

Sistema Electrónico de Controlo de Temperatura da Água para Aplicações Domésticas

T. Oliveira^{(1) (2)}, R. Reis^{(1) (2)}, J. Casaleiro^{(1) (2)}, P. Fazenda^{(1) (2)}, H. Ramos ^{(1) (2)}, A. Pinto ^{(1) (2)},
M. Gomes^{(1) (2)}, J. Rocha^{(1) (2)}

¹ Instituto Superior de Engenharia de Lisboa,
Rua Conselheiro Emídio Navarro, N. 1, 1950-062 Lisboa
tiago.oliveira@cedet.isel.ipl.pt Tel.218317000
<http://www.isel.ipl.pt>

² Centro de Estudos e de Desenvolvimento Electrónica e Telecomunicações
Rua Conselheiro Emídio Navarro, N. 1, 1950-062 Lisboa
cedet@cedet.isel.ipl.pt Tel.218317284
<http://www.cedet.isel.ipl.pt>

Este artigo descreve um sistema que permite controlar a temperatura e regular o caudal das águas sanitárias num ambiente doméstico. O sistema tem como limite sete saídas independentes de caudal, substituindo as tradicionais torneiras mecânicas e manuais.

A arquitectura do sistema está dividida em dois tipos de blocos: a interface com o utilizador (IU) e o bloco de controlo e regulação (CR). A IU é composta por um mostrador e por um teclado que permitem a interacção do utilizador com o sistema. O bloco de CR é constituído por um circuito electrónico que gere os módulos da IU e o sistema electromecânico.

No controlo de temperatura é usado um controlador PID digital. A regulação do caudal de cada saída é efectuada de forma independente.

Introdução

Este projecto surgiu de uma ideia inovadora da empresa Metalúrgica Luso-Italiana (MLI), motivada pela necessidade de procura de novos produtos face aos constrangimentos de um mercado muito tradicional. Para a concretização dessa ideia desenvolveu-se uma parceria com o Centro de Estudos e Desenvolvimento de Electrónica e Telecomunicações (CEDET) para desenvolver a componente de electrónica e de controlo.

Neste artigo descrevem-se as soluções encontradas para a concepção dos vários módulos constituintes do sistema.

O sistema foi projectado para aplicações domésticas de instalações sanitárias onde a distribuição das águas é centralizada. Neste tipo de instalações existem duas saídas, uma de água fria e outra de água quente para o bidé, para a banheira e para o lavatório, ao invés do sistema proposto que só tem uma saída de água misturada para cada um deles. Para redução de custos optou-se por realizar primeiro a mistura da água e só depois a regulação do caudal e a distribuição, permitindo assim a utilização de apenas uma misturadora.

Como o sistema possui apenas uma misturadora, foi necessária a separação da regulação do caudal e do controlo de temperatura, criando-se um esquema de prioridades no acesso à misturadora e um esquema de indexação entre as diversas interfaces com o utilizador e as saídas de água disponíveis. Tal opção tem a van-

tagem de separar as duas variáveis em estudo neste sistema, temperatura e caudal, permitindo efectuar um controlo independente.

A arquitectura adoptada está esquematicamente representada na figura 1, sendo constituída por dois tipos de blocos: a interface com o utilizador (IU) e o bloco de controlo e regulação (CR). O sistema é expansível até cinco IUs (banheira, duche, bidé e dois lavatórios). Uma IU é composta por um mostrador e por um teclado que permitem a interacção do utilizador com o sistema. O bloco de CR é constituído por um circuito electrónico que gere os módulos da IU e o sistema electromecânico. Na figura 2 é apresentada uma fotografia do protótipo implementado.

