



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
ISBN 85-7515-371-4

ABORDAGEM DIDÁTICA COM CONTROLE ADAPTATIVO

Yuri C. Gomes – yuricgomes@dee.ufcg.edu.br
Tomás V. G. P. Araújo – tomas@dee.ufcg.edu.br
Antônio M. N. Lima – amnlima@dee.ufcg.edu.br
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica – UAEE
Laboratório de Instrumentação e Controle – LIEC
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó
58109-970, Campina Grande – PB

Resumo: *Este trabalho apresenta, no contexto da didática em cursos de Engenharia de Controle e Automação, uma abordagem com controle adaptativo, usando uma plataforma programável baseada em microcontrolador ADuC como kit didático, para estudos de teoria de controle e sistemas embarcados. Tal plataforma pode ser usada para implementar teorias de controle tanto convencionais (On/Off, P, PI, PID) quanto não-convencionais (Lógica Fuzzy, Controle Adaptativo), de maneira que o estudante possa observar o comportamento dinâmico de um sistema de controle real. É possível implementar uma técnica de controle através de um PC (usando a plataforma como uma placa de aquisição de dados) ou através de um firmware dedicado embarcado no microcontrolador. Um estudo de caso foi realizado implementando um sistema adaptativo modelo-referência (MRAS) para controlar a temperatura de um sistema secador de grãos, em escala reduzida.*

Palavras-chave: *Teoria de Controle, Controle Adaptativo, Sistemas embarcados*

1. INTRODUÇÃO

Adaptar significa mudar um comportamento para se ajustar às novas circunstâncias. Um sistema adaptativo é qualquer sistema que tem sido projetado com um ponto de vista adaptativo. Assim, um controlador adaptativo é definido como um controlador que pode modificar seu comportamento em resposta à mudanças na dinâmica do processo e na característica do distúrbio, ÅSTRON e WITTENMARK (1995).

O Sistema Adaptativo Modelo-Referência (do inglês “*Model-Reference Adaptive System*” – MRAS) foi originalmente proposto para resolver um problema em que as especificações de desempenho são dadas em termos de um modelo de referência. Este modelo diz como a saída do processo deveria idealmente responder ao sinal de comando. Existem vários casos em que

o processo ou as características da perturbação estão mudando continuamente. Uma contínua adaptação dos parâmetros do controlador é, então, necessária. O MRAS é uma das abordagens mais comuns para o ajustamento de parâmetros. Um exemplo típico é o controle climático em casas, nas quais a temperatura pode ser medida.

Processos térmicos são frequentemente encontrados na indústria em geral (fornos industriais, centrais de ar-condicionado, estufas, câmaras de refrigeração, etc.) e apresentam-se como excelentes exemplos de sistemas para estudo de teoria controle.

Atividades de laboratório, que permitam o estudante realizar experimentos não virtuais relacionados com os assuntos estudados em sala de aula, podem agregar conhecimentos práticos e facilitar o aprendizado do alunado. Dessa maneira, é possível estimular no estudante um maior interesse pelos temas lecionados, e neste caso, o da teoria de controle e de sistemas embarcados. Para isso, pode-se utilizar uma plataforma de estudos, ou seja, um ambiente que, usualmente, é constituído de processos a serem controlados, sensores, atuadores, sistema de controle e interfaces de comunicação.

A abordagem didática com controle adaptativo proposta neste artigo faz uso de um *kit* didático que consiste em uma plataforma programável baseada em microcontrolador ADuC, proposto por ARAÚJO, SOUZA *et al* (2005).

Tal *kit* didático contempla a possibilidade de o estudante poder, de fato, implementar um sistema de controle que funcione como um sistema embarcado, de modo independente do computador pessoal ou dos instrumentos de laboratório utilizados durante a atividade experimental. Mesmo que a visão de alto nível utilizada no projeto da lei de controle e a visão de baixo nível no projeto de sistemas embarcados sejam, relativamente, independentes, a capacidade de correlacionar estas duas visões e de realizar estes dois tipos de projeto devem ser habilidades características de um estudante de engenharia de controle e automação.

Na abordagem proposta, o processo térmico alvo é um sistema de secagem de grãos, bastante utilizado na agricultura, cuja idéia geral é o controle da umidade presente nas sementes armazenadas, fazendo circular por entre as mesmas um fluxo de ar aquecido a certa temperatura.

O aquecimento do fluxo de ar deste sistema apresenta características que possibilitam relativa facilidade na modelagem e identificação dos parâmetros do sistema. Através da aquisição de dados, é possível acompanhar visualmente o comportamento dinâmico e em regime permanente do sistema.

Analisadas as características deste sistema, um controlador pode ser projetado e implementado em um microcomputador ou diretamente em um sistema embarcado, baseado no microcontrolador ADuC832 da família ADuC (*Analog Devices micro Controller*).

Na seção 2 deste artigo é apresentada a plataforma de desenvolvimento utilizada, isto é, o *Kit* de Desenvolvimento para Microcontroladores ADuC (KIT-ADuC), bem como o sistema de secagem de grãos, processo alvo desta abordagem.

