

---

---

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro Engenharia Elétrica e Informática - CEEI  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

---

---

Automação dos Experimentos do Laboratório  
de Instalações Elétricas

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: Diego Santos Oliveira

Orientador: Max Gleison Gonçalves Neri

Campina Grande – PB  
Novembro de 2006



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

# Automação dos Experimentos do Laboratório de Instalações Elétricas

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.*

---

Diego Santos Oliveira  
Aluno

---

Max Gleison Gonçalves Neri  
Orientador

Campina Grande – PB  
Novembro de 2006

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
1.1 Mercado atual	5
1.2 Automação industrial	5
1.3 Objetivo	6
1.4 Motivação do trabalho	7
<b>2. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS</b>	<b>7</b>
2.1 Histórico	7
2.2 Introdução	7
2.3 Gerações dos CLPs	8
2.4 Vantagens do uso do CLP	9
2.5 Princípio de funcionamento	10
2.6 Classificação dos CLPs	11
2.7 Interface homem-máquina	12
<b>3. INTRODUÇÃO A PROGRAMAÇÃO</b>	<b>13</b>
3.1 Lógica matemática e binária	13
3.2 Programação por linguagem de sinais (Ladder)	14
<b>4. CONTROLADOR CLIC 02 - WEG</b>	<b>17</b>
4.1 Características	17
4.2 Vantagens	17
4.3 Programação	18
4.4 Aplicações	18
<b>5. AUTOMAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DO LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS</b>	<b>18</b>
5.1 Introdução	18
5.2 Tipos de Partida	19
5.2.1 Partida direta com reversão no sentido de rotação	20
5.2.2 Partida direta com dupla velocidade	21
5.2.3 Partida estrela-triângulo (temporizada)	21
5.2.4 Partida estrela-triângulo com reversão (temporizada)	22

5.2.5 Partida série-paralelo ( temporizada)	23
<b>6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO</b>	<b>24</b>
6.1 Projeto	24
6.2 Benefícios do projeto	25
6.3 Programação	25
6.4 Esquema elétrico	26
6.5 Princípio de funcionamento	27
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>28</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>29</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>30</b>
9.1 Programação em Ladder dos controles de acionamento	30
9.2 Configurações do temporizador	36
9.3 Cronograma das atividades	37

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 O mercado atual

A constante atualização da qual fazemos parte, movimenta e impulsiona o mercado mundial atualmente. Os profissionais buscam conhecimentos para se tornarem mais versáteis, adequando-se às necessidades das empresas, que por sua vez estão sempre almejando maior variedade e rapidez de produção para atender ao cliente, cada vez mais exigente.

As empresas estão se organizando para satisfazer o aumento de produtividade, flexibilidade e redução de custos. A partir deste ponto, surgiram as necessidades de os equipamentos se adaptarem rapidamente às mudanças de configurações para produzirem diversos modelos de produtos, com pequenas alterações entre si.

## 1.2 Automação industrial

O controle manual implica em se ter um operador presente ao processo, que produzirá alterações numa variável física por intermédio de um aparelho qualquer, de acordo com alguma regra de seu conhecimento.

No início da industrialização, os processos utilizavam o máximo de força da mão-de-obra. A produção era composta por etapas ou estágios, nos quais as pessoas desenvolviam sempre as mesmas funções, especializando-se em certa tarefa ou etapa do processo. O mesmo ocorria com as máquinas, que eram específicas para uma aplicação, o que impedia seu uso em outras etapas da produção mesmo que tivesse características muito parecidas.

Com o passar do tempo e a valorização do trabalhador, foi preciso fazer alterações nas máquinas e equipamentos, de forma a resguardar a mão-de-obra de algumas funções inadequadas à estrutura física do homem. A máquina passou a fazer o trabalho mais pesado e o homem a supervisioná-la.

Objetivando a garantia do controle de sistemas de produção, foram colocados sensores nas máquinas para monitorar e indicar as condições do processo. O controle passou a ser garantido com o acionamento de atuadores a partir do processamento das informações coletadas pelos sensores.

Automatizar um sistema tornou-se muito mais viável à medida que a eletrônica avançou e passou a dispor de circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas com sinais de entrada e gerar os respectivos sinais de saída. Com este avanço, o controlador, os sensores e os atuadores passaram a funcionar em conjunto, transformando o processo em um sistema automatizado, onde o próprio controlador toma decisões em função de vários sinais de entrada combinados logicamente, proporcionando o acionamento de diversas saídas. Toda essa evolução nos levou a sistemas compactos, com alta capacidade de controle.

Uma outra etapa importante deste crescimento tecnológico é que toda a lógica de acionamento pode ser desenvolvida através de software, que determina ao controlador a seqüência de acionamento a ser realizada. Este tipo de alteração da lógica de controle caracteriza um sistema flexível. Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) são equipamentos elétricos de controle que atuam a partir desta filosofia.

### **1.3 Objetivo**

O objetivo do trabalho será automatizar os sistemas de controle dos principais experimentos (acionamento de motores) do Laboratório de Instalações Elétricas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), por intermédio de programações implementadas pelo microcontrolador CLIC 02 da WEG. Além disso, o trabalho poderá proporcionar ao graduando de Engenharia Elétrica, uma maior interação entre as duas principais ênfases do curso: Controle e Automação aplicados a Eletrotécnica.

## **1.4 Motivação do trabalho**

O acionamento de motores elétricos a partir de um sistema de controle automatizado é comumente utilizado, tornando-se indispensável na grande maioria das indústrias. A realização de uma atividade experimental deste tipo, com uma base teórica bem fundamentada, enriquecerá ainda mais a bagagem de conhecimento que o estudante de Engenharia Elétrica vem trazendo desde o início do curso, minimizando o impacto sofrido quando do seu ingresso ao mercado de trabalho. Assim, este projeto de conclusão de curso adquire um elevado grau de importância, tornando-se estimulante e proveitosa a sua realização.

## **2. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLPs)**

### **2.1 Histórico**

Sob a liderança do engenheiro Richard Morley, foi produzido em 1968 dentro da indústria automobilística americana *Hydronic Divison*, da *General Motors*, o Controlador Lógico Programável (CLP). Este controlador foi desenvolvido em função da grande dificuldade em se mudar a lógica de controle de painéis de comando a cada mudança na linha de montagem, implicando em altos gastos de tempo e dinheiro. Nascia assim um equipamento versátil e de fácil utilização, que vem se aprimorando constantemente e diversificando cada vez mais os setores industriais com suas aplicações.

### **2.2 Introdução**

Os CLPs são equipamentos eletrônicos utilizados em sistemas de automação flexível. Essas ferramentas de trabalho são muito úteis e versáteis para aplicações em sistemas de acionamento e controle, por esta razão são utilizados em grande escala no mercado industrial, permitindo desenvolver e alterar facilmente a lógica



para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, adquire-se a possibilidade de associar diversos sinais de entrada para controlar uma série de atuadores ligados nos pontos de saída.

A NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) definiu, em 1978, um conceito para controladores programáveis como sendo: “Um pequeno aparelho eletrônico digital que usa uma memória programável para armazenamento interno de instruções, implementando as funções específicas, tais como: lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e operações aritméticas para controlar máquinas ou processos através de módulos de entradas/saídas analógicos ou digitais”.

Os primeiros controladores possuíam baixa capacidade de processamento e isto restringia suas aplicações a algumas máquinas. Com a introdução da tecnologia de microprocessadores, os controladores passaram a ter uma grande capacidade de processamento e alta flexibilidade de programação e expansão, além da possibilidade de operar com números, comunicação com computadores, aquisição e manipulação de dados e aumento de memória.

Atualmente, existem vários tipos de controladores, desde pequena capacidade até os mais sofisticados, realizando operações que antes eram consideradas específicas para computadores.

## **2.3 Gerações dos CLPs**

Os CLPs podem ser divididos historicamente de acordo com o sistema de programação por ele utilizado:

1a. Geração: Os CLPs de primeira geração se caracterizam pela programação intimamente ligada ao hardware do equipamento. A linguagem utilizada era o *Assembly*, que variava de acordo com o processador utilizado no projeto do CLP.

2a. Geração: Neste momento, surgem as primeiras linguagens de programação não tão dependentes do hardware do equipamento, possíveis pela inclusão de um programa de monitoração no CLP, o qual converte as instruções do programa, verifica o estado das entradas, compara com as instruções do programa do usuário e altera os estados das saídas.

3a. Geração: Os CLPs passam a ter uma entrada de programação, onde um teclado ou programador portátil é conectado, podendo alterar, apagar, gravar o programa do usuário, além de realizar testes (*debug*) no equipamento e no programa.

4a. Geração: Com a popularização e a diminuição dos preços dos microcomputadores (normalmente clones do IBM PC), foram incluídas aos CLPs entradas para a comunicação serial, onde sua programação passou a ser realizada.

5a. Geração: Atualmente, existe uma preocupação em padronizar protocolos de comunicação para os CLPs de modo a proporcionar que equipamentos de fabricantes diferentes possam se comunicar. Isto promove uma integração a fim de facilitar a automação, gerenciamento e desenvolvimento de plantas industriais mais flexíveis e normalizadas, fruto da chamada globalização.

## **2.4 Vantagens de uso**

O objetivo inicial do projeto de desenvolvimento do primeiro controlador programável era eliminar o alto custo associado com os sistemas controlados a relés. No desenvolvimento do primeiro controlador programável, foram observadas algumas características que tornaram o sistema bem mais vantajoso, tais como:

- ✓ Permite a alteração de parâmetros e rapidez na elaboração de projetos de controle;
- ✓ Apresenta maior confiabilidade e flexibilidade;
- ✓ Ocupa pouco espaço;
- ✓ Requer menor potência elétrica;
- ✓ Podem ser reutilizados;
- ✓ Maior facilidade e rapidez na manutenção;
- ✓ Apresentam interface de comunicação com outros CLPs e computadores de controle e supervisão.

## 2.5 Princípio de funcionamento

A estrutura básica de um CLP pode ser dividida em três partes: entrada, processamento e saída. Esta estrutura é apresentada na Figura 1.

