



## **APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS APLICADA AO ENSINO DE SISTEMAS EMBARCADOS**

**Isaac D. Souza** – [isaacdiego@gmail.com](mailto:isaacdiego@gmail.com)

**Sérgio N. Silva** – [s.natansilva@gmail.com](mailto:s.natansilva@gmail.com)

**Deângeli G. Neves** – [deangelign@gmail.com](mailto:deangelign@gmail.com)

**Deângelo G. Neves** – [deangelogn@hotmail.com](mailto:deangelogn@hotmail.com)

**Luiz Felipe de Q. Silveira** – [lfelipe@dca.ufrn.br](mailto:lfelipe@dca.ufrn.br)

**Marcelo A. C. Fernandes** – [mfernandes@dca.ufrn.br](mailto:mfernandes@dca.ufrn.br)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Departamento de Engenharia da Computação – DCA

59078-970 – Natal – RN

**Resumo:** *Um projeto de laboratório para ensino de sistemas embarcados é apresentado neste artigo. O principal objetivo deste laboratório é motivar os estudantes no processo de aprendizagem da disciplina de sistemas embarcados, além de integrar os conceitos de outras disciplinas já cursadas a um problema comum. A aprendizagem baseada em projetos busca promover a integração de várias competências em busca de um objetivo comum e esta integração pode ser feita por um componente curricular multidisciplinar capaz de realizar esta junção. No caso deste trabalho, o componente curricular agregador é o projeto final da disciplina de Sistema Embarcados. O projeto em questão é um sistema de controle de temperatura para um secador industrial com um sistema de configuração e aquisição de dados remoto. A planta do secador bem como todo o sistema eletrônico de drivers e sensores foram construídos pelos alunos por meio de um kit com Micro-controlador, específico para o desenvolvimento de sistemas embarcados. Todos os detalhes do desenvolvimento bem como os resultados obtidos são apresentados, visando ajudar outros docentes e alunos a replicarem este projeto.*

**Palavras-chave:** *Sistemas Embarcados, Aprendizagem Baseada em Projetos, Controle de Temperatura, Micro-controlador.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento de soluções para Sistemas Embarcados (SE) está se tornando uma área estratégica para o Brasil nos últimos anos. Atualmente, novos cursos de pós-graduação estão sendo criados e os cursos de graduação já existentes atualizam seus componentes curriculares para cumprir as competências associadas à área de SE. Muitos dos componentes curriculares que integram a área de SE podem ser vistos como interdisciplinares e integradores, pois na prática os SE estão associados a soluções em várias áreas como automação, robótica, telecomunicações e outras (BALID *et al.*,



2012). Assim, técnicas tradicionais de aprendizagem não são apropriadas para estes tipos de componentes curriculares (LEE *et al.*, 2008) (MASKELL & GRABAU,1998).

A metodologia de aprendizagem baseada em projetos (PRBL - *Project-based learning*) incorpora, através de práticas, um conjunto de conceitos fundamentais que os alunos devem aprender, compreender e aplicar, para finalizar o projeto (BALID *et al.*, 2012) (LEE *et al.*, 2008) (MASKELL & GRABAU,1998) (MASSON *et al.*,2012). A metodologia de PRBL ajuda aos estudantes visualizarem os conceitos, coletar e interpretar dados, e ligar a teoria com o mundo real. Este conjunto de competências, associada a um projeto real, incentiva os alunos a aprender a aprender. Vários cursos de engenharia já incorporam a PRBL em seus currículos utilizando uma variedade de implementações. Um ponto comum em todas as implementações do PRBL é a integração de um ou mais componentes curriculares no desenvolvimento dos projetos, o que já ocorre naturalmente na área de SE (BALID *et al.*, 2012) (LEE *et al.*, 2008) (MASKELL & GRABAU,1998) (MASSON *et al.*,2012) (UGURLU & NAGANO, 2011).

Assim, este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de projeto de laboratório baseada em PRBL para o ensino de conceitos básicos e complexos em SE, voltados para Micro-controladores (MCU), através de um problema real de controle. O problema escolhido foi o desenvolvimento de um secador industrial. Para a solução desse problema, os grupos de alunos devem construir a planta e o SE de controle com base em um conjunto de especificações previamente apresentadas. O SE implementa um sistema de controle em malha fechada para a temperatura e um sistema de controle em malha aberta para a vazão do fluxo de ar. Além de todos os conceitos associados à disciplina de sistema embarcados, o aluno é estimulado a desenvolver o projeto utilizando várias ferramentas e técnicas já estudadas em outras disciplinas relacionadas, enfatizando a interdisciplinaridade no projeto. As disciplinas de sistemas lineares, modelagem, controle, processamento digital de sinais, comunicação de dados e desenvolvimento de software são algumas das disciplinas que integram o projeto. Além da proposta do projeto, este trabalho também apresenta os detalhes de implementação e os resultados obtidos de um dos grupos de alunos que participaram do laboratório proposto.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROJETO DE LABORATÓRIO

A Figura 1 ilustra em detalhes o projeto de laboratório proposto, no qual o secador industrial é formado por um tubo de PVC de comprimento,  $L$ , e diâmetro interno,  $d$ . O tubo de PVC é revestido internamente de papel alumínio para melhorar a condução de calor. O fluxo de ar a uma vazão,  $Q(t)$ , (em  $m^3/s$ ) é gerado por um ventilador (FAN) em uma das pontas do tubo e o fluxo de calor,  $P_{in}(t)$ , (em cal/s) é gerado por uma resistência  $R_1$  fixada internamente ao tubo. Como observado, ainda na Figura 1, o fluxo de ar é gerado a uma temperatura  $T_{in}(t)$  e chega ao final do tubo mais aquecido a uma temperatura  $T_{out}(t)$ . O processo de aquecimento é feito por convecção através da resistência  $R_1$  (OGATA, 2011).

