



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

# **AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA ESTEIRA COM FORNO**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Igor Soares Bastos**

**Julho de 2005**



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

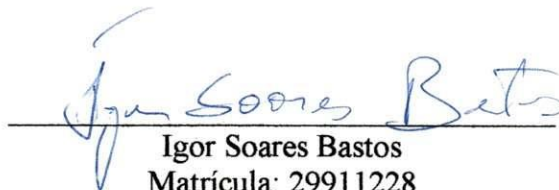
Sumé - PB

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

**AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA  
ESTEIRA COM FORNO  
(Trabalho de Conclusão de Curso)**



Péricles Rezende Barros  
Professor Orientador



Igor Soares Bastos  
Matrícula: 29911228

**Julho de 2005**

# Índice

<b>1. Introdução</b> .....	3
<b>2. Controladores Lógicos Programáveis</b> .....	4
<b>2.1 Estrutura básica do CLP</b> .....	4
<b>2.2 Vantagens do uso do CLP</b> .....	7
<b>2.3 Interface Homem Máquina – IHM</b> .....	7
<b>3. Controlador Lógico Programável Simatic S7-300</b> .....	9
<b>3.1 Características funcionais</b> .....	9
<b>3.2 Ambiente de programação</b> .....	10
<b>4. O Protótipo Didático</b> .....	11
<b>4.1 Montagem</b> .....	11
<b>4.2 Princípio de funcionamento</b> .....	13
<b>4.3 Programa LADDER</b> .....	14
<b>5. Conclusão</b> .....	17
<b>6. Bibliografia</b> .....	18
<b>Anexos</b> .....	19

# 1. Introdução

Automação é o conjunto das técnicas baseadas em máquinas e programas com objetivo de executar tarefas previamente programadas pelo homem e de controlar seqüências de operações sem a intervenção humana. Através de intertravamentos (seqüências de programação) do sistema, o usuário consegue maximizar com qualidade e precisão seus processos produtivos, controlando assim, variáveis diversas (temperatura, pressão e nível, por exemplo) e gerenciando a distância toda a cadeia produtiva.

Ela influencia diretamente um processo industrial, seja uma simples monitoração de variáveis (exemplo: temperatura de um tanque ou pressão de uma linha de gás) ou um controle sofisticado do processo (exemplo: abertura e fechamento de válvulas proporcionais remotamente) podemos avaliar algumas vantagens diretas na hora de investir em equipamentos ou na melhoria de processos existentes.

O projeto consiste na automação de um sistema constituído por uma esteira, um motor CC, um forno, um ventilador, três sensores de posição, um sensor de temperatura e um sensor de velocidade. Nesse sistema, podemos ter diferentes produtos, onde apenas um por vez poderá entrar na esteira, e cada um com sua temperatura de aquecimento. Ao escolhermos o produto, este só seguirá depois que o forno atingir a temperatura determinada, e permanecerá nele pelo tempo escolhido. Uma realização importante desse projeto está no fato da temperatura no forno ser controlada por um regulador PID, configurado diretamente pelo CLP S7-300 da Siemens.

## **2. Controladores Lógicos Programáveis**

O objetivo inicial do projeto de desenvolvimento do primeiro controlador programável era eliminar o alto custo associado com os sistemas controlados a relés. Para esse desenvolvimento foram especificadas algumas características que o sistema deveria possuir, tais como:

- Flexibilidade de um computador;
- Suportar o ambiente industrial;
- Facilidade de programação;
- Manutenção facilitada;
- Permite expansão.

A NEMA – National Electrical Manufacturers Association definiu, em 1978, um padrão para controladores programáveis como sendo: “Um pequeno aparelho eletrônico digital que usa uma memória programável para armazenamento interno de instruções para implementar a 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, isto restringia suas aplicações a algumas máquinas e pequenos processos. 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 capacidade de operar com números, capacidade de comunicação com computadores, aquisição e manipulação de dados, aumento na capacidade de memória e de entradas e saídas.

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

### **2.1 Estrutura básica do CLP**

Um controlador programável, independente do tamanho, custo ou complexidade, consiste de cinco elementos básicos:

- Processador;
- Memória;
- Sistema de entradas/saídas;
- Fonte de alimentação;
- Terminal de programação.