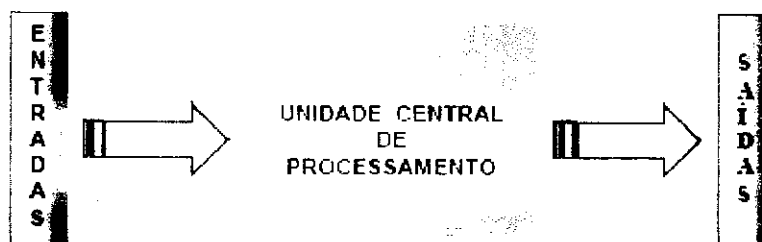


Figura 1 - Estrutura básica de um CLP

Os sinais de entrada e saída dos CLPs podem ser digitais ou analógicos, com diversos tipos de módulos que se adaptam às necessidades do sistema a ser controlado. Os módulos de entrada e saída são compostos de grupos de *bits* associados em um conjunto de 8 (*byte*) ou 16, de acordo com o tipo da unidade central de processamento. Assim, as entradas analógicas convertem um sinal analógico em um valor digital (conversor A/D), normalmente de 12 bits (4096 combinações); de maneira análoga, as saídas analógicas convertem um valor binário em um sinal analógico (conversor D/A).

Os sinais dos sensores são aplicados às entradas do controlador e a cada ciclo de varredura todos esses sinais são lidos e transferidos para a unidade de memória interna denominada memória imagem de entrada. Estes sinais são associados entre si e aos sinais internos. Ao término do ciclo de varredura, os resultados são transferidos à memória imagem de saída e então aplicados aos terminais de saída.

O CLP tem uma forma particular de trabalhar que caracteriza o seu funcionamento. O controlador opera executando uma seqüência de atividades definidas e controladas pelo programa desenvolvido por um programador.

Este modo de operação ocorre de acordo com o ciclo de varredura (ver Figura 2) que consiste em:

- ✓ Leitura das entradas externas;
- ✓ Execução da lógica programada;
- ✓ Atualização das saídas externas.

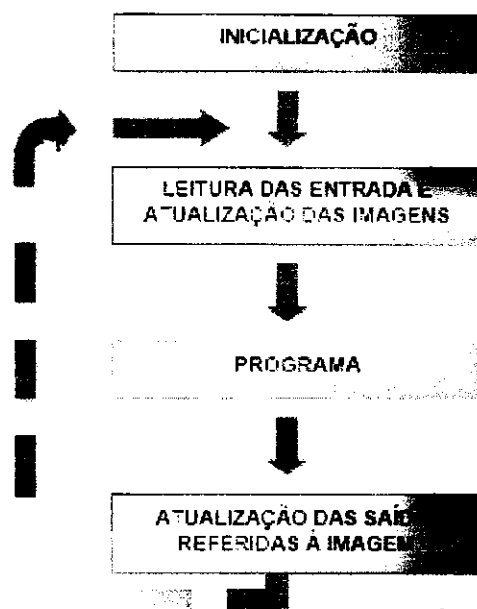


Figura 2 - Ciclo de Varredura de um CLP

## 2.6 Classificação dos CLPs

Com a popularização dos microcontroladores e a redução dos custos de desenvolvimento e produção, houve uma avalanche no mercado de tipos e modelos de CLPs, os quais pode-se dividir, quanto a capacidade de processamento, em:

Nano e Micro CLPs: pouca capacidade de entrada e saída (máximo de 16 pontos), normalmente apenas digitais, composto de um só módulo (ou placa), baixo custo e reduzida capacidade de memória (máximo de 512 passos).

CLPs de Médio Porte: capacidade de entrada/saída (E/S) de até 256 pontos, digitais e analógicas, podendo ser formado por um módulo básico que pode ser expandido, costumam permitir até 2048 passos de memória.

CLPs de Grande Porte: caracterizam-se por uma construção modular, constituída de uma fonte de alimentação, unidade central de processamento (UCP) principal, UCP's auxiliares, UCP's dedicadas, módulos de E/S digitais e analógicos, módulos de E/S especializados (permitindo a utilização de até 4096 pontos), módulos de redes locais ou remotas que são agrupados de acordo com a necessidade e complexidade da automação.

## 2.7 Interface homem-máquina

Com a grande difusão do CLP nesta última década, surgiram também novas necessidades do usuário, como a possibilidade de modificar certos parâmetros (ajuste de um temporizador, controle de temperatura ou indicação de uma nova velocidade para um servo-motor) dentro de um programa, sem a necessidade de conectar-se a um computador para realização desta tarefa. Diante desta necessidade, surgiram as chamadas interfaces homem-máquina, também conhecidas como IHM.

O princípio de funcionamento das IHM consiste em pré-programar mensagens, onde cada uma possui um endereço de memória. Esses endereços serão utilizados nas lógicas para designar os momentos que estas mensagens devem ser apresentadas na IHM.

As teclas de função podem funcionar como botões de comando para acionar qualquer elemento no CLP. A cada tecla, assim como nas mensagens, é atribuído um endereço de memória do CLP.

Ao acionar uma tecla da IHM é possível “setar” um *bit* que poderá ser utilizado pelo programa do CLP, como uma saída que liga um motor de uma bomba ou uma lâmpada de sinalização. Tal possibilidade é muito vantajosa, pois além de eliminar a necessidade de se ter um painel convencional de grandes dimensões, com botões e lâmpadas de controle, é possível enviar mensagens para um mostrador que poderão auxiliar no processo.

## 3. INTRODUÇÃO A PROGRAMAÇÃO

### 3.1 Lógica e matemática binária

A lógica matemática ou simbólica visa superar as dificuldades e ambigüidades observadas em qualquer língua, devido à natureza vaga das palavras usadas e do estilo metafórico que poderia atrapalhar o rigor lógico do raciocínio. Para evitar essas dificuldades, criou-se uma linguagem lógica artificial chamada de binária.

A lógica binária possui apenas dois valores, representados por 0 e 1 e, a partir desses dois símbolos, é construída uma base numérica. Dessa forma, foram criadas as portas lógicas, que são circuitos utilizados para combinar níveis lógicos digitais de formas específicas. A importância das portas lógicas está no fato de representarem os elementos básicos de construção da maioria dos circuitos digitais práticos. Quando se deseja construir um circuito lógico (ou digital) relativamente simples, usa-se uma placa de circuito impresso com soquetes sobre os quais insere-se um circuito integrado (CI) digital.

As principais funções lógicas são a AND, NOT e OR. As saídas mais simples, com o menor número possível de entradas que possam caracterizar essas três funções, estão expressas nas chamadas “Tabelas Verdade”, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- “Tabelas verdade” referentes às funções lógicas NOT, AND e OR

Função Lógica NOT	
I	Q
0	1
1	0

Função Lógica AND		
I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Função Lógica OR		
I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub>
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabela verdade ou tabela de verdade são um tipo de tabela matemática usada em lógica para determinar se uma expressão é verdadeira e válida. Estas Tabelas derivam do trabalho de Gottlob Frege, Charles Peirce e outros da década de 1880, e tomaram a forma atual em 1922 através dos trabalhos de Emil Post e Ludwig Wittgenstein. A publicação de Tractatus Logico-Philosophicus, de Wittgenstein, utilizava delas para classificar funções verdades em uma série. A vasta influência de seu trabalho levou, então, a difusão do uso de tabelas verdades.


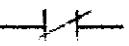

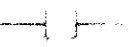
### 3.2 Programação por linguagens de sinais (Ladder)

Como qualquer computador, o processador do CLP opera com uma série de instruções e dados codificados em forma de números binários; esse código é conhecido como código-objeto. Porém, a programação diretamente em código-objeto é inadequada devido à dificuldade em lembrar a instrução que cada número representa, além de haver uma grande possibilidade de errar ao digitar-se um programa constituído por números e muita dificuldade para encontrar os erros caso o programa não execute as ações desejadas.

Por essa razão, nasceram as linguagens de programação, que permitem ao programador editar o programa utilizando sentenças e estruturas escritas em forma bem mais próxima da sua linguagem cotidiana e que representam melhor a ação a ser executada. Uma das principais linguagens de programação utilizadas em CLPs é a linguagem de contatos ou simplesmente Ladder, que é similar à linguagem de diagramas lógicos de acionamento.

A linguagem Ladder permite que se desenvolvam lógicas combinacionais, seqüenciais e circuitos que envolvam ambas, utilizando como operadores para estas lógicas: entradas, saídas, estados auxiliares e registros numéricos. A estrutura básica da linguagem Ladder é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Os três principais símbolos da programação Ladder.

Tipo	Símbolo	Equipamento elétrico
Contato aberto		
Contato fechado		
Saída		

Para o melhor entendimento da linguagem, considere um exemplo bem simples: o acionamento de uma lâmpada L a partir do botão liga/desliga B1. A Figura 3 apresenta, para este exemplo, o esquema elétrico tradicional, o programa em Ladder e como seriam as ligações no CLP.

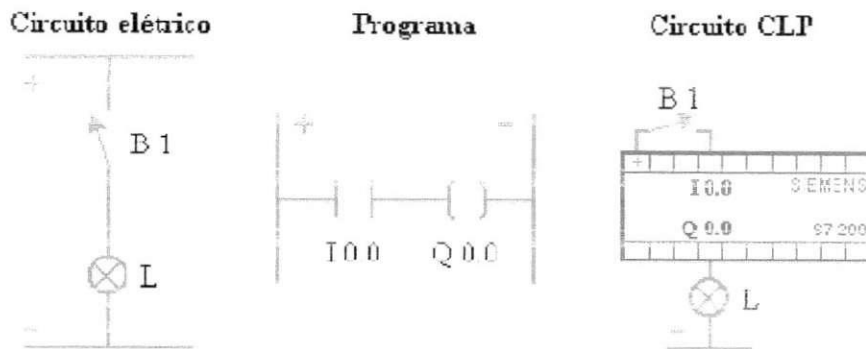


Figura 3 – Representações para o acionamento de uma lâmpada

Caso a intenção fosse de apagar a lâmpada com o acionamento de B1, trocar-se-ia o contato normal aberto por um contato normal fechado, o que representa a função NOT.