O sistema embarcado tem como objetivo controlar a temperatura,  $T_{out}(t)$ , e a vazão,  $Q(t)$ , do fluxo de ar na saída do tubo. O controle da temperatura é feito por um sistema em malha fechada, através de um PID (OGATA, 2011), que a partir de um sensor de temperatura,  $A_1$ , na saída do tubo atua na vazão do fluxo de calor  $P_{in}(t)$ . Já o controle da vazão do fluxo de ar é feito em malha aberta atuando na velocidade do FAN.

Os drivers de resistência  $Dr_1$  e  $Dr_2$ , cujos circuitos estão apresentados nas Figuras 2a e 2b respectivamente, funcionam como pontes entre os módulos de potência (FAN e a resistência  $R_1$ ) e de controle (embarcado no MCU). O desacoplamento dos módulos de potência são feitos pelos foto-acopladores  $FA_1$  e  $FA_2$  (VISHAY, 2013). Os módulos de potência são acionados proporcionalmente pelos drivers através de um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*),  $S_1(t)$  e  $S_2(t)$ , que são gerados pelo SE no MCU (ATMEGA 328p, 2009). Os drivers  $Dr_1$  e  $Dr_2$  são alimentados de forma independente pelas fontes  $V_1(t)$  e  $V_2(t)$ , respectivamente.

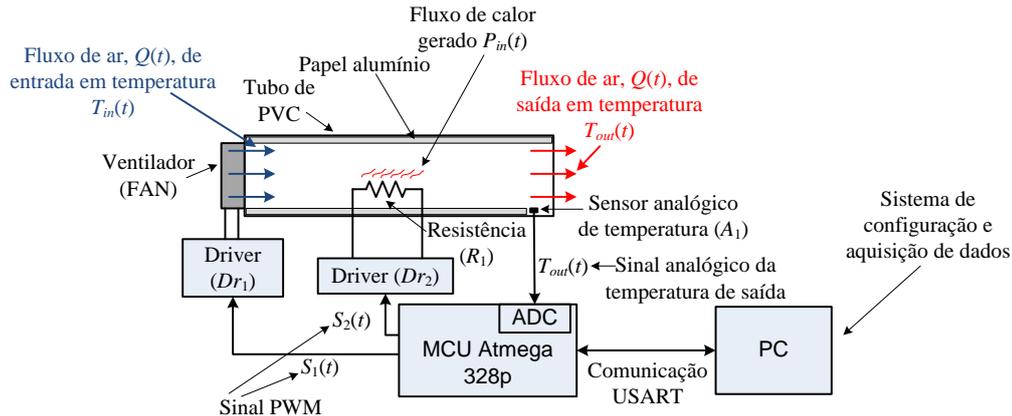


Figura 1 – Arquitetura do projeto de laboratório apresentada aos Alunos.

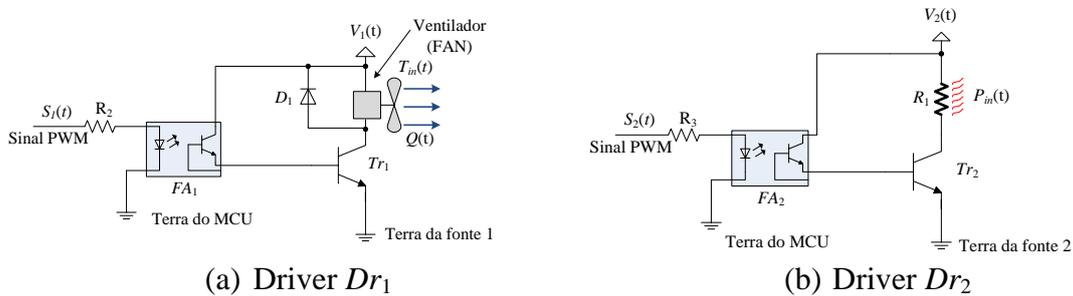


Figura 2 – Esquemáticos dos circuitos associados aos drivers  $Dr_1$  e  $Dr_2$ .

O SE é gerenciado por um sistema computacional remoto chamado SRCAD (Sistema Remoto de Configuração e Aquisição de Dados). O SRCAD comunica-se com SE através do protocolo USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) (ATMEGA 328p, 2009), fazendo aquisição da temperatura de saída,  $T_{out}(t)$ . O SRCAD também pode alterar os parâmetros do sistema de controle em tempo real.

