

# PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ACIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE UM MICROCONTROLADOR PIC16F

Fábio BARROSO (1), Valentina VALE (2), Leonardo ARAÚJO (3)

(1) IFPB – Campus I, CEP 58.015-430, fabiopb@ibest.com.br

(2) UFPB – Campus I, CT – Bloco F, CEP 58.059-900, ale.vale.ssandra@gmail.com

(3) IFPB – Campus I, CEP 58.015-430, leocefetpb@gmail.com

## Resumo:

Este trabalho apresenta a elaboração de um circuito baseado no microcontrolador PIC16F877, bem como o desenvolvimento de um software, em linguagem C, que será utilizado na partida de motores elétricos industriais. A utilização deste circuito microcontrolado, em lugar da estrutura convencionalmente utilizada, minimiza o tempo e a possibilidade de erros na montagem de um quadro de comando, devido a menor quantidade de ligações a serem realizadas, além do custo ser bastante inferior. A relação custo-benefício é ainda maior quando comparamos a mesma situação de praticidade utilizando as “soluções prontas”, a exemplo de um Controlador Lógico Programável (CLP).

Palavras-chave: CLP, microcontrolador PIC, motores elétricos industriais.

## 1. INTRODUÇÃO

A ideia para o desenvolvimento do produto nasceu da percepção da necessidade de simplificar as ligações de um circuito elétrico de baixa tensão para o acionamento de quatro motores elétricos industriais trifásicos. O produto mencionado é um circuito eletrônico que pode fazer o papel de um controlador lógico programável de miniporte, também conhecido como relé programável ou relé inteligente, quando este é utilizado apenas no acionamento de motores elétricos.

Quando a questão é minimizar o tempo de montagem em painéis elétricos, defeitos de montagem ou dos componentes, tradicionalmente utilizamos os relés programáveis (CLP's de miniporte), o que muitas vezes torna a ideia dispensável frente ao custo deste equipamento e limitações do número de portas de entrada e/ou saída, pois quanto maior o número de entradas e saídas, será ainda maior o custo de aquisição. A utilização de um microcontrolador facilita muito a criação e confecção de circuito, porque ele basicamente já vem com vários circuitos integrados, tipicamente temos (MicroChip, 2003).

A implementação do microcontrolador no circuito eletrônico trouxe uma flexibilidade no desenvolver do projeto quanto ao número e simplicidade das conexões, porém houve também limitações quanto às interrupções das rotinas programadas. No decorrer do projeto, foram adotadas soluções na parte física (*hardware*) e na parte lógica (*firmware*) para que todas as especificações e necessidades do projeto fossem plenamente atendidas. Todo o desenvolvimento do produto foi realizado através de simulação via *software* ISIS PROTEUS 7.2 SP6.

Quanto ao custo do projeto, após pesquisa de preços dos componentes e dos CLP's disponíveis no mercado, ficou evidente a viabilidade da produção e comercialização deste produto em larga escala. Como toda mudança de comportamento, é necessário um tempo de absorção, maturação e implementação da ideia frente ao público-alvo, contudo, para que algo seja feito, temos sempre de dar o primeiro passo.

## 2. DISPOSITIVO MICROCONTROLADO COM PIC16F

### 2.1. IDEIA DA CONCEPÇÃO DO DISPOSITIVO

A ideia de criação deste equipamento nasceu da necessidade de agilizar o processo de confecção e/ou manutenção de um painel (quadro) elétrico que controla a partida de motores elétricos industriais. Neste trabalho iremos mostrar a viabilidade de sua aplicação, frente aos resultados positivos em simulação, via software PROTEUS 7.2 SP6. O equipamento simplifica a ligação dos terminais dos componentes elétricos de controle na partida de dois motores em partida direta e dois motores em partida estrela-triângulo. O PIC16F628 é um microcontrolador seguro, tem boa imunidade à interferência eletromagnética e ao ruído na alimentação (Cabral, 2001), dispõe de mecanismos de proteção capazes de ressetar todos os blocos internos, oscilador interno calibrável por software, memória de programa FLASH, uma CPU RISC de alta performance e outras valiosas características que tornaram este chip um sucesso de vendas para sistemas embarcados (Ordonez, 2005).

