OSI.
Fonte: Adaptado de Nogueira (2009).

2.1.4 Tecnologia Ethernet e Protocolo TCP/IP

Tecnologia Ethernet é o padrão mais utilizado nas redes LAN, operando na camada física e na de enlace do modelo OSI. No padrão Ethernet, os pacotes recebidos da camada de rede são inseridos em quadros, os quais são enviados fisicamente através dos cabos da rede (TORRES, 2001). Tipicamente, as redes Ethernet utilizam cabos do tipo UTP (*Unshielded-Twisted-Pair*) e conectores do tipo RJ-45. Existem três padrões de taxas de transferência de dados em redes ethernet, sendo estas: 10 Mbps (Ethernet Padrão); 100 Mbps (*Fast Ethernet*) e 1 Gbps (*Gigabit Ethernet*) (SOARES, 1995).

O protocolo TCP/IP foi criado para uso na Internet. Trata-se de um protocolo do tipo roteável, isto é, um protocolo que foi criado pensando em grandes redes de longa distância onde pode haver vários caminhos distintos até o receptor (TANENBAUM, 1997). Atualmente, o protocolo TCP/IP é mais utilizado em redes locais LAN por ser uma arquitetura aberta onde qualquer fabricante pode utilizar sua própria versão do protocolo sem custos de direitos autorais.

2.1.5 Equipamentos de redes

Existem vários tipos de equipamentos dedicados a gerenciar o tráfego de redes. Dentre estes equipamentos podem-se citar os seguintes (TORRES, 2001):

- **Hubs:** São dispositivos concentradores, cuja função é interligar fisicamente vários computadores em uma ligação, assumindo a topologia do tipo estrela. Os *hubs* são um tipo de repetidor responsável por receber os dados em uma das portas e replicar em todas as suas portas, com a finalidade de transmitir para os outros computadores;
- **Switches:** São pontes contendo várias portas, assim como os *hubs*, todas as máquinas são conectadas em formato estrela, porém a vantagem do *switch* é que ele envia os quadros de dados apenas para o computador de destino, aumentando assim a velocidade do sistema, deixando o restante dos cabos e computadores livres para fazer outra transmissão ao mesmo tempo;
- **Roteadores:** São pontes que operam na camada de rede do modelo OSI. Os roteadores não analisam apenas os quadros físicos que estão sendo transmitidos, mas também os datagramas produzidos pelo protocolo da camada de rede e, assim, podem determinar o melhor caminho para um pacote chegar até seu destino. Trata-se de um dispositivo responsável por interligar redes diferentes como, por exemplo, a interligação de uma rede LAN em uma rede WAN.

2.1.6 Meios físicos de redes

A transferência de dados precisa de um meio físico para ser realizada, dentre eles se destacam (TANENBAUM, 1997):

- **Cabos coaxiais:** Primeiros tipos de cabos utilizados em redes. Estes possuem dois condutores: uma malha metálica envolvendo

um fio durante toda a extensão deste, oferecendo uma blindagem contra interferências eletromagnéticas. Uma aplicação dos cabos coaxiais são as redes de TV a cabo e redes Ethernet de 10Mbps;

- **Cabos par trançado:** São os tipos de cabos mais usados atualmente em redes Ethernet. Estes suportam a velocidade das redes padrão, *fast* Ethernet e Gigabit Ethernet. Trata-se de um cabo composto por 4 pares de fios trançados entre si, sem blindagem (UTP), utilizando uma técnica chamada de cancelamento, onde a informação circula repetida em dois fios com a polaridade invertida;
- **Fibra ótica:** Cabo composto internamente de fibra reflexiva, onde no seu interior os pulsos elétricos são transmitidos através de sinais de luz. A grande vantagem deste tipo de cabo é sua imunidade a ruídos elétricos, pois não se tratar de um cabo condutor de eletricidade. As fibras óticas permitem enlaces longos, atingindo distâncias superiores a dois quilômetros entre duas estações;
- **Redes de radiofrequência:** trata-se de um sistema onde uma torre principal transmite o sinal para os receptores através de ondas de rádio. Este sistema não é totalmente seguro, pois qualquer antena que esteja dentro do raio de transmissão pode captar os sinais transmitidos. Para que isso não ocorra, são utilizados métodos de criptografia de dados, onde apenas máquinas que possuam os requisitos de criptografia podem receber e interpretar os dados transmitidos. O padrão IEEE 802.11 é o padrão de comunicação sem fio mais utilizado atualmente.

2.1.7 A Internet

A internet não é um modelo de rede, mas sim um conjunto de redes diferentes utilizando um mesmo protocolo com a finalidade de fornecer determinados serviços comuns como, por exemplo, servidores de correio

eletrônico, a WWW (*World Wide Web*), na qual é possível a criação de páginas de texto, imagens, vídeos que podem ser acessados de qualquer lugar do mundo pelo mesmo endereço, os serviços de mensagens instantâneas (*messengers*) utilizados para conversas através de textos, voz e vídeo em tempo real, além de servidores de dados remotos onde um usuário que esteja a quilômetros de distância possa acessar os dados como se estivesse conectado na mesma rede local (TORRES, 2001).

2.1.8 Enlaces sem fio de longa distância

O sistema utilizado pelas empresas provedoras de internet a rádio para transmissão de internet sem fio em longas distâncias é o MMDS (*Multipoint Microwave Distribution System*), que utiliza antenas direcionais para estabelecer os enlaces de comunicação. A taxa de transferência pode variar de acordo com a frequência utilizada, cujas portadoras podem estar nas frequências de 900 MHz, 2,4 GHz ou 5,7 GHz. Quanto mais alta a frequência maior será a sua taxa de transferência de dados será maior também, porém a distância de alcance será menor. Para comunicação na zona urbana, geralmente, são utilizadas frequências mais altas como, no caso, 2,4 GHz e 5,7 GHz. Para fornecer internet para zona rural o uso de equipamentos operando na frequência de 900 MHz se faz necessário para que o sinal se propague por longas distâncias (TORRES, 2001).

Em um sistema com vários usuários distribuídos geograficamente, equipamentos com alta potência de transmissão e conectados a um servidor são afixados em torres para fornecer acesso à rede aos clientes, que possuem um aparelho de comunicação de porte reduzido e operando na mesma frequência. Esses equipamentos de transmissão são chamados de *Router Boards*, que são placas responsáveis por rotear o caminho entre a rede WAN do servidor e a rede LAN do cliente. Para isto, o cliente deve ter um aparelho conhecido como *Access Point*, o qual recebe o sinal vindo da torre, atua como um roteador, distribuindo a informação recebida para todas as máquinas que estiverem conectadas nesta LAN (SOARES, 1995).

2.2 INFLUÊNCIA DE INTEMPÉRIES EM EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

Nesta seção serão apresentados os efeitos que os equipamentos eletrônicos sofrem quando operam em ambientes onde a temperatura é elevada e a umidade excessiva. Alguns métodos que visam minimizar os efeitos das intempéries também serão abordados.

Todo componente eletrônico é produzido para trabalhar dentro de uma determinada faixa de temperatura. Quando um componente é submetido a uma temperatura maior ou até mesmo próxima ao limite de suas especificações, podem ocorrer diversos problemas em seu funcionamento e até mesmo um dano irreversível neste componente. Entre os efeitos causados pelo excesso de temperatura pode-se citar a fadiga do componente, que ao trabalhar em temperaturas acima da nominal, ocorre um aumento em suas dimensões físicas e, quando essa dilatação ultrapassa um determinado limite, é possível observar alguns fenômenos como alteração de suas características, deformação física e até mesmo sua explosão (BRIGHAM, 1998).

A umidade é a quantidade de moléculas de água que estão contidas no ar. Uma placa eletrônica submetida a um ambiente bastante úmido está sujeita à condensação desta umidade sobre a placa e nos componentes eletrônicos. A água deionizada não é condutiva, porém as moléculas de água no ar carregam poluentes contendo sais minerais. Sobre a própria placa pode haver deposição de resíduos do ambiente, como pó, que também pode conter sais minerais. Estes elementos quando entram em contato com a água, produzem um composto básico ou ácido, que conduzem eletricidade e provocam oxidação da PCI e componentes eletrônicos. Além disso, a temperatura elevada tende a aumentar a taxa de penetração da umidade. Portanto, os efeitos gerais da deterioração por umidade são substancialmente elevados por temperaturas crescentes (EVANS, 2011).

Em um curto prazo, a umidade excessiva pode causar curto circuito entre as trilhas de condução de um circuito eletrônico e até mesmo entre terminais de um mesmo componente, levando ao mau funcionamento ou até mesmo a queima de um componente. Em longo prazo, o excesso de umidade

pode causar corrosão nos materiais metálicos, sejam trilhas de cobre da PCI, terminais ou até mesmo os próprios componentes eletrônicos (EVANS, 2011).

2.3 CONDICIONAMENTO DE AMBIENTES

Todo gabinete fechado que abriga circuitos eletrônicos tende a reter o calor dissipado dos componentes, se tornando um ambiente cada vez mais quente e, conseqüentemente, podendo provocar danos aos componentes. Para reduzir a temperatura interna, comumente, são instalados ventiladores ou exaustores, forçando a troca de ar no interior do gabinete com o ambiente externo (EVANS, 2011).

Existem vários métodos para isolar um ambiente de umidade excessiva. Por exemplo, um gabinete pode ser lacrado e revestido com um material impermeabilizante, porém a troca de ar nesse ambiente não acontecerá, tornando este método aplicável quando não existe grande dissipação térmica dos componentes eletrônicos. Outro método utilizado para diminuir a influência da umidade em circuitos eletrônicos consiste em revestir a placa com uma pequena camada de verniz ou material impermeabilizante, porém isso pode complicar um futuro retrabalho na placa onde se fará necessário a remoção da camada pra manutenção dos componentes (CANADIAN LEADERSHIP IN THE DEVELOPMENT OF METHYL BROMIDE ALTERNATIVES, 1998).

Tradicionalmente, os sistemas de condicionamento de ambientes são formados por desumidificador, umidificadores, resfriador, aquecedor e ventiladores (ZHAO *et. al.*, 2011). Estes sistemas permitem ajustar a temperatura e umidade de um ambiente com bastante precisão. No entanto, seu custo é bastante elevado.

Considerando que há condensação de umidade na placa e componentes de um determinado equipamento eletrônico quando este está operando a uma temperatura abaixo da temperatura do ar que o circunda, é possível evitar a condensação de umidade aquecendo-o para que opere em uma mais elevada, porém abaixo da temperatura limite de operação especificada pelo fabricante. Quando o equipamento atingir uma determinada temperatura considerada

limite de operação, seja pelo aumento da temperatura do ambiente ou pelo tempo de funcionamento, é possível reduzi-la através de convecção forçada de ar que pode ser feita por meio de ventiladores/exaustores.