### 3. MODELAGEM DO SISTEMA

A dinâmica da planta, apresentada na Figura 1, pode ser expressa pela seguinte equação (GARCIA, 2005):

$$P_{in}(t) - P_a(t) + \rho \cdot cp \cdot Q(t) \cdot (T_{in}(t) - T_{out}(t)) = \rho \cdot cp \cdot V \cdot \frac{dT_{out}(t)}{dt}, \quad (1)$$



em que,

- $P_{in}(t)$ : Fluxo de calor gerado pela resistência  $R_1$  em cal/s;
- $P_a(t)$ : Perdas por condução nas paredes do papel alumínio (interno ao tubo) em cal/s;
- $Q(t)$ : Vazão do fluxo de ar em  $m^3/s$ ;
- $T_{in}(t)$ : Temperatura de entrada em  $^{\circ}C$ ;
- $T_{out}(t)$ : Temperatura de saída em  $^{\circ}C$ ;
- $V$ : Volume do tubo em  $m^3$ ;
- $\rho$ : Densidade do fluido (ar) em  $kg/m^3$ ;
- $cp$ : Calor específico do fluido (ar) em  $cal/(kg^{\circ}C)$ .

O fluxo de calor gerado (cal/s) pode ser caracterizado como

$$P_{in}(t) = c \frac{V_2(t)^2}{R_1} = c \cdot P_{in}^W(t), \quad (2)$$

em que  $c$  é o valor de conversão de watts (ou J/s) para cal/s ( $1 \text{ watt} = 0,239005736$  cal/s) e  $P_{in}^W(t)$  é o fluxo em watts.

A perda de calor por condução (GARCIA, 2005) nas paredes do papel alumínio (interno ao tubo), em Joules, pode ser dado por:

$$H(t) = C_a(T_{in}(t) - T_{out}(t)). \quad (3)$$

Supondo que  $T_{in}(t)$  é constante, o fluxo de calor perdido em cal/s pode ser dado como

$$P_a(t) = \frac{dH(t)}{dt} = c \cdot m_a \cdot cp_a \cdot \frac{T_{out}(t)}{dt}, \quad (4)$$

em que  $C_a$  é a capacidade calorífica do alumínio,  $m_a$  é a massa de alumínio utilizada e  $cp_a$  é o calor específico do alumínio.

Como o fluxo de calor gerado,  $P_{in}(t)$ , será ajustado por um PWM, pode-se caracterizá-lo como

$$P_{in}(t) = P_{max} \frac{\alpha(t)}{100} = c \cdot P_{max}^W \frac{\alpha(t)}{100}, \quad (5)$$

em que  $\alpha(t)$  é o valor do tamanho do pulso PWM em % (0 – 100%) e  $P_{max}^W$  é o fluxo máximo de calor gerado em watts, caracterizada pela Equação 2. A vazão do fluxo de ar,  $Q(t)$ , também é controlado com o PWM, logo pode-se fazer

$$Q(t) = Q_{max} \frac{\beta(t)}{100}, \quad (6)$$

onde  $\beta(t)$  é o valor do tamanho do pulso PWM em % (0 – 100%) e  $Q_{max}$  é a vazão máxima do fluxo de ar gerado pela FAN. Utilizando as Equações 4, 5 e 6, a Equação 1 pode ser reescrita como

$$c \cdot P_{max}^W \frac{\alpha(t)}{100} + \rho \cdot cp \cdot Q_{max} \frac{\beta(t)}{100} \cdot (T_{in}(t) - T_{out}(t)) = \frac{dT_{out}(t)}{dt} (\rho \cdot cp \cdot V + c \cdot m_a \cdot cp_a) \quad (7)$$

A Figura 3 apresenta o modelo desenvolvido na plataforma de simulação dinâmica de *Scilab*, o *Xcos* (SCILAB, 2013). Com este modelo, os alunos podem obter dados experimentais da planta antes de construí-la, minimizando o desperdício de material e maximizando o projeto do sistema de controle.

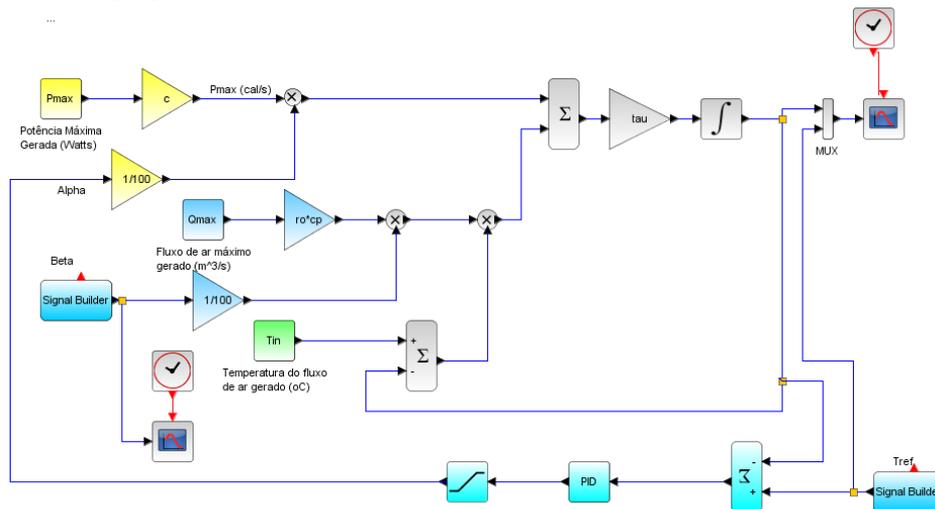


Figura 3 – Modelo dinâmico da planta do secador industrial (ver Equação 7) desenvolvido no *Scilab/Xcos*.