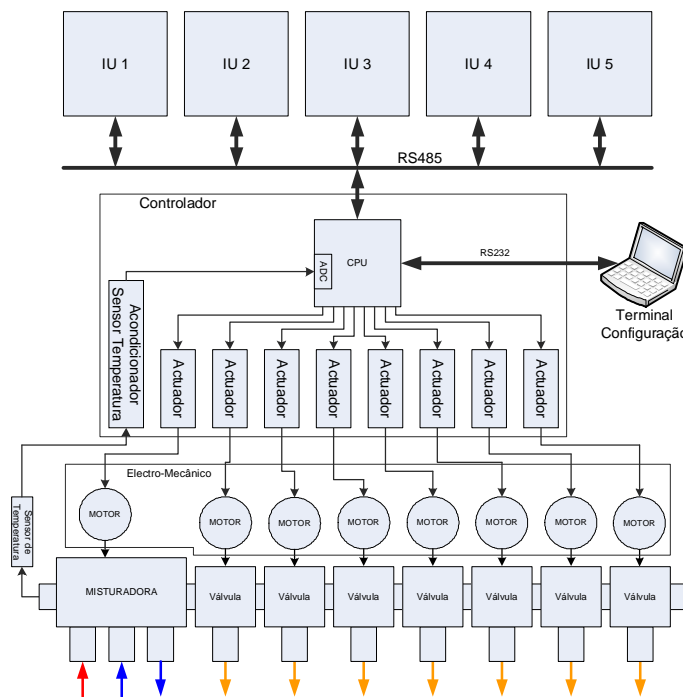


Figura 1. Diagrama esquemático do sistema.



Figura 2. Protótipo implementado.

Descrição do Sistema

Interface com o Utilizador (IU)

A interface com o utilizador é constituída por um teclado e por um mostrador de cristais líquidos (LCD) desenvolvidos especificamente para esta aplicação. Através dela é possível introduzir os parâmetros desejados da temperatura e do caudal e seleccionar ainda qual a saída no módulo da banheira.

Na figura 3 é apresentada a imagem da IU correspondente ao módulo da banheira e respectiva legenda. Nos módulos do bidé e do lavatório não estão disponíveis os botões 5, 6 e 7.

Utilizou-se o microcontrolador MSP430F449 da família MSP430 da Texas Instruments®. Este microcontrolador tem a capacidade de executar todas as funções necessárias ao módulo IU, nomeadamente, o controlo do LCD, o processamento do teclado e a comunicação com o bloco de CR.

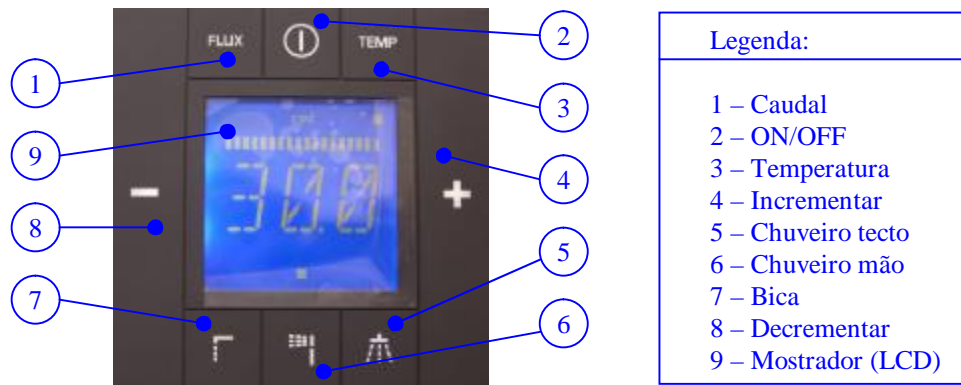


Figura 3. Interface com o utilizador do módulo da banheira.

Sistema de Controlo

O bloco de CR é responsável pela actuação da componente electromecânica de forma a conseguir efectuar o controlo de temperatura e regulação do caudal pretendidos.

Para o processamento de toda a componente digital do sistema de controlo optou-se pelo microcontrolador MSP430F149 da família MSP430 da Texas Instruments®. A escolha deste microcontrolador baseou-se no seu baixo consumo e na versatilidade dos seus periféricos, nomeadamente Timers, USART's, ADC e multiplicador por *hardware*.

Para a actuação da componente electromecânica foram utilizados motores passo-a-passo, por permitirem um controlo de posição em malha aberta, obtendo por cada actuação dos seus enrolamentos um deslocamento angular conhecido ($7,5^\circ$). Contudo, este tipo de motor necessita de uma posição de referência (exemplo 0°).

Na figura 4 representa-se o circuito de ataque aos enrolamentos dos motores passo-a-passo, baseado no MOSFET de enriquecimento (NDS355AN) a funcionar como interruptor. A malha RC nela contida permite aumentar o tempo de transição do transístor, que conjuntamente com o díodo, reduz os picos de tensão provenientes da comutação da bobine do motor, sem alterar significativamente o comportamento dinâmico do actuator.

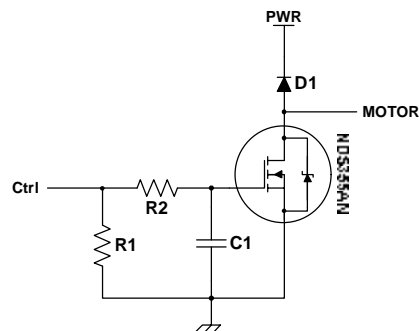


Figura 4. Circuito actuator de uma fase do motor passo-a-passo.