Um sistema de condicionamento simples pode incluir apenas um aquecedor e ventiladores. Em uma condição de baixa temperatura e alta umidade, o aquecimento do equipamento evitará que a umidade do ar condense na placa e componentes eletrônicos. Na condição de temperatura mais elevada do ambiente e baixa umidade, o sistema de ventilação/exaustão garantirá uma troca de temperatura mais eficiente, evitando que o equipamento seja danificado. Portanto, a ideia é manter sempre o equipamento em uma temperatura ideal de trabalho para evitar condensação de umidade e com ventilação forçada no caso da temperatura do ambiente ser mais elevada.

2.4 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E UMIDADE

Medir é adquirir e comparar grandezas físicas quanto a sua quantidade através de uma unidade de medida escalar. Alguns exemplos de grandezas físicas que podem ser medidas são: aceleração, massa, temperatura, umidade pressão, entre outras (HELFRICK, 1994).

Para realizar a medição de temperatura ou umidade é necessário o uso de um transdutor, que consiste de um dispositivo que transforma uma forma de energia em outra. Desta forma, medindo-se uma forma de energia é possível associá-la a outra através de uma relação conhecida. Um sensor assume o mesmo papel de um transdutor, porém fornece um sinal elétrico correspondente a grandeza que se deseja medir (WERNECK, 1996).

São inúmeros os tipos de transdutores usados para medição de temperatura. Os transdutores mais utilizados são resistivos e termopares, sendo que os termopares atuam como um sensor, pois proporcionam uma resposta em tensão, ao passo que os transdutores resistivos têm sua resistência característica alterada de acordo com a variação da temperatura (BRIGHAM, 1998).

Para medição de umidade pode ser encontrado no mercado uma grande variedade de sensores, entre os mais comuns se destacam os sensores capacitivos e os sensores resistivos, *Dew Point*, e óticos. Para se escolher um sensor de umidade é interessante que o mesmo possua certas características, como alta sensibilidade, estabilidade a longo prazo, resposta rápida, resistência contra ações do tempo e principalmente precisão (CANADIAN LEADERSHIP IN THE DEVELOPMENT OF METHYL BROMIDE ALTERNATIVES, 1998).

Para este projeto foi escolhido o componente LM35 como medidor de temperatura devido a sua alta robustez e confiabilidade e também pelo baixo custo e a facilidade de encontra-lo no mercado para uma eventual reposição. Para medir a umidade do ambiente optou-se pelo componente HIH4004, da linha HIH4000, que é um circuito integrado composto por um sensor capacitivo com condicionamento de sinal. Este foi escolhido devido pela alta confiabilidade prometida pelo fabricante em sua documentação e pela facilidade de compra no mercado nacional. Apesar disso, seu custo pode ser considerado elevado, pois é o componente mais caro do projeto.

2.5 MICROCONTROLADORES

Segundo Pereira (2004), um microcontrolador pode ser definido como sendo:

“Um dispositivo eletrônico capaz de seguir uma sequencia predeterminada de comandos e dotado internamente dos dispositivos periféricos necessários para o seu funcionamento e relacionamento com o mundo exterior de forma autônoma” (PEREIRA, 2004, grifo do autor).

O microcontrolador pode ser considerado um pequeno computador, dentro de um único encapsulamento, que agrega uma CPU, memória RAM, memória Flash, portas de I/O (*Input/Output*), periféricos como temporizadores, interface de comunicação serial, conversores A/D (Analógico para Digital) e D/A (Digital para Analógico), comparadores analógicos, entre outros blocos funcionais (PEREIRA, 2004).

A história dos microcontroladores se dá início em 1969 com a busca de uma empresa chamada Busicom de criar uma calculadora eletrônica, esta empresa enviou para os Estados Unidos uma equipe de profissionais em busca de conhecimento com Marcian Hoff, engenheiro da Intel Corporation, que já possuía grande experiência com computadores, este teve a visão não apenas da produção de uma calculadora mas sim de um equipamento capaz de executar linhas de comando programáveis. Em 1971, após comprar a licença da empresa Busicom a Intel finalmente lançou seu primeiro microcontrolador, com poder de processamento de 6000 operações por segundo, 6 KHz, e 4 bits de resolução. Em 1972 a Intel lançou um microcontrolador de 8 bits denominado 8008, com poder de processamento de até 300 mil operações por segundo. Logo em seguida outras empresas entram no mercado de microcontrolador, sendo a Motorola a primeira concorrente da Intel neste novo segmento de mercado. (SOUZA, 2006).

Os sistemas microcontrolados são aplicados, tipicamente, em sistemas de controle de processo, de aquisição e processamento de sinais, em Interfaces Homem-Máquina (IHM), entre outras aplicações. O funcionamento de um sistema microcontrolado é definido através da execução de uma sequência de instruções que ficam contidas em uma memória. Estas instruções são apresentadas de forma binária na memória e fazem parte de um conjunto de instruções. Como a descrição do funcionamento de um sistema através de instruções é uma tarefa complexa, linguagens de programação são comumente utilizadas. A linguagem *assembly*, por exemplo, busca abstrair a forma binária através de mnemônicos que representam instruções. Uma abstração ainda maior é feita pela linguagem C, que relaciona comandos com grupos de instruções (PEREIRA, 2004). Existem diversos ambientes de desenvolvimento de código, específicos para determinados fabricantes de microcontroladores, que facilitam a programação de microcontroladores.

Para a escolha do microcontrolador a ser utilizado no projeto observou-se que seria necessário 2 canais para aquisição de dados analógicos que precisariam ser convertidos para sinal digital, 3 canais para ativação da saída de potência dos atuadores e, também, 7 canais de comunicação com o display LCD. Além disso, foi verificado que seria necessária a utilização de um sistema temporizador para estabelecer o tempo de amostragem para os sinais dos

sensores. O microcontrolador MSP430G2452 foi escolhido por atender todas essas exigências e ainda possuir um excelente custo-benefício e pela disponibilidade do kit Launchpad da Texas Instrumentos para desenvolvimento de sistemas microcontrolados, sendo que este é compatível com o microcontrolador escolhido.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este Capítulo apresenta a metodologia empregada para o desenvolvimento do projeto proposto e as etapas seguidas para obtenção dos resultados. Além disso, o funcionamento do equipamento desenvolvido será abordado, assim como os componentes e ferramentas de hardware e software utilizadas no desenvolvimento do presente projeto.

3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A Figura 2 mostra o diagrama em blocos que representa os principais circuitos do projeto. O sistema microcontrolado possui como principal componente um microcontrolador, o qual é responsável por efetuar a aquisição dos sinais dos sensores (temperatura e umidade), processar as informações dos sensores, apresentar o resultado em um display de LCD e, também, acionar os circuitos de potência. A fonte de alimentação recebe energia da rede elétrica e fornece tensões adequadas para os sensores, sistema microcontrolado e atuadores (ventiladores e resistências). Nos tópicos seguintes, cada bloco do diagrama da Figura 2 será descrito de forma detalhada.

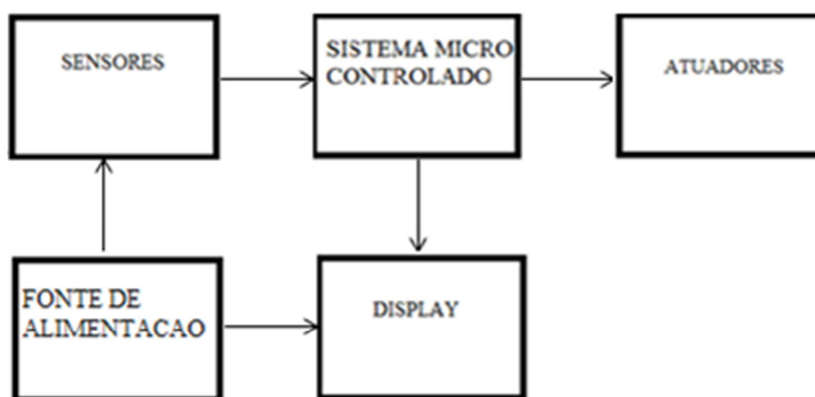


Figura 2: Diagrama em blocos do projeto.
Fonte: Autoria própria.

3.2 PRINCIPAIS ELEMENTOS DO PROJETO

3.2.1 Sensor de temperatura LM35

O Circuito Integrado (CI) LM35 é um sensor de temperatura, cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura, em graus Celsius, do seu encapsulamento. O LM35 não necessita de qualquer calibração externa ou acessório adicional para fornecer precisões típicas de $\pm 1/4$ °C à temperatura ambiente e $\pm 3/4$ °C ao longo de uma faixa de temperatura de -55 °C a +150 °C. Para o presente projeto definiu-se uma faixa de medição de 0 °C a 100 °C. A baixa impedância de saída do LM35 e calibração inerente facilita a produção de um circuito de aquisição ou controle. Sua resposta em tensão parte de 0 V para 0 °C e aumenta em 10mV a cada grau. A Figura 3 mostra uma imagem do sensor LM35 com encapsulamento tipo TO-92 (NATIONAL SEMICONDUTOR, 2000).

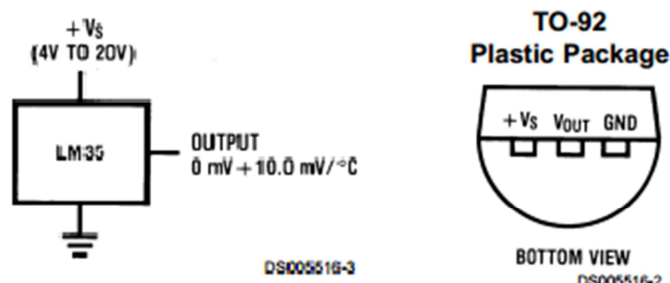


Figura 3: Sensor de temperatura LM35.
Fonte: National Semicondutor.

3.2.2 Sensor de umidade HIH-4000

Os sensores da série HIH-4000 são fabricados pela empresa Honeywell International inc. Trata-se de um sensor composto de polímero capacitivo com um circuito de condicionamento de sinal embutido. Sua construção em múltiplas camadas proporciona excelente resistência a condições adversas. Além disso, conforme documentação do fabricante, sua resposta é linear, não exigindo calibração. Outra característica importante é seu baixo consumo de

energia, que fica em torno de 200 μA (HONEYWELL, 2010). A figura 4 apresenta o sensor de temperatura HIH-4000, qual possui apenas 3 terminais, sendo estes GND, Vcc e saída (HONEYWELL2010).