#### 4. PROJETO DO SISTEMA

Utilizando as definições apresentadas nas Seções 2 e 3, cada grupo de alunos deve desenvolver a planta do secador industrial, os drivers, a aplicação embarcada e o sistema remoto de configuração e aquisição de dados. Esta seção apresenta os detalhes do projeto desenvolvido por um grupo de alunos que foi submetido a esta metodologia e proposta de projeto. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados no desenvolvimento do projeto. No caso do papel alumínio, a massa,  $m_a$ , foi obtida a partir da densidade e da área interna do tubo de diâmetro  $d$ .

Tabela 1 – Parâmetros utilizados como condição inicial para o projeto do secador industrial.

Parâmetros	Valores
Temperatura de entrada ( $T_{in}(t)$ )	25 °C
Comprimento do tubo ( $L$ )	0,4 m
Densidade do ar ( $\rho$ )	1,184 kg/m <sup>3</sup>
Calor específico do ar ( $cp$ )	241 cal/kg°C
Diâmetro interno do tubo PVC ( $d$ )	0,067 m (2")
Densidade do papel alumínio	40 g/m <sup>2</sup>
Dimensão da FAN	80x80x25 mm



Vazão de ar máxima da FAN ( $Q_{max}$ )	0,0132 m <sup>3</sup> /s (28 CFM)
Tensão de alimentação do driver $Dr_1$ ( $V_1(t)$ )	12 V (0,15 A)

#### 4.1. Faixa de operação do secador industrial

Fazendo a derivada da temperatura de saída,  $T_{out}(t)$ , igual a zero na Equação 7 e substituindo os valores apresentados na Tabela 1, tem-se a seguinte expressão

$$P_{max}^W \frac{\alpha(t)}{100} = (1193,8793 - 29846,9824)Q_{max} \frac{\beta(t)}{100}. \quad (8)$$

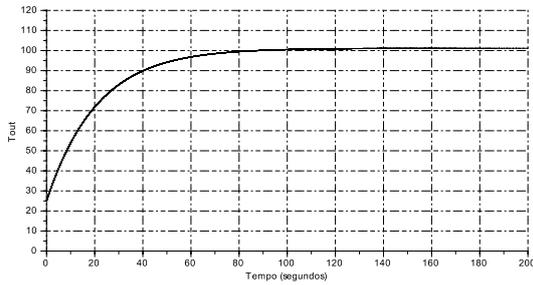
Supondo que vazão de ar mínima de trabalho do secador seja 1% de  $Q_{max}$  e que nesta vazão a temperatura máxima de saída,  $T_{out}(t)$ , deve ser de 100 °C, pode-se obter a partir da Equação 8, a potência máxima,  $P_{max}^W$ , necessária para o funcionamento do secador, que para este projeto foi de 12 watts. Com base nesta informação, foi possível calcular facilmente o valor da Resistência  $R_1$  (48  $\Omega$ ) e projetar os dados da fonte  $V_2(t)$  (24 V e 0,5 A) associada ao  $Dr_2$ . Considerando a potência de 12 watts e uma temperatura mínima de trabalho igual a 35 °C, pode-se também calcular o valor de vazão máxima suportada pelo sistema, que neste caso foi de 7,5% de  $Q_{max}$ . A Tabela 2 apresenta a lista de componentes que foram utilizados.

Tabela 2 – Lista de componentes utilizados no projeto do secador industrial

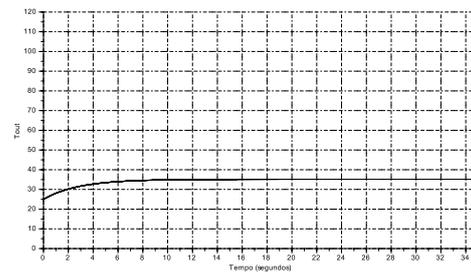
Componente	Valor/Especificação
Resistência do driver $Dr_1$ ( $R_2$ )	330 $\Omega$
Transistor do driver $Dr_1$ ( $TR_1$ )	BD 139
Diodo do driver $Dr_1$ ( $D_1$ )	1N4007
Resistência do driver $Dr_2$ ( $R_3$ )	330 $\Omega$
Transistor do driver $Dr_2$ ( $TR_2$ )	TIP 41
Foto-acopladores dos drivers	4N25
Sensor de temperatura	LM 35

#### 4.2. Resultados obtidos por simulação

As Figuras 4a e 4b apresentam os resultados obtidos por simulação para o sistema em malha aberta com a vazão do fluxo de ar em 1% e 7,5% do valor máximo do FAN ( $Q_{max}$ ), respectivamente. Com este resultado, pode-se observar que o tempo de resposta do sistema,  $t_c$ , mais crítico é em torno de 6 segundos (vazão em 7,5% de  $Q_{max}$ ) e esta informação será utilizada para configurar o tempo de interrupção da execução do PID, como apresentado na próxima seção. As Figuras 5a e 5b apresentam o resultado obtidos após a simulação do sistema em malha fechada com o intuito de sintonizar o PID para obtenção dos parâmetros  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  (OGATA, 2011).