Seguindo este mesmo raciocínio, é possível desenvolver programas para CLPs que correspondam a operações lógicas combinacionais básicas da álgebra de Boole, como as operações AND e OR.

Na área elétrica, a operação AND corresponde à associação em série de contatos, como indicado na Figura 4.

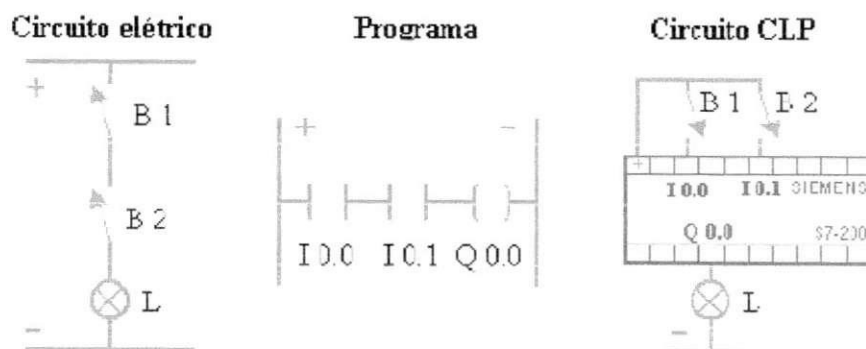


Figura 4 – Representações para a função lógica AND

A operação lógica OR corresponde à associação em paralelo de contatos. De maneira análoga a operação AND, obtém-se os esquemas apresentados na Figura 5.



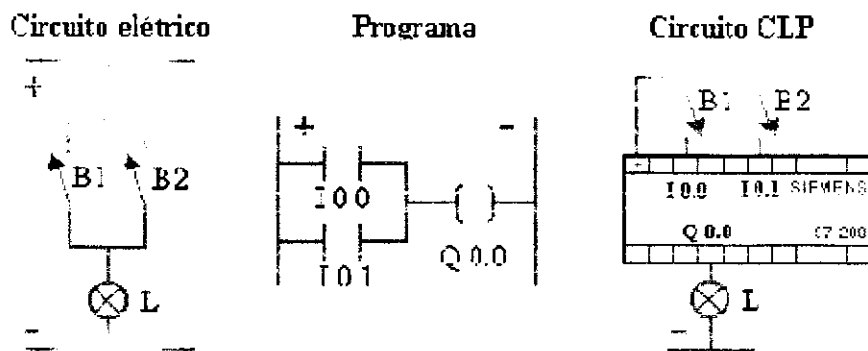


Figura 5 – Representações para a função lógica OR

Após uma série de estudos, foi esclarecido que todas as funções lógicas combinacionais poderiam ser desenvolvidas em programação e executadas por CLPs, uma vez que todas derivam dos básicos: NOT, AND e OR. A Tabela 3 apresenta a simbologia das três principais portas lógicas, suas referentes expressões booleanas e as programações em Ladder.

Tabela 3 – Representações das funções lógicas NOT, AND e OR

Portas Lógicas	Simbolo	Expressão	Ladder
NOT		$S = \bar{A}$	
AND		$S = A \cdot B$	
OR		$S = A + B$	

Além da linguagem Ladder, existem outras formas de programação em função do fabricante. Isto possibilita a execução de projetos de automação e controle envolvendo CLPs, reduzindo o trabalho de desenvolvimento de hardware dos circuitos lógicos do acionamento, bem como os dispositivos de potência para acionamento de cargas e dos atuadores, uma vez que pode-se escolher módulos de saída já prontos, adequados ao tipo de carga que desejamos acionar.

A utilização desses controladores contempla alguns passos genéricos:

- ✓ Definição da função lógica a ser programada;
- ✓ Transformação desta função em programa assimilável pelo CLP;
- ✓ Implementação física do controlador e de suas interfaces com o processo.

## **4. CONTROLADOR CLIC 02 - WEG**

### **4.1 Características**

Os microcontroladores programáveis linha Clic 02 - WEG caracterizam-se pelo seu tamanho compacto, fácil programação e excelente custo-benefício. O Clic 02 possui muitos recursos de software e hardware, atendendo uma gama diversificada de aplicações. Este controlador possui configuração de até quarenta e quatro pontos de entradas e saídas, utilizando até três unidades de expansão. Possui uma tela LCD embutida e 8 teclas para a entrada do programa Ladder.

### **4.2 Vantagens de uso**

O uso do controlador Clic 02-WEG apresenta algumas vantagens, tais como:

- ✓ Flexibilidade devido a sua capacidade de expansão;
- ✓ Interface amigável oferecendo fácil programação;
- ✓ Visualizações de mensagens e alterações de parâmetros pela rede;
- ✓ Software de programação que permite editar, monitorar e simular, além de criar toda documentação do programa.

### **4.3 Programação**

Duas linguagens de programação são suportadas pelo Clic 02: Ladder (LAD) e *Function Block Diagram* (FBD). Devido a maior simplicidade de entendimento e clareza de programação, a linguagem escolhida para o desenvolvimento das programações neste trabalho foi a Ladder, cujas características estão apresentadas no item 3.2..

### **4.4 Aplicações**

Por ser prático e versátil o Clic 02 possui inúmeras aplicações das quais é possível citar:

- ✓ Acionamento de motores elétricos;
- ✓ Sistemas de energia;
- ✓ Sistemas de refrigeração e ar condicionado;
- ✓ Sistemas de ventilação e escadas rolantes;
- ✓ Sistemas de transporte;
- ✓ Comando de bombas e compressores;
- ✓ Sistemas de alarme;
- ✓ Sistemas de irrigação;
- ✓ Sistemas de automação para pequenas máquinas;
- ✓ Automação predial.

## **5. AUTOMAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DO LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

### **5.1 Introdução**

Os conceitos apresentados sobre o princípio de funcionamento de um CLP, bem como as operações lógicas da programação Ladder, serão utilizados agora para a automação do controle dos principais acionamentos de motores elétricos contidos

a automação do controle dos principais acionamentos de motores elétricos contidos na apostila do Laboratório de Instalações Elétricas da UFCG.

Para a garantia do correto do funcionamento do sistema, foi realizada uma simulação dos acionamentos por intermédio do software Clic 02 Edit, disponível no *site* da WEG ([www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)). Os esquemas de ligação dos motores e dos CLPs para cada tipo de partida serão apresentados adiante e as respectivas programações estarão ilustradas em anexo. Em todos os esquemas de ligação dos CLPs é utilizada uma botoeira (S0) em série com uma chave auxiliar do relé térmico que, quando acionados, desabilitam todo o circuito.

## 5.2 Tipos de Partida

Sempre que se estuda o acionamento de um motor elétrico deve-se levar em consideração alguns fatores (principalmente a sua potência) para a definição de qual tipo de partida será utilizado. Em casos que a potência do motor for inferior a 3CV para sistemas monofásicos e 10CV para sistemas trifásicos pode-se utilizar da **partida direta** sem que ocorra maiores complicações.

O manual de motores elétricos da WEG apresenta algumas conseqüências que podem ocorrer nos casos que em que a corrente de partida do motor é elevada, como exemplo:

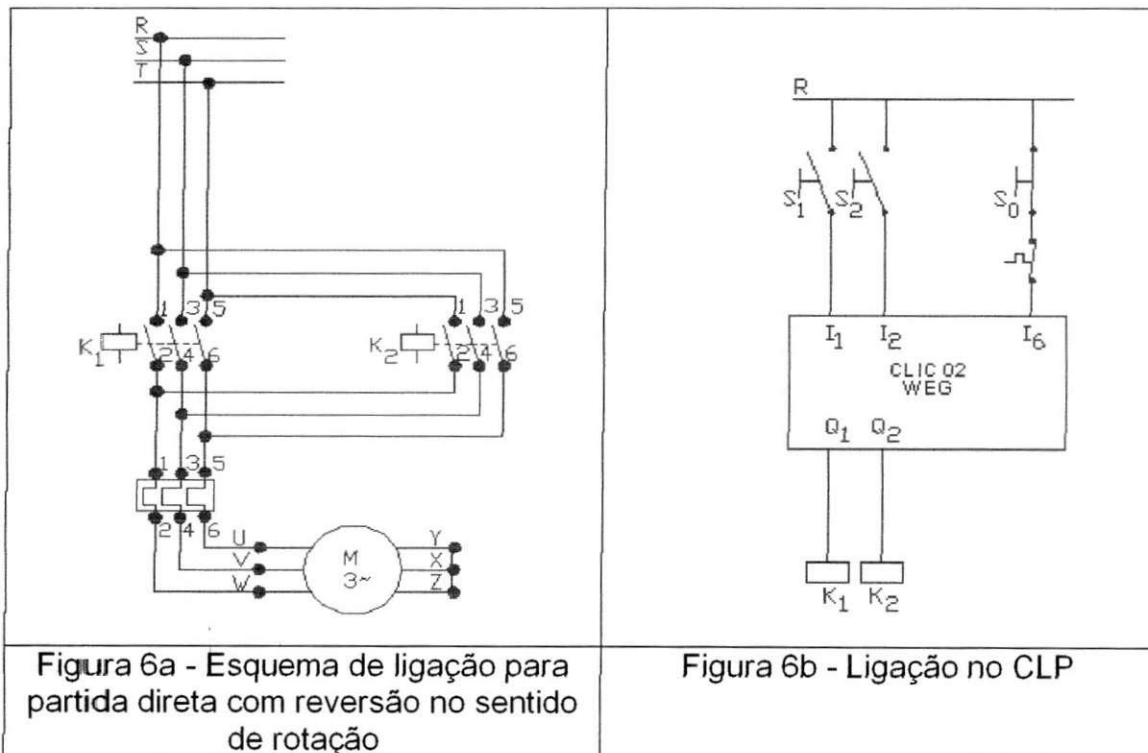
- ✓ Elevada queda de tensão no sistema de alimentação da rede podendo provocar a interferência em equipamentos instalados no sistema,
- ✓ Super-dimensionamento do sistema de proteção, cabos e contadores, ocasionando um elevado custo;
- ✓ Multa, por parte das concessionárias de energia elétrica, por infringir o limite de queda de tensão da rede.

