

# Programação de Sistemas Embarcados usando Microcontroladores: um estudo de caso

Luiz Alfredo Dittgen Miritz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Campus Frederico Westphalen – RS – Brasil

(luiz@sommaiorpro.com.br)

**Resumo.** *Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto de sistema embarcado usando microcontroladores, compreendendo todas as etapas desde a programação e gravação do microcontrolador, desenho do esquema eletrônico, da placa de circuito impresso e do ambiente de controle USB (Universal Serial Bus). Para validar o projeto, utilizou-se um sistema de controle de temperatura para demonstrar um exemplo real de funcionamento, que pode servir de base para outros projetos que empreguem sistemas embarcados.*

**Abstract.** *This paper presents the development of an embedded system design using microcontrollers, comprising all stages from programming and recording microcontroller design electronic schematic and printed circuit board and the USB control environment (Universal Serial Bus). To validate the project, was used a temperature control system to demonstrate a real example of operation, which can serve as a basis for other projects that employ embedded systems.*

## 1 Introdução

Nos dias atuais os sistemas embarcados estão presentes em quase todas as atividades humanas e equipamentos como telefone celular, carros, fornos de micro-ondas, entre outros equipamentos (CARROS; WAGNER, 2003). Neste contexto, este trabalho apresenta as etapas de programação de um sistema embarcado, empregando um microcontrolador do tipo PIC (*Programmable Interrupt Controller*). Um sistema embarcado representa um sistema eletrônico que tem como base um microprocessador, mas que diferentemente de um computador para uso genérico, possui um *software* completamente dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla, executando tarefas pré-definidas com requisitos específicos.

Desenvolveu-se um protótipo para validar a proposta, utilizando um microcontrolador como cérebro do sistema, onde este recebe um sinal de um sensor, o transforma em escala de temperatura, toma as devidas decisões e apresenta os dados em um *display* LCD (*Liquid Cristal Display*) e envia para um computador pela conexão USB (*Universal Serial Bus*).

## 2 Fundamentação Teórica

Esta seção apresenta um breve referencial teórico sobre Sistemas Embarcados e Microcontroladores, abordando conceitos sobre estes temas, relacionados ao projeto apresentado neste artigo.

## 2.1 Sistemas Embarcados

Nos anos de 1940 os computadores realizavam funções específicas mas eram de tamanho exagerado para serem considerados sistemas embarcados. Anos após foi usado um computador para realizar funções específicas no projeto Apollo da NASA, considerado então o primeiro sistema embarcado. Desde então, estes sistemas vêm aumentando seu poder de processamento e funcionalidades, incorporando novos componentes em sua estrutura interna, chegando aos microcontroladores que encontramos hoje, com custo baixo e programação simples. Atualmente existem equipamentos utilizados diariamente que possuem microcontroladores, tais como relógios, fornos de micro-ondas, televisores, DVD (*Digital Versatile Disc*), na injeção de combustíveis e no freio ABS (*Anti-lock Braking System*) dos automóveis entre tantos outros (MATIC; ANDRIC, 2005).

## 2.2 Microcontroladores

O início da trajetória dos microcontroladores pode ser delineado a partir do desenvolvimento dos microprocessadores, atrelada à primeira produção em massa do microprocessador 4004 da Intel, em 1970 (BREVE; BERNUY, 2012). Segundo Menezes (2009), fabricantes de eletrodomésticos e equipamentos em geral começaram a incorporar o processador 8080 da Intel em seus sistemas.

Na evolução dos microprocessadores, o mercado sentiu a necessidade de incorporar os componentes externos agregados em um único *chip* e encaminhou essa demanda para a Intel que produziu o chip 8748. Os componentes incorporados foram memória do tipo RAM (*Random Access Memory*) e EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*), portas lógicas, *timers*, conversores A/D (Analogico/Digital), surgindo assim o microcontrolador, tal como existe no mercado atualmente. Em 1980, foi desenvolvido o chip 8051 que deu início à família de microcontroladores de oito bits denominada MCS-51. Com características de um sistema computacional completo em um único *chip*, os microcontroladores são subsistemas digitais com média e alta integração (MENEZES, 2009).

Existem diversos tipos de microcontroladores no mercado. Os microcontroladores do tipo PIC são dispositivos de configuração simples, de baixo custo e portáteis (LIMA et al., 2011) que permitem a automatização dos sistemas de análises dispensando a utilização de um microcomputador para o funcionamento final do sistema (KAMOGAWA; MIRANDA, 2013). Além disso, possibilitam alterações de um projeto microcontrolado depois de finalizado sem alterar ou adicionar componentes, ou substituir placas. A principal dificuldade para o uso dos microcontroladores por leigos em eletrônica é a necessidade de construir os circuitos eletrônicos do sistema (LIMA et al., 2011; KAMOGAWA; MIRANDA, 2013).