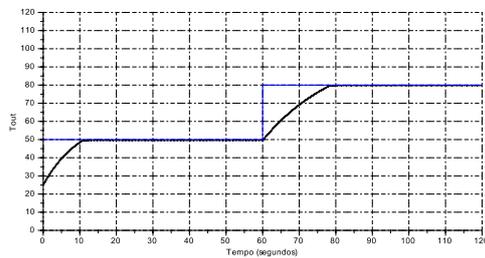


(a) Resposta para 1% de  $Q_{max}$

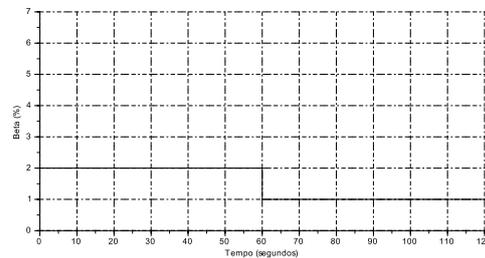


(b) Resposta para 7,5% de  $Q_{max}$

Figura 4 – Resposta em malha aberta do secador industrial.



(a)  $T_{out}(t)$  em função do tempo.



(b)  $Q(t)$  em função do tempo.

Figura 5 – Resposta em malha fechada do secador industrial.

### 4.3. Descrição do Sistema Embarcado

O sistema embarcado foi desenvolvido em um chip ATmega 328p (ATMEGA 328p, 2009) associado ao kit Arduino Uno (ARDUINO, 2013). O ATmega 328p é um MCU de 8 bits que trabalha a velocidade de 1 MIPS/MHz e possui 32 KBytes de memória de programa e 2 KBytes de memória RAM (ATMEGA 328p, 2009). O Arduino Uno é um kit de desenvolvimento que agrega em um único hardware, um chip ATmega 328p e um circuito gravador, facilitando assim o processo de desenvolvimento. O SE foi construído em linguagem C utilizando o ambiente de desenvolvimento Atmel Studio 6 (ATMEL, 2013), ambiente este disponibilizado pela empresa Atmel fabricante do chip ATmega 328p. A Figura 6, apresenta o layout do ATmega 328p, no qual ilustrá-se apenas as portas utilizadas no projeto.

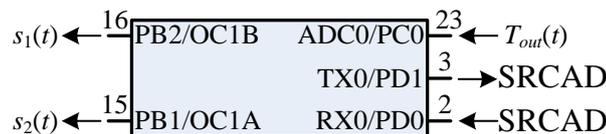


Figura 6 – Layout resumido das portas utilizadas no Atmega 328p.

O sistema embarcado foi subdividido em quatro módulos chamados, neste trabalho, de  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  e  $M_4$ . O  $M_1$  é responsável por receber os dados (via protocolo USART) do SRCAD e atualizar os parâmetros de controle. Já o  $M_2$  faz a transmissão, em tempo

real, da informação da temperatura de saída,  $T_{out}(t)$ . Os algoritmos de controle são implementados nos módulos  $M_3$  e  $M_4$  onde,  $M_3$  implementa o sistema de controle da temperatura,  $T_{out}(t)$ , em malha fechada (via um PID) e  $M_4$  implementa o controle em malha aberta da vazão de ar,  $Q(t)$ . Como ilustrado na Figura 7, os algoritmos referentes aos módulos  $M_1$  e  $M_2$  são executados no loop principal do SE. Os módulos  $M_3$  e  $M_4$ , ilustrado na Figura 7, são executados em uma interrupção interna (utilizando o contador TIMER1) para garantir o funcionamento do sistema de controle independente do sistema de comunicação de dados, gerenciado pelos módulos  $M_1$  e  $M_2$ . O tempo de interrupção utilizado foi de 80 ms, suficiente para executar  $M_3$  e  $M_4$  e 75 vezes menor que o tempo de resposta mais crítico da planta ( $t_c = 6$  s). A configuração dos registradores associados ao SE são implementados no módulo  $M_0$ . As Tabelas 3 e 4 detalham a declaração de variáveis e o algoritmo desenvolvido em  $M_0$ , respectivamente. É importante enfatizar que as variáveis globais compartilhadas entre o programa principal e a interrupção devem ser do tipo *volatile*. Os outros módulos são apresentados em detalhes nas próximas seções.

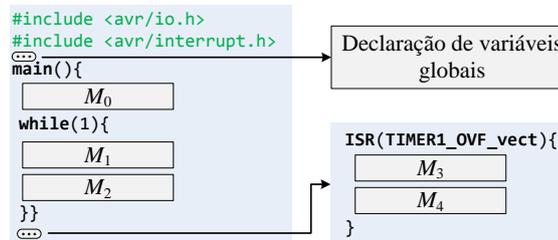


Figura 7 – Ilustração do posicionamento dos módulos na codificação do SE.