Na seção 3, é feita uma descrição sobre o Sistema Adaptativo Modelo-Referência, destacando-se o projeto do controlador e sua implementação em alto nível (utilizando o *software* MATLAB). Uma vez que a idéia é obter um controlador implementado na forma de um *firmware* gravado no microcontrolador em um passo posterior, técnicas de discretização de sistemas devem ser utilizadas. Assim, à medida que o controlador atua sobre o sistema, os gráficos dos sinais de referência e saída da planta são observados na tela do PC. Por fim, resultados experimentais correspondentes à implementação do controlador em alto nível (no PC) são apresentados.

2. KIT-ADUC E O SISTEMA DE SECAGEM DE GRÃOS

Para o estudo e controle do sistema de secagem de grãos, utiliza-se uma plataforma para estudos de teoria de controle e de sistemas embarcados proposta por ARAÚJO *et al* (2005) e desenvolvida no Laboratório de Instrumentação e Controle (LIEC). Trata-se de uma plataforma programável baseada em microcontroladores ADuC, denominada PD-ADuC, funcionando como um sistema de aquisição de dados de baixo custo interligado a um PC (*Personal Computer*). Este conjunto é o KIT-ADuC. O objetivo maior é o desenvolvimento de um *firmware* específico para o sistema alvo que possibilite a comunicação do PC com o microcontrolador a fim de implementar a estratégia de controle adaptativo modelo-referência. No entanto, a atividade experimental, proposta neste artigo, consiste em utilizar o *kit* apenas como uma ferramenta de aquisição de dados, sendo a estratégia de controle implementada em alto nível (no PC, utilizando o MATLAB). Como trabalho futuro, a idéia é desenvolver um *firmware* para o próprio microcontrolador, utilizando o PC apenas como uma interface humano-máquina (IHM). Com isso, busca-se mostrar ao aluno a possibilidade de desenvolver um sistema embarcado de controle.

2.1 Placa de Desenvolvimento para Microcontroladores ADuC

Visando caracterizar-se como uma solução eficiente para atividades de pesquisa na área de instrumentação e controle, a Placa de Desenvolvimento ADuC (PD-ADuC) foi projetada como um sistema didático e de desenvolvimento de sistemas embarcados de controle. Como a PD-ADuC permite que o usuário acesse todos os recursos do microcontrolador ADuC montado na placa, a aplicação em estudo pode ser desenvolvida sem a necessidade de montagens adicionais. Assim, um sistema de aquisição de dados utilizando o microcontrolador ADuC pode ser implementado sem grandes dificuldades, ARAÚJO *et al* (2005).

Através da porta de comunicação serial (RS-232) do PC, é possível acessar os recursos internos do microcontrolador. No entanto, se faz necessário que o *firmware* gravado no microcontrolador interprete e responda aos comandos seriais transmitidos pelo PC. Dessa forma, uma interface de alto nível é estabelecida, visto que o acesso aos recursos do microcontrolador e o conhecimento de sua arquitetura interna ficam omitidas ao usuário. Portanto, utilizando apenas os comandos seriais adequados é possível acessar o recurso desejado através do PC.

2.2 Módulo de Aquisição de Dados e Controle

A partir da referida interface de alto nível, com relação ao uso dos recursos do microcontrolador, surgiu o Módulo de Aquisição de Dados e Controle (MADC), apresentado na “Figura 1”, formado pela união da PD-ADuC com o *firmware* interpretador de comandos seriais (“Comandos BT”). Dessa forma, é possível realizar operações de aquisição de dados e/ou de controle sobre o processo em estudo sem a necessidade de um desenvolvimento de programação de baixo nível.

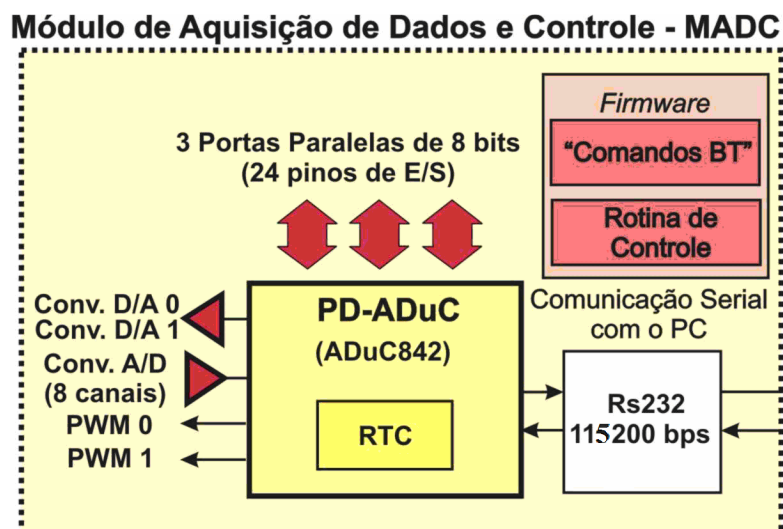


Figura 1 - Módulo de Aquisição de Dados e Controle (MADC).