Caso a partida direta não seja possível devido a algum dos inconvenientes citados pode-se usar da partida indireta, reduzindo a corrente de partida, por intermédio de:

- chave estrela-triângulo;
- chave compensadora;
- chave série-paralelo;
- partida eletrônica (*soft-starter*).

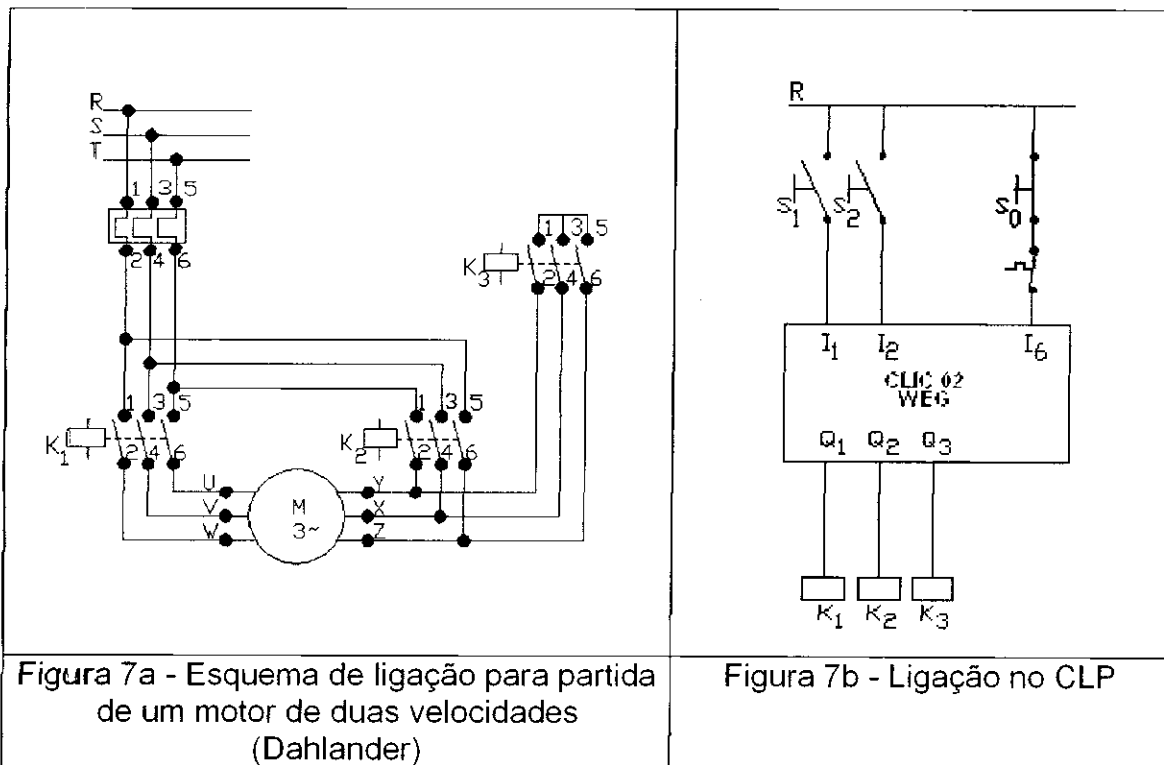
### 5.2.1 Partida direta com reversão no sentido de rotação

Um motor de indução trifásico poderá ser acionado no sentido horário ou anti-horário, dependendo do sentido do campo girante no estator, influenciado pela seqüência de fases. Assim, para alterar o sentido de rotação, é necessário inverter qualquer par de conexões entre o motor e a fonte elétrica (ver Figura 6a). A reversão no sentido de rotação de um motor é bastante utilizada nas indústrias quando se é necessário, por exemplo, movimentar algum equipamento ou máquina em mais de uma direção. O esquema de ligação no CLP para o circuito de comando é apresentado na Figura 6b.



### 5.2.2 Partida direta com dupla velocidade

Existe a possibilidade de se combinar enrolamentos com qualquer número de pólos em um motor trifásico, porém com uma limitação do dimensionamento eletromagnético do núcleo (estator/rotor) e carcaça, geralmente bem maior que o de velocidade única. O sistema mais comum que se apresenta é o denominado "Ligação-Dahlander", que tem seu esquema de ligação conforme apresentado na Figura 7a. Esta ligação implica numa relação de pólos de 1:2. No sistema de controle, a chave S1 terá função de energizar o contator K1 e a chave S2 os contatores K2 e K3, como apresentado na programação Ladder em anexo. Para isto, devem ser feitas as ligações no CLP de acordo com a Figura 7b.

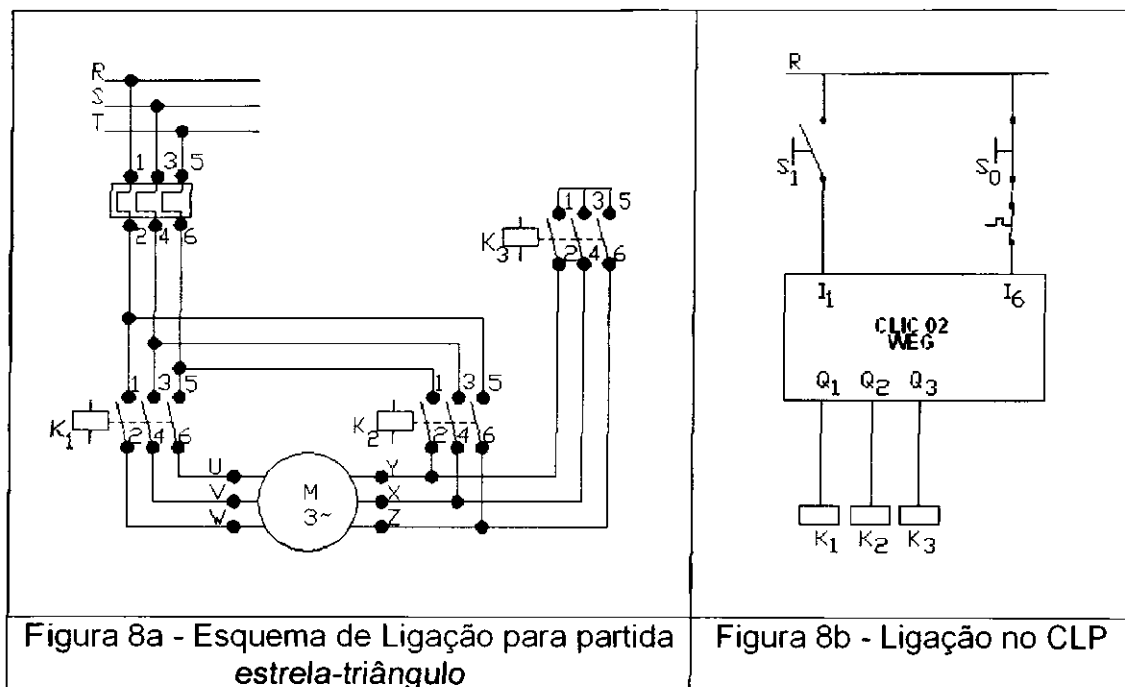


### 5.2.3 Partida estrela-triângulo (temporizada)

Na partida com chave estrela-triângulo, é necessário que o motor tenha a possibilidade de ligação em dupla tensão, ou seja, em 220/380V, 380/660V ou 440/760V. Os motores devem ter no mínimo 6 bornes de ligação (ver Figura 9a).

Este tipo de acionamento poderá ser utilizado quando a curva de conjugados do motor é suficientemente elevada para poder partir e garantir a aceleração da máquina com corrente reduzida. Na ligação estrela, o conjugado fica reduzido para 25% a 33% do conjugado de partida na ligação triângulo.

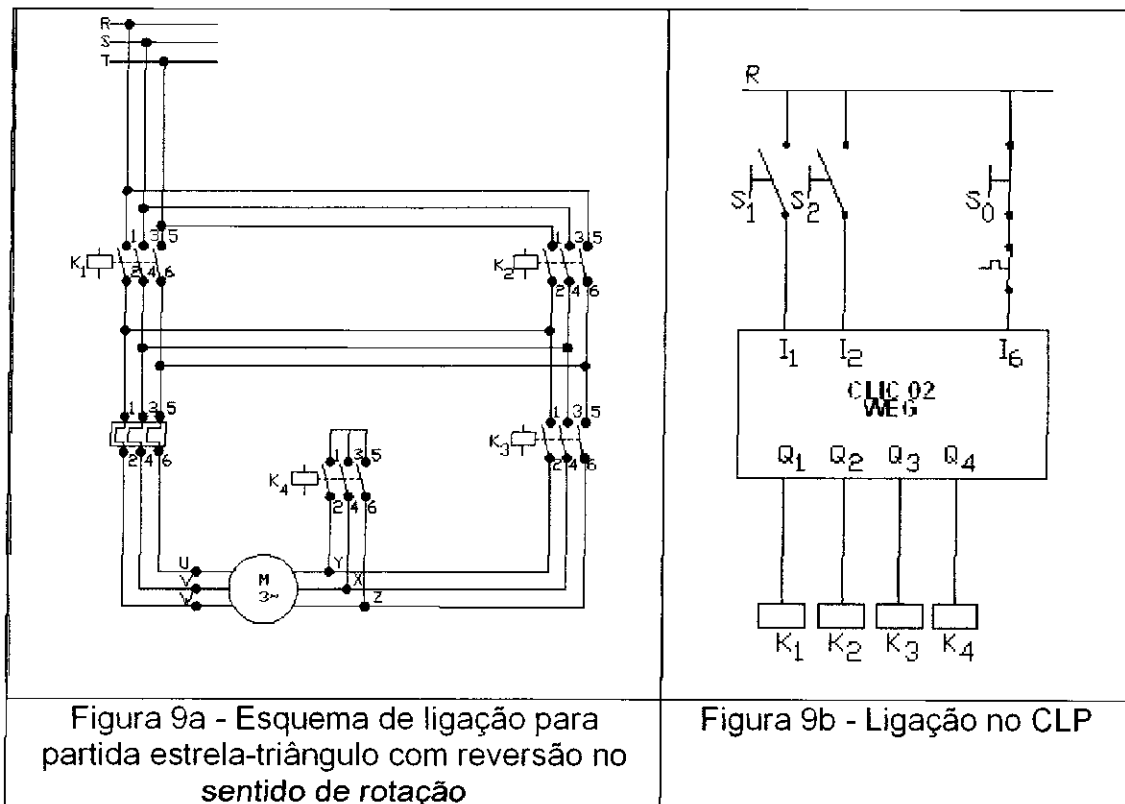
A partida estrela-triângulo de um motor trifásico é bastante utilizada, principalmente no setor industrial, entretanto o comando manual para a conversão do circuito de estrela em triângulo torna-se extremamente inviável na maioria das ocasiões. Para contornar esta situação, utiliza-se um temporizador que irá realizar a conversão do circuito para triângulo. Essa operação elimina a utilização de uma segunda botoeira de acionamento (ver Figura 8b). O esquema de ligação do motor está ao apresentado na Figura 8a.