## 3 Trabalhos Relacionados

Lima et al. (2011), no artigo “Um sistema microcontrolado para o monitoramento *in-situ* e remoto de *ph*, condutividade e temperatura de águas”, usa um microcontrolador PIC16F877A. As funcionalidades são semelhantes ao projeto aqui apresentado, porém o ponto fundamental que definiu a escolha do microcontrolador deste trabalho, o PIC18F4550, é que o PIC16F877A não apresenta porta USB. A vantagem da comunicação USB é a possibilidade de comunicação direta com o computador para evitar o uso de módulos adicionais de comunicação e também o fornecimento de

energia para o funcionamento dos componentes eletrônicos do projeto. Outra diferença está na escolha do sensor de temperatura, NTC (*Negative Temperature Coefficient*), que exige mais alguns componentes externos ao microcontrolador para seu funcionamento. No projeto apresentado por Lima et al. (2011) foi utilizado o sensor de temperatura LM35, que tem a vantagem de não necessitar componentes externos para seu funcionamento. No entanto, o LM35 tem a limitação de temperatura  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$ . Portanto, projetos que saiam dessa faixa de temperatura não poderão ser implementados.

Ferrasa (2008) apresenta um sistema embarcado usando microcontrolador PIC16F877A, para fazer leitura de 32 sensores de temperatura alocados em diferentes posições em um silo de armazenagem de grãos. Como se trata de um uso em uma propriedade rural, em dimensões maiores, o autor utilizou um sistema de transmissão via rádio (Transmissor/Receptor RF Telecontolli, modelo tr4/rr3) das medições de temperatura efetuadas pelos sensores. A vantagem deste meio de transmissão é a superação da distância entre os sensores e o usuário. O módulo leitor está localizado no silo onde estão os sensores de medição e o programa de leitura está no computador do usuário em outra localidade, recebendo-os via rádio. Uma desvantagem é a necessidade da interface de rádio e todas as implicações desse modo de transmissão.

Fornasari et. al (2013), apresentam o uso do microcontrolador PIC16F876P, para controle de temperatura de ar condicionado automotivo. O caso apresentado pelos autores mostra a versatilidade do uso de microcontroladores em diferentes sistemas. A diferença para o microcontrolador PIC18F4550, usado no presente trabalho, é que apresenta menos portas de comunicação com o ambiente externo, impondo limite para expansão no sistema. Acredita-se que a escolha dos autores está relacionada com o tamanho do sistema e o custo do microcontrolador. Os autores usam o sensor LM35 para medição de temperatura, mesmo sensor utilizado no presente trabalho. A grande diferença dos trabalhos está na incorporação de um circuito integrado para amplificar o sinal do LM35, elevando o sinal deste sensor alterando assim os cálculos matemáticos para obter a temperatura.

#### 4 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho foi a dissertação-projeto, pois foi implementado um sistema de controle de temperatura para validar a proposta. Segundo Ribeiro e Zabadal (2010), na metodologia de dissertação-projeto, “...o pesquisador caracteriza determinado problema de algum aspecto técnico. Destaca a relevância de resolver esse problema. Desenvolve, então, um programa sistema ou mesmo um protótipo – para apresentar como prova de conceito da solução desse problema” (p. 96).

Sendo assim, nesta seção são apresentadas as tecnologias empregadas para a implementação de um sistema de controle de temperatura usando um microcontrolador com conexão USB para um computador, que pode ser utilizado em diversos segmentos de mercado que necessitam de um controle automatizado de temperatura, tais como: silos de armazenamentos de grãos, câmeras frigoríficas, confinamento de animais, depósitos de produtos perecíveis, etc. O cérebro do sistema de controle de temperatura é o PIC18F4550 (como mostra a Figura 1), que é um microcontrolador da empresa *Microchip* (2016) que permite o processamento de todos os dados dos periféricos, nesse caso a leitura analógica da temperatura, leitura das chaves de programação, comunicação com o *display* LCD e a comunicação com o computador realizada por meio de uma porta USB.

