

## **CONTROLADOR DE TEMPERATURA PROGRAMÁVEL COM SAÍDA DE POTÊNCIA**

**Jeferson Magnaguagno<sup>1</sup>, Giovanni Pasetti<sup>2</sup>, Alessandro Braatz<sup>3</sup>, Thiago Javaroni Prati<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>IFC/jefersonmagnaguagno@gmail.com

<sup>2</sup>IFC/giovani.pasetti@ifc.edu.br

<sup>3</sup>IFC/alessandro.braatz@ifc.edu.br

<sup>4</sup>IFC/thiago.prati@ifc.edu.br

*Resumo: Em diversos equipamentos é comum executar o controle da temperatura atuando sobre a tensão fornecida para a carga. Na grande maioria dos casos, este controle é bem simplificado, apenas ligando e desligando o dispositivo dentro de uma faixa de operação. Qualquer controle mais aprimorado exige, além de um sensor e um controlador, um sistema de potência mais complexo capaz de variar a potência sobre a carga. Desta forma, desenvolveu-se um controlador de temperatura que pode ser programado para operar de forma contínua. O sistema integra, em um único conjunto, o sensor, o controlador e o atuador, além de ser compatível com qualquer tipo de equipamento elétrico, cuja potência possa ser regulada pela variação da tensão. Para fazer a medição da temperatura, o controlador dispõe de um termoresistor Pt-100 acoplado a uma ponte de Wheatstone e a um amplificador de sinal. Para regular a tensão sobre o equipamento existe um sistema composto basicamente por um detector de passagem da rede elétrica por 0V responsável pelo disparo de um TRIAC, capaz de regular a potência elétrica consumida. Através de uma interface amigável é possível definir a temperatura de referência e verificar continuamente a temperatura medida. É possível também, através de uma porta serial, fazer a aquisição dos dados que possibilita, por exemplo, fazer a identificação do processo em malha aberta e observar a dinâmica do processo posteriormente em malha fechada. O controlador também dispõe de uma conexão para programação aberta do microcontrolador. Isso torna o sistema totalmente flexível, possibilitando inclusive que o dispositivo seja utilizado para fins didáticos. Nos testes aplicados, o controlador de temperatura mostrou-se muito versátil, controlando de forma satisfatória a temperatura da água de uma chaleira elétrica. Inclusive a arquitetura desenvolvida pode ser facilmente adaptada e estendida para aplicações que exijam maior potência.*

*Palavras-Chave: Controlador, Temperatura, Programável, Potência.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A temperatura é uma das principais variáveis controlada, tanto no ambiente industrial como fora dele. Na indústria, ela desempenha um papel importante, não somente na segurança dos processos, mas também na qualidade final dos produtos. Fora do ambiente industrial isso também não é diferente. Um forno, uma cafeteira, uma chaleira elétrica ou qualquer outro equipamento que opere com o controle da temperatura, sofrerá influências na qualidade do produto caso o controle tenha um desempenho insatisfatório. A grande maioria de equipamentos, principalmente fora do ambiente industrial, opera com um controle do tipo on-off, que pode interferir na qualidade do produto. Isso muitas vezes decorre da inviabilidade econômica de se instalar um controlador mais sofisticado. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um controlador de temperatura programável, contínuo, flexível e de baixo custo, que possa ser utilizado em qualquer tipo de equipamento elétrico, cuja potência possa ser regulada pela variação da tensão.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Todo o desenvolvimento do controlador de temperatura, assim como os testes, utilizaram como base uma chaleira elétrica para aquecimento de água conforme é apresentado na Figura 1.

Figura 1- Chaleira elétrica



Fonte: Próprio Autor

Neste caso, o controlador deve ser capaz de medir a temperatura e atuar sobre a potência fornecida para a resistência de aquecimento, até atingir a referência desejada, mantendo o sistema em um regime estável e permanente.