O equipamento está configurado para uma alimentação de 24Vcc, que deverá ser aplicada através da porta Vcc e Gnd (Figura 1). Internamente, através de um CI regulador de tensão (7805), o sinal de 24Vcc será reduzido para 5Vcc, o que alimentará o CI e os contatos das entradas (botoeiras nas portas I1, I2, ..., I8), bem como as portas de saídas (Q1, Q2, ..., Q8), além do botão SR, que terá a função de RESET do equipamento.

O sinal de 24Vcc é amplamente utilizado em painéis industriais para o chaveamento dos relés principais (contactores) e relés auxiliares. Eles são acionados com tensão reduzida no intuito de minimizar ruídos e interferências eletromagnéticas nos painéis.

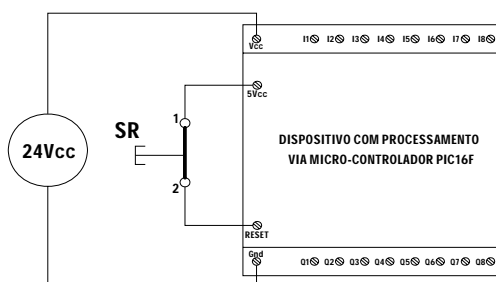


Figura 1 – Equipamento com microcontrolador: alimentado com 24Vcc e ligação do botão de reset (SR).

O produto se assemelha ao funcionamento de um controlador lógico programável – CLP, porém com um valor de aquisição muito menor. O produto poderia ser utilizado para a partida direta de motores, porém a solução seria inviável devido à simplicidade das ligações, como podemos notar na Figura 2:

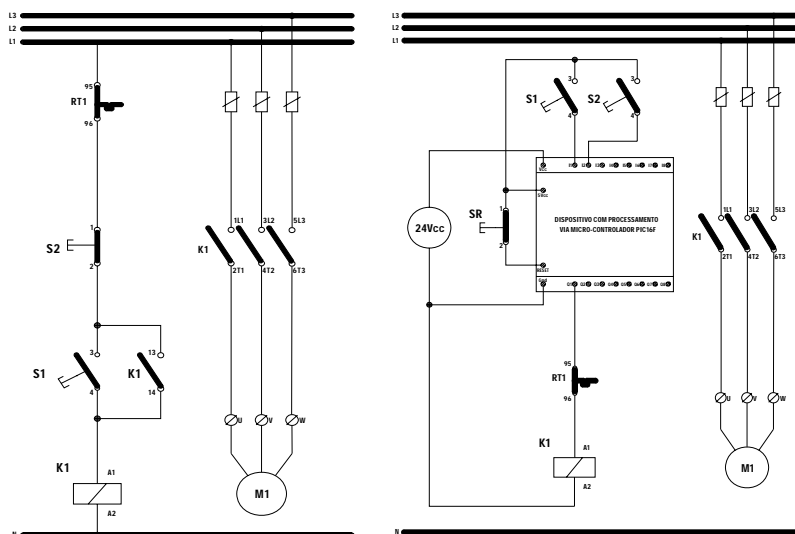


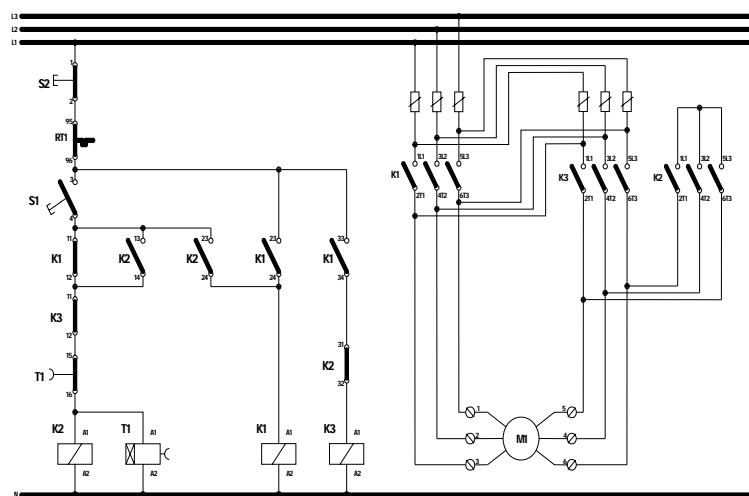
Figura2 – Lógica do comando e acionamento de um motor com partida direta, método convencional e utilizando o dispositivo.

A parte de força, ou seja, a parte do acionamento do motor, é sempre idêntica. Podemos observar que a ligação em partida direta consome 12 apertos de parafuso, corte de fios e fixação de 14 terminais pré-isolados. Enquanto que utilizando o equipamento, teremos 19 apertos de parafuso, corte de fios e fixação de 22 terminais pré-isolados. A priori, pode parecer que o trabalho aumentou, mas o circuito ficou menos complexo e para a instalação de um segundo motor, teremos basicamente os mesmos números, pois reduziria a alimentação e o botão de reset para o segundo motor, ficando apenas 14 apertos de parafuso.

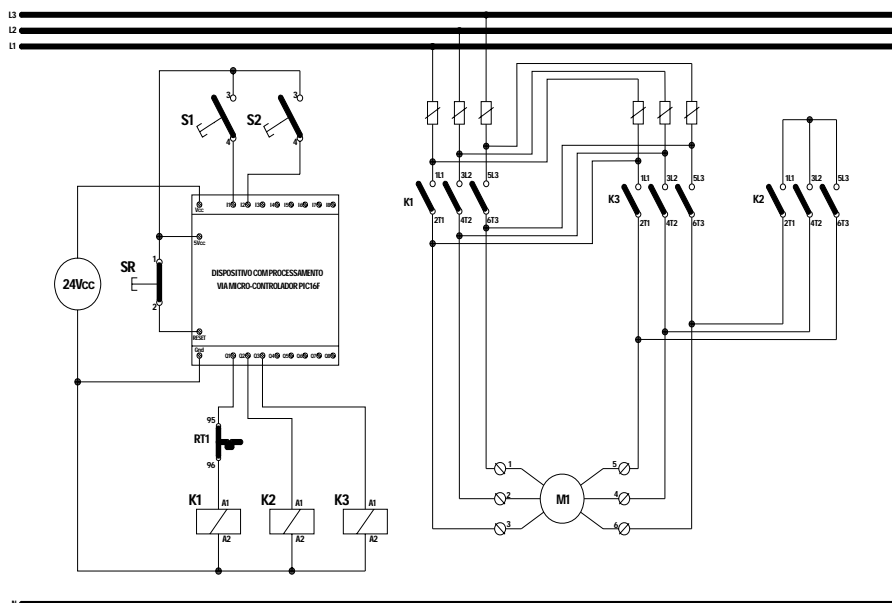
No entanto, como solução para a ligação de motores em partidas estrela-triângulo, a utilização do equipamento se torna viável pela rapidez nas ligações e consequentemente no custo hora-homem.

Uma ligação em estrela-triângulo convencional consome 35 (trinta e cinco) apertos de parafusos nos bornes dos elementos envolvidos na lógica do comando, temos ainda o corte, desencapamento dos fios e fixação de 42 (quarenta e dois) terminais pré-isolados. Com a utilização do equipamento aqui descrito, podemos confeccionar a lógica de comando com apenas 22 (vinte e dois) apertos de parafuso, temos ainda o corte, desencapamento dos fios e fixação de 22 (vinte e dois) terminais pré-isolados.