Duas plataformas com a mesma placa podem ser obtidas. Uma caracterizada como um sistema de aquisição de dados e controle através do PC, na qual os algoritmos são implementados em alto nível (no próprio computador). E outra direcionada para o estudo e desenvolvimento de sistemas embarcados baseados nos microcontroladores ADuC, ANALOG DEVICES (2003), na qual o estudante realiza programação em baixo nível (linguagem C ou Assembly), explorando as características e recursos periféricos da arquitetura.

Nesta abordagem, busca-se mostrar que com o aprofundamento dos conhecimentos em relação ao sistema alvo e com o desenvolvimento dos algoritmos de controle visando uma aplicação embarcada, é possível constituir uma estrutura totalmente autônoma. Isto é, pode-se obter um *firmware* dedicado para o controle do sistema em estudo através da adaptação dos algoritmos desenvolvidos em ambientes de alto nível, como o MATLAB ou LabVIEW. Tal *firmware* gravado na PD-ADuC dispensa o uso do PC para controlar o sistema alvo.

2.3 Comandos BT

Os “Comandos BT” (*Basic Transmission*), comandos básicos para a interface com o PC, surgiram da necessidade de comunicação serial direta entre o MADC e o PC. Trata-se de um protocolo simples, no qual o quadro de um “Comando BT”, apresentado na “Figura 2”, é formado por uma seqüência de até dez caracteres ASCII (*American Standard Code for International Interchange*) e que são interpretados pelo MADC. As letras **T** e **V** demarcam o início e o fim de um quadro de comando, respectivamente.

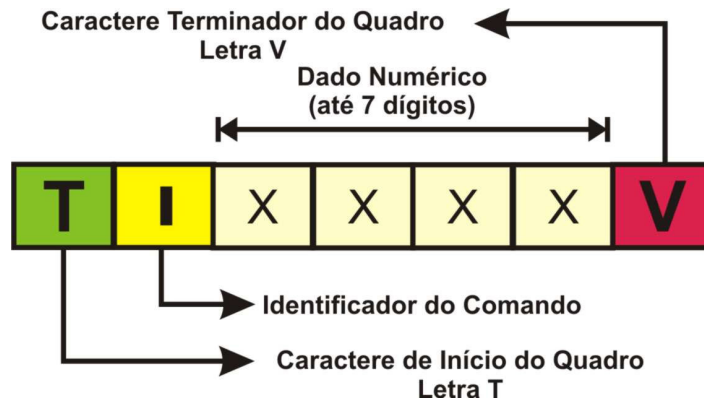


Figura 2 - Quadro de um “Comando BT”.

Os “Comandos BT” utilizam caracteres ASCII para facilitar a criação de aplicações através de *softwares* como o MATLAB e o LabVIEW, nos quais operações com *strings* podem ser realizadas diretamente na porta serial do PC, conforme definido por ARAÚJO, SOUZA *et al* (2005). Assim, vários sistemas podem ser implementados de forma que o processamento dos sinais de entrada e de saída ficará com o PC.

O conjunto de “Comandos BT” permite o acesso aos dispositivos de *hardware* existentes no MADC, para leitura e escrita dos valores das variáveis do sistema de controle (referência, erro, sinal de controle e saída do sistema).

2.4 Sistema de Secagem de Grãos

Um sistema de secagem de grãos visa o controle da umidade no tratamento de sementes armazenadas. Um fluxo de ar quente diminui a umidade das sementes em função da temperatura e da velocidade do fluxo. O referido sistema é apresentado na “Figura 3”.

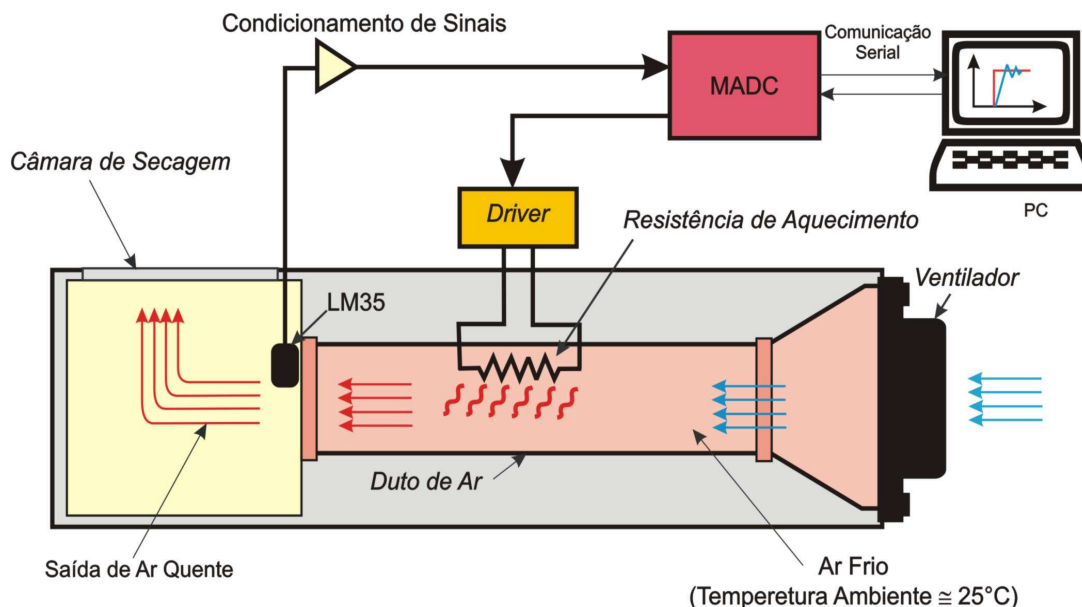


Figura 3 - Secador de Grãos conectado ao sistema de controle no MADC.