#### 5.2.4 Partida estrela triângulo com reversão no sentido de rotação (temporizada)

Esse tipo de acionamento é praticamente a junção de dois outros circuitos anteriormente apresentados (partida estrela-triângulo e partida direta com reversão no sentido de rotação).

Pode-se fazer uma programação de tal maneira que, após alguns segundos do acionamento da botoeira S1, seja efetuada a passagem da configuração estrela para triângulo no circuito de força (Figura 9a). Em seguida, por intermédio da botoeira S2, é feita a reversão no sentido de rotação do eixo do motor. As ligações no CLP, para que seja realizado o circuito de comando, é apresentado na Figura 9b.



### 5.2.5 Partida série-paralelo (temporizada)

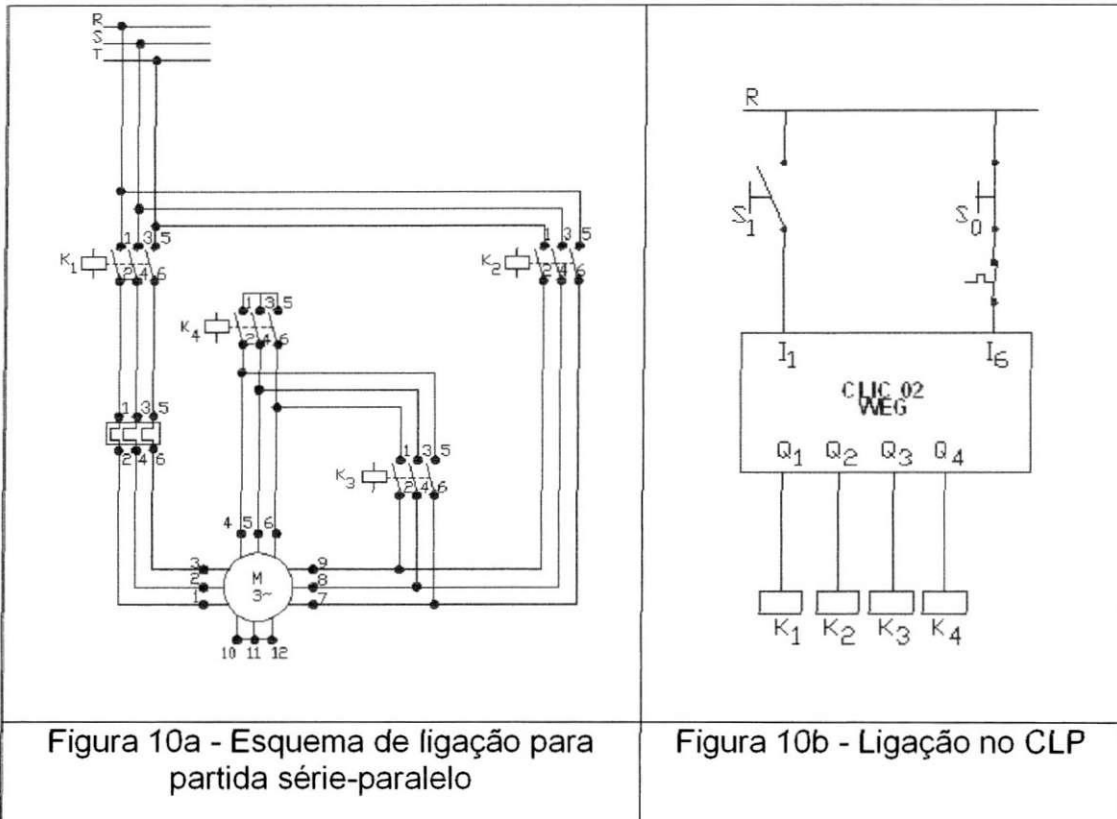
Para partida em série-paralelo é necessário que o motor seja acionável em duas ou mais tensões, a menor delas igual a da rede e a outra duas vezes maior. Este tipo de ligação exige no mínimo nove terminais no motor (ver Figura 10b). A tensão nominal mais comum é 220/440V.

Na partida série-paralelo, o pico de corrente é reduzido a 1/4 daquele com partida direta. Deve-se ter em mente que com este tipo de ligação, o conjugado de partida do motor também fica reduzido a 1/4 e, portanto, a máquina deve partir praticamente em vazio. Assim, durante a partida o motor é ligado na configuração série até atingir sua rotação nominal, em seguida faz-se a comutação para a



configuração paralelo.

Percebe-se, através da Figura 10a, que é necessário de apenas uma botoeira (S1) para a energização dos contatores e outra para o desligamento total do circuito (S0).



## 6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

### 6.1 Projeto

O projeto consiste na automação do sistema de controle de uma ponte rolante industrial, substituindo a funcionalidade de uma série de equipamentos elétricos como contatores, temporizadores e relés, através de uma programação apropriada e implementada pelo CLP Clic 02 - WEG. Conforme o apresentado na apostila de Tecnologia do Açúcar (utilizada na disciplina do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas), a ponte rolante é um equipamento indispensável

na locomoção de maquinários pesados (geralmente em períodos de manutenção) e sua estrutura consiste em um guincho ou garra, que tem o papel de suspender o equipamento, e um balanço, responsável pelos movimentos de translação e direção da ponte. Para a execução destes movimentos são utilizados seis motores: três com rotor bobinado, que permite a variação da velocidade do eixo de acordo com o chaveamento das resistências do rotor, e três motores de indução trifásicos, tipo gaiola de esquilo, funcionando como freios.

## 6.2 Benefícios

São verificados alguns benefícios com a implantação do projeto, podemos citar:

Aumento da confiabilidade: o sistema de controle a ser implantado substitui uma série de equipamentos, diminuindo o número de possíveis falhas e, conseqüentemente, de manutenções corretivas;

Praticidade do sistema: o sistema de controle poderá ser mudado mais facilmente, basta alterar sua programação caso alguma necessidade vier a acontecer;

Facilidade de manutenção: a manutenção no sistema de controle ficará bem mais simples, já não será necessário fazê-la em uma série de equipamentos elétricos (contatores, relés temporizadores) visto que estes terão suas funções substituídas pela programação no CLP.

Diminuição dos riscos de acidente de trabalho: com as melhorias previstas, os riscos diminuem, já que o sistema será propício a um menor número de falhas, podendo-se ter um menor número de mão-de-obra inativa.

## 6.3 Programação do controlador

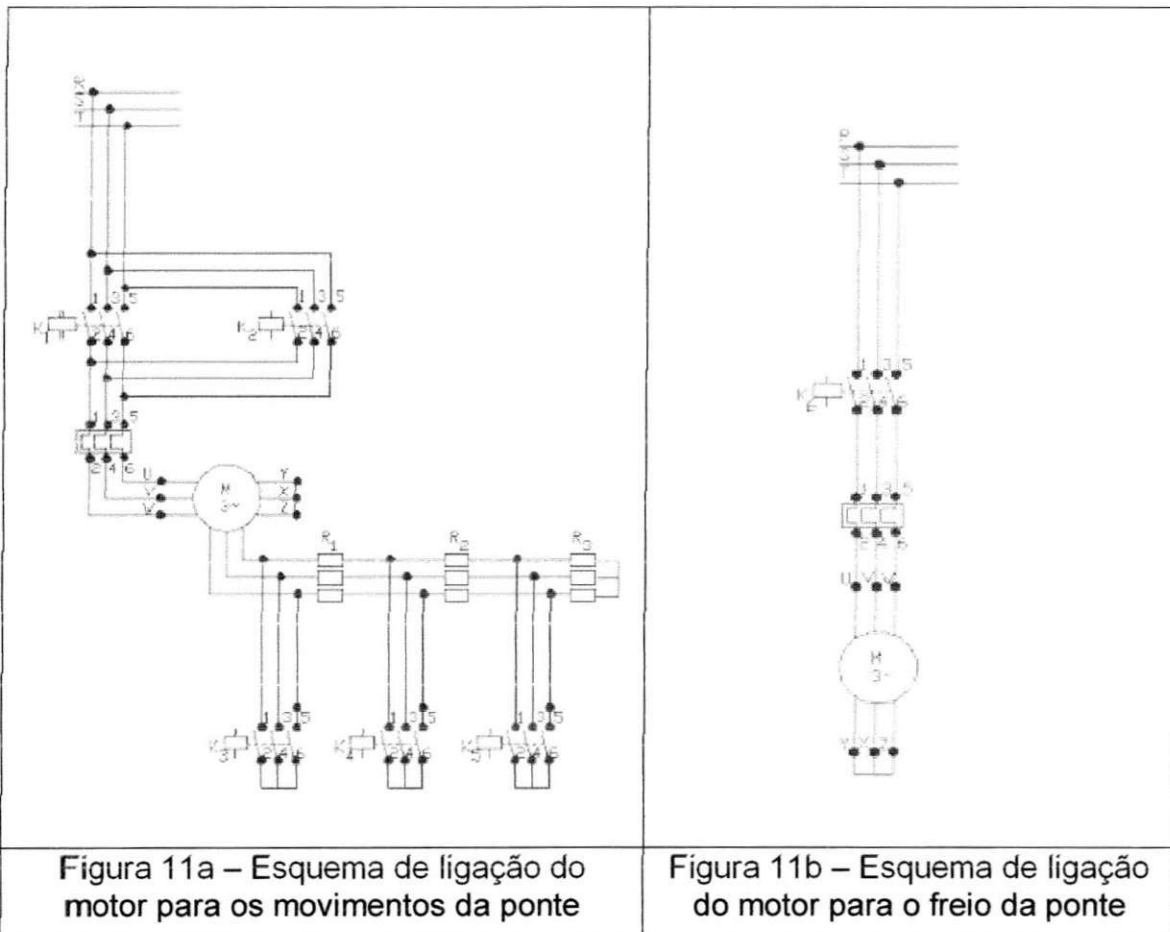
A programação (em anexo) imposta ao CLP foi a linguagem de sinais (Ladder), por ser simples e eficiente atendeu bem aos recursos exigidos pelo projeto.