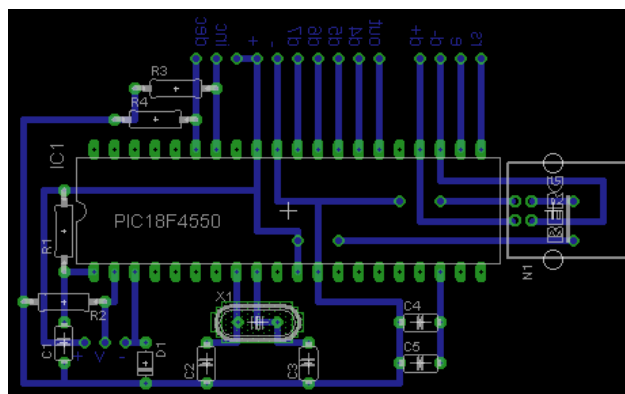


**Figura 1 – Microcontrolador PIC18F4550 (Fonte: Microchip, 2016)**

A leitura da temperatura é feita por meio do componente LM35 (TEXAS INSTRUMENTS, 2016), que apresenta como resposta uma tensão diretamente proporcional à temperatura, como uma curva linear de 10mV/°C. Para tornar possível a leitura de temperaturas negativas, foi usado um diodo 1N4148 (FAIRCHILD, 2016) em série com o LM35 para elevar a tensão de saída deste sensor. Assim, o microcontrolador faz a leitura de saída do sensor de temperatura e subtrai a leitura da tensão do diodo, resultando na tensão verdadeira de leitura. No sistema apresentado neste artigo, a temperatura limite de acionamento será definida pelo usuário, podendo ser alterada pelos dois botões físicos da placa ou pelo *software* USB, desenvolvido para o controle remoto do projeto. Este valor programado é armazenado na memória EEPROM do microcontrolador. Assim, quando o sistema for desligado, esta informação não é perdida, e sempre que o sistema for ligado, esta memória é lida para ter este parâmetro como referência.

O *software* do microcontrolador foi escrito na linguagem C e compilado no *software* MikroC. A compilação permite realizar a transformação do código-fonte escrito em C para um arquivo de extensão *hex*, que é o arquivo em código hexadecimal, reconhecido pelo microcontrolador e que deve ser gravado neste componente. O MikroC (2016) é fornecido pela empresa *Microchip*, fabricante do microcontrolador utilizado. A gravação deste arquivo *hex* gerado pelo compilador para o microcontrolador foi realizada por meio do Programador Universal MPT-1020 da empresa Minipa (2016).

Neste projeto optou-se pela simulação do sistema usando o *software* Isis (LABCENTER, 2016), sendo montado todo o circuito com seus devidos componentes e também o programa do microcontrolador. Assim obteve-se uma simulação para avaliação do comportamento do sistema como um todo, para efetuar testes, alterações e correções antes de montar a placa de circuito impresso com seus componentes. Para o desenho da placa de circuito impresso foi utilizado o *software* Eagle (2016), como mostra a Figura 2.



**Figura 2 – Placa de circuito impresso. (Fonte: do autor, 2016)**

A construção do sistema de controle de temperatura foi concebida para ter apoio remoto por computador por meio de uma porta USB. Para tanto se utilizou a IDE (*Integrated Development Environment*) *Microsoft Visual Studio C#*. Este programa receberá as informações de temperatura e limite de operação, e enviará o limite, quando este for alterado pelo usuário no computador, e também um comando de teste.

## 5 Implementação e Resultados

Após a conexão do *plug* USB da placa do projeto ao computador, visto que a alimentação de 5 Volts do sistema é fornecida pelos pinos 1 e 4 da porta USB do computador, o sistema entra em operação e o microcontrolador faz a leitura do limite de operação que está gravado na EEPROM (Memória não-volátil interna do microcontrolador) e mostra no *display* LCD uma breve apresentação partindo para a rotina do programa onde o microcontrolador faz a leitura, executa os cálculos, compara com o limite e envia as informações para o *display* LCD e para a porta USB.

A leitura da temperatura é feita por meio do sensor de temperatura LM35, que está ligado na entrada A0 do PIC18F4550 e está configurada como canal A/D. Esta leitura analógica é então convertida pelo microcontrolador em temperatura na escala *Celsius* e apresentada juntamente com a temperatura limite no *display* LCD por meio da porta digital D. O esquema eletrônico do projeto é apresentado na Figura 3. A cada 0,5 segundos o microcontrolador faz uma leitura da temperatura e a compara com o limite programado e, caso esta seja superior, ativa a porta de saída C7, porta configurada como saída do sistema. Estas informações também são enviadas para o computador pela porta USB. As chaves presentes nas portas B1 e B2 servem para a programação do limite, respectivamente incrementando e decrementando o valor da temperatura limite para o acionamento da saída. Toda vez que este valor limite for alterado, seja na placa ou no *software* remoto, é gravado na EEPROM do microcontrolador este novo valor.