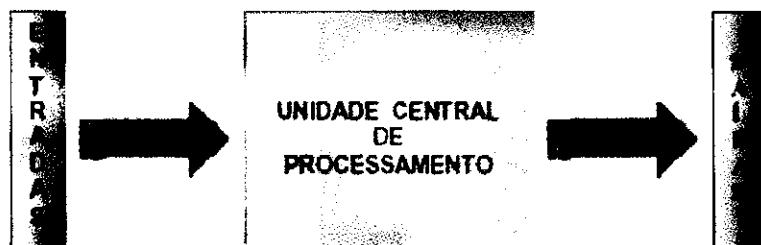


Figura 1 – Estrutura básica de um CLP

As três partes principais (processador, memória e fonte de alimentação) foram o que chamamos de CPU – Unidade Central de Processamento.

O processador executa o programa do usuário armazenado na memória, recebendo dados de entrada de vários dispositivos, e enviando dados de saída para comandar os dispositivos de controle. Este processo de leitura das entradas, execução do programa e controle das saídas é chamado de ciclo de varredura.

O sistema de entrada/saída forma a interface pela qual os dispositivos de campo são conectados ao controlador. Esses dispositivos de campo podem ser sensores, botoeiras, lâmpadas sinalizadoras, e etc. O propósito desta interface é condicionar os vários sinais recebidos e enviar sinais de controle ao mundo externo.

Sinais provenientes de sensores tais como, chaves limites, sensores analógicos e chaves seletoras são conectados aos terminais dos módulos de entrada. Dispositivos que devem ser controlados, como válvulas solenóides, lâmpadas sinalizadoras e outros, são conectados aos terminais dos módulos de saída.

A fonte de alimentação fornece todas as tensões necessárias para a devida operação do CLP e da interface dos módulos de entrada e 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, que consiste em:

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

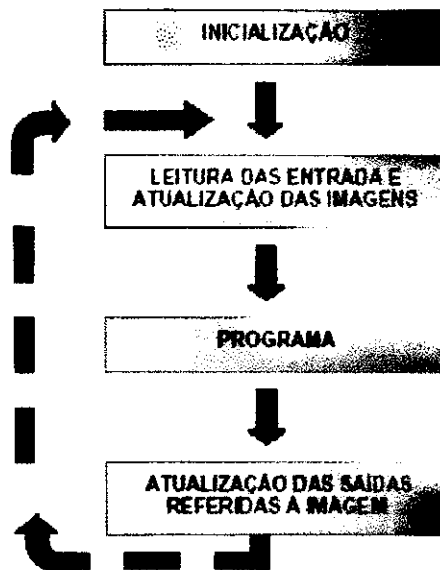


Figura 2 – Ciclo de Varredura

Na fase de leitura das entradas, o processador endereça o sistema de E/S, obtém os estados dos dispositivos que estão conectados, e armazena estas informações na forma de bits “1” ou “0”, dependendo do estado obtido. A região da memória utilizada para armazenar estas informações é chamada de Tabela de Imagem das Entradas.

Na fase de execução da lógica programada pelo usuário, a CPU consulta a Tabela de Imagem de Entrada para obter os estados dos dispositivos. Nesta fase, os resultados das lógicas programadas cujas saídas tenham um ponto correspondente no módulo de saída são armazenados em uma área de memória que é chamada de Tabela de Imagem das Saídas.

Na fase de atualização de saídas, a CPU executa uma varredura na Tabela de Imagem das Saídas e atualiza as saídas externas, endereçando o sistema de E/S para atualizar o estado dos dispositivos externos de acordo com o resultado da lógica programada. A seguir, o ciclo é reiniciado e a operação continua enquanto se mantém o controlador no modo de execução.



## 2.2 Vantagens do uso do CLP

O rápido desenvolvimento e crescimento da competição fizeram o custo do controlador programável cair significativamente, a ponto de que o estudo de CLPs versus relés, no ponto de vista de custo, não ser mais válido. As características, descritas abaixo, mostram as vantagens do uso de CLPs:

- Flexibilidade de mudanças na lógica de controle;
- Alta confiabilidade;
- Espaço físico pequeno;
- Expansão de entradas e saídas;
- Modificações rápidas;
- Lógicas similares em várias máquinas;
- Comunicação com computadores em níveis superiores.

## 2.3 Interface Homem Máquina – IHM

Com a grande difusão do CLP nesta última década, surgiram também novas necessidades do usuário, como por exemplo, a possibilidade de modificar certos parâmetros dentro de um programa sem a necessidade de conectar-se a um computador para realização desta tarefa. São exemplos destes parâmetros: o *preset* de um temporizador ou contador, o *preset* de uma temperatura desejada, a indicação de uma nova velocidade para um servomotor, entre outros.

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 para acionar, por exemplo, 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. A figura 3 mostra um OP25, IHM da Siemens.