Os grãos são depositados sobre uma tela metálica (câmara de secagem). Através de um pequeno ventilador, o ar à temperatura ambiente é sugado para o duto de ar interno, em um

fluxo constante. O ar é, então, aquecido através de uma resistência elétrica com uma potência nominal de 30W (220Vac). Em seguida, o ar aquecido é direcionado para a câmara de secagem onde sua temperatura é medida através de um sensor de temperatura. A tensão aplicada na resistência elétrica é controlada por um retificador com disparo controlado. O controlador a ser projetado, realiza a leitura da temperatura do fluxo de ar quente e com a referência estabelecida fará o cálculo da variável de controle. Esta, por sua vez, é quem determina a potência elétrica a ser entregue à resistência de aquecimento, de forma que o erro entre a temperatura atual e a desejada seja nulo.

A partir do princípio da conservação de energia, um modelo matemático do sistema pode ser obtido. Através da mesma modelagem realizada por ARAÚJO, SOUZA *et al* (2005), pode-se definir o modelo do secador de grãos como um sistema de primeira ordem, apresentado na “equação (1)”.

$$C\dot{T} = \frac{V^2}{R} - C_{al}\dot{T} - K(T - T_0) \quad [J/s] \quad (1)$$

A representação no espaço de estados é obtida escolhendo-se a diferença de temperatura como a variável de estado, isto é, $\mathbf{x} = \mathbf{T} - \mathbf{T}_0$:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \frac{-K}{C + C_{al}}x(t) + \frac{V^2(t)}{(C + C_{al})R} \\ y(t) = x(t) \end{cases} \quad (2)$$

A potência elétrica é fornecida ao sistema térmico por efeito Joule sobre a resistência de aquecimento. É possível controlar a temperatura, \mathbf{T} , através da tensão, \mathbf{V} , aplicada aos terminais da resistência. Esta é alimentada diretamente a partir da rede elétrica, e a energia de entrada do sistema será proporcional ao valor médio da tensão de alimentação. Tal valor médio é obtido através de um circuito de acionamento bidirecional monofásico utilizando um TRIAC como interruptor, RASHID (1997), e é determinado em função do valor do ângulo de disparo, de forma que a potência entregue ao sistema é dada pela “equação (3)”.

$$P_{0RMS} = \frac{\left(\frac{V_p}{2\sqrt{\pi}}\right)^2 \cdot 2(\pi - \alpha) + \text{sen}(2\alpha)}{R} \quad (3)$$

Não-linearidades na entrada e/ou saída de sistemas podem ser compensadas através de aproximações ou tabelas. Para este sistema é adotado o método de ajuste de curvas, segmentos de retas conforme definido por ARAÚJO, SOUZA *et al* (2005). Esta compensação da não-linearidade da potência de entrada é incorporada diretamente na rotina de controle, fazendo a correção do valor da variável normalizada para o ângulo de disparo, de forma que seja aplicado ao circuito de acionamento o ângulo de disparo adequado para fornecer a potência desejada.

3. CONTROLE ADAPTATIVO MODELO-REFERÊNCIA

Um controlador adaptativo é basicamente um controlador com parâmetros ajustáveis e um mecanismo para ajustamento dos parâmetros, podendo-se considerar a existência de duas malhas: uma malha é a realimentação normal, com o processo e o controlador; e a outra é o

mecanismo de ajustamento de parâmetros. O controlador torna-se não-linear devido ao mecanismo de ajustamento de parâmetros. A malha de ajustamento de parâmetros é geralmente mais lenta do que a malha de realimentação normal.

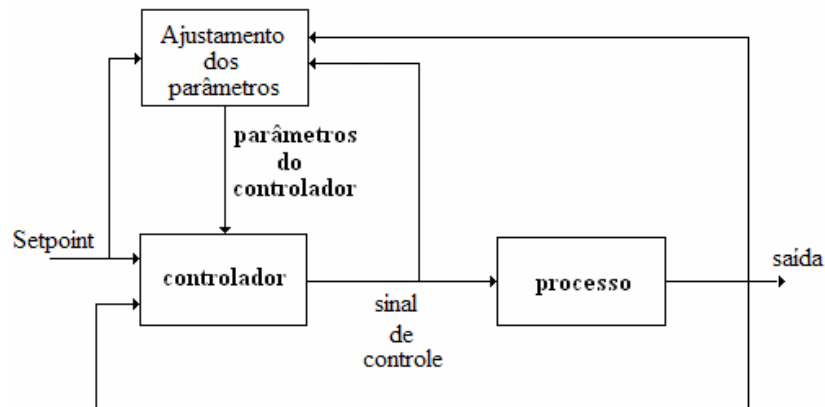


Figura 4 - Diagrama de Blocos de um sistema adaptativo.

