

# Controlador de Temperatura Microcontrolado para Sistema de Preparo de Amostras de Polimeros Biodegradáveis por Termoformação

## Autores

---

Lucas Zampar Bernardi

## Orientador

---

Pedro Mikahil Neto

## Apoio Financeiro

---

Fapic

## 1. Introdução

---

Há pouco tempo na história, houve um pico de desenvolvimento da civilização humana, com a exploração dos combustíveis fósseis (petróleo). Contudo, os impactos dessa demasiada utilização estão cada vez mais perceptíveis.

Para evitar danos maiores ao meio ambiente, está em ascensão o desenvolvimento de tecnologias renováveis e menos poluidoras. Exemplos disso são as pesquisas em combustíveis alternativos (álcool, hidrogênio, eletricidade, energia solar) e utilização de materiais poliméricos biodegradáveis, escopo deste trabalho.

A área química tem se focado no desenvolvimento de vários polímeros em função de sua grande aplicabilidade em várias indústrias, da utilização racional da energia e da alta produtividade dos mesmos.

Os impactos ambientais positivos decorrentes da utilização de polímeros também podem ser quantificados pela redução do consumo energético na confecção e pelo transporte deles, já que na maioria dos casos, esses materiais podem ser reciclados (gastando menos energia na produção) e transportados com mais facilidade devido à baixa densidade em relação ao volume. Entretanto, ao serem descartados da natureza de forma inadequada e imprópria, estes polímeros a poluem. Com o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis, este ponto negativo poderá ser corrigido, pois, em caso de descarte, o mesmo irá decompor-se facilmente (CANEVAROLO JR., 2002; MANO, MENDES, 1999).

Atualmente existem polímeros biodegradáveis vendidos comercialmente. Porém, mesmo que o consumo destes polímeros seja apenas uma fatia muito discreta do total, existe uma potencialidade elevada para o uso destes em diversas aplicações.

Áreas como: biomateriais, agroindústria e embalagens são áreas que podem beneficiar-se do emprego de polímeros de fácil biodegradação, na confecção de diversos produtos (CASARIN; BELEM; MALMONGE, 2001).

O pouco desenvolvimento de pesquisas nesta área e o grande potencial existente nela fizeram com que o grupo da área de engenharia química da UNIMEP se dedicasse aos estudos dos mesmos, para a utilização como matéria-prima para embalagens e dispositivos ortopédicos. Além disto, este grupo da Unimep dedica-se a desenvolver materiais alternativos a alguns plásticos convencionais para fabricação de produtos de vida curta (GOMES, BUENO NETTO, 1997; PACHEKOSKI, 2001; PACHEKOSKI *et al.*, 2003; ANTUNES, FELISBERTI, 2003; MALMONGE, 2004).

## 2. Objetivos

---

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um controlador de temperatura microcontrolado para o preparo

de amostras de polímeros por

termoformação, permitindo a realização de ensaios para caracterização físicoquímica, mecânica, térmica e morfológica dos polímeros biodegradáveis.

O diferencial do controlador de temperatura microcontrolado desenvolvido em relação aos já existentes no mercado refere-se à necessidade de se adequar esse sistema às funcionalidades exigidas nos projetos de pesquisa em desenvolvimento, de forma a permitir a aquisição de até 4 sensores de temperatura simultaneamente, além de permitir uma interface de fácil customização às necessidades envolvidas e a adaptações às rotinas de controle desenvolvidas.

### 3. Desenvolvimento

---

Inicialmente foi realizada uma revisão na literatura envolvendo o estudo de polímeros e seus diversos processos de fabricação. Posteriormente foi realizado o levantamento das necessidades funcionais e técnicas, levando à concepção do sistema térmico (envolvendo aquecimento e resfriamento), bem como do sistema de controle. Ainda nesta fase, foi realizada a especificação do projeto mecânico e de hardware, levando à seleção dos equipamentos e componentes necessários.

No que se refere ao hardware do controlador, foram estudadas várias soluções para aquisição de dados, acionamento dos componentes eletrônicos e processos de instrumentação visando a definição de um sistema adequado às necessidades levantadas (WEBSTER, 1999).