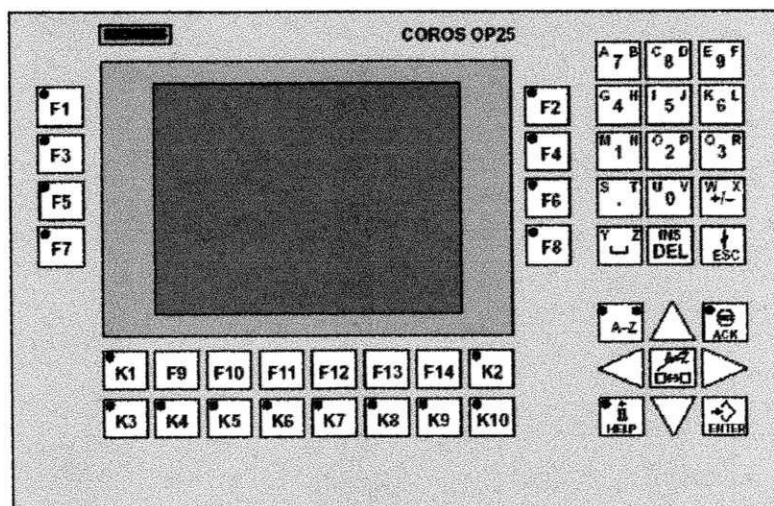


Figura 3 – OP25 da Siemens

### 3. Controlador Lógico Programável Simatic S7-300

O S7-300 é um sistema modular amplamente utilizado em aplicações centralizadas ou distribuídas de pequeno a médio porte.

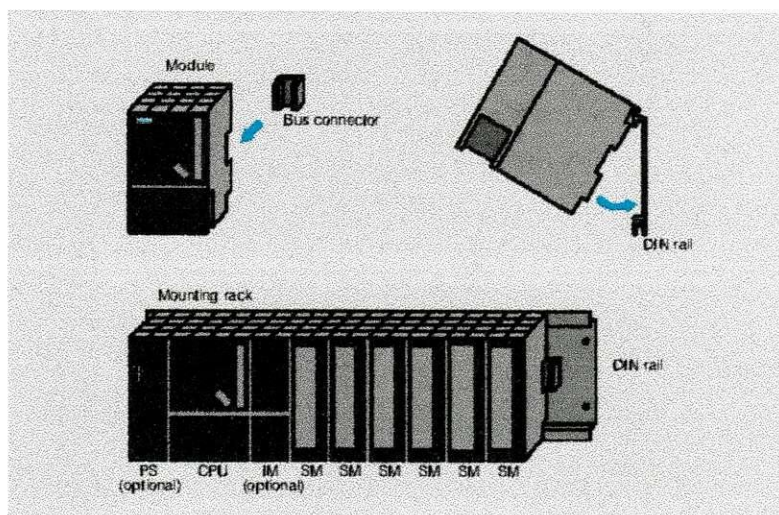


Figura 4 – Arquitetura modular do S7-300

Com uma arquitetura modular o SIMATIC S7-300 provê economia de espaço, flexibilidade de configuração e rápida expansão. O CLP S7-300 não necessita de *racks* com números predefinidos de *slots* para ser montado, o conjunto de módulos é encaixado e aparafusado sobre um trilho padrão, os módulos são interligados uns aos outros através de um conector modular que fica embutido no trilho.

#### 3.1 Características funcionais

Um amplo espectro de CPU's (Unidade Central de Processamento) estão disponíveis para aplicações simples ou aplicações de grande performance. As CPU's possibilitam curtos tempos de ciclo, até 1 $\mu$ s. Para algumas tarefas especiais, existem CPU's Compactas com I/O's, funções tecnológicas e interfaces de comunicação já integradas.

A grande diversidade de módulos de expansão permite a adaptação da configuração para qualquer tipo de aplicação.

A CPU utilizada no projeto foi a CPU 315-2DP e os módulos de E/S utilizados foram:

- 1 módulo digital de entrada (24Vdc, 16 entradas);

- 1 módulo digital de saída (24Vdc, 16 saídas);
- 1 módulo analógico de entrada (24Vdc, 8 entradas);
- 1 módulo analógico de saída (24Vdc, 8 saídas).

A comunicação entre o CLP e o microcomputador é realizada serialmente através do protocolo RS-232. O microcomputador tem como única função interligar o controlador ao software de desenvolvimento do programa e parametrização do hardware.

### 3.2 Ambiente de programação

O software utilizado para programação e configuração do SIMATIC S7-300 é o STEP7 fornecido pela Siemens.