Como o sistema possui o mesmo tipo de acionamento de motores (partida por rotor bobinado com reversão no sentido de rotação), a programação e o circuito

elétrico serão similares para os três movimentos possíveis da ponte: translação e direção do balanço e elevação/descida do guincho. Assim, será apresentado apenas um sistema que é aplicável aos três casos.

#### 6.4 Esquema elétrico

O esquema elétrico apresentado na figura 11a indica as ligações feitas em um motor trifásico com rotor bobinado e com a possibilidade de reversão no sentido de rotação do seu eixo. O motor do freio da ponte rolante é acionado através de uma partida direta, como mostra a figura 11b.



As ligações no CLP para o funcionamento da ponte rolante estão apresentadas na Figura 12.

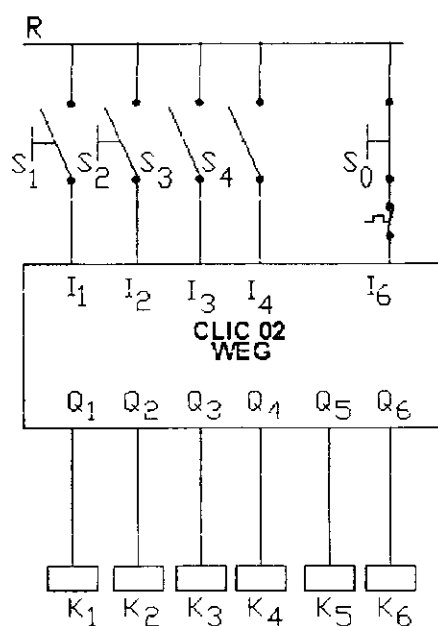


Figura12 – Esquema de ligação no CLP para controle da ponte rolante

As chaves de entrada (S0 a S4) ativam ou desativam as entradas (I0 a I4) do CLP. As saídas Q1 a Q5 acionam o motor em um determinado sentido, além de variar sua velocidade (como será apresentado no princípio de funcionamento). Já a saída Q6 tem a função de energizar o contator K6, referente ao motor do freio da ponte rolante.

## 6.5 Princípio de funcionamento

Sucintamente, o princípio de funcionamento do controle da ponte rolante pode ser descrito da seguinte forma: quando o botão S1 for pressionado, será habilitada a entrada I1 do controlador, que por sua vez irá energizar o contator referente à saída Q1, proporcionando a rotação do eixo do motor. Caso o botão S2 for pressionado, liberando-se S2, o contator referente à saída Q2 será energizado, invertendo o sentido de rotação do eixo. Essas operações possibilitam todos os movimentos da ponte, descritos anteriormente.

Caso as entradas (I1 ou I2) continuem energizadas, a cada cinco segundos (ver configuração do temporizador em anexo) serão ativadas as saídas Q5, Q4 e Q3, respectivamente, fazendo o chaveamento das resistências do rotor e, deste modo, aumentando a velocidade de rotação do eixo do motor.

No momento em que as chaves (ou botoeiras) S1 e S2 forem pressionadas, o contator do motor freio (K6) é acionado, liberando os movimentos da ponte.

As chaves S3 e S4 representam sensores de fim de curso (limitando o percurso da ponte rolante). Quando estes forem ativados, executarão a parada do balanço ou do guincho. Finalmente, a botoeira S0 (ligada em série com a chave auxiliar do relé térmico) representa a chave de emergência, impedindo qualquer movimento da ponte quando acionada.

É necessário ressaltar uma pequena diferença na programação do controle do guincho já que este é apenas limitado por uma chave fim de curso (sensor de altura máxima). Portanto, nesse controlador teremos apenas quatro entradas.

## **7. CONCLUSÃO**

Para a realização do trabalho, foi realizada uma vasta pesquisa bibliográfica acerca do assunto, ressaltando a importância da automação industrial em sistemas de potência, em especial, no acionamento de motores elétricos.

Com o objetivo de facilitar o entendimento das aplicações, foi demonstrado o princípio de funcionamento de um CLP e a estrutura básica da programação em Ladder

Os principais experimentos do Laboratório de Instalações Elétrica foram implementados com sucesso, como também, uma aplicação prática do uso do CLP, para controlar os motores de uma ponte rolante industrial.

A realização do trabalho foi de suma importância para sedimentação do conhecimento acerca do uso de CLPs. Assim, este trabalho poderá ser utilizado posteriormente como fonte de consulta para os alunos de graduação, que poderão ter um contato direto com o microcontrolador Cic 02 da WEG e com controle que pode ser realizado por ele.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Clic 02, Micro Controlador Programável, Manual WEG.**

<http://www.weg.com.br/index.htm>.

**Mamede Filho, João; Instalações Elétricas Industriais, 6ª edição. Editora LTC.**

**Natale, Ferdina; Automação Industrial. Editora Erica.**

**PAZOS, F. A Linguagem de Programação LADDER. Mecatrônica Atual nº 5 p29-37, 2002.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, Apostila de tecnologia do açúcar, Curso de Engenharia Química.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Apostila do laboratório de instalações elétricas.**

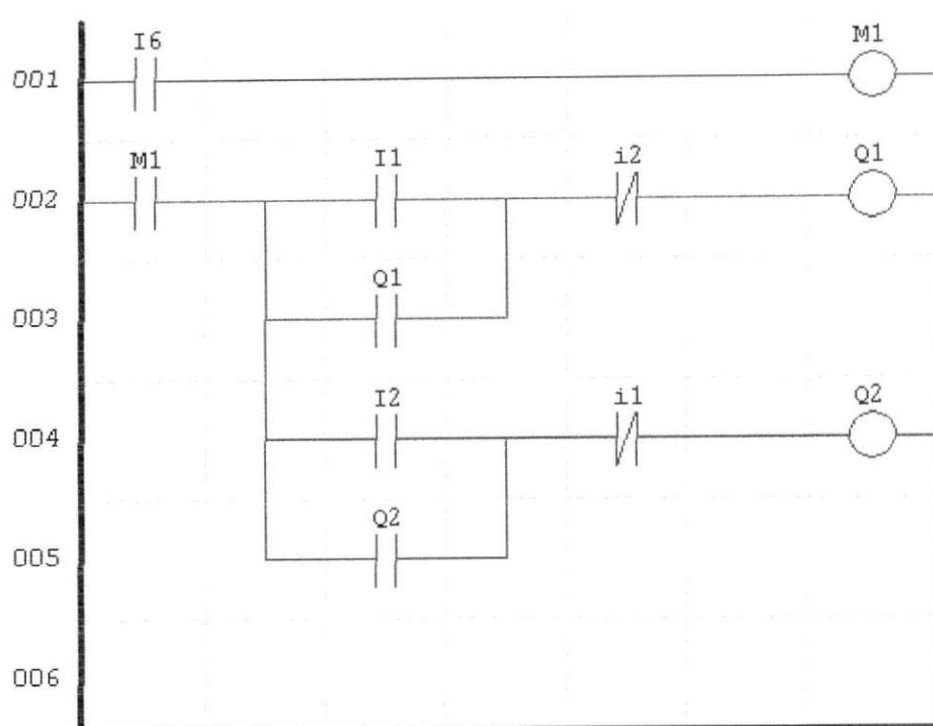
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Controladores Lógicos Programáveis, apostila do laboratório engenharia elétrica.**