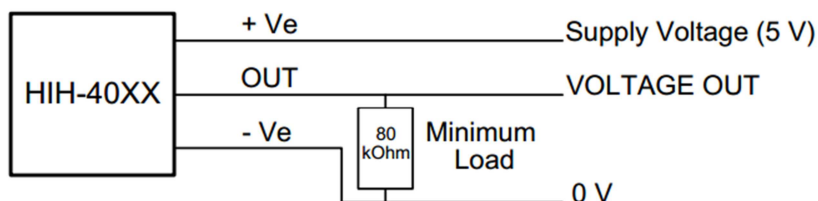


Figura 4: Sensor de umidade HIH-4000.
Fonte: Honeywell International inc.

3.2.3 Microcontrolador

O microcontrolador utilizado no projeto é o MSP430G2452, da família de microcontroladores MSP430 da Texas Instruments. Este microcontrolador possui uma arquitetura RISC com registradores de 16 bits, possui 8 kB de memória *Flash*, 256B de memória RAM, 2 portas de Entrada/Saída (E/S) programáveis com 8 bits cada, temporizador, conversor A/D com 8 canais de entrada, encapsulamento de 20 pinos no formato DIP e tensão de alimentação de 1,8 V a 3,6 V. Além disso, este microcontrolador possui um sistema de *clock* interno que disponibiliza um Oscilador Digital Controlável (ODC) que permite gerar uma frequência de até 16 MHz, e um oscilador de baixa frequência (LFXT1) que funciona com cristal externo de 32,768 kHz (TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

Alguns dos periféricos que estão presentes no microcontrolador MSP430G2452 são (TEXAS INSTRUMENTS, 2011):

- **WDT (*Watchdog Timer*):** Trata-se de um timer que quando ativado dispara um comando de *reset* ao microcontrolador se não for *resetado* em um tempo menor que aquele programado;
- **BOR (*Brown-Out Reset*):** reinicia o microcontrolador caso houver queda na tensão de alimentação;
- **USI (*Universal Serial Interface*):** trata-se de um módulo de comunicação serial compatível com os protocolos I²C (*Inter-*

Integrated Circuit) e SPI (*Serial Peripheral Interface*) empregados na comunicação com dispositivos externos ao microcontrolador;

- **Timer A:** trata-se de um periférico constituído por um contador de 16 bits que, ao determinar um número de contagens é possível estabelecer um intervalo de tempo;
- **Conversor A/D:** é um conversor com 10 bits de resolução que é capaz de receber um sinal analógico em um canal de entrada e converter à tensão de entrada em uma palavra digital. Neste periférico há um gerador de tensão de referência selecionável, cujos valores são 1,5V e 2,5V. Além disso, o conversor possui 8 canais de entrada e sua taxa de conversão máxima é de 200 mil amostras por segundo.

3.2.4 Kit de desenvolvimento de sistemas microcontrolados

Uma das ferramentas indispensáveis para a fase de prototipagem de um sistema microcontrolado é um conjunto de desenvolvimento. O objetivo deste conjunto é prover recursos de *hardware* suficientes para o desenvolvimento de um determinado projeto. Os principais elementos deste conjunto se resumem, tipicamente, em um microcontrolador, um circuito para programação de *firmware* e para depuração de código, regulador de tensão, conectores para conexão com circuitos externos, entre outros.

O conjunto de desenvolvimento de sistemas microcontrolados utilizado neste trabalho é o LaunchPad da Texas Instruments, o qual é ilustrado na Figura 5. Esta ferramenta disponibiliza um circuito de emulação que permite a programação do *firmware* no microcontrolador e a depuração do código através de uma ferramenta de desenvolvimento de *software*. A conexão do emulador ao computador é feita através de uma interface USB (*Universal Serial Bus*) que, também, provê alimentação aos circuitos através de um regulador de tensão. O LaunchPad possui um soquete para alojamento de um microcontrolador da família MSP430G2xxx de até 20 pinos com encapsulamento do tipo DIP (*Dual In-line Package*). Além disso, existem 2 conectores do tipo barra de pinos para ligação dos pinos do microcontrolador

em circuitos externos, 2 LEDs (um vermelho e um verde), 2 chaves (*reset* e uso geral) e conector para bateria (TEXAS INSTRUMENTS, 2012).

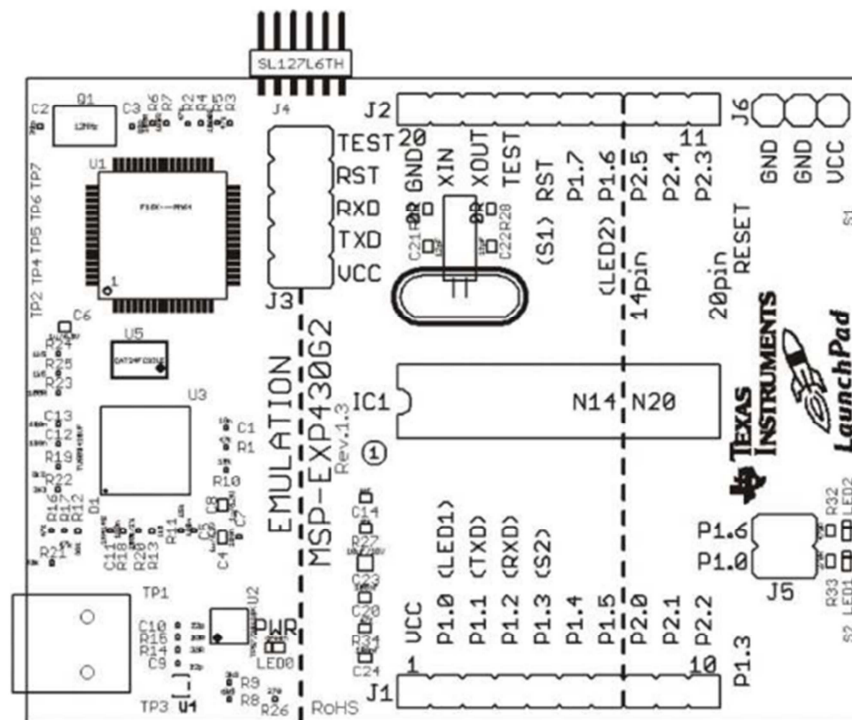


Figura 5: Conjunto de desenvolvimento Launchpad para microcontroladores MSP430 da Texas Instruments.

Fonte: Texas instruments, 2012.

3.2.5 Linguagem de programação e ferramenta de desenvolvimento de código

A linguagem C de programação foi adotada no desenvolvimento do firmware para o sistema microcontrolado. Esta linguagem foi criada por Dennis Ritchie em 1972 e é uma das linguagens mais populares, existindo compiladores C para a maioria das arquiteturas computacionais atuais. Trata-se de uma linguagem de programação estruturada, imperativa, procedural, de propósito geral que permite acesso aos recursos de *hardware* para execução de tarefa ou aplicativos (RITCHIE *et al.*, 1975).

A Texas Instruments disponibiliza a ferramenta Code Composer Studio (CCS), baseada na estrutura Eclipse de código aberto, para desenvolvimento de código nas linguagens C e Assembly, possibilitando compilar o código, traduzir

o arquivo objeto em código de máquina e gravá-lo no microcontrolador, além de permitir a depuração do código. Neste trabalho foi utilizada a versão 4 do CCS, sendo esta limitada a códigos de máquina com tamanho máximo de 16 kBytes.

3.2.6 Display de LCD

O display de LCD (*Liquid Crystal Display*) escolhido para o projeto trata-se de um display matricial de 2 linhas por 16 colunas (16x2), conforme ilustrado na Figura 6, e possui o controlador HD44780 da Hitachi Corp. Este display possui um conjunto padrão de caracteres ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) e ainda caracteres japoneses, gregos e símbolos matemáticos. A conexão deste display com um sistema microcontrolado, por exemplo, é feita através de um barramento de dados de 8 bits, podendo ser configurado para operar com 4 bits apenas, e mais 3 linhas de controle, sendo estas:

- **E** (*Enable*): quando em nível lógico alto habilita o display. Caso desativado o display não aceitará comandos;
- **R/W** (*Read/Write*): determina o sentido da transferência de dados entre o microcontrolador e o display (Leitura/Escrita);
- **RS** (*Register Select*): define se os dados que estão no barramento se referem a uma instrução ou um caractere.

3.2.7 Ferramenta de captura de esquemático e layout de PCI

As ferramentas EDA (*Electronic Design Automation*) são essenciais para o projeto de circuitos eletrônicos e PCIs. O programa Eagle, desenvolvido pela empresa Cadsoft Computer Inc., foi escolhido para a captura de diagramas esquemáticos e layout de PCI. Esta ferramenta possui uma biblioteca com centenas de componentes, dos mais variados tipos, sendo possível, ainda, encontrar vários componentes na internet que podem ser utilizados. Apesar de sua versão gratuita possuir restrição quanto ao tamanho da PCI a ser projetada

(dimensão máxima de 10 cm por 15 cm), esta ferramenta atende à maioria das necessidades de projetos simples.

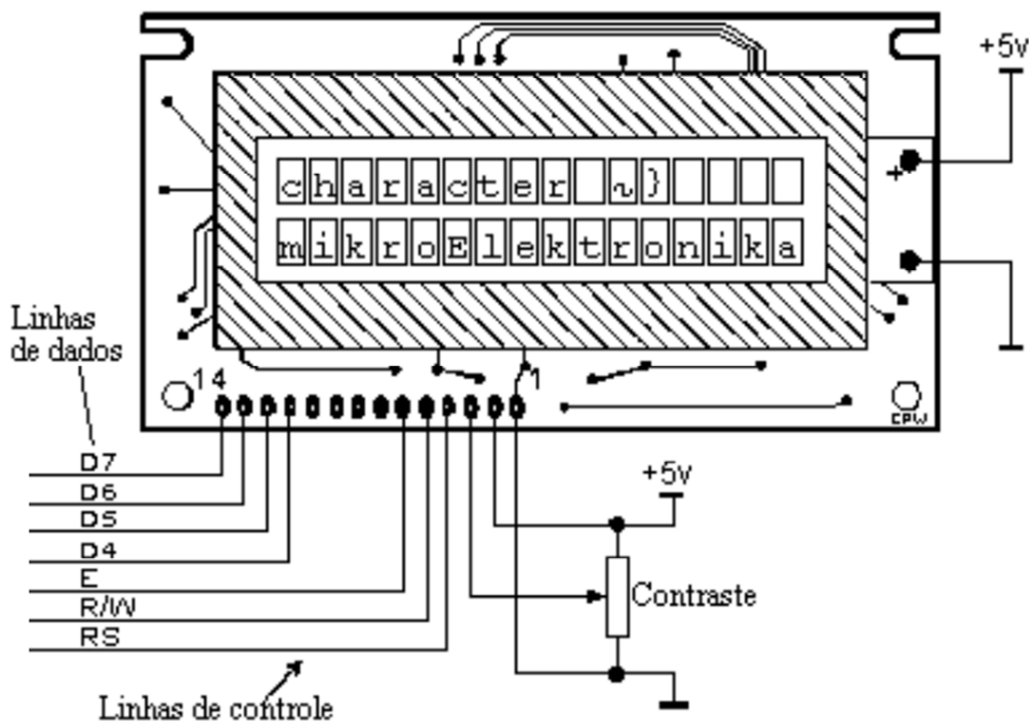


Figura 6: Display LCD de 2 linhas por 16 colunas.
Fonte: Souza (2006).