Tabela 3 – Variáveis utilizadas no SE

<b>volatile float e = 0.0;</b>	<i>//Erro utilizado pelo PID.</i>
<b>volatile float eI = 0.0;</b>	<i>//Erro integral utilizado pelo PID.</i>
<b>volatile float eD = 0.0;</b>	<i>//Erro diferencial utilizado pelo PID.</i>
<b>volatile float eAnt = 0.0;</b>	<i>//Armazena o valor anterior do Erro.</i>
<b>volatile float Ts = 0.08;</b>	<i>//Período de amostragem 80 ms.</i>
<b>volatile unsigned int Tout;</b>	<i>//Temperatura de saída.</i>
<b>volatile unsigned char Beta;</b>	<i>//Controle do fluxo de ar <math>\beta(t)</math>.</i>
<b>unsigned char cod, valor;</b>	<i>//Variáveis utilizadas no protocolo de comunicação de dados.</i>

Tabela 4 – Algoritmo associado ao Módulo  $M_0$

$M_0$	1	<b>ADMUX = 0x40;</b>	<i>//Utiliza ADC0 e Vcc como referência.</i>
	2	<b>ADCSRA = 0x87;</b>	<i>//Habilita o ADC e seta o Prescaler de 128.</i>
	3	<b>TCCR0A = 0xA3;</b>	<i>//Configuração dos sinais <math>S_1(t)</math> e <math>S_2(t)</math>. PWM de</i>
	4	<b>TCCR0B = 0x03;</b>	<i>8 bits e frequência em torno de 1 kHz.</i>
	5	<b>TCCR1A = 0x02;</b>	<i>//Config. do TIMER1 para gerar uma interrupção</i>
	6	<b>TCCR1B = 0x1B;</b>	<i>a cada 80 ms. Tempo suficiente para executar os</i>
	7	<b>ICR1 = 20000;</b>	<i>módulos <math>M_3</math> e <math>M_4</math>.</i>
	8	<b>TIMSK1 = 0x01;</b>	<i>//Habilita a interrupção.</i>



```

9  UBRR0L = 0x67; //Configura comunicação USART para 9.6 kbps,
10 UBRR0H = 0x00; 8 bits, 1 stop bit e sem bit de paridade.
11 UCSR0B |= 0x18
12 UCSR0C |= 0x06
13 sei(); //Habilita as interrupções.

```

#### 4.4. Controle de Fluxo Dados

As Figuras 8a e 8b detalham o controle de fluxo desenvolvido para o SRCAD. A cada instante o SRCAD envia um código de um 1 Byte para MCU. Caso o código seja 255 o SRCAD não envia mais nenhuma informação e o MCU retorna o valor de  $T_{out}(t)$  através do módulo  $M_2$ . Para valores de código diferentes de 255, o SRCAD também envia o valor de um dos parâmetros de configuração. A Tabela 5 detalha os algoritmos de controle de fluxo dos módulos  $M_1$  e  $M_2$ . Todos os valores relativos aos parâmetros foram fixados em 1 Byte.

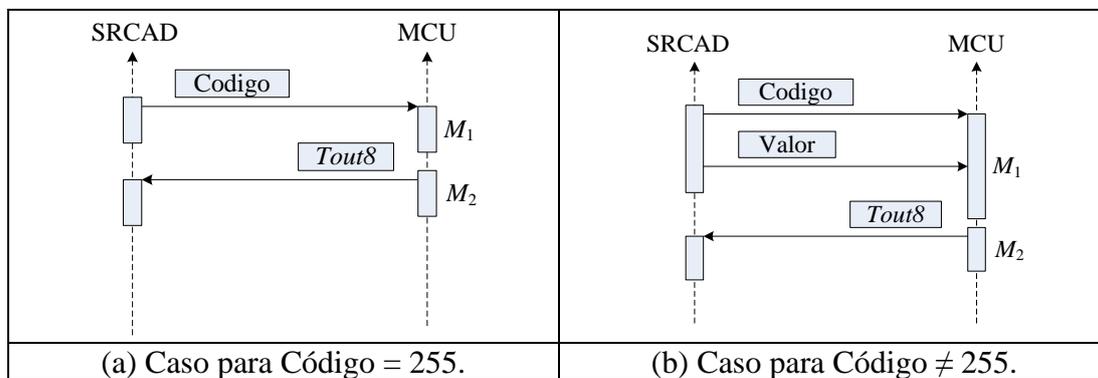


Figura 8 – Fluxo de dados entre o SRCAD e o MCU.

Tabela 5 – Algoritmo dos módulos  $M_1$  e  $M_2$ .