**WEG, Catálogo Geral de Motores Elétricos. <http://www.weg.com.br>**

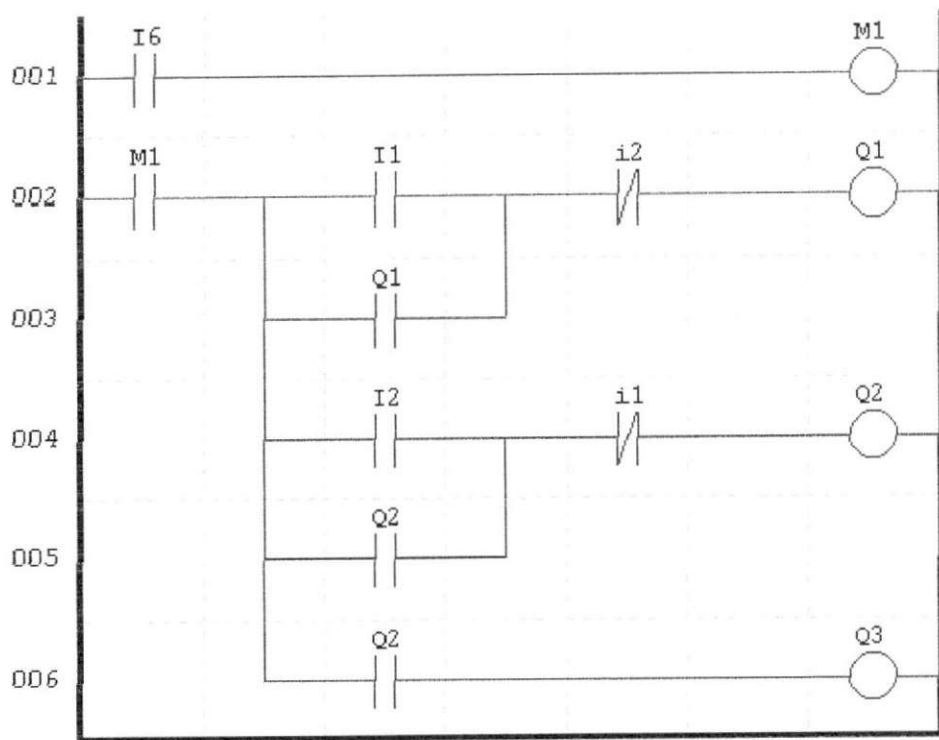
## 9. ANEXOS

### 9.1 - Programação em Ladder dos controles de acionamento

#### a) Partida direta com reversão no sentido de rotação

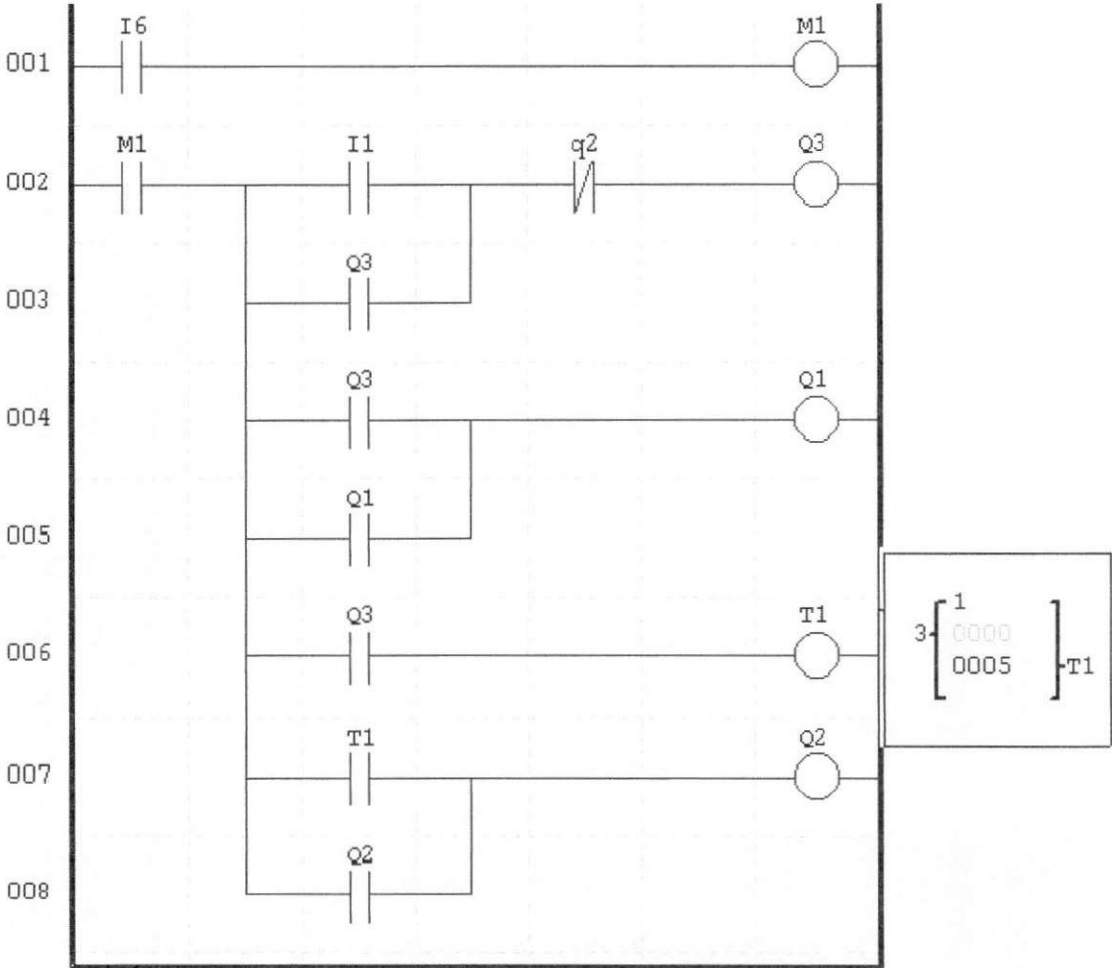


**b) Partida direta com dupla velocidade**

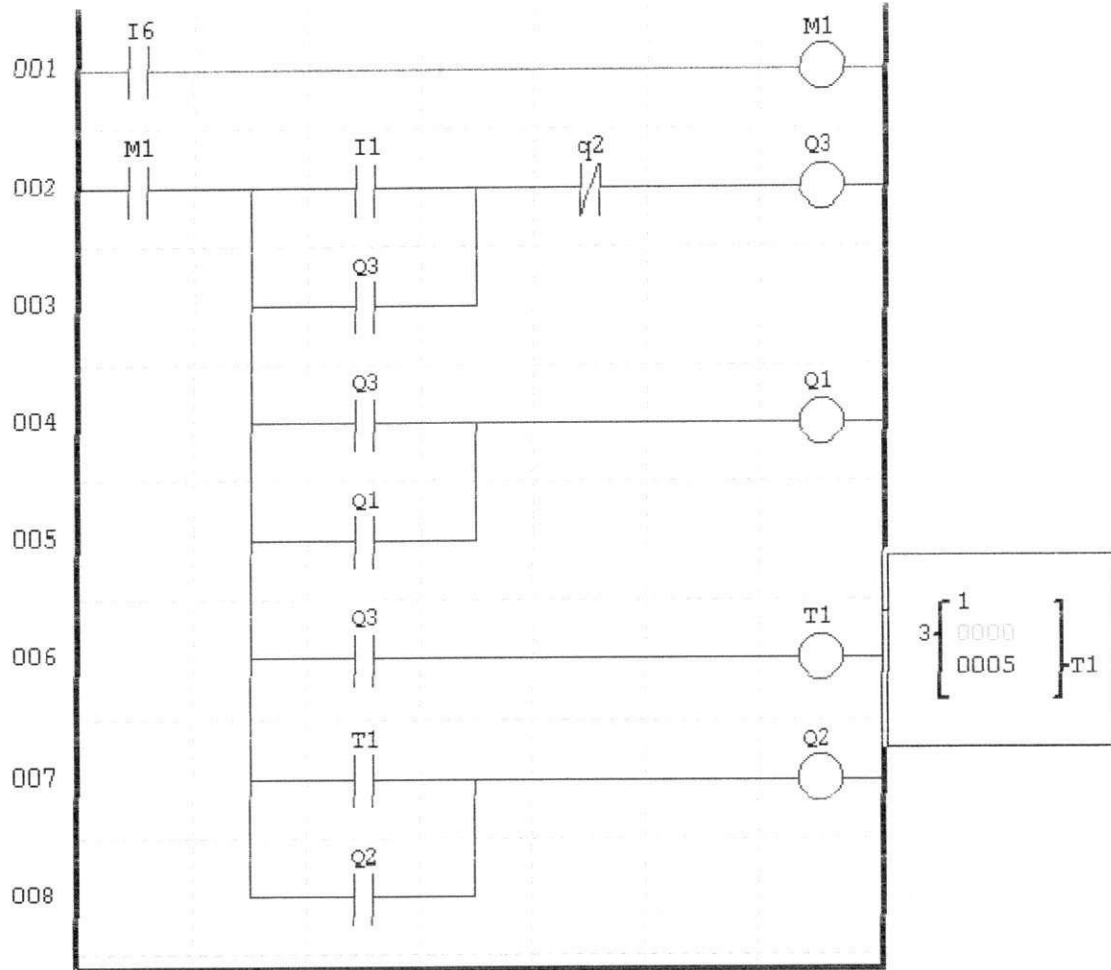




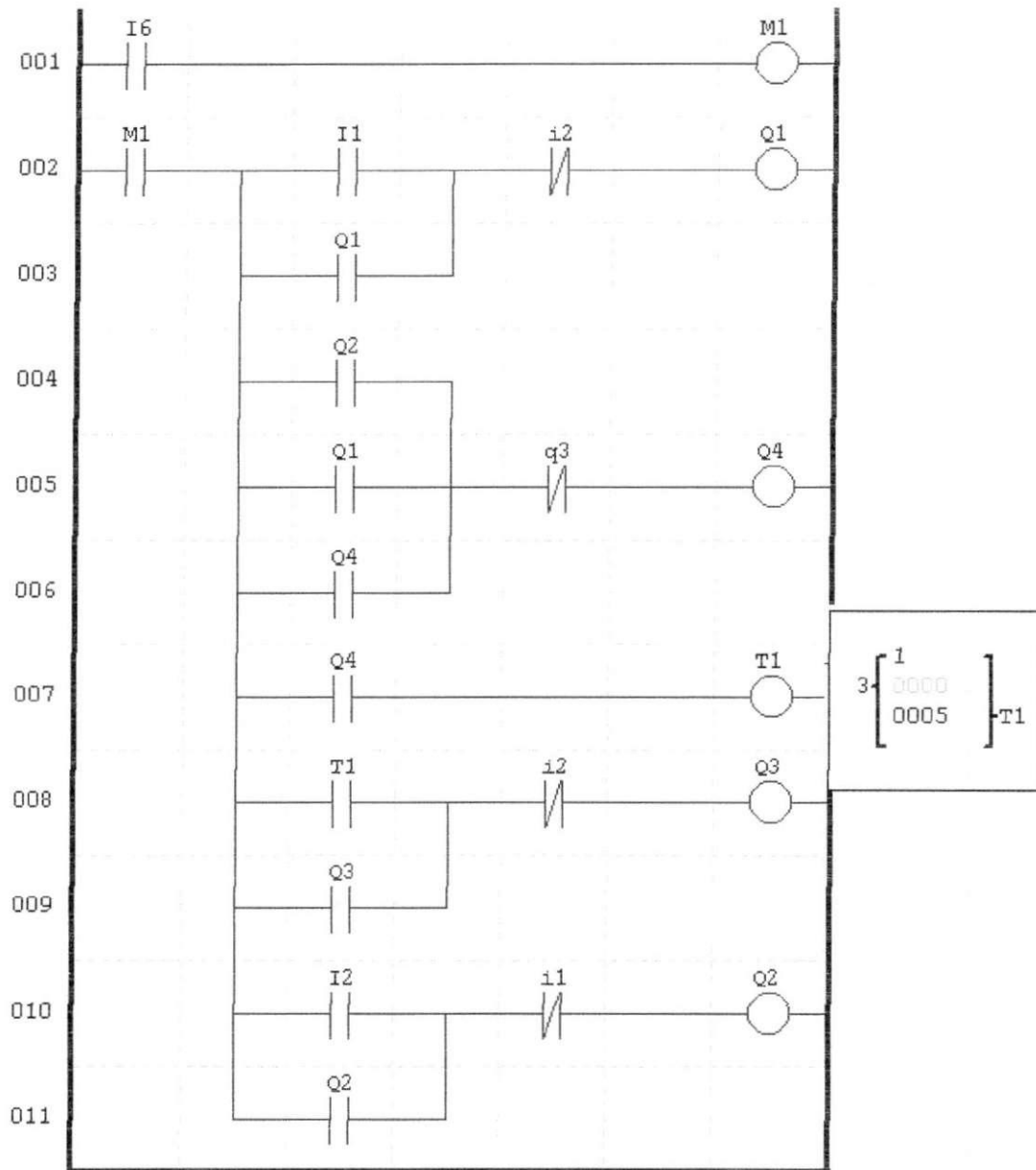
**c) Partida estrela-triângulo (temporizada)**