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Desenvolvimento do Hardware

Nesta seção são apresentados os procedimentos adotados e os circuitos projetados.

3.3.1.1 Fonte de alimentação

A fonte de alimentação deve prover tensões reguladas aos circuitos a partir de uma entrada de energia elétrica. O sensores, o display e os circuito de acionamento requerem uma tensão de alimentação de 5 V, enquanto a tensão de alimentação máxima para o microcontrolador é de 3,6 V, sendo esta

adotada para alimentar, também, o circuito de aquisição de sinais. Portanto, a fonte deverá fornecer duas tensões distintas, com capacidade de corrente estimada de até 100 mA para a tensão de 5 V e de até 20 mA para o sistema microcontrolado e o circuito de aquisição de sinais.

O circuito eletrônico da fonte, mostrado na Figura 7, é composto por um transformador, ponte retificadora, filtro, e reguladores. A entrada do transformador aceita tensões de 127 V_{AC}, enquanto a saída fornece uma tensão de 12 V_{AC}. Uma ponte retificadora recebe a tensão de saída do transformador, resultando em uma tensão contínua. O *ripple* na saída da ponte retificadora é minimizado consideravelmente através de um filtro capacitivo. O regulador 7805 recebe a tensão filtrada e fornece a tensão de 5 V, enquanto que a tensão de 3,6 V é obtida a partir do regulador ajustável LM317, cuja tensão de entrada é a 5 V fornecida pelo regulador 7805. A Figura 8 apresenta o circuito característico sugerido pelo fabricante do LM317 para obter um regulador ajustável, onde a resistência variável R2 determina a tensão na saída deste regulador. Na saída do regulador LM7805 é adicionado um resistor de 2,2Ω ¼W em série para evitar que um circuito defeituoso provoque uma sobrecorrente que possa danificar a fonte ou os demais circuitos.

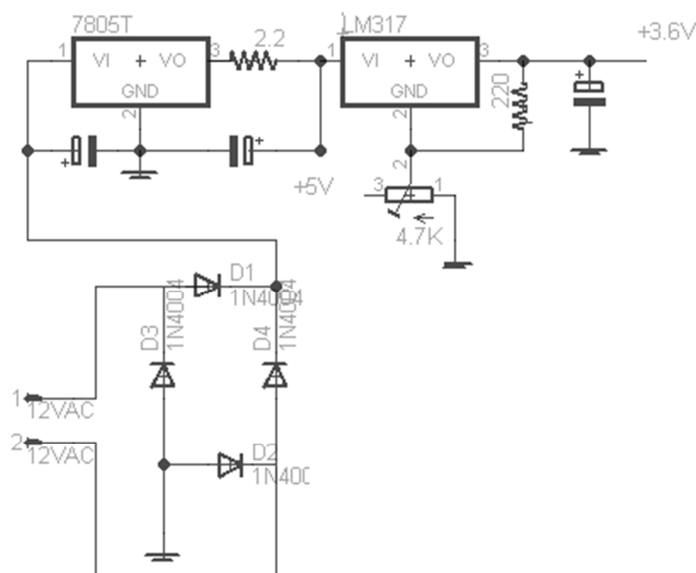


Figura 7: Diagrama esquemático da fonte de alimentação.
Fonte: Autoria Própria.

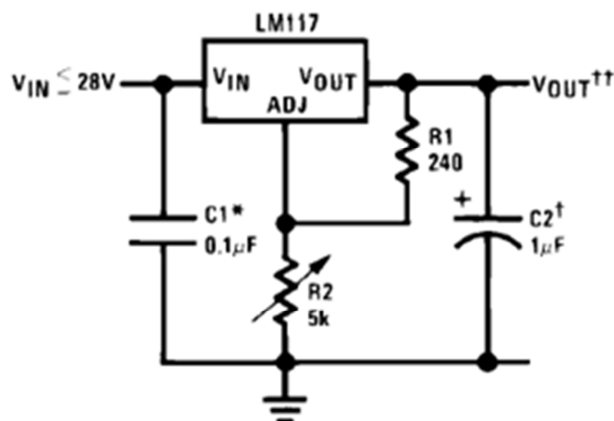


Figura 8: Circuito sugerido para o LM317.
Fonte: National Semicondutor (2011).

3.3.1.2 Circuitos de condicionamento de sinais para os sensores de temperatura e umidade

Os sensores de temperatura e umidade apresentam características de resposta diferentes, ou seja, a relação variação de grandeza física e tensão de saída é diferente para ambos os sensores. Isto significa que cada um destes sinais precisa ser condicionado para uma faixa de variação compatível com a faixa de tensão do canal de entrada do conversor A/D. Como o microcontrolador dispõe de um gerador de referência interna, que fornece tensões de 1,5 V ou 2,5 V, a faixa de tensão de entrada vai de 0 V até a tensão de referência selecionada via registrador. Considerando as respostas de ambos os sensores, optou-se pela referência de 2,5V.

A tensão de saída do sensor LM35 para uma temperatura de 0 °C será 0 V e, considerando a taxa de variação de 10 mV/°C, a saída para uma temperatura que tendo 100 °C será de 1 V. De acordo com a faixa de tensão de entrada para o conversor A/D do microcontrolador, é necessário aplicar um ganho de 2,5 no sinal de saída do sensor para que em 100 °C a tensão seja 2,5V. Este ganho pode ser conseguido através de um amplificador operacional configurado como amplificador não inversor. A Figura 9 apresenta o circuito do amplificador e o ganho é dado por (NATIONAL INSTRUMENTS,2005):

O tratamento de sinal para o sensor HIH-4000-004 é mais complexo que o circuito projetado para o sensor LM35, necessitando de um circuito comparador diferencial para remover o offset do componente uma vez que sua resposta é dada por (HONEYWELL, 2010):

$$V_{out} = V_{cc}(0,0062(\%RH) + 0,16) \quad (2)$$

onde V_{out} é a tensão de saída, V_{cc} é a tensão de alimentação e $\%RH$ é a umidade relativa medida pelo sensor.

Para uma umidade relativa de 100%, V_{out} será o resultado da soma de 3,1 V com um *offset* de 800mV, ou seja, aproximadamente 3,8 V. Portanto, o circuito de condicionamento de sinal deverá subtrair o *offset* e atenuar o sinal para que a tensão de saída do condicionador seja igual a 2,5 V para a umidade relativa de 100%.

De acordo com o circuito de condicionamento projetado, apresentado na Figura 11, na saída do sensor foi colocado um circuito de filtro passa-baixa sugerido pelo fabricante, formado por um resistor de 1 M Ω e um capacitor de 1 nF, com frequência de corte de 159 Hz a fim de remover possíveis ruídos de alta frequência. Em seguida o sinal segue para um amplificador com ganho unitário (U1), que funciona como um *buffer* analógico.

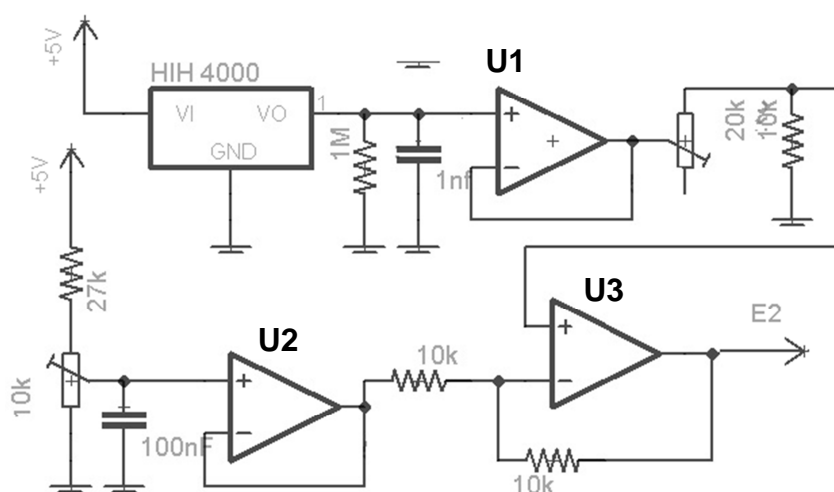


Figura 11: Circuito de condicionamento de sinal para o sensor HIH-4000.
Fonte: Autoria própria.

Para remover a tensão de *offset* do sensor é necessário que seja gerada uma tensão de referência, correspondente a tensão de *offset*, para que um amplificador diferencial possa subtrair o *offset* do sinal do sensor. O circuito que produz esta tensão de referência é formado por U2, um resistor de 27 kΩ e um potenciômetro. Na última etapa, um amplificador diferencial que remove o *offset* do sinal de saída do sensor e ajusta o ganho para que a faixa de variação corresponda àquela definida como entrada do conversor A/D. A topologia do circuito adotado para o amplificador diferencial é mostrada na Figura 12. A equação que define o sinal de saída V_{OUT} deste circuito é dada por (TEXAS INSTRUMENTS, 2002):

$$V_{OUT} = V_{IN2} \frac{R_F + R_G}{R_G} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) - V_{IN1} \frac{R_F}{R_G} \quad (3)$$

onde R_1 , R_2 , R_F e R_G definem o ganho do amplificador, V_{IN1} é a tensão na entrada inversora, V_{IN2} é tensão na entrada não-inversora.