$M_1$	1	<code>while(!(UCSR0A&amp;(1&lt;&lt;RXC0)));</code>	<i>//Espera o recebimento do código.</i>
	2	<code>if (UDR0!=255){cod=UDR0</code>	<i>// Verifica o código.</i>
	3	<code>while(!(UCSR0A&amp;(1&lt;&lt;RXC0)));</code>	<i>//Espera o recebimento do valor.</i>
	4	<code>valor=UDR0;</code>	<i>//Recebe a informação.</i>
	5	<code>switch(cod){</code>	<i>//Verifica o código.</i>
	6	<code>case 10:Kp=valor;break;</code>	<i>//Atualiza o valor do Kp.</i>
	7	<code>case 11:Ki=valor;break;</code>	<i>//Atualiza o valor do Ki.</i>
	8	<code>case 12:Kd=valor;break;</code>	<i>//Atualiza o valor do Kd.</i>
	9	<code>Case 13:Tref=valor;break;</code>	<i>// Atualiza o valor do set-point.</i>
	10	<code>case 14:Beta=valor}}</code>	<i>//Atualiza o valor de <math>\beta(t)</math>.</i>
$M_2$	1	<code>while(!(UCSR0A&amp;(1&lt;&lt;UDRE0)));</code>	<i>//Envio da temperatura para o SRCAD.</i>
	2	<code>UDR0=Tout&gt;&gt;2;</code>	

#### 4.5. Algoritmos de Controle

A Tabela 6 detalha o algoritmo de controle. Os valores de  $K_i$ ,  $K_d$  e  $K_p$  são inteiros de 8 bits e o valor de beta deve estar entre 2 e 19 para gerar um PWM entre 1% e 7,5%,

limites encontrados na Seção 4.2. O erro integral foi calculado pelo método do retângulo.

Tabela 6 – Algoritmo dos módulos  $M_3$  e  $M_4$  executados em interrupção interna.

	1	<code>ADCSRA  = _BV(ADSC);</code>	<i>//Habilita o ADC.</i>
	2	<code>while(!(ADCSRA&amp;0x10));</code>	<i>//Esperando pela conversão.</i>
	3	<code>Tout=ADC;</code>	<i>//Valor da temperatura de saída.</i>
	4	<code>e=Tref-(Tout*100)/1023;</code>	<i>//Cálculo do erro.</i>
$M_3$	5	<code>eI=eI+Ts*e;</code>	<i>//Cálculo da integral do erro.</i>
	6	<code>eD=(e-eAnt)/Ts;</code>	<i>//Cálculo da derivada do erro.</i>
	7	<code>eAnt=e;</code>	<i>//Cálculo da integral do erro.</i>
	8	<code>Pin=satura(Kp*e+Ki*e+Kd*e);</code>	<i>//Satura entre 0 e 12 watts.</i>
	9	<code>OCR1A=ceil((Pin*255)/12);</code>	<i>//Valor de <math>\alpha(t)</math>.</i>
$M_4$	1	<code>OCR1B=Beta</code>	<i>//Controle da vazão <math>Q(t)</math>.</i>

#### 4.6. Resultados experimentais

As Figuras 9a e 9b ilustram o sistema de controle do secador industrial desenvolvido por um grupo de alunos. Já as Figuras 10a e 10b detalham a parte interna do secador industrial para duas condições de temperatura. Finalmente a Figura 11, mostra o SRCAD desenvolvido em Java pelos alunos.

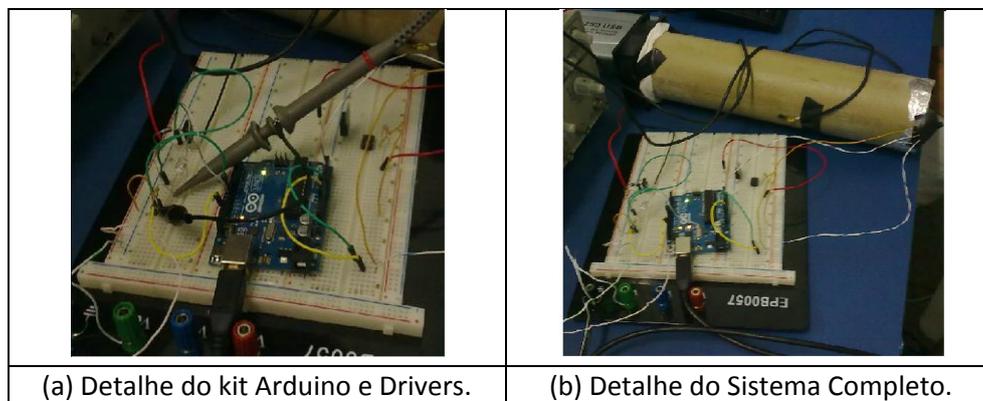


Figura 9 – Ilustração do projeto desenvolvido em laboratório.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o desenvolvimento de um projeto de laboratório voltado para o ensino de sistemas embarcados. Com base na metodologia de PRBL o projeto visa incentivar os alunos no desenvolvimento de soluções voltadas para a área de sistemas embarcados. O projeto que trata do desenvolvimento de um sistema de controle em malha fechada de um secador industrial é apresentado em detalhes para que outros professores e alunos possam utilizá-lo em suas disciplinas e componentes curriculares.