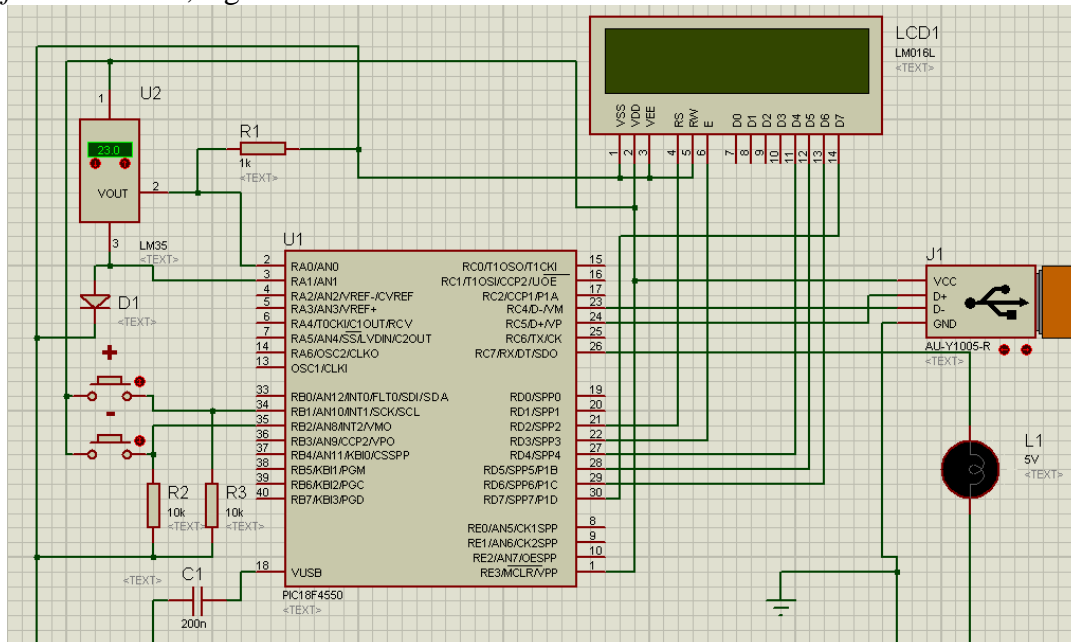


Figura 3 – Esquema eletrônico do projeto. (Fonte: do autor, 2016)

O protótipo do sistema é apresentado na Figura 4, mostrando no *display* LCD uma leitura de temperatura efetuada de 22°C e limite de temperatura programado em 50°C. O *software* remoto USB apresenta as mesmas leituras presentes no *display* LCD e um botão para ajuste da temperatura limite, além de um botão de teste, que simula um caso de temperatura alta. Para isso o computador recebe as informações do

microcontrolador pela porta USB e as apresenta na tela do programa. O limite para ativamente também pode ser alterado através do movimento pelo mouse no botão do controle deste ajuste e, quando o mouse libera o botão, este dado é enviado e gravado no microcontrolador, apresentando no seu respectivo campo o novo limite de operação, como mostra a Figura 5.



Figura 4 – Protótipo da placa com seus componentes (Fonte: do autor, 2016)

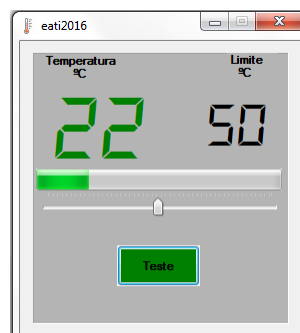


Figura 5 – Tela do programa no computador (Fonte: do autor, 2016)

## 6 Conclusão

O principal objetivo deste trabalho foi o de projetar e construir um sistema embarcado para controle de temperatura com comunicação para o computador. O projeto compreendeu o desenho do esquema eletrônico, desenho da placa de circuito impresso, programação, compilação e gravação do microcontrolador, bem como a construção do *software* para o computador.

No desenvolvimento do trabalho percebeu-se que o conhecimento das linguagens de programação, somado aos domínios dos circuitos lógicos, dos recursos matemáticos, da análise dos requisitos do sistema entre outros domínios, pode se tornar uma ferramenta importante para a solução de um problema por meio de sistemas embarcados. Desta forma, acredita-se que os objetivos foram alcançados, desenvolvendo este sistema utilizando todos os recursos citados. Como principal limitação do sistema desenvolvido aponta-se o sensor LM35, que tem limite de operação de temperatura entre  $-55^{\circ}\text{C}$  e  $150^{\circ}\text{C}$ , impedindo o uso em necessidade fora da escala de operação do sensor. Como resultado positivo do trabalho, além do baixo custo de desenvolvimento do sistema, existe a possibilidade de expansão do sistema, visto a quantidade de portas físicas do microcontrolador PIC18F4550 que não foram utilizadas.