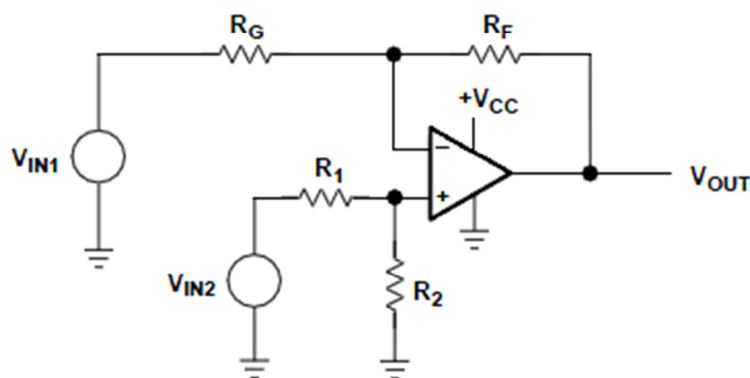


Figura 12: Circuito do amplificador diferencial utilizado.
Fonte: Texas Instruments (2002).

3.3.1.3 Circuito do Sistema Microcontrolado

O sistema microcontrolador é composto pelo microcontrolador e por uma interface homem-máquina formada por um display LCD. A utilização dos pinos do microcontrolador no sistema desenvolvido é mostrada na Tabela 1, enquanto a Figura 13 apresenta o circuito desenvolvido para o sistema microcontrolado. No pino 16 do microcontrolador foi ligada uma chave para provocar um reset manual, sendo útil para reinicializar a CPU do microcontrolador em casos de falha de execução do *firmware*. Além disso, foi colocado um potenciômetro no pino 3 do display para ajuste de contraste.

Tabela 1: Conexões do microcontrolador.

Pino	Função	Descrição
1	V _{CC}	Tensão de alimentação do microcontrolador
2	S ₁	Saída 1 de acionamento
3	NC	Não Conectado
4	NC	Não Conectado
5	NC	Não Conectado
6	E ₂	Canal de entrada do conversor A/D (umidade)
7	E ₁	Canal de entrada do conversor A/D (temperatura)
8	D ₄	Display: bit 4 de dados
9	D ₅	Display: bit 5 de dados
10	D ₆	Display: bit 6 de dados
11	D ₇	Display: bit 7 de dados
12	RS	Display: Seleção de Registro
13	R/W	Display: Leitura/Escrita
14	S ₃	Saída 3 de acionamento
15	S ₂	Saída 2 de acionamento
16	Reset	Entrada de sinal de reset externo
17	NC	Não Conectado
18	NC	Não Conectado
19	LCD EM	Display: Habilita
20	GND	Terra do sistema microcontrolado

Fonte: autoria própria.

3.3.1.4 Circuito de acionamento

O circuito de acionamento, apresentado na Figura 14, é responsável pelo controle dos TRIACs (*Triode for Alternating Current*) que atuam como chave para ligar ou desligar os elementos que atuarão no ambiente, como

conjunto de resistência de aquecimento e ventilador. Os sinais de acionamento são os seguintes:

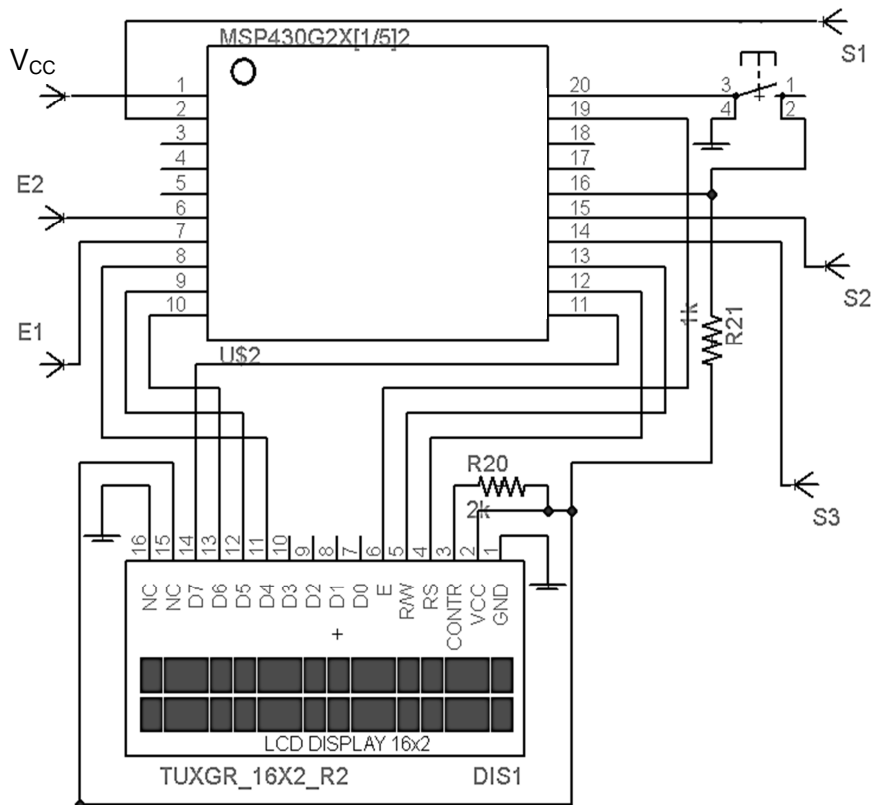


Figura 13: Diagrama esquemático do circuito de processamento e IHM.
Fonte: Autoria própria.

- **S1** – Responsável por acionar o circuito eletrônico que ativa os dois exaustores de ar, ligados em paralelo, que ficam situados na parte lateral superior do gabinete;
- **S2** – Aciona o circuito eletrônico que ativa um ventilador de ar de 127V situado na parte inferior do gabinete;
- **S3** – Aciona o circuito eletrônico que ativa o conjunto de resistências podendo ser utilizados lâmpadas ou resistências de até 40W.

De acordo com a Figura 14, quando os sinais S1, S2 e S3, provenientes do microcontrolador, estão em nível alto, os optocopladores MOC3020, juntamente com os DIACs (*Diode for Alternating Current*), atuam no

disparo dos TRIACs, fazendo com que tensão da rede elétrica seja entregue às cargas.

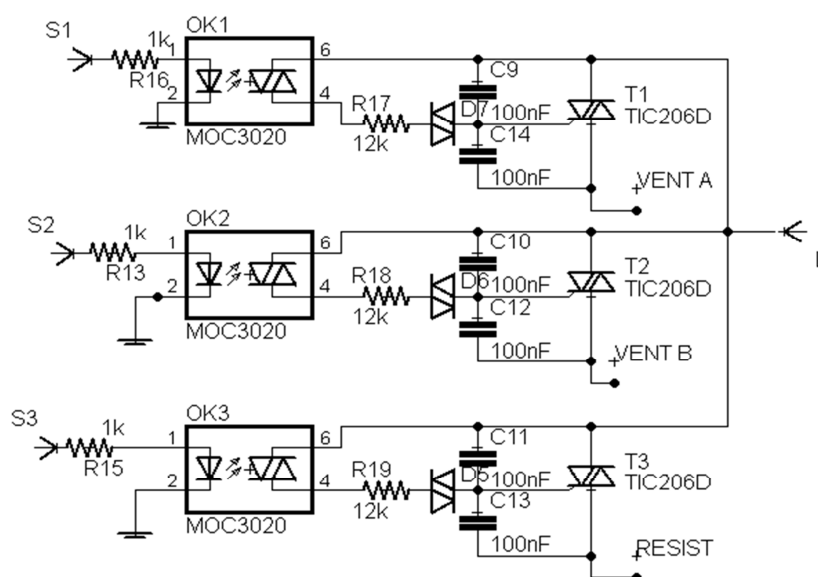


Figura 14: Diagrama esquemático do circuito de acionamentos.
Fonte: Autoria própria.

3.3.1.5 Placa de circuito impresso

Após completar o layout da PCI, o desenho foi impresso em uma folha de papel para fotos, no lado liso do papel. Em seguida, com o auxílio de um ferro de passar roupa, o desenho foi transferido do papel para uma PCI de fenolite com uma camada de cobre sobre toda sua superfície. Por fim, a placa foi colocada em um banho de em percloroeto de ferro, visando remover parte do cobre para restar apenas o cobre sob o desenho da PCI, ou seja, trilhas, vias, ilhas, etc.

3.3.1.6 Gabinete do Sistema

O gabinete abriga o sistema de comunicação de rádio e o sistema de controle de temperatura e umidade abordado neste trabalho possui a medida de 95 cm x 60 cm x 22 cm (altura, largura, profundidade). A Figura 15 mostra o gabinete e a montagem dos atuadores.

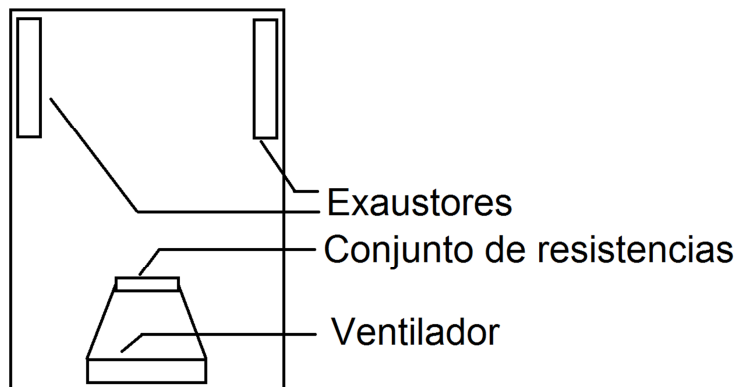


Figura 15: Esquema sugerido de montagem dos atuadores.
Fonte: Autoria própria

Os ventiladores ficam divididos em dois canais de acionamento, um canal com dois ventiladores de 120 mm com tensão de alimentação 127V, que atuam como exaustores, localizados na parte superior lateral do gabinete e outro canal com um ventilador de 120 mm com tensão de alimentação 127V, que força a entrada de ar no gabinete, localizado na parte inferior do gabinete. Uma lâmpada incandescente de 40 W de potencia com tensão de alimentação de 127V, tem a função de aquecer o ar, ficando alojada na parte inferior do gabinete, logo acima do ventilador.

3.3.2 Desenvolvimento do *firmware* para o microcontrolador

O *firmware* do microcontrolador foi desenvolvido no Code Composer Studio usando linguagem C. No programa principal (função *main*) são chamadas as funções de inicialização de periféricos, é feito o processamento dos sinais adquiridos, o controle dos atuadores e a apresentação dos resultados no display.