O desenvolvimento do projeto foi dividido em 4 etapas:

1. Definição do *hardware* básico (microcontrolador, sensor, regulador de potência, interface e porta serial);
2. Simulação do *hardware* em *software*;
3. Programação do microcontrolador em C;
4. Montagem do *hardware*;

Na definição do *hardware*, primeiramente escolheu-se o microcontrolador. Desta forma, foi utilizado um microcontrolador Atmega 8A-PU produzido pela Atmel. A escolha baseou-se no fato de ser um microcontrolador de extrema robustez e de boa relação custo benefício, capaz de suprir todas as necessidades do projeto. O componente possui 8 kB de memória flash, 1 kB de RAM, 512 bytes de EEPROM e dispõe de 28 pinos, sendo 23 pinos de I/O (LIMA, 2010, p. 32). Os periféricos do Atmega8 foram utilizados no projeto de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Periféricos do projeto

Periférico	Função no sistema de aquecimento
Timer 0.	Temporizar o sinal de disparo do circuito de alimentação da resistência de aquecimento.
Timer 1.	Temporizador responsável pelo tempo em que o equipamento permanece ligado.
Interrupção Externa 0.	Detectar o momento em que a senoide da rede elétrica passa por 0 V.
Conversor A/D.	Converter o valor tensão lida do Pt-100 para digital.
Pinos de I/O.	Interface com o LCD, pinos de entrada de comandos, PWM da resistência de aquecimento, controle do buzzer, leds de sinalização.

Fonte: Próprio Autor

Para fazer a medição da temperatura, utilizou-se por um termoresistor Pt-100 acoplado a uma ponte de Wheatstone. A saída deste sinal passa por um amplificador diferencial que permite que se obtenha na saída uma tensão igual a diferença entre os sinais aplicados, multiplicada por um ganho (PERTENCE JÚNIOR, 2003, p 62). Conforme apresentado na Figura 2, o sensor foi acoplado em uma estrutura de *nylon* para que pudesse encaixar corretamente na chaleira.

Figura 2 – Sensor de temperatura



Fonte: Próprio Autor

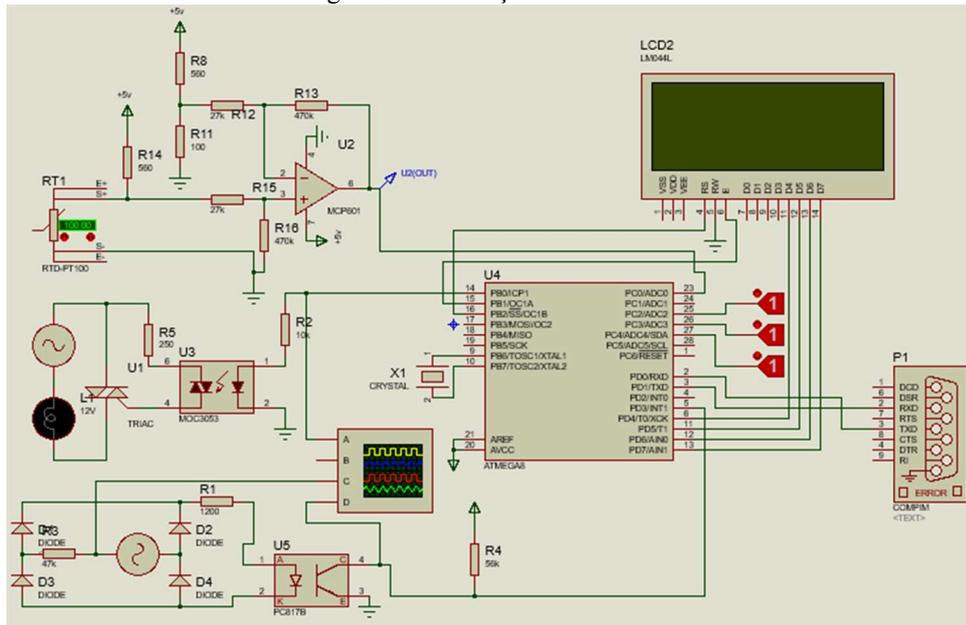
Para regular a tensão sobre o equipamento existe um sistema composto basicamente por um detector de passagem da rede elétrica por 0V que é responsável pelo disparo de um TRIAC: “TRI” de *triode* (tríodo) e “AC” de *alternating current* (corrente alternada) (ALMEIDA, 2014, pg 43).

Na interface, o controlador de temperatura possui um display LCD, além de botões, utilizados respectivamente para visualização das informações e a configuração dos parâmetros de referência e controle.

O controlador ainda dispõem de uma porta de comunicação serial utilizada para aquisição dos dados, além de uma conexão para programação aberta do microcontrolador.