Na comparação das Figuras 3 e 4, temos a impressão de que a diferença é pouca, mas se observarmos a complexidade do circuito convencional (Figura 3), temos a real proporção da vantagem e praticidade do equipamento. Além da economia de tempo e material, na instalação cada motor.



**Figura 3 – Lógica do comando e acionamento em estrela-triângulo, utilizando o método convencional.**



**Figura 4 – Lógica do comando e acionamento em estrela-triângulo, utilizando o equipamento com PIC.**

Devido à complexidade do circuito eletrônico, foram incorporadas as funções de acionamento de quatro motores: dois motores em partida direta e dois motores em estrela-triângulo.

## 2.2. CIRCUITO ELETRÔNICO

### 2.2.1. Circuito Básico para Partida Direta

Para melhor compreensão do equipamento e sua funcionalidade, iremos abordar um exemplo básico para partida direta, em seguida, um para partida em estrela-triângulo, e finalmente, o circuito real.

O circuito a seguir (Figura 5), representa um circuito confeccionado para acionar e desacionar um motor elétrico, neste caso temos um botão de liga, um botão de desliga e um botão de reset para interface com o operador. Além disso, teremos apenas o motor elétrico, em sua aplicação, obviamente. Todo o restante deverá ficar dentro do painel, ou seja, o cristal oscilador, PIC, relé principal, resistores e o transistor.

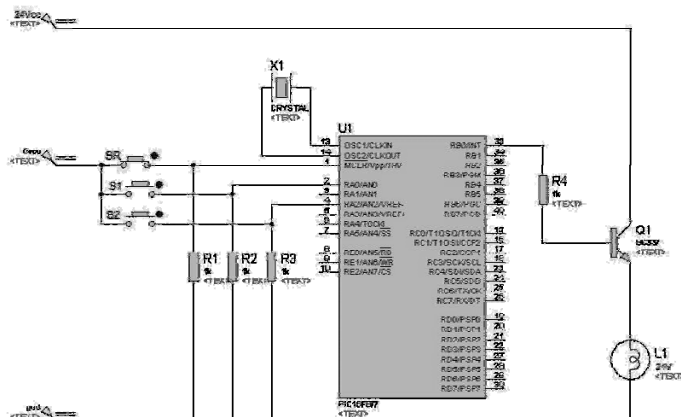


Figura 5 – Esquemático de um circuito eletrônico, para simular a carga da bobina do relé principal (K1) foi utilizada uma lâmpada (L1), assim o acionamento do motor através de K1 foi suprimido.

Programação do microcontrolador PIC16F:

```
#include <16f877.h> //especifica o modelo do PIC
#use delay (clock=1000000) //especifica a frequência do cristal oscilador
#fuses HS, NOWDT, NOLVP, NOPROTECT, PUT, BROWNOUT //funções especiais para a execução
void main() //início do programa, executando todas as instruções dentro das próximas chaves

{
    output_B(0x00); //necessário para tornar todas as saídas B com nível lógico 0(zero)
    delay_ms(1000); //tempo de atraso em 1 segundo para iniciar as verificações e execuções
    if (input(pin_a0)) //verifica se o botão S1 é acionado, e caso positivo executa a instrução dentro das
    {output_high(pin_b0);} //chaves, no caso, torna a porta B0 com nível lógico 1(um). E sendo assim,
    //chaveando o transistor Q1, que fará o acionamento do relé principal (ou acenderá a
    //lâmpada, conforme a Figura 6)

    if (input(pin_a1)) //verifica se o botão S2 é acionado, e caso positivo executa a instrução dentro das
    output_low(pin_b0); //chaves, no caso, torna a porta B0 com nível lógico 0(zero). E sendo assim, não
    //mais chaveando o transistor Q1, que fará o desacionamento do relé principal (ou
    //apagará a lâmpada, conforme a Figura 6)
}
```