Conforme o fluxograma mostrado na Figura 16, inicialmente, display é inicializado, ou melhor, é preparado para a apresentação dos resultados. Em seguida é feita a leitura da temperatura e da umidade. Os valores medidos são processados e, de acordo com parâmetros definidos, o sistema microcontrolado atuará no acionamento dos resistores e ventiladores. O resultado das medições é apresentado no display. Este ciclo se repete indefinidamente.

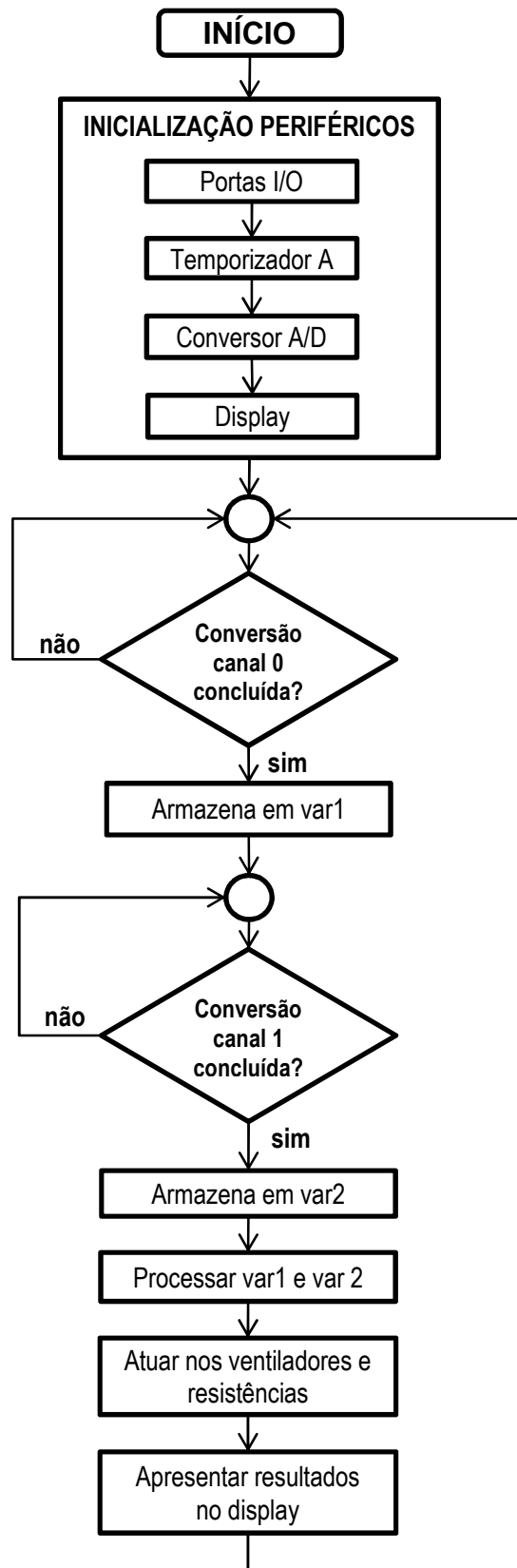


Figura 16: Fluxograma do *firmware* do microcontrolador.
Fonte: Autoria própria.

3.3.2.1 Inicialização do sistema de *clock*

Na configuração do sistema de *clock*, o DCO foi configurado para gerar um sinal com frequência de, aproximadamente, 15 MHz para alimentar a CPU (MCLK). O sinal de *clock* secundário (SMCLK) foi obtido a partir do sinal do DCO (15 MHz), porém usando o *prescaler* com fator de divisão ajustado para fornecer um sinal de menor frequência para ser fornecido ao temporizador. Desta forma o sinal de *clock* do DCO foi dividido por 8, resultando em um sinal SMCLK com frequência e período de, aproximadamente, 1,87 MHz e 5,33 μ s, respectivamente.

3.3.2.2 Configuração do Temporizador

O temporizador A do microcontrolador foi configurado para gerar interrupções a cada 200 ms. Para isto, selecionou-se o modo de contagem crescente e a função de temporizador, além de ativar a geração de interrupções. O tempo foi definido a partir de um número de contagens que o contador principal precisa atingir. Este número de contagens fica armazenado no registrador de captura e comparação do canal 0 do temporizador A (TACCR0) e pode ser obtido a partir de (adaptado de: TEXAS INSTRUMENTS, 2011):

$$TACCR0 = \frac{\text{tempo} \cdot SMCLK}{FDiv} - 1 \quad (4)$$

onde *tempo* é o valor de tempo desejado em segundos e *FDiv* é o fator de divisão. Para atingir o tempo desejado foi necessário configurar o *prescaler* do temporizador para um fator de divisão igual a 8. Resolvendo (4) com base nos parâmetros citados, o registrador TACCR0 recebe o valor 46.874.

3.3.2.3 Configuração do conversor A/D

O conversor A/D do microcontrolador recebe tensões provenientes dos circuitos de condicionamento de sinal dos sensores LM35 e HIH-4000, através

de canais de entrada. As principais configurações realizadas foram as seguintes:

- **Tensão de referência:** o primeiro passo foi ativar o gerador interno de referência através do bit REFON do registrador ADC10CTL0. Em seguida selecionou-se a tensão de 2,5 V, por meio do bit REF2_5V de ADC10CTL0, e a entrada interna de referência através dos BITS SREFx de ADC10CTL0;
- **Seleção dos canais de entrada:** os canais A5 e A6 foram escolhidos como entrada para os sinais provenientes dos sensores de umidade e temperatura, respectivamente. Para isso, configurou-se os bits INCHx do registrador ADC10CTL1;
- **Início de conversão:** A conversão pode ser iniciada através do bit ADC10SC do registrador ADC10CTL0, que atua como gatilho de conversão. Esta configuração é realizada cada vez que uma interrupção do temporizador A ocorre.

3.3.2.4 Configuração do display

As configurações do display foram realizadas através de uma biblioteca com funções prontas, tais como: inicialização do display, posicionamento de cursor, limpeza, escrita de caractere e *string*. As conversões de valores com ponto flutuante em caracteres foi conseguida através da função “printf” da biblioteca “strings.h” disponibilizada pelo Code Composer.

3.3.2.5 Rotina de Tratamento de Interrupção do Temporizador A

A Rotina de Tratamento de Interrupção (RTI) do temporizador A possui uma instrução para iniciar uma conversão e uma variável para indicar a ocorrência de um intervalo de tempo igual a 1 segundo, que é usado para a atualização dos valores no display.

3.3.2.6 Rotina de Tratamento de Interrupção do conversor A/D

Na RTI do conversor A/D o resultado da conversão é lido e processado, assim como a seleção dos canais de entrada, que é feita de forma alternada. Cada entrada na RTI um canal é selecionado e, após a leitura dos dois canais, é feito o processamento para controle dos atuadores.

3.3.2.7 Comparação de dados e ativação de saídas

Nessa etapa final do programa é feita a comparação entre os valores lidos e os valores determinados para ligar e desligar os atuadores, no caso os ventiladores e a resistência.

O controle das variáveis do sistema, ou seja, da temperatura e da umidade, é feito a partir da comparação dos valores destas variáveis com limiares pré-definidos. Após os testes práticos, envolvendo o equipamento condicionado no gabinete, determinou-se uma temperatura máxima de 30 graus e uma umidade relativa de 55%. Os estados em que o sistema atua são:

- Temperatura baixa e umidade baixa (TL/UL);
- Temperatura baixa e umidade alta (TL/UH);
- Temperatura alta e umidade baixa (TH/UL);
- Temperatura alta e umidade alta (TH/UH).

A partir dos estados e dos limiares de temperatura e umidade fica fácil efetuar a programação do código que será responsável pelo controle, de forma a atuar nos atuadores do sistema. A lógica de controle adotada é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2: Lógica de controle, onde L significa Ligado, D significa Desligado.

Estado	VENT A	VENT B	RESISTÊNCIA
TL / UL	D	L	D
TL / UH	L	D	L
TH / UL	L	L	D
TH / UH	L	L	L

Fonte: autoria própria.

De acordo com a Tabela 2, quando a temperatura e a umidade são baixas, apenas o ventilador de baixo fica ligado com o objetivo de manter uma pequena circulação mínima de ar no interior do gabinete. Para o caso de temperatura baixa e umidade alta, os exaustores são ligados, o ventilador de baixo desligado e as resistências ligadas. Nesta configuração, a circulação de ar fica com baixa admissão de ar e alta exaustão, e o ar que entra é aquecido pelas resistências. Com a temperatura alta e umidade baixa, os dois exaustores e o ventilador de baixo ficam ligados a fim de manter a máxima circulação de ar possível, removendo o máximo de ar quente e injetando ar frio no gabinete. Com a temperatura alta e umidade alta, todo sistema fica ativado, ou seja, os dois canais de ventiladores e a resistência são ativados com a finalidade de reduzir ao máximo os valores. Caso esta última configuração provoque aquecimento, apenas os exaustores e ventilador ficam ativados.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

Com o programa Eagle[®], desenvolvido pela empresa CadSoft, na sua versão gratuita, foi possível desenhar o diagrama esquemático de todos os circuitos do sistema (Anexo I). Não foi encontrada nenhuma dificuldade para projetar o esquema elétrico tendo em vista que o circuito foi todo desenvolvido e testado primeiramente em *proto-board*.

4.2 PLACA CIRCUITO IMPRESSO

Na Figura 17 é possível observar o *layout* adotado para essa PCI, vista do lado em que vão os componentes e mostrando as trilhas no plano oposto (*bottom layer*). As linhas azuis representam trilhas de ligação entre os componentes, os pontos em marrom representam as ilhas de soldagem para os componentes e, por fim, as linhas vermelhas representam os *jumpers*.

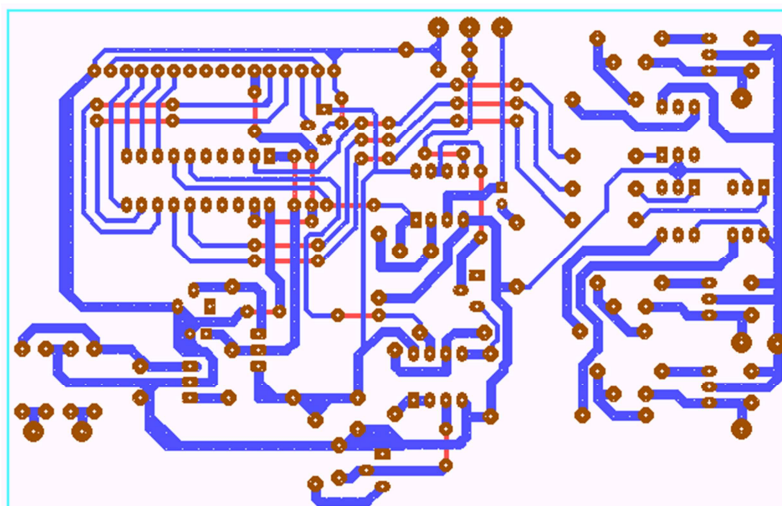


Figura 17: Desenho da PCI do equipamento.
Fonte: Autoria própria.