O sistema adaptativo modelo-referência (MRAS) é um importante controlador adaptativo. Ele pode ser considerado como um servossistema adaptativo no qual o desempenho desejado é expresso em termos de um modelo de referência, que dá a resposta desejada ao sinal de comando, ÅSTRON e WITTENMARK (1995).

Um diagrama de blocos do sistema é apresentado na “Figura 5”.

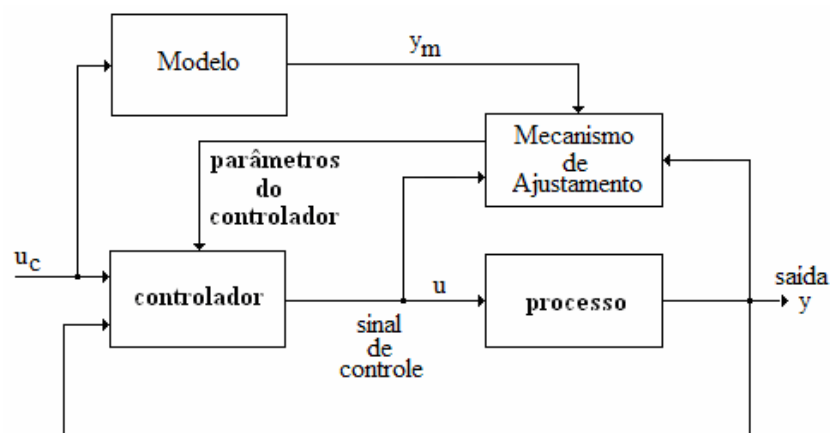


Figura 5 - Diagrama de Blocos de um sistema adaptativo modelo-referência (MRAS).

O sistema tem uma malha de realimentação comum (malha interna), composta pelo processo e o controlador, e uma outra malha de realimentação que modifica os parâmetros do controlador (malha externa). Os parâmetros são modificados com base na realimentação a partir do erro, que é a diferença entre a saída do sistema e a saída do modelo de referência. O mecanismo de ajustamento dos parâmetros do controlador pode ser obtido por dois caminhos: usando um método de gradiente ou aplicando teoria de estabilidade (Teoria de Estabilidade de Lyapunov ou Teoria para Estabilidade de Entrada-Saída). Aqui está o problema principal: determinar o mecanismo de ajustamento tal que seja obtida uma estabilidade do sistema (erro tendendo a zero).

3.1 Regra MIT

O mecanismo de ajustamento de parâmetros abaixo, “equação (4)”, chamado de MIT *rule*, é o utilizado para esta abordagem com controle adaptativo modelo-referência.

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (4)$$

Nesta expressão, $e = y - y_m$ denota o erro do modelo e θ é um parâmetro do controlador. A quantidade $\partial e / \partial \theta$ é a sensibilidade derivativa do erro com respeito ao parâmetro θ . Ela informa como o erro é influenciado pelo ajustamento do parâmetro. O parâmetro γ determina a taxa de adaptação (ganho adaptativo). Em algumas situações, é necessário fazer aproximações para obter a sensibilidade derivativa.

A regra MIT pode ser considerada como um método de gradiente para minimizar o erro quadrático, e^2 . Ou seja, é uma abordagem que possibilita o ajustamento dos parâmetros tal que a função de perda dada em pela “equação (5)” seja minimizada.

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \quad (5)$$

A equação (4) também pode ser utilizada quando existem mais parâmetros para ajustar. O símbolo θ deve ser interpretado, neste caso, como um vetor e $\partial e / \partial \theta$ como o gradiente do erro com respeito aos parâmetros.

3.2 Projeto do Controlador

O sistema de secagem de grãos descrito pela “equação (2)” trata-se de um sistema de primeira ordem da forma:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = x(t) \end{cases} \quad (6)$$

Onde: $A = \frac{-K}{C + C_{al}}$, $B = \frac{1}{(C + C_{al})R}$ e $u(t) = \frac{V^2(t)}{R}$

No entanto, os parâmetros do sistema real são desconhecidos, sendo utilizada a técnica da curva de reação ao degrau, proposta por Ziegler-Nichols, para a determinação do modelo do sistema no domínio da frequência. Logo, o modelo determinado é dado por:

$$G(s) = \frac{1}{1 + 202s} e^{-5s} \cong \frac{1}{1 + 202s} \quad (7)$$

Como se trata de um atraso relativamente grande, o mesmo pode ser desprezado visando-se maior facilidade no projeto do controlador.