O STEP7 tem como algumas funções: criação e transferência de programas aos CLPs; configuração e administração do projetos; testes e detecção de possíveis problemas nas plantas.

O pacote básico de funções pode ser expandido através da instalação de novos pacotes que adicionam funcionalidades específicas à determinada aplicação.

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 realização de programas diretamente em código-objeto é inadequada, devido à dificuldade de 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. Três linguagens de programação são suportadas: LADDER (LAD), *Function Block Diagram* (FBD), *Statement List* (STL). Devido a sua maior simplicidade de entendimento e clareza de programação, a linguagem escolhida foi a LADDER.

Esta ferramenta de programação e configuração é bastante poderosa e complexa, pois sendo geral, reúne informações irrelevantes para alguns projetos, mas que não podem ser deixadas de lado quando for feita a parametrização de hardware do Controlador Lógico Programável escolhido.

## 4. O Protótipo Didático

Toda a estrutura mecânica foi desenvolvida no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, com a finalidade de ser usado como um experimento em aulas práticas das disciplinas do curso de graduação de Engenharia Elétrica, e mais especificamente, ênfase em Automação e Controle.

### 4.1 Montagem

O sistema é constituído de:

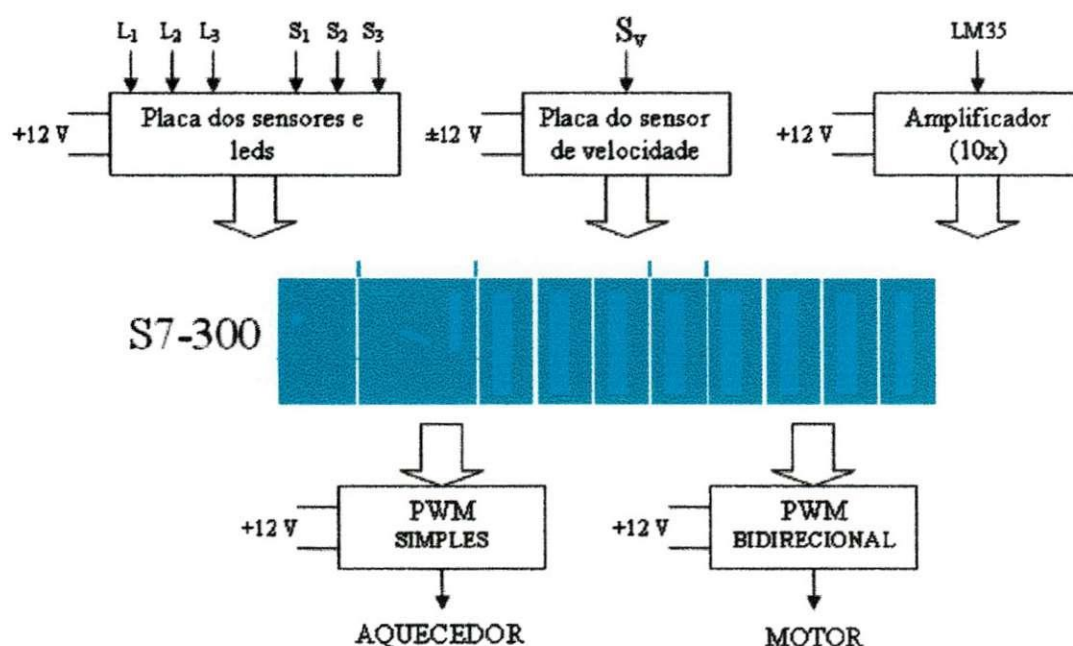
- CLP S7-300 da Siemens e os seguintes módulos de entrada/saída;
  - Módulo de entrada digital DI 16x DC24V;
  - Módulo de saída digital DO 16x DC24V;
  - Módulo de entrada analógica AI 8x12Bit;
  - Módulo de saída analógica AO 4x12Bit;
- Módulo de esteira com motor CC de 12 V;
- 3 sensores de presença fotoelétricos;
- 1 sensor de temperatura (LM35);
- Forno constituído de três resistores de 1 Ohm cada;
- Ventilador;
- Placa de aquisição dos sensores de presença;
- Placa para amplificar (10x) o sinal do sensor de temperatura;
- Módulo de PWM unidirecional para o aquecedor;
- Módulo de PWM bidirecional para o motor.

O projeto foi iniciado apenas com o módulo da esteira e o motor CC. Em seguida foram instalados os sensores de presença e as placas de aquisição, necessárias