Após a definição do *hardware*, todos os componentes foram montados para simulação em *software*, utilizando o *Proteus PCB Design & Simulation Software*. A montagem no simulador é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Simulação do hardware

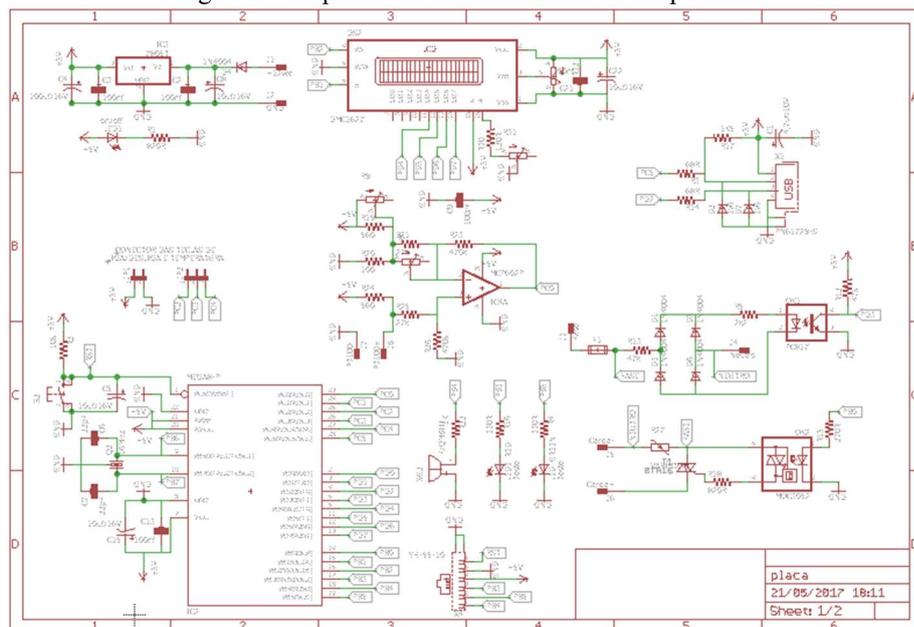


Fonte: Próprio Autor

Para o desenvolvimento do código em C, utilizou-se o *Atmel Studio 7* que é a plataforma de desenvolvimento integrado para desenvolver os códigos dos microcontroladores da Atmel.

No processo de criação da placa de circuito impresso PCB (*Printed Circuit Board*), utilizou-se o *Cadsoft Eagle* cujo esquemático pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 - Esquemático do controlador de temperatura



Fonte: Próprio Autor

Por fim, foi executada a montagem de todo conjunto que forma o controlador de temperatura, o qual foi inserido em um invólucro conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Controlador de temperatura



Fonte: Próprio Autor

Para funcionar o controlador deve ser conectado diretamente em uma tomada padrão com tensão 220Vac. No próprio corpo do controlador existe outra tomada padrão, onde é conectado o equipamento controlado, neste caso a chaleira elétrica. Isso evita qualquer modificação nas características da mesma.

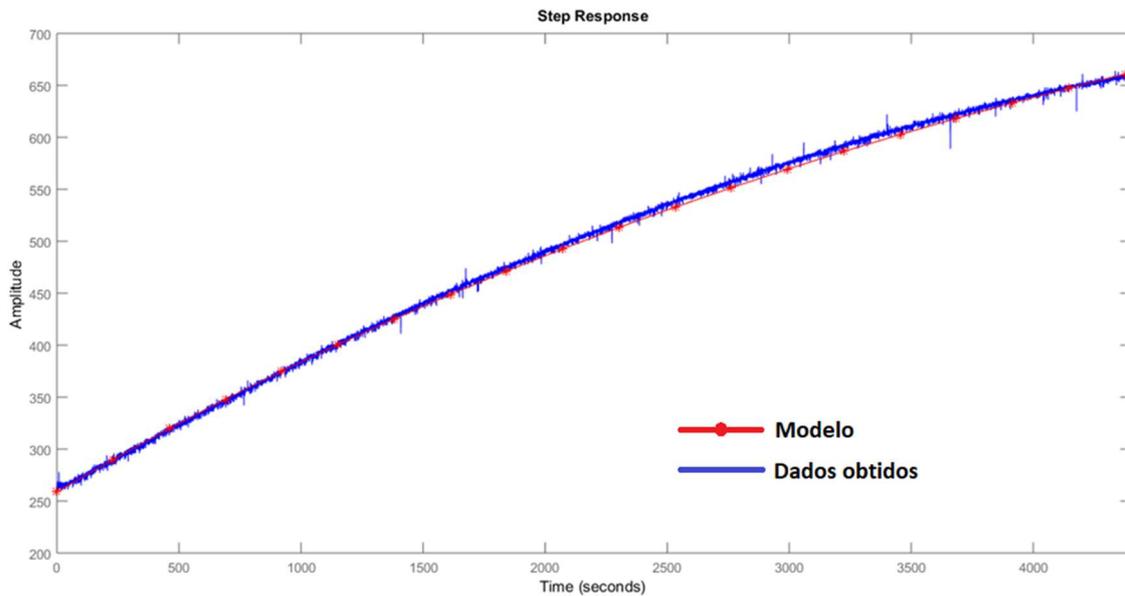
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obtenção dos resultados, o projeto foi dividido em 3 partes:

1. Levantamento da dinâmica de aquecimento do sistema;
2. Ajuste dos parâmetros para o controle de temperatura;
3. Testes práticos;

O levantamento da dinâmica de aquecimento é muito importante para o projeto do controlador. Desta forma, para a identificação das características essenciais de um processo sob avaliação, é possível utilizar uma entrada degrau (COELHO, 2004, p 63). Um degrau com amplitude de  $\frac{1}{4}$  da tensão nominal (220Vac) foi aplicado no sistema que respondeu conforme a Figura 6.

Figura 6 – Resposta ao degrau



Fonte: Próprio Autor

Utilizando um modelo de primeira ordem e aplicando o método Ziegler/Nichols (ZN) foi possível obter o seguinte modelo da planta apresentado na Equação 1:

$$G(s) = \frac{13,25 \cdot 4}{5000} \quad (1)$$

Observar que o atraso da planta foi desconsiderado. Além disso, o ganho foi ajustado em 4 vezes para representar uma amplitude de entrada de 100% (220Vac).

Conforme pode ser observado na Figura 6, o modelo encontrado (em vermelho) ficou muito próximo dos valores obtidos na prática (em azul), comprovando sua exatidão.

Para o controle do processo foi projetado um controlador Proporcional, Integral (PI) com um sobressinal máximo de 2°C. O mesmo foi discretizado para possibilitar sua implementação no código C do microcontrolador.

Determinou-se também uma faixa de referência selecionável de 50°C à 100°C. Para garantir a segurança, foi criada uma rotina onde o aquecimento é desligado após 40 minutos, caso não haja nenhuma interação com o usuário.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que o sistema respondeu satisfatoriamente aos testes realizados. Por se tratar de um sistema flexível e de fácil programação, é possível desenvolver outros tipos de controle, além do utilizado nos testes, possibilitando inclusive que o dispositivo seja utilizado para fins didáticos.



Apesar de ter sido desenvolvido tomando como base uma chuleira elétrica, sua capacidade permite o controle de qualquer outro dispositivo, desde que limitado a 2000W. No entanto, caso seja necessário uma maior capacidade, a arquitetura desenvolvida pode ser facilmente adaptada e estendida para aplicações que exijam maior potência.

Destaca-se também o grande aprendizado obtido ao realizar este projeto, pois o mesmo requereu estudos sobre projeto eletrônico, programação, desenvolvimento de controladores, placas eletrônicas e principalmente sobre a organização e planejamento da tarefa como um todo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, José Luiz Antunes. **Eletrônica industrial: Conceitos e aplicações com SCRS e TRIACS**. São Paulo: Érica, 2014.

COELHO, Antônio Augusto Rodrigues; COELHO, Leandro dos Santos. **Identificação de sistemas dinâmicos lineares**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004.

LIMA, Charles Borges. **Técnicas de projetos eletrônicos com os microcontroladores AVR**. Florianópolis: Edição do Autor, 2010.

PERTENCE JÚNIOR, Antonio. **Eletrônica analógica: Amplificadores operacionais e filtros ativos**. Porto Alegre: Bookman, 2013.