## Referências

- BREVE, M. M; BERNUY, M. A. C. (2012) Introdução ao Desenvolvimento de Sistemas com Microcontroladores. In: ANAIS III Seminário de Pesquisa Jr (SepesqJr). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: [www.utfpr.edu.br/cornelioproccio](http://www.utfpr.edu.br/cornelioproccio). Acesso em: 25 de set. 2016.
- CARRO, L., WAGNER, F. R. (2003) Sistemas Computacionais Embarcados. Jornadas de Atualização em Informática, XXII JAI 2003, v. 1, p. 45-95. Campinas: UNICAMP, 2003. Disponível em: <ftp://143.54.11.3/pub/flavio/cmp231/jai2003.pdf>. Acesso em: 25 de set. 2016.
- EAGLE. (2016) Eagle PCD Design. Disponível em: <https://cadsoft.io/>. Acesso em: 25 de set. 2016.
- FAIRCHILD. (2016) High Conductance Fast Diode. Disponível em: <https://www.fairchildsemi.com/products/discretes/diodes-rectifiers/small-signal-diodes/1N4148.html>. Acesso em 26 de Set. 2016 .
- FORNASARI, A. J.; BIONDO, D.; ROANI, L. S. (2013) Sistema de Controle de Temperatura de Ar Condicionado Automotivo. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4161/1/PB\\_COAUT\\_2013\\_1\\_01.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4161/1/PB_COAUT_2013_1_01.pdf). Acesso em: 25 de set. 2016.
- KAMOGAWA, M. Y.; MIRANDA, J. C. (2013) Uso de hardware de código fonte aberto "Arduino" para acionamento de dispositivo solenoide em sistemas de análises em fluxo. Química Nova, v. 36, n. 8, p. 1232-1235. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v36n8/v36n8a23.pdf>. Acesso em: 25 de set. 2016.
- LABCENTER. (2016) Proteus Design Suite 8.5. Disponível em: <https://www.labcenter.com/>. Acesso em: 25 de set. 2016.
- LLAMAS, L. (2015) Medir Temperatura com Arduino y Sensor LM35. Disponível em: <http://www.luisllamas.es/2015/07/medir-temperatura-con-arduino-y-sensor-lm35/>. Acesso em: 25 de set. 2016.
- LIMA, R. S.; SANTOS, V. B.; GUERREIRO, T. B.; UGULINO, M. C. (2011) Um Sistema Microcontrolado para o Monitoramento On-Line, In Situ e Remoto de pH, Condutividade e Temperatura de Águas. Química Nova, v. 34, n. 1, p. 135-139. Disponível em: [http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol34No1\\_135\\_24-NT10062.pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol34No1_135_24-NT10062.pdf). Acesso em: 25 de set. 2016.
- MATIC, N.; ANDRIC, D. (2005) Microcontroladores PIC. Disponível em: <http://wlmquip.com.br/Microcontroladores.pdf>. Acesso em: 25 de set. 2016.
- MICROCHIP. (2016) Microchip.com. Disponível em: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F4550>. Acesso em: 25 de set. 2016.
- MiKroC. (2016) MiKroC PRO for PIC. Disponível em: <http://www.mikroe.com/mikroc/pic/>. Acesso em : 25 de set. 2016.
- MINIPA. (2016) Minipa. Disponível em: <http://minipa.com.br/>. Acesso em: 25 de set. 2016.
- Menezes, D.; Oshiro, E. K. (2009) Desenvolvimento de microcontroladores utilizando FPGA e VHDL. Trabalho de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação).

Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, Marília. Disponível em: <<http://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/283/Desenvolvimento%20de%20microcontroladores%20utilizando%20FPGA%20e%20VHDL.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 de set. 2016.

RIBEIRO, V. G.; ZABADAL, J. R. S. (2010). Pesquisa em Computação: uma abordagem metodológica para trabalhos de conclusão de curso e projetos de iniciação científica. Porto Alegre: Editora UniRitter.

TEXAS INSTRUMENTS. (2016) *LM35 - Precision Centigrade Temperature Sensors*. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. Acesso em: 25 de set. 2016.