Para a aquisição de sinais de temperatura, foram compostos quatro módulos de aquisição de dados analógicos que contemplam o sensor Termopar do tipo J, com amplificadores de instrumentação AD623 configurados para atender a faixa de aquisição máxima prevista (0 a 610°C), condicionando o sinal para uma faixa de 0 a 5V para o microcontrolador. Adicionalmente, para a compensação da junta fria, foi utilizado um sensor LM35 para determinação da temperatura ambiente.

A central de processamento, composta pelo microcontrolador e por todos os componentes externos necessários para o seu funcionamento, possui como função realizar o cálculo de linearização da curva do termopar, fazer a compensação da junta fria, processar as curvas de aquecimento e resfriamento determinadas pelo usuário, realizar o controle de temperatura do molde e a comunicação com o usuário através das interfaces de teclado e display (DERENZO, 1990; PREDKO, 2001; PEREIRA, 2003).

O microcontrolador utilizado foi o PIC 18F4620, selecionado em função da sua memória de programa *flash* de 32K palavras ou 64KB, permitindo flexibilidade para o desenvolvimento de programas em C e prevendo futuras adaptações em função de possíveis modificações eventualmente necessárias durante a realização dos ensaios de caracterização dos polímeros biodegradáveis. Adicionalmente possui 1KB de memória EEPROM utilizada para armazenamento de parâmetros do sistema, 13 conversores A/D de 10 bits, dentre outros periféricos.

O software foi desenvolvido em C (PEREIRA, 2003) utilizando compilador CCS V3.249 e desenvolvido na ferramenta de desenvolvimento integrado MPLAB 7.31 da Microchip. A principal motivação do uso de uma linguagem de alto nível foi devido à facilidade de manutenção do código em futuras modificações em função dos projetos de pesquisa.

O aquecimento é realizado por duas resistências de 200W cada controlados por PWM (*Pulse Width Modulation*) através de triacs. O resfriamento é realizado pela variação do fluxo de água que atravessa o molde por feixes de tubos, utilizando-se um inversor de frequência WEG da série CFW-08 que controla a rotação da bomba pressurizadora d'água.

A interface com o usuário foi implementada através da utilização de teclado 4x4 e display LCD de 16 colunas por 2 linhas, estabelecendo uma interface amigável tanto para a entrada dos parâmetros do processo como para a monitoração do mesmo.

Após a conclusão da construção do molde e do desenvolvimento do software, foi necessária a realização de testes para verificar a funcionalidade do sistema no que se refere ao controle da temperatura e à interface com o usuário.

A figura 1 apresenta uma foto do conjunto mecânico implementado com destaque para o molde com os sistemas de aquecimento e resfriamento.

## 4. Resultados

---

Os testes para levantamento das curvas consistiram em aquecer o molde em duas taxas diferentes: com potência total de aquecimento e com metade da potência de aquecimento.

Posteriormente, foram realizados testes de taxas de resfriamento do molde. Para isso, através do inversor de frequência, variamos a rotação da bomba através de três frequências distintas: 22 hz; 42 hz; e 66 hz.

As curvas obtidas indicaram que o sistema de aquecimento obteve uma resposta conforme esperado, embora a taxa de resfriamento tenha ficado bem abaixo do inicialmente previsto para o sistema.

Após uma análise mais aprofundada do sistema, verificou-se que as resistências elétricas de aquecimento do molde poderiam estar servindo como um isolante térmico entre o corpo de resfriamento e o molde. Para certificar que esta era a real causa do problema, remanejou-se a posição das resistências e observou-se uma melhora significativa nas taxas de resfriamento.

Observou-se que a resposta de resfriamento do molde ficou mais acentuada, porém não houve uma significativa variação nas taxas de resfriamento em função da variação da rotação da bomba, possivelmente em função do sistema de resfriamento estar super dimensionado.

Para conseguir-se taxas de resfriamento mais significativas será necessário realizar uma posterior modificação no molde e na posição das resistências, de forma a não interferirem na transferência térmica da cavidade de resfriamento do molde e o molde propriamente dito.