Realizaram-se diversos ensaios para caracterizar e modelar o sistema electromecânico de controlo de temperatura e de regulação de caudal.

A figura 5 mostra os diagramas de blocos do controlador de temperatura e do regulador de caudal. Nesta figura T_d é a temperatura desejada, T_s é a temperatura de saída da água, e_T é a diferença entre T_d e T_s , F_d é o fluxo desejado e F_s é o fluxo de saída.

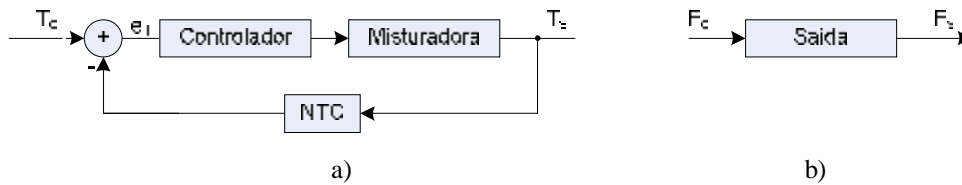


Figura 5. Diagramas de blocos: a) controlador de temperatura; b) regulação de caudal.

Comunicação

A comunicação com o bloco de CR é baseada na interface assíncrona diferencial RS485. Esta interface sendo diferencial minimiza o efeito do ruído e das interferências no canal físico.

A comunicação entre a IU e o bloco de CR é bidireccional mas só permite a utilização do canal de comunicação em simultâneo pelo *Master* e um dos *Slaves*. Isto é conseguido através de um sinal adicional à interface física RS485, que gere o acesso ao canal de comunicação.

Desenvolveu-se um protocolo de comunicação para maximizar o desempenho e minimizar a transferência de dados entre os vários blocos constituintes do sistema. O protocolo contempla mensagens de erro de sistema que permitem a identificação de problemas.

Resultados Experimentais

Foram efectuados ensaios experimentais para a obtenção das características de transferência das válvulas misturadora e reguladora de caudal, e do desempenho do controlador.

Válvula Reguladora de Caudal

Para efectuar a modelação da válvula reguladora de caudal é necessário obter a sua característica de transferência caudal/ângulo de abertura, medindo o caudal de saída para diversos ângulos, mantendo a pressão de água na entrada constante. Realizaram-se dois ensaios em válvulas distintas, de que resultou o gráfico da figura 6.