As representações deste sistema no modelo de estados e equações de diferença são dadas por:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A x(t) + B u(t) \\ y(t) = x(t) \end{cases} \quad (8)$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = A y(t) + B u(t) \quad (9)$$

$$A = \frac{-1}{202} \quad B = \frac{1}{202}$$

Neste modelo, \mathbf{u} é a variável de controle e y é a saída medida. É assumido que o sistema em malha fechada desejado (modelo de referência) é descrito por:

$$\frac{dy_m(t)}{dt} = A_m y_m(t) + B_m u_c(t) \quad (10)$$

A lei de controle adotada para o controlador é dada por:

$$u(t) = \theta_1 u_c(t) - \theta_2 y(t) \quad (11)$$

Para aplicar a regra MIT, deve-se introduzir o erro entre a saída do modelo de referência e a do sistema real.

$$e(t) = y(t) - y_m(t) \quad (12)$$

A partir das “equações (9) e (10)”, pode-se encontrar as estimativas iniciais dos parâmetros do controlador adaptativo, “equação (13)”, e a relação entre a saída do sistema real e a entrada do modelo de referência, “equação (14)”.

$$\begin{cases} \theta_1^0 = \frac{B_m}{B} \\ \theta_2^0 = \frac{A - A_m}{B} \end{cases} \quad (13)$$

$$y(t) = \frac{B \theta_1}{p - (A - B \theta_2)} \quad (14)$$

Na “equação (14)”, \mathbf{p} denota o operador diferencial, i.e., $\mathbf{p} = \mathbf{d}/\mathbf{dt}$. As sensitividades derivativas são obtidas a partir das derivadas parciais com respeito aos parâmetros θ_1 e θ_2 do controlador. Assim:

$$\frac{\partial e}{\partial \theta_1} = \left(\frac{B}{A_m} \right) \frac{A_m}{p - A_m} u_c \quad (15)$$

$$\frac{\partial e}{\partial \theta_2} = \left(\frac{B}{A_m} \right) \frac{-A_m}{p - A_m} y \quad (16)$$

Os parâmetros do controlador podem ser atualizados através das “equações (17) e (18)”.

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta_1} = -\gamma e \left(\frac{B}{A_m} \right) \frac{A_m}{p - A_m} u_c \quad (17)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta_2} = -\gamma e \left(\frac{B}{A_m} \right) \frac{-A_m}{p - A_m} y \quad (18)$$

Com relação ao uso das equações apresentadas na implementação da técnica de controle, vale salientar que os parâmetros reais do sistema, **A** e **B**, não são conhecidos de forma precisa e não deveriam ser utilizados diretamente. Por este motivo, é utilizada uma aproximação para as “equações (15) e (16)”, baseada na “equação (13)”, visto que esta será razoável quando os parâmetros estão próximos dos seus valores corretos.

O sinal do parâmetro **B** é importante, pois o mesmo define o sinal do ganho adaptativo. O valor absoluto deste parâmetro pode ser encapsulado em um novo termo (γ'), envolvendo ainda o ganho adaptativo e o parâmetro **A_m**. Ou seja, definindo γ' evita-se o uso direto do parâmetro **B**.

$$\gamma' = \gamma \frac{B}{A_m} \quad (19)$$

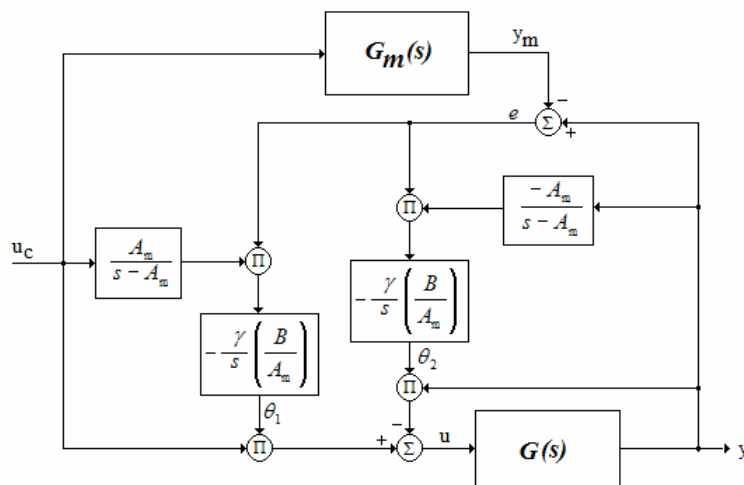


Figura 6 - Diagrama de blocos do controlador adaptativo projetado.

A discretização das expressões expostas pode ser realizada utilizando-se a aproximação de Tustin, buscando obter equações para a implementação do controlador adaptativo digitalmente.

3.3 Resultados Experimentais

A abordagem proposta para implementação digital do controlador adaptativo é através do *software* MATLAB, utilizando a PD-ADuC como uma plataforma de aquisição de dados. No entanto, como trabalho futuro, busca-se também a implementação através do microcontrolador ADuC, desenvolvendo um *firmware* dedicado para o sistema embarcado.

A implementação digital do controlador para estas duas abordagens pode ser apresentada através do fluxograma da rotina de controle ilustrado na “Figura 7”.