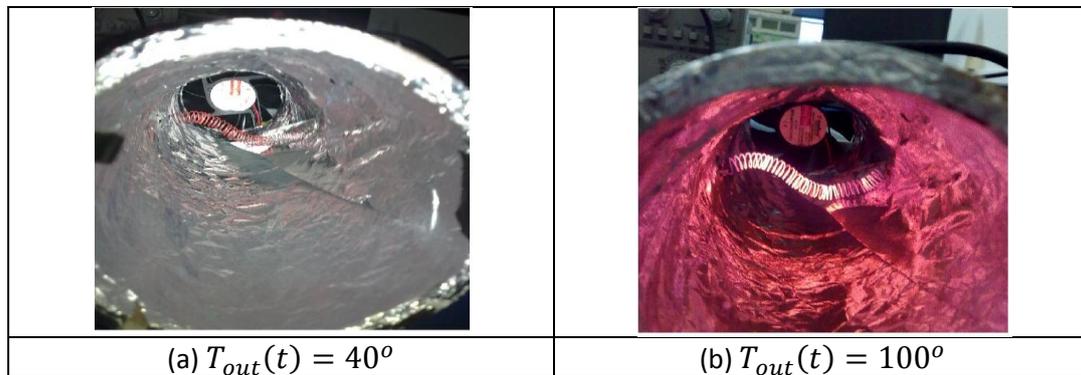


Figura 10 – Parte interna do secador industrial para duas situações de temperatura.

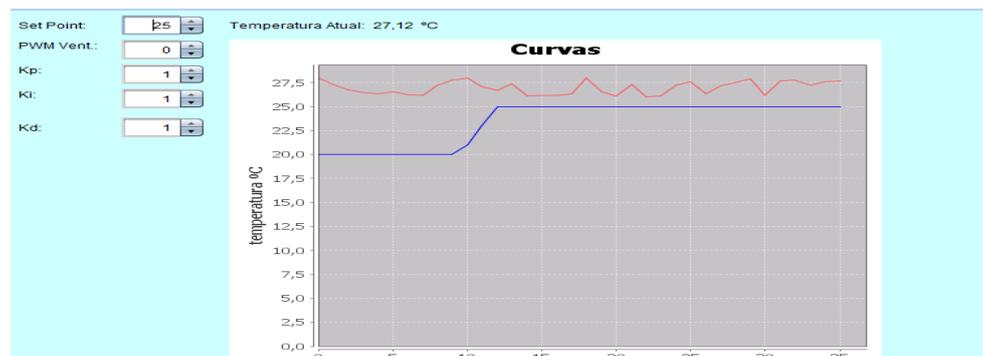


Figura 11 – Ilustração do SRCAD desenvolvido pelos alunos em Java.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. Arduino is an open-source electronics prototyping platform. Disponível em: <<http://www.arduino.cc>> Acesso em: 24 jun. 2013.

ATMEGA 328p. 8-bit AVR Microcontroller ATmega328P Datasheet. Rev. 8161D-AVR-10/09. Atmel Corporation. 2009.

ATMEL. Atmel Studio 6 - The Studio to Design All Embedded Systems. Disponível em: <[http://www.atmel.com/microsite/atmel\\_studio6](http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6)> Acesso em: 24 jun. 2013.

BALID, W.; ALROUH, I.; Hussian, A.; ABDULWAHED, M., Systems engineering design of engineering education: A case of an embedded systems course, Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), 2012 IEEE International Conference on , vol., no., pp.W1D-7,W1D-12, 20-23 Aug. 2012.

GARCIA, Claudio. Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Eletromecânicos. EDUSP, 2005.



LEE, C.; SU, J.; LIN, K.; CHANG, J.; LIN, G., A project-based laboratory for learning embedded system designs with support from the industry," Frontiers in Education Conference, 2008. FIE 2008. 38th Annual , vol., no., pp.F1B-1,F1B-6, 22-25 Oct. 2008.

MASKELL, D.L.; GRABAU, P.J., "A multidisciplinary cooperative problem-based learning approach to embedded systems design," Education, IEEE Transactions on , vol.41, no.2, pp.101,103, May 1998.

MASSON, T. J.; MIRANDA, L. F.; MUNHOZ, A. H.; PORTO, A. M.; METODOLOGIA DE ENSINO: APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS (PBL). Anais: XL – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Belém: UFPA, 2012.

OGATA, Katsuhiko. Engenharia de controle moderno. 5. ed. Pearson Prentice Hall, 2011.

SCILAB. Scilab open source software. Disponível em: <<https://www.scilab.org/>> Acesso em: 24 jun. 2013.

UGURLU, Y.; NAGANO, T., Project-based learning using LabVIEW and embedded hardware, System Integration (SII), 2011 IEEE/SICE International Symposium on , vol., no., pp.561,566, 20-22 Dec. 2011.

VISHAY. 4N25 Datasheet. VISHAY SEMICONDUCTORS. 2013.

## **BASED LEARNING PROJECT FOR TEACHING EMBEDDED SYSTEMS**

**Abstract:** *A project lab for teaching embedded systems is presented in this article. The main objective of this lab is to motivate students in the learning process of the discipline of embedded systems as well as integrating concepts from other disciplines already routed to a common project. The project-based learning seeks to promote the integration of various skills in pursuit of a common goal. This integration may be performed by a multidisciplinary component course capable of performing this integration. In the case of this work the curricular component aggregator is the final project of the course of Embedded System. The project in question is a system of temperature control for industrial dryer with a system configuration and remote data acquisition. The plant of the dryer as well as all electronic system drivers and sensors were built by students using a kit with Micro-controller developed for the embedded system. All details of the development and the results obtained are presented in order to help other teachers and students to replicate this project.*

**Key-words:** *Embedded Systems, Project Based Learning, Temperature Control, Micro-controller.*