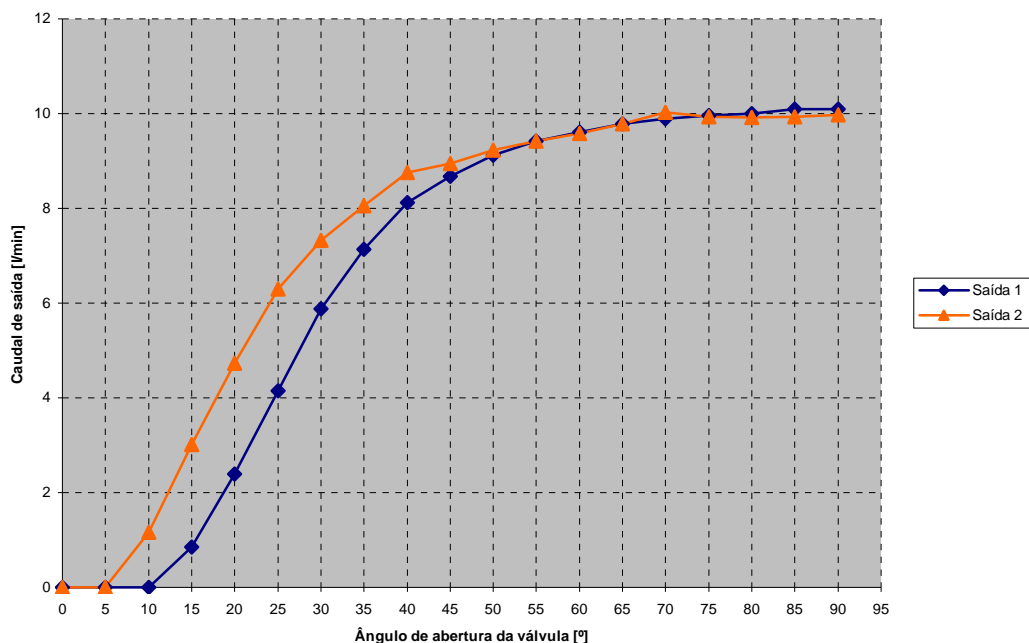


Figura 6. Variação do caudal com o ângulo do castelo

Verifica-se pelo gráfico da figura 6, que a relação entre o caudal e o ângulo de abertura não é linear. A sua linearização deve ser feita por *software*. Para a linearização ser válida em qualquer válvula, as suas características de transferência devem ser similares, o que não acontece com o protótipo actual. Como se pode verificar no gráfico da figura 6, uma das válvulas tem uma zona morta duas vezes superior à outra, consequência das diferenças na montagem das válvulas e dos respectivos batentes mecânicos de referência. Demonstra-se então que a colocação dos batentes mecânicos de referência é um factor importante na caracterização do caudal. A igualização da zona morta é alvo de estudo por parte da MLI, com o intuito de garantir que todas as válvulas têm a mesma característica. Note-se que não é necessário realizar qualquer tipo de controlo de caudal, pois para a aplicação em causa não é preponderante, limitando-se apenas à regulação.

Na actuação das válvulas reguladoras de caudal, utilizou-se um motor passo-a-passo associado a uma redutora de 1:25, que executa a abertura total da válvula em dois segundos. A utilização da redutora permite diminuir a carga exercida no motor para movimentar o eixo da válvula, contudo não é aconselhável utilizar uma redução superior pois aumenta o tempo de abertura.

Válvula Misturadora

Para efectuar a modelação da misturadora é necessária a característica de transferência da válvula misturadora (temperatura/ângulo) e do elemento sensor de temperatura.

Como elemento sensor de temperatura da água utilizou-se uma termistância do tipo NTC que é colocada na saída da misturadora. Os ensaios efectuados com este sensor, permitem concluir que a constante de tempo da termistância em aquecimento é aproximadamente 2,5 segundos e em arrefecimento 3,5 segundos. O critério preponderante na escolha desta termistância foi a robustez mecânica em detrimento do tempo de resposta.

Para obter a característica da misturadora mede-se a temperatura da água para diversos ângulos, mantendo constantes a pressão, a temperatura da água fria e a temperatura da água quente. Do ensaio realizado, resultou o gráfico da figura 7.

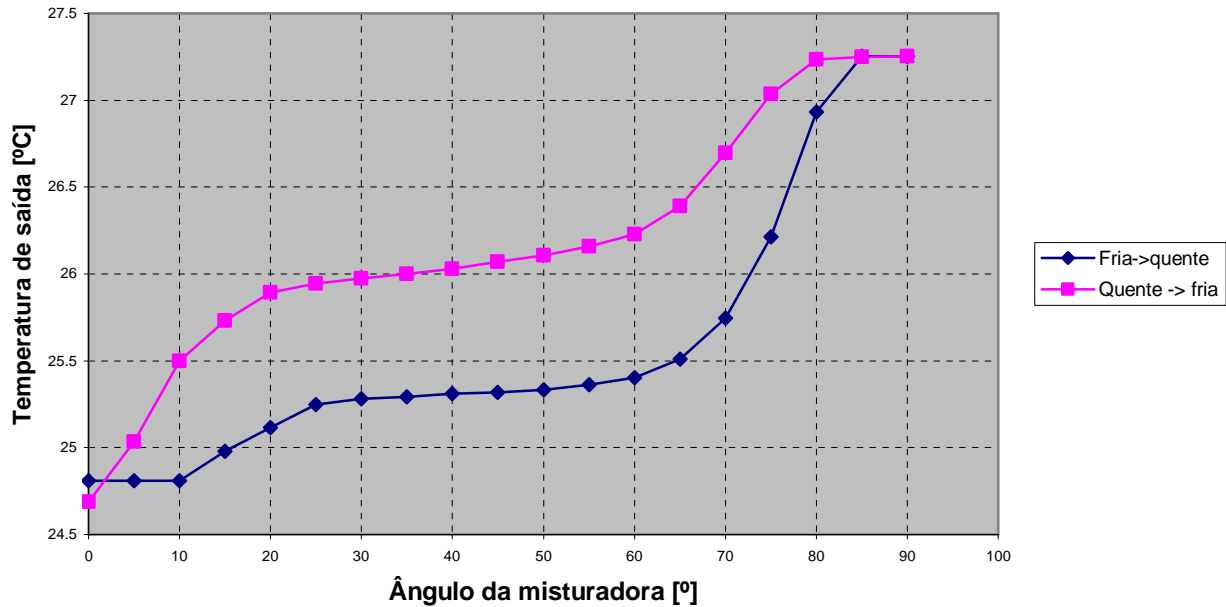


Figura 7. Curva característica da válvula misturadora.