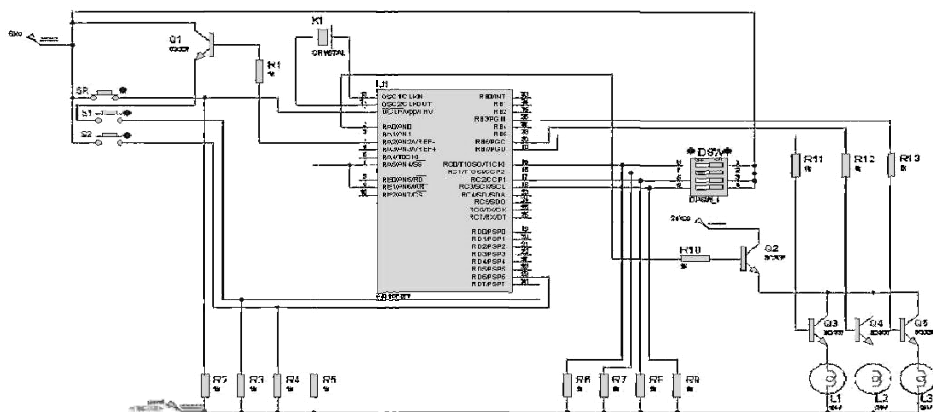
### 2.2.2. Circuito Básico para Partida em Estrela-Triângulo

Para os casos de motores com partida em estrela-triângulo, a lógica se torna bem mais complexa e devido a algumas limitações do microcontrolador frente às exigências de segurança na partida, o hardware necessita de um circuito específico. Uma partida em estrela-triângulo trabalha com três relés principais, onde apenas um relé (K1) permanece acionado durante todo o regime de trabalho do motor, os outros dois relés (K2 e K3) funcionam alternadamente. Em hipótese alguma, os relés K2 e K3, devem ser acionados simultaneamente, caso isto ocorra, um encontro de fases irá acontecer, com consequências similares a um curto-circuito.

No caso de utilizarmos o microcontrolador para acionar o motor em partida estrela-triângulo, o encontro de fases pode ocorrer caso o botão de liga seja acionado e após a passagem de estrela para triângulo, o botão de liga seja acionado novamente. Para evitar que isto ocorra, foi colocado um transistor (Q1, Figura 6) que alimenta o botão de liga, e no caso do botão S1 ser acionado a primeira vez, é cortada a sua alimentação através de Q1, evitando o re-acionamento acidental. Apenas após o desligamento do motor e passado o respectivo tempo de “descanso”, é que este transistor (Q1) retorna a alimentar o botão S1.