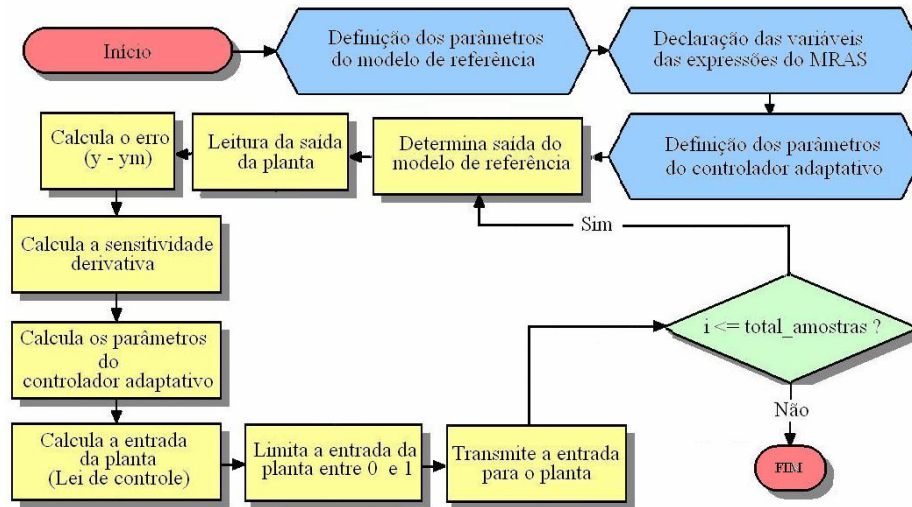


Figura 7 - Fluxograma da rotina de controle para a implementação do controlador adaptativo do sistema de secagem de grãos.

Na “Figura 8” é apresentada a resposta do secador de grãos à entrada em degrau e na “Figura 9” o respectivo erro para o controlador adaptativo implementado no PC.

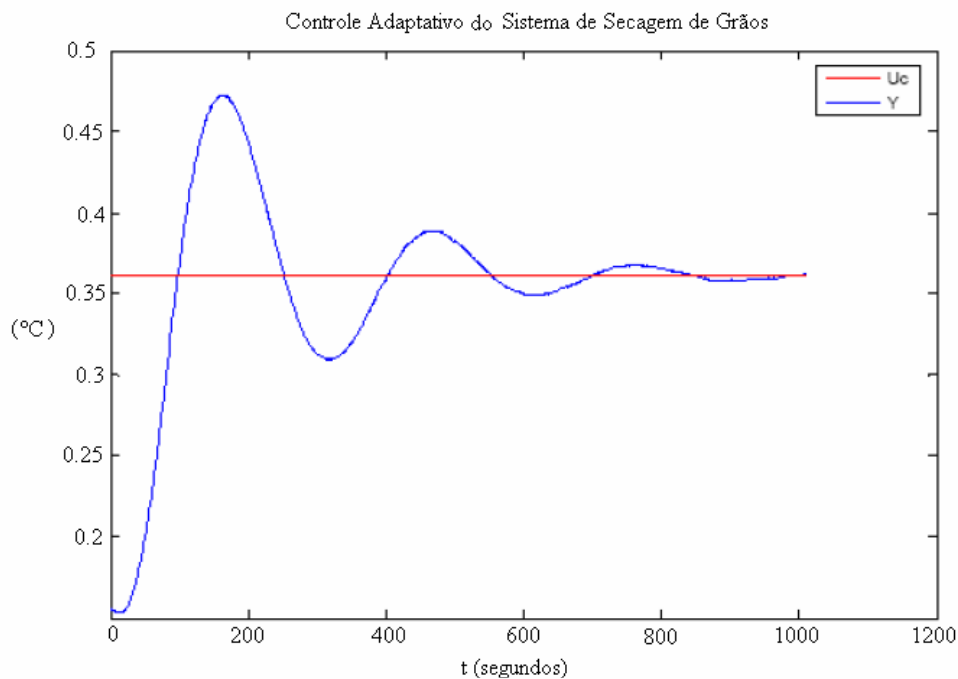


Figura 8 - Controlador adaptativo do sistema de secagem de grãos (PC).