4.3 PLACA MONTADA

Depois de feito o desenho da placa eletrônica a mesma foi confeccionada. Os componentes foram colocados e soldados na placa, conforme apresentado na Figura 18. Testes parciais foram realizados para verificar a tensão de alimentação do microcontrolador, antes de coloca-lo no soquete, e do circuito de acionamento. Os leds verdes foram atribuídos para indicar o circuito ativando os opto-acopladores.

A placa foi instalada no gabinete, contendo, também, os exaustores, o ventilador, resistência (lâmpada) e equipamentos de rede, conforme pode ser visto na Figura 19.

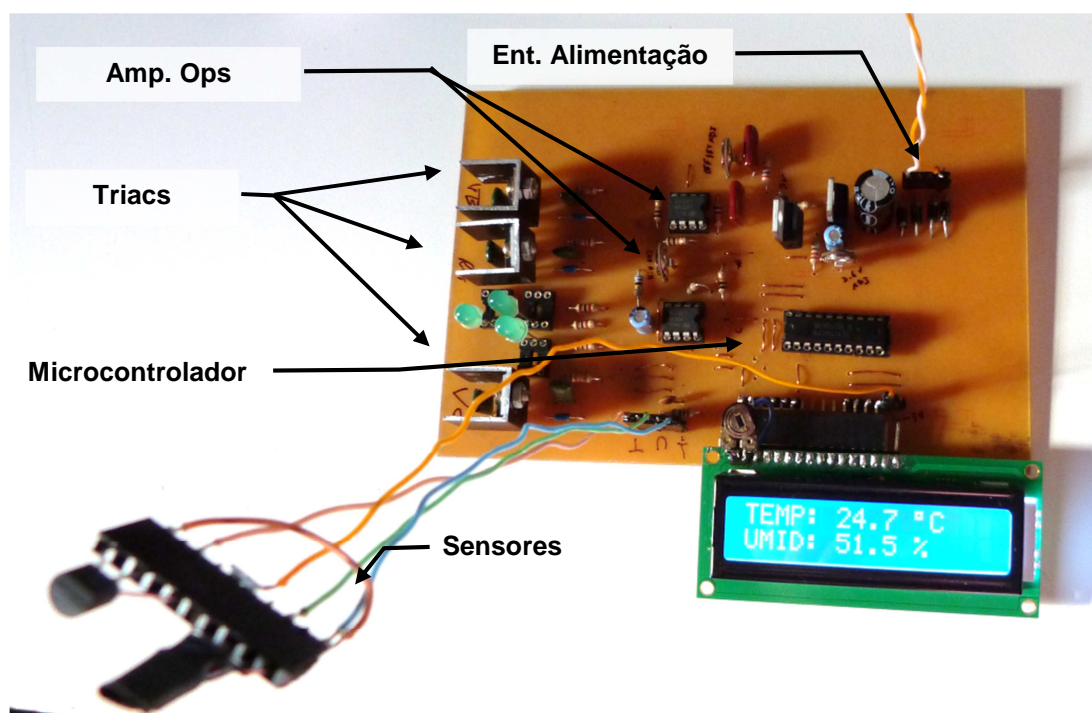


Figura 18: Placa de circuito impresso pronta .
Fonte: Autoria própria.

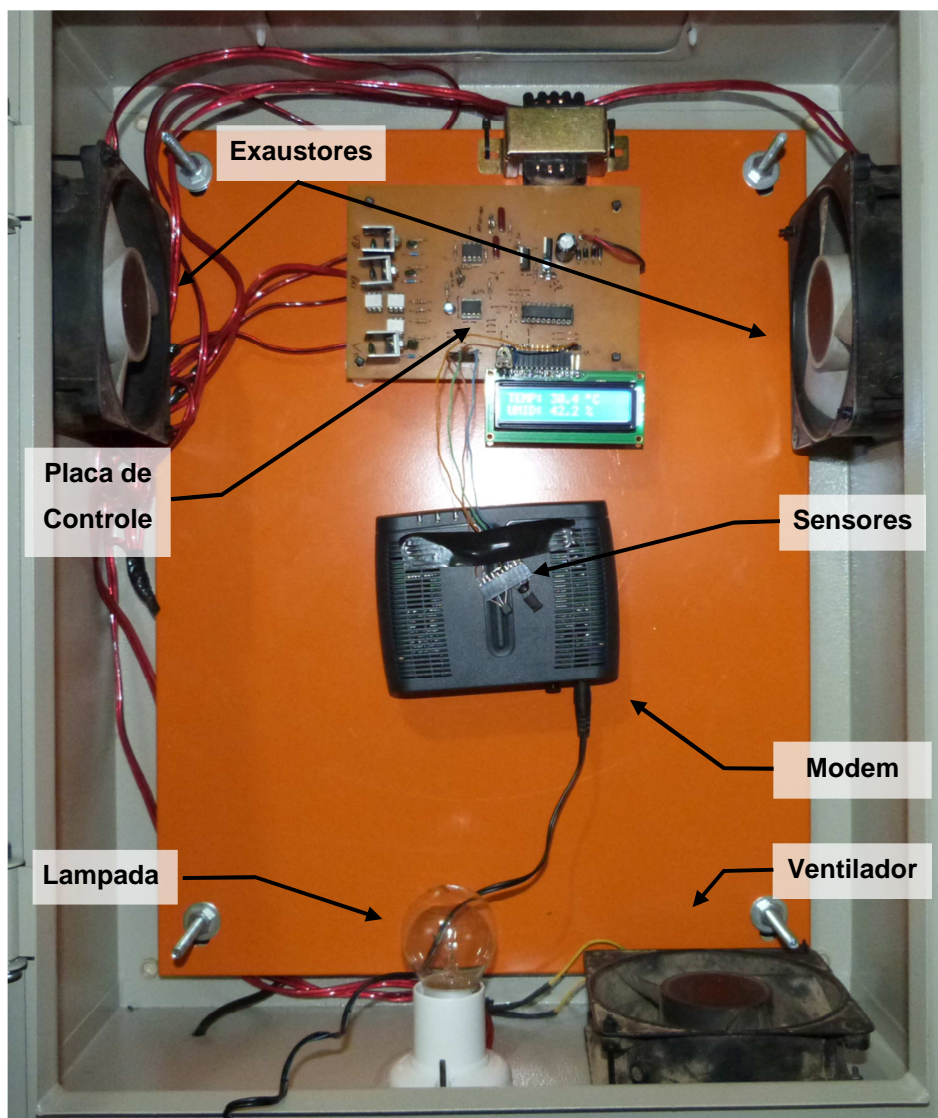


Figura 19: Gabinete montado para testes.
Fonte: Autoria própria.

4.4 TESTES PRELIMINARES DE FUNCIONAMENTO

Testes funcionais do equipamento foram realizados com o intuito de uma primeira comparação entre as condições do gabinete com o controle de temperatura e umidade funcionando e outro teste sem o sistema de controle. Foi adotado como padrão um tempo total de teste de cinco horas com coleta de dados sendo feita a cada trinta minutos. Os dados foram coletados com o sistema de controle ligados no dia 7 de outubro de 2012, tendo início os testes as vinte horas concluindo às três horas do dia seguinte. No dia 8 de outubro de 2012, foram realizadas as coletas de informação também com início às vinte

horas e término às três horas do dia seguinte. Os resultados são apresentados no gráfico da

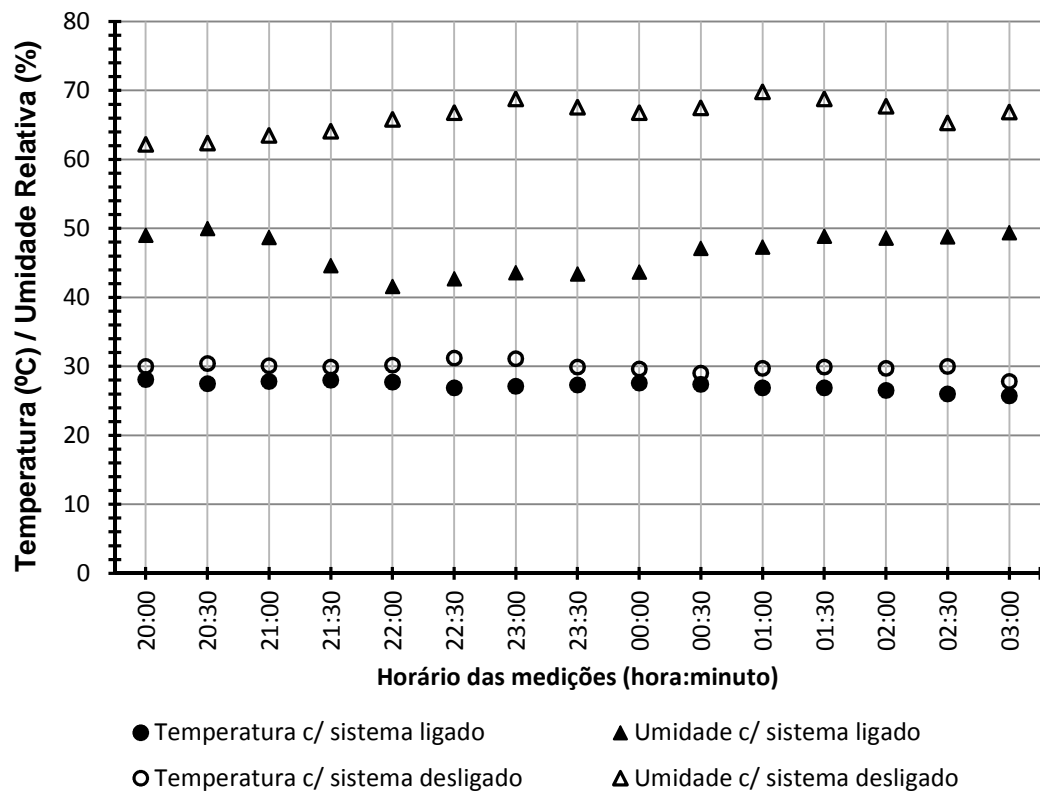


Figura 20, onde é possível observar que o circuito realmente conseguiu atuar nas variáveis controláveis.