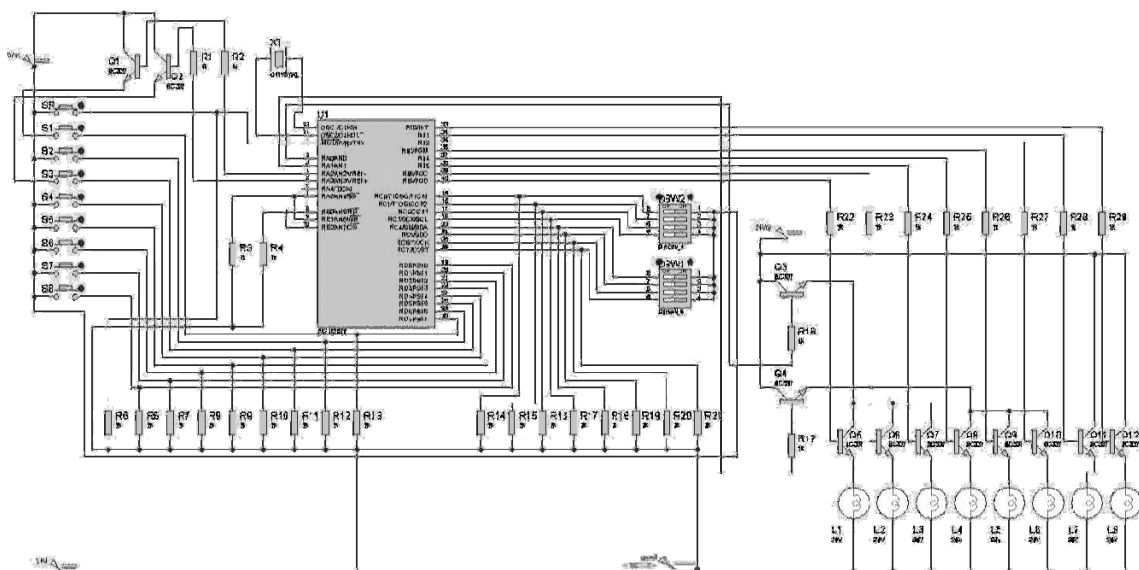
Durante o processo de passagem do sistema de partida em estrela para triângulo, o microcontrolador possui uma limitação de não interromper apenas o processo em questão, no caso de trabalhar com vários controles num só microcontrolador. Logo, para realizar o desligamento de um motor durante o tempo de comutação dos relés principais, foi utilizado no hardware um transistor (Q2, Figura 6) que realiza a alimentação dos transistores de saída (Q3, Q4 e Q5, Figura 6), responsáveis pela alimentação dos três relés principais. Assim, caso seja necessário desligar o motor, através do botão S2, antes da comutação, ou mesmo após a comutação, o transistor Q2 será desabilitado, cortando a alimentação dos transistores de saída. O transistor Q2 será novamente habilitado após passado o tempo de “descanso” do motor.

Para o controle do tempo necessário para a comutação da partida de estrela para triângulo, foi projetada a instalação de quatro chaves, onde a primeira irá incrementar 1 segundo no tempo de base (5 segundos). A segunda chave incrementará 2 segundos. A terceira chave incrementa 4 segundos e a quarta chave, 8 segundos. Todos estes tempos podem ser cumulativos, chegando a um total de 20 segundos para a comutação dos relés principais.



**Figura 6 – Esquemático de um circuito eletrônico para partida em estrela-triângulo, simulando as cargas das bobinas dos relés principais (K1, K2 e K3) foram utilizadas lâmpadas (L1, L2 e L3).**

### 2.2.3. Circuito Completo Desenvolvido



**Figura 7 – Esquemático do circuito eletrônico, utilizamos lâmpadas para simulação dos relés principais.**

### 2.3. PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

A programação utilizada foi com base na linguagem C, para tal, o software utilizado para confeccionar o programa foi o PICW C COMPILER IDE, versão 3.28, e o software para gravar o programa no PIC16F foi o WINPIC800, versão 3.61. Retirando algumas informações, em excesso devido à necessidade da programação, temos basicamente:

<pre>//rotina de desligamento de m1 if (input(pin_d6)) { output_low(pin_a0);   output_high(pin_a5);}  if (input(pin_e1)) { output_low(pin_a0);   output_low(pin_b7);   output_low(pin_b6);   output_low(pin_b5);  delay_ms(5000);   output_low(pin_b7);   output_low(pin_b6);   output_low(pin_b5);  delay_ms(1000);   output_high(pin_a2);   output_high(pin_a0);   output_low(pin_a5); }  //lógica para acionamento de m1 if (input(pin_d7)) { output_low(pin_a2);   output_high(pin_b6);   delay_ms(50);   if (input(pin_d6))   {...rotina de desligamento...}   output_high(pin_b5);   for (i=0; i&lt;=50;i++)     {rotina de verificação e desligamento}    if (input(pin_c0))     for (i=0; i&lt;=10;i++)       {rotina de verificação e desligamento}   if (input(pin_c1))</pre>	<p>Caso o botão desliga do motor (pino <b>D6</b>), será desativada a alimentação dos relés K1, K2 e K3 (pino <b>A0</b>) e será enviada uma informação para iniciar o processo de desligamento (saída no pino <b>A5</b> para entrada no pino <b>E1</b>).</p> <p>Início do processo de desligamento, caso o pino <b>A5</b> envie para o pino <b>E1</b>, sendo desativados os pinos de alimentação dos relés K1, K2 e K3, bem como os próprios relés (pinos <b>A0</b>, <b>B7</b>, <b>B6</b> e <b>B5</b>).</p> <p>Caso não sejam desativados os relés, devido a rotina <b>if</b> ter iniciado, temos a interrupção da alimentação na parte física (pino <b>A0</b>), então será dado um intervalo de 5 segundos para desativá-los.</p> <p>Após 1 segundo da desativação teremos a restauração do sistema, com a reativação do botão liga (pino <b>A2</b>), reativação da alimentação dos relés (pino <b>A0</b>) e a desativação do processo de desligamento (pino <b>A5</b>).</p> <p>Caso o botão liga do motor m1 seja acionado (pino <b>D7</b>), teremos a desativação de sua alimentação (pino <b>A2</b>), evitando o reacionamento da partida estrela-triângulo. O pino <b>B6</b> irá acionar o relé K2, após 50ms, simulando o tempo de chaveamento mecânico, e se o botão de desliga não for acionado (pino <b>D6</b>), temos o acionamento de K3 (pino <b>B5</b>) no fechamento das bobinas em sistema estrela.</p> <p>Verificando se durante os 5s, padrão de tempo, para inverter do sistema em estrela para triângulo, temos o desacionamento do motor.</p>
---	--

<pre> for (i=0; i&lt;=20;i++)  {rotina de verificação e desligamento}  if (input(pin_c2))  for (i=0; i&lt;=40;i++)  {rotina de verificação e desligamento}  delay_ms(100); }  if (input(pin_c3))  for (i=0; i&lt;=80;i++)  {rotina de verificação e desligamento}   output_low(pin_b6);  delay_ms(50);  output_high(pin_b7);   if (input(pin_d6))  {...rotina de desligamento...} }</pre>	<p>Temos também as verificações de desacionamento durante os possíveis acréscimos de tempo da partida em estrela nos jumpings.</p> <p>Após as rotinas de verificação de acréscimo de tempo e das verificações de desacionamento durante este tempo, será desacionado o relé K2 (pino <b>B6</b>), um atraso de 50ms, simulando o chaveamento mecânico e finalmente acionado o relé K1, para o fechamento das bobinas do motor em triângulo.</p> <p>Por último, mais uma verificação de desacionamento do motor M1.</p>
---	---

## 2.4. CUSTOS DE COMPONENTES E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

De acordo com pesquisa realizada no mercado local, realizamos uma média dos valores cobrados por cada componente do circuito desenvolvido.

**Tabela 1 – Quantidades relativas de cada componentes e seus valores em Reais.**

Item	Descrição	Qde.	Vlr. Unit.	Vlr. Total
01	PIC16F877	01	R\$ 17,00	R\$ 17,00
02	Transistores BC337	12	R\$ 0,35	R\$ 4,20
03	Resistores 1kΩ	30	R\$ 0,25	R\$ 7,50
04	CI regulador de tensão 7812	01	R\$ 0,50	R\$ 0,50
05	CI regulador de tensão 7805	01	R\$ 0,50	R\$ 0,50
06	Placa de fenolite	01	R\$ 3,00	R\$ 3,00
07	Terminal de jumpings (tempo)	01	R\$ 1,00	R\$ 1,00
08	Caixa plástica	01	R\$ 5,00	R\$ 5,00
09	Cristal oscilador	01	R\$ 5,00	R\$ 5,00
10	Cabo multi-via (cabo de rede LAN)	06	R\$ 1,00	R\$ 6,00
11	Custos indiretos de produção (lote de 100 peças)	01	R\$ 11,06	R\$ 11,06
<b>TOTAL:</b>				<b>R\$ 60,76</b>