Adicionalmente, devido à baixa variação da taxa de resfriamento em função da rotação da bomba centrífuga, verificou-se ser necessária uma modificação no sistema de preparo de amostras de forma a variar as superfícies de troca de calor entre o molde e a água, preferencialmente com alteração da resistência de carga por meio de constrição de fluxo. Desta forma, seria obtida uma maior discretização das taxas de resfriamento, proporcionando um controle mais eficiente.

No que se refere ao projeto como um todo, deve ser destacado que embora o projeto inicial deveria ter seu escopo mais voltado ao desenvolvimento do controlador de temperatura em si, foram inevitáveis a participação e o comprometimento com o desenvolvimento do sistema de preparo de amostras inicialmente previsto para ser desenvolvido no Projeto Mãe. Este envolvimento foi necessário, em especial, em função da interdisciplinaridade encontrada neste projeto, já que a concepção e o desenvolvimento do sistema de preparo de amostras tem uma influência direta com os parâmetros necessários para o sistema de controle.

## 5. Considerações Finais

---

Este projeto permitiu o desenvolvimento de um sistema de preparo de amostras de polímeros por termoformação com o respectivo sistema controlador de temperatura.

Verificou-se, entretanto, que o sistema desenvolvido necessitaria de modificações no projeto mecânico de forma a possibilitar um controle mais eficiente, para atender as necessidades funcionais definidas inicialmente e permitir a realização de ensaios com polímeros biodegradáveis.

Foram plenamente atingidos os objetivos de um projeto de iniciação científica, à medida que permitiu um contato do aluno para o desenvolvimento de pesquisa científica, especialmente no que se refere à interdisciplinaridade encontrada, já que houve a necessidade de um aprofundamento na área química (polímeros), assim como o desenvolvimento e implementação de projeto mecânico, de projeto microcontrolado e de sistema de controle, complementando a formação adquirida no Curso de Engenharia de Controle e Automação.

Para uma próxima etapa, será necessária a confecção de um novo molde mecânico, e uma alteração no software do microcontrolador de forma a se adequar aos novos parâmetros de controle a serem aplicados ao sistema.

## Referências Bibliográficas

---

ANTUNES, M.C.M.; FELISBERTI, M.I. Funcionalização do PHB via catálise ácida. Influência das propriedades físico químicas, CD do 7o Congresso Brasileiro de Polímeros, Belo Horizonte, 2003, pág. 1001-1002.

CASARIN, S.A.; BELEM, L. P.; MALMONGE, S. M.; "Blendas de Polietileno – polihidroxicanoatos". In: Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros, Gramado, 2001.

CANEVAROLO JR., S. V. Ciência dos Polímeros. São Carlos: Artliber Editora Ltda., 2002. 183p.

DERENZO, S. E. Interfacing: a Laboratory Approach Using the Microcomputer for Instrumentation, Data Analysis, and Control. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1990.

GOMES, J.G.C.; BUENO NETTO, C.L. Produção de plásticos biodegradáveis por bactérias, Revista Brasileira de Engenharia Química, v.17, 0. 24-29, 1997.

MALMONGE, S. M.; BELÉM, L. P. Projeto de Pesquisa FAP - UNIMEP. Polímeros Biodegradáveis: Estrutura X Propriedades X Biodegradação. 2004

MANO, E. B.; MENDES, L. C. Introdução a Polímeros. 2a. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1999. 191p.

PACHEKOSKI, W.M.; ROSÁRIO F.; ESQUERRA, T.A & AGNELLI, J. A. M., Caracterização da degradação do PHB processado, CD do 7o Congresso Brasileiro de Polímeros, Belo Horizonte, 2003, p. 210-211.

PACHEKOSKI, W. M. Desenvolvimento de blendas poliméricas do polímero biodegradável PHB com PP, Dissertação de mestrado em Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2001.

PEREIRA, F. Microcontroladores PIC - Programação em C. 2ª ed. São Paulo: Érica, 2003. 360 p.

PREDKO, M. Programming and Customizing PIC micro Microcontrollers. 2nd. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

WEBSTER, J. G. The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. New York: CRC Press LLC, 1999. 2608 p.