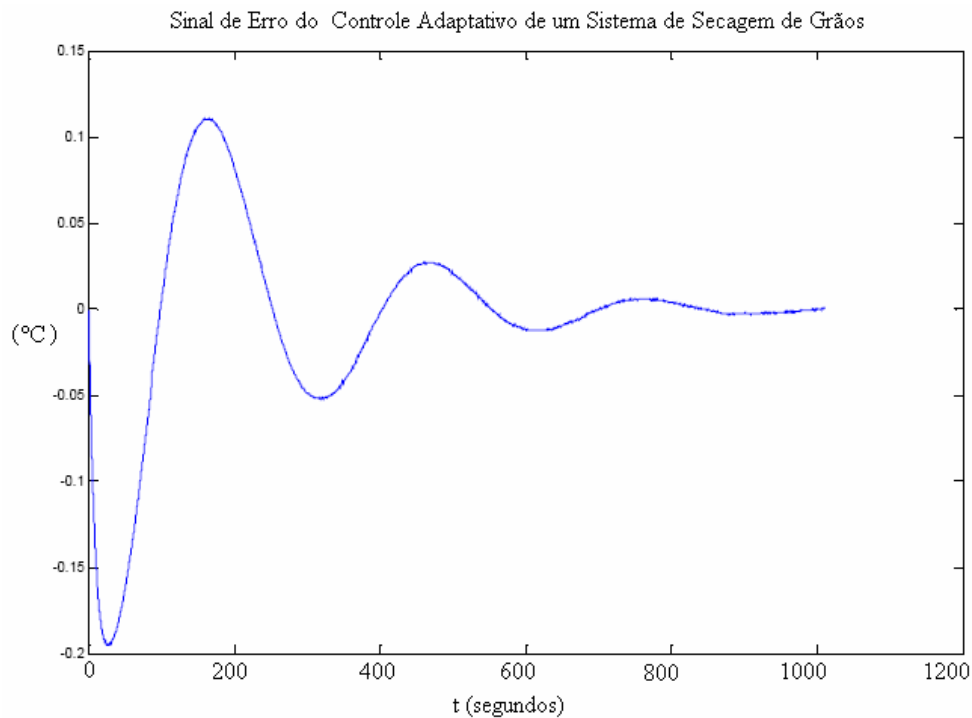


Figura 9 – Sinal de erro do controlador adaptativo do sistema de secagem de grãos (PC).

Pode-se observar a partir dos resultados obtidos que o controlador adaptativo projetado realmente realiza o controle do sistema segundo a referência desejada. No entanto, são necessários ajustes no controlador adaptativo para obter uma convergência mais rápida dos parâmetros da lei de controle. Vale salientar que se trata de um sistema de resposta relativamente lenta, sendo necessário alguns minutos para a realização da atividade experimental.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aprendizado da teoria de controle e de sistemas embarcados pode ser facilitado através de atividades de laboratório, nas quais o estudante possa realizar experimentos não virtuais relacionados com os assuntos estudados em sala de aula. O KIT-ADuC utilizado constitui uma excelente plataforma para o desenvolvimento de tais atividades, visto que permite o desenvolvimento de controladores através do PC, sistemas embarcados (*stand alone*) e sistemas de aquisição de dados.

Os principais atributos para a adoção do sistema de secagem de grãos como sistema alvo de estudo para o ensino de sistemas de controle foram o baixo custo e a facilidade de montagem, visto que toda a instrumentação e recursos de processamento estão encapsulados no microcontrolador. Além disso, este sistema encontra-se disponível em nosso laboratório.

No estudo de caso apresentado neste trabalho, um controlador adaptativo modelo-referência (MRAS) foi posto em prática, de modo que a interface da PD-ADuC com o PC é composta do MADC e das placas de condicionamento de sinal. Uma proposta futura para o ensino de técnicas de controle não-convencionais é o projeto de um controlador Fuzzy embarcado, no qual as funções de pertinência e base de regras sejam implementadas no próprio microcontrolador. Conforme citado ao longo do texto, a implementação do controlador adaptativo também é assumido como trabalho futuro.

Apesar dos resultados experimentais obtidos apresentarem respostas relativamente lentas, vale salientar que o foco deste artigo não é unicamente o desempenho do controlador

projetado, mas sim a abordagem adotada para o ensino de técnicas de controle não-convencionais de forma experimental.

Esta abordagem, portanto, permite que o estudante perceba a essência da técnica de controle em estudo, abrangendo visões de alto e baixo nível, como a implementação do controlador no PC e percepção das restrições temporais do sistema, respectivamente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelo financiamento das pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANALOG DEVICES (2003). ADuC841/ ADuC842/ ADuC843, Microconverter, 12-bit ADCs with Embedded 62 kB Flash MCU, 2003.

ARAÚJO *et al* (2005). ARAÚJO, T. V.; SOUZA, C. A.; LIMA, A. M. N.; BARROS P. R. Plataforma de Estudo para Aplicações de Controle Inteligente e Sistemas Embarcados. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, São Luis – MA, 2005.

ARAÚJO, SOUZA *et al* (2005). ARAÚJO, T. V.; SOUZA, C. A.; LIMA, A. M. N.; BARROS P. R. Kit de Desenvolvimento para Microcontroladores ADuC Aplicado ao Ensino de Controle e Automação. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, São Luis – MA, 2005.

ÄSTRON e WITTENMARK (1995). ÄSTRON, K. J.; WITTENMARK, B. **Adaptive Control Systems**. Addison-Wesley Series in Electrical Engineering: Control Engineering, 1995.

RASHID (1997). Rashid, M. H. Power Electronics, Circuits, Devices and Applications. 2nd. Edition. Prentice-Hall, 1997.

DIDACTIC APPROACH WITH ADAPTIVE CONTROL

Abstract: *This paper presents, in the context of didactic on Automation and Control Engineering courses, an approach with adaptive control, using a programmable platform based on ADuC microcontroller as didactic kit to control theory and embedded systems studies. Such platform can be used to implement control theories as conventional (On/Off, P, PI, PID) as non-conventional (like Fuzzy, Adaptive Control), so that the student can observe the dynamic behavior of a real control system. It is possible to implement a control technical through a personal computer (using the platform like a data acquisition board) or through a dedicated firmware embedded on microcontroller. A case study was accomplished implementing a Model-Reference Adaptive System (MRAS) to control the temperature of a grains drier system, on reduced scale.*

Key-words: *Control Theory, Adaptive Control, Embedded Systems*