A característica da misturadora tem um comportamento não linear e revela a existência de histerese e saturação. O efeito de histerese está associado à inércia térmica do corpo metálico que constitui a misturadora.

Na actuação da misturadora utilizou-se um motor passo-a-passo com uma redutora de 1:50, que aumenta a resolução angular. Na misturadora é útil aumentar a resolução angular para um controlo mais fino.

Controlo

Realizaram-se ensaios com os controladores digitais [1] proporcional (P) e proporcional-integral-derivativo (PID), ambos implementados no microcontrolador.

Na figura 8 apresentam-se os resultados obtidos da resposta do sistema ao degrau ascendente e descendente de temperatura, com controlador P e PID. Verifica-se um melhor desempenho do sistema com este último.

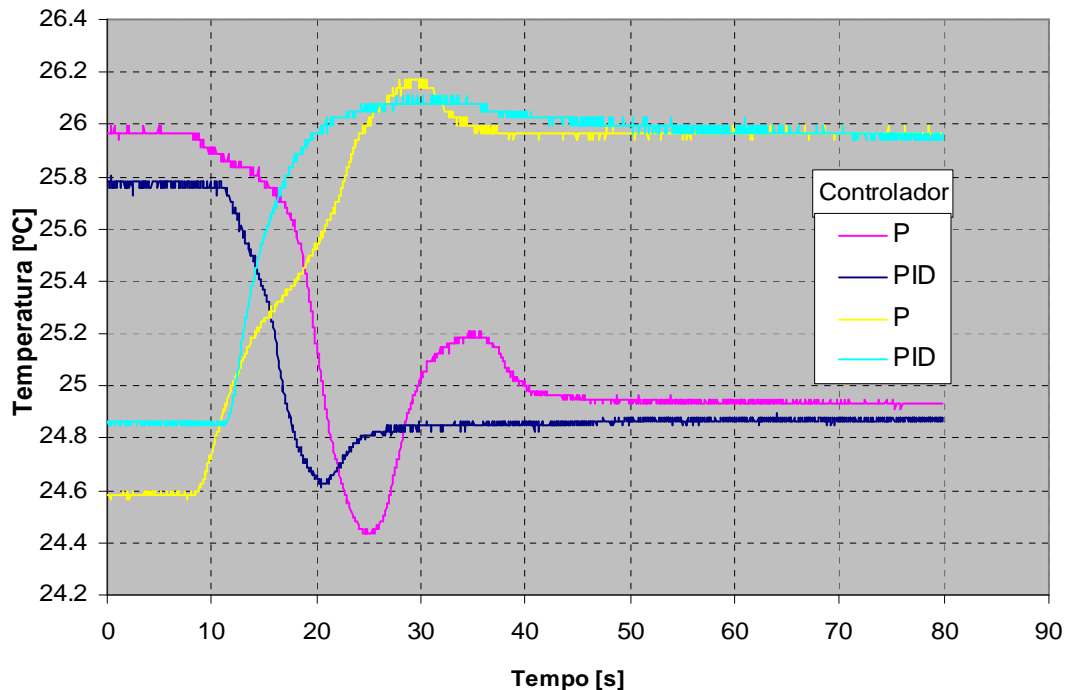


Figura 8. Resposta do sistema com controlador P e PID.

Conclusões

Apresentou-se a arquitectura de um sistema electrónico de controlo de temperatura e caudal de águas sanitárias para aplicações domésticas.

Descreveu-se cada componente do sistema, caracterizando-o e mencionando as vantagens e desvantagens das opções adoptadas, tanto na vertente técnica com na económica.

A partir dos ensaios ao protótipo desenvolvido confirmou-se a sua operacionalidade e consequentemente a validade das soluções adoptadas. No entanto, a comercialização deste sistema poderá levar a alterações no aspecto visual do módulo IU e obrigará a melhoramentos na robustez e precisão mecânica e na afinação dos parâmetros do controlador, para obter um melhor desempenho no tempo de resposta do sistema, sendo o actual da ordem dos 15 segundos.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer às duas entidades envolvidas neste projecto: à empresa Metalúrgica Luso-Italiana, pelo desafio proposto no sentido de desenvolver este sistema de aplicação real, suportando o seu financiamento e ao Centro de Estudos e Desenvolvimento de Electrónica e Telecomunicações pelo espaço e meios que nos proporcionou.

Referências

[1] Ogata, K., *Engenharia de Controle Moderno, 2ª edição*, Prentice Hall Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, 1993