## 2.5. OBJETIVOS E VANTAGENS

Os principais objetivos e vantagens deste projeto são:

- desenvolver um dispositivo que tenha uma aplicação no ramo da indústria;
- redução no custo na aquisição dos componentes convencionais;
- reduzir custos na aquisição de “soluções prontas”;

- reduzir o valor do custo hora-homem na montagem de painéis de comando;
- redução do espaço utilizado nos painéis, tornando os painéis mais “enxutos”;
- minimizando o número de componentes, reduz o tempo de manutenção em caso de problemas;
- manter a acessibilidade e integração dos componentes do painel de comando quando da automação do processo.

### 3. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na simulação do circuito microcontrolado para a partida de motores elétricos industriais, o próximo passo será a sua confecção. Com a confecção deste produto, temos a certeza de que se poderá realizar com maior rapidez e eficácia a montagem de painéis de acionamento de motores, tanto com sistemas em partida direta, como em estrela-triângulo.

Um CLP capaz de realizar a partida de dois motores, um motor em sistema estrela-triângulo e outro em partida direta, tem um valor muito superior ao valor mencionado do dispositivo. Um CLP bastante compacto é o LOGO, da fabricante SIEMENS, que possui 8 entradas e 4 saídas, suficiente para esta função tem um valor aproximado de R\$350,00 no endereço eletrônico de vendas MERCADO LIVRE, com frete pago pelo cliente. No site da NARDINI, podemos comprar o mesmo CLP por R\$671,00, também com frete pago pelo cliente. Em ambos os casos, deve-se adquirir um módulo de expansão de saídas, que possui um valor aproximado de R\$350,00. Ou seja, um CLP com a mesma capacidade do equipamento aqui desenvolvido possui um valor entre R\$700,00 e R\$1.021,00.

Na confecção deste dispositivo de acionamento de motores elétricos industriais, temos a noção de que o produto tem potencial para entrar no mercado, pois:

- Na comparação da aplicação desse dispositivo, com a forma convencional de montar painéis elétricos, a vantagem se mostra evidente na minimização do custo hora-homem e de materiais elétricos necessários;
- E na comparação com os CLP's, além de ser muito similar aos utilizados para realizar a mesma função, o grande atrativo desse dispositivo é o valor comercial ser muito inferior, entre 5 e 6 vezes menor.

Não existe a ambição de substituir o CLP como um todo, a viabilidade deste dispositivo é, quando da simplicidade da aplicação, podermos utilizar um solução mais econômica. A similaridade com o CLP é grande, em termos de ligações elétricas, logo não terá problemas de adaptação dos profissionais da área. Quando necessário for a automação do processo, o dispositivo poderá ser utilizado em conjunto com o CLP sem grandes problemas de adaptação ou conversão de sinais.

Como trabalho futuro, a próxima etapa consiste na elaboração de uma placa de circuito impresso do produto supracitado, e a realização de testes de campo. Uma vez que, os resultados obtidos na simulação do software desenvolvido atenderam às expectativas.

### REFERÊNCIAS

CABRAL, S.C.B., MÜHLEN, S.S., **Interferência Eletromagnética em Equipamentos Eletrodomésticos Ocasionalada por Telefonia Celular**, Dissertação (Mestrado). São Paulo: Unicamp, 2001.

MERCADO LIVRE, **Mercado Livre**. Disponível em: <<http://www.mercadolivre.com.br>> Acesso em: 25 jul 2009.

MICROCHIP, **PIC16F877XA Data Sheet**, Arizona, 2003.

NARDINI, **Nardini**. Disponível em: <<http://www.nardinielettrica.com.br>> Acesso em: 25 jul 2009.

ORDONEZ, Edward D. M., Et alli, **Microcontroladores e FPGAs – Aplicações em Automação**, 1ed. São Paulo: Novatec, 2005.