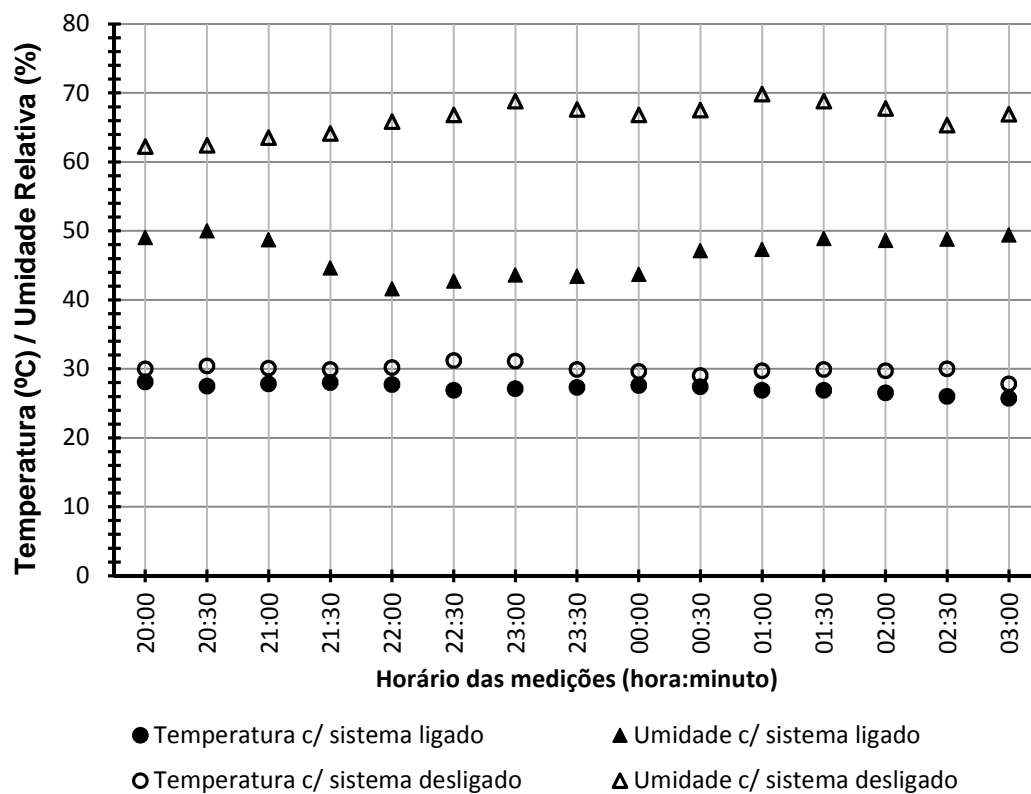


Figura 20: Resultados de teste preliminar obtidos para temperatura e umidade considerando um gabinete com o sistema de controle e outro sem o uso deste.

Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÕES

Conforme os resultados obtidos, observa-se que todos os objetivos específicos foram alcançados, exceto a realização de testes explorando todas as condições de funcionamento e análise destes resultados. Primeiramente, os testes serão realizados em duas etapas. A primeira consiste do teste em laboratório, onde a temperatura e a umidade de um ambiente serão variadas para avaliar o comportamento do sistema. A partir disso, ajustes e calibrações serão feitos para que o sistema fique apto a atuar em situações reais. A segunda fase de teste envolve implementação de algumas unidades do sistema em campo e a avaliação do índice de defeitos nos equipamentos, comparando-se com outros gabinetes em outros locais que não receberam o sistema. Após todos os testes concluídos serão produzidos, ao todo, dez sistemas iguais para montagem nas torres já existentes que se encontram em operação.

No desenvolvimento do projeto foram encontrados dois problemas, em especial o primeiro que acabou por atrasar o projeto todo. O primeiro deles foi com o microcontrolador PIC16F870, produzido pela Microchip Technology Inc., que após todo o desenvolvimento do *firmware*, sendo que o mesmo apresentou problemas no envio de dados para o display, sobrescrevendo dados quando enviados, não tornando possível a correta observação dos valores de temperatura e umidade. Após diversas tentativas envolvendo mudanças no código e no *hardware* sem ter êxito, optou-se por usar um microcontrolador da família MSP430 da Texas Instruments. Isto exigiu que o desenvolvimento de código fosse refeito, pois na programação do PIC usou-se assembly, enquanto que para o MSP430 a programação foi feita em linguagem C. Por fim, com o microcontrolador MSP430 foi possível implementar o projeto sem maiores dificuldades.

O segundo problema foi à sensibilidade do sensor de umidade HIH-4000 à luz do ambiente. Observou-se experimentalmente que este componente tem sua medição alterada em caso de ficar exposto à luz, fazendo com que o valor medido seja maior que o valor correto. Para testes em bancada esse problema foi resolvido cobrindo parcialmente o sensor com um pedaço de espaguete

termo retrátil. Em seu ambiente de trabalho correto o sensor não sofrerá esse tipo de interferência, pois o gabinete fica fechado tornando um ambiente escuro.

O sistema será modificado para cinco canais de entrada e terá seus TRIACs substituídos por MOSFETs, a fim de controlar ventiladores 12V de gabinetes de computadores, e pretende-se apresentar o sistema na Campus Party Brasil 6, que é um evento na área de informática que acontecerá em fevereiro de 2013. Este evento anual é considerado o maior evento *Geek* do mundo onde mais de 7.500 pessoas ficam acampados por uma semana e participam de várias palestras sobre computação, *softwares*, eletrônica, robótica e jogos.

Durante o desenvolvimento do projeto foi possível aplicar na prática os conhecimentos adquiridos nas disciplinas do curso de Tecnologia em Automação de Processos Industriais, sendo estas: Eletrônica Aplicada e Aquisição de Sinais, as quais foram importantes para o desenvolvimento do circuito de aquisição de sinais; Microcontroladores e Eletrônica Digital que foram essenciais para o desenvolvimento do sistema microcontrolado; Eletrônica Industrial e Controle de Processos proporcionaram o conhecimento necessário para o desenvolvimento do circuito de ativação de potência; e Eletrônica Auxiliada por Computador forneceu os conhecimentos de ferramentas de CAD para desenhar o diagrama esquemático e a PCI do sistema

6 REFERÊNCIAS

BRIGHAM, Robert J. **Corrosive Effects of phosphine, carbom dixide, Heat and Humidity on Electronic Equipment**, Environment Bureau, August 1998

CANADIAN LEADERSHIP IN THE DEVELOPMENT OF METHYL BROMIDE ALTERNATIVES, **Corrosive Effects of Phosphine, Carbon Dioxide, Heat and Humidity on Electronic Equipment**, August 1998.

ESSS, Predição de falhas em componentes eletrônicos, disponível em www.esss.com.br . Acessado em Junho de 2012.

EVANS, Tony. **Humidification Strategies for Data Centers and Network Rooms**, Schneider Eletric Rev. 2, 2011.

FAIRCHILD. **LM7805 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator**, Folha de dados. Fairchild semicondutor, 2001, Disponível em www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf . Acessado em maio de 2012

HELFRICK, Albert D.; COOPER, William David. **Instrumentação eletrônica moderna e técnicas de medição**. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, c1994. 324 p.

HONEYWELL. **HIH-4000-004 Humidity Sensors**, Folha de dados. Honeywell International Inc., fev. 2010, Disponível em www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/227312/HONEYWELL/HIH-4000-004.html . Acessado em 05 de maio de 2012

I-MAGAZINE E MIKROELEKTRONIKA, **Microcontroladores PIC**, Brasil : i-magazine e mikroElektronika., 2003.

NOGUEIRA, Thiago Augusto. **Redes de comunicação para sistemas de automação industrial**. 2009. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas. Ouro Preto, 2009.

K. ZHAO, X.H. LIU, T. ZHANG, Y. JIANG, **Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system in an office building**, *Energy and Buildings*, 2011.

MARTIN, J. **Rádio e Eletrônica, Semicondutores: Tipos, uso e teste**. Brasil: Editora Fittipaldi LTDA, 1993.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors (Rev. B)**. Folha de dados. National Semiconductor Corp., nov. 2000, Disponível em www.ti.com/product/LM35 . Acessado em maio de 2012

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM317 3-Terminal Adjustable Regulator**. Folha de dados. National Semiconductor Corp., 2011, Disponível em www.ti.com/product/LM317 . Acessado em maio de 2012

NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM358 Low Power Dual Operational Amplifiers**. Folha de dados. National Semiconductor Corp., out. 2005, Disponível em www.ti.com/product/LM358 . Acessado em maio de 2012

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores HC908Q: teoria e prática**. São Paulo: Érica, 2004. 294 p.

RITCHIE, D. M.; Kernighan, B. W.; Lesk M. E., **Bell Laboratories – The C Programming language**, Murray Hill, New Jersey. 1975

SOARES, Luiz Fernando Gomes; LEMOS, Guido; COLCHER, Sérgio. **Redes de computadores: das LANs, MANs e WANs às redes ATM**. 6. ed., rev. ampl. Rio de Janeiro: Campus, 1995. 705 p.

SOUZA , Vitor Amadeu. **Programação em BASIC para o microcontrolador PIC18F1220**. Rio de Janeiro: Erica, 2006

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. Rio de Janeiro: Campus, 1997. xxi, 923 p.

TEXAS INSTRUMENTS. **Op amps guide for everyone**. Bibliografia técnica, 2002. Disponível em www.ti.com/lit/an/slod006b/slod006b.pdf. Acessado 5 em maio de 2012.

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP430 Low Consumption Microcontroler**. Folha de dados. Texas instruments corp., dec. 2011. Disponível em www.ti.com/llds/ti/microcontroller/16-bit_msp430/overview.page?DCMP=MCU_other&HQS=msp430 . Acessado em 5 maio de 2012

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP-EXP430G2 LaunchPad Experimenter Board**. Manual de usuário. Texas Instruments corp., março de 2012. Disponível em <http://www.ti.com/litv/pdf/slau318b>. Acessado em 5 maio de 2012.

TEXAS INSTRUMENTS. **MSP430x2xx Family User's Guide**. Manual de usuário. Texas Instruments Corp., abril de 2011. Disponível em <http://www.ti.com/lit/ug/slau144i/slau144i.pdf> . Acessado em 5 maio de 2012.

TORRES, Gabriel. **Redes de computadores: curso completo**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001. xx, 664 p

WERNECK, Marcelo Martins. **Transdutores e interfaces**. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 225 p.