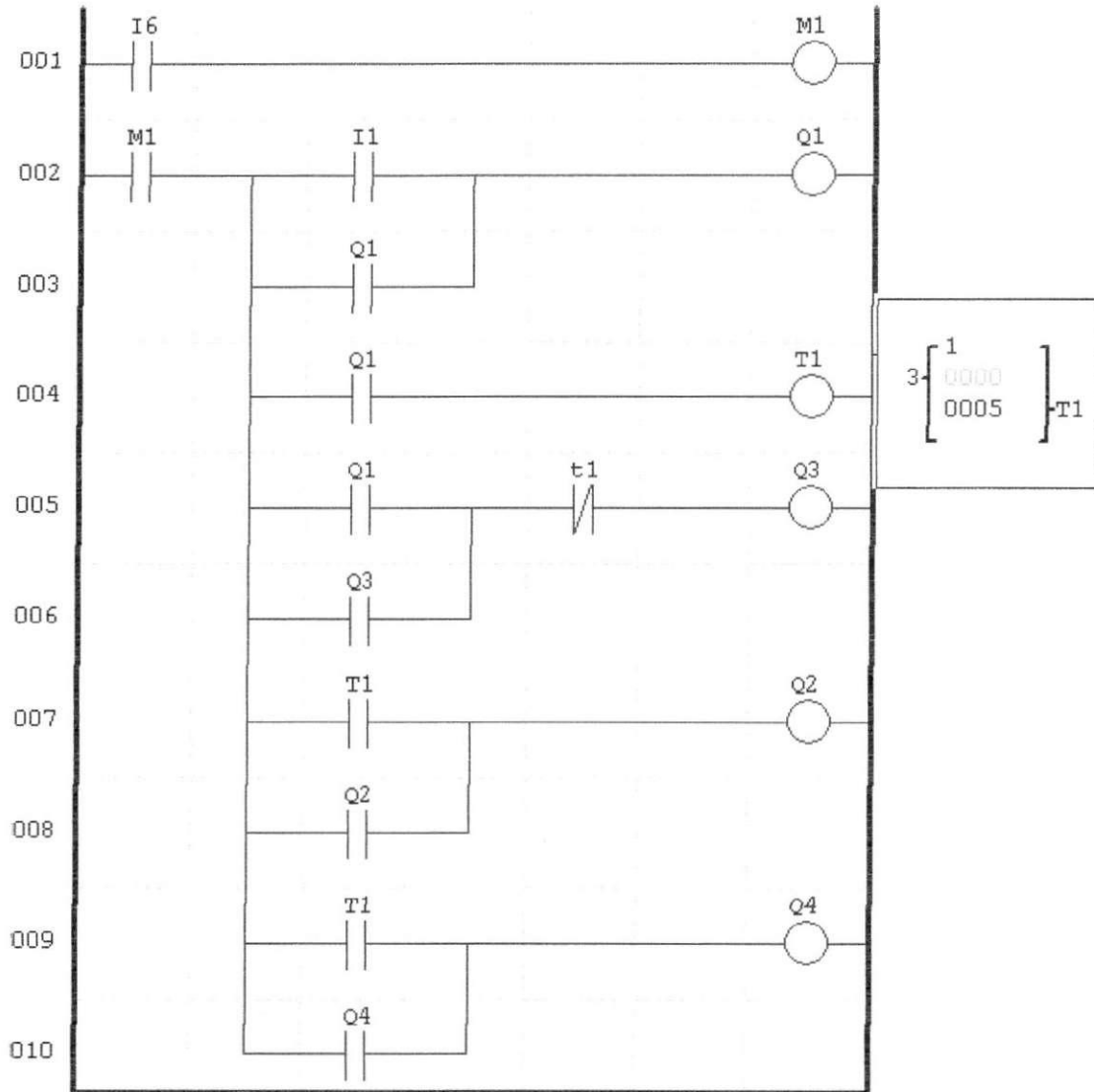
c) Partida estrela - triângulo (temporizada)



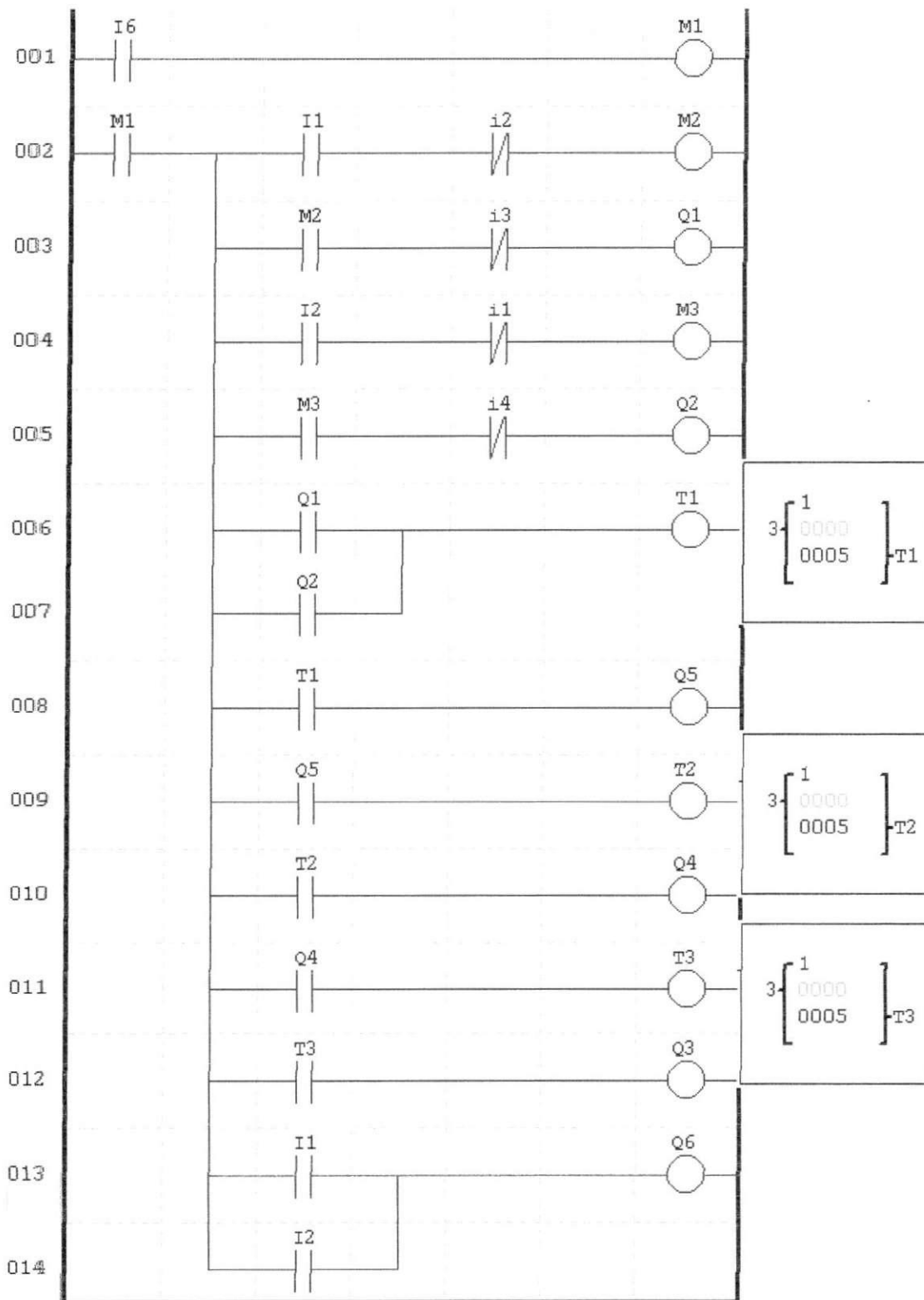
**d) Partida estrela-triângulo com reversão no sentido de rotação**



**e) Partida série-paralelo (temporizada)**

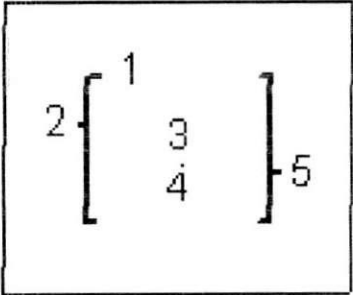


**f) Programação de controle de uma ponte rolante industrial**



## 9.2 Configurações do temporizador

A tabela abaixo apresenta a legenda das configurações do temporizador do Clic 02, como também a utilizada nos programas apresentados no Anexo A.

Temporizador	Descrição	Configuração utilizada
	(1) - Modo de operação (2) - Unidade de tempo (3) - Valor atual (4) - Valor meta: (5) - Código do temporizador	Retardo na energização 0 a 9999 segundos 0000 segundos 0005 segundos Tn (Ex: T1, T2, etc.)

### 9.3 Cronograma das atividades

ETAPAS	SEMANAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Revisão geral sobre CLPs	■							
Estudo da linguagem de programação Ladder		■	■					
Leitura dos manuais do CLP Clic 02 da Weg		■	■	■				
Uso dos CLPs no Laboratório de Acionamentos Elétricos.				■	■	■		
Confecção do relatório final e sugestão de guias para os experimentos.					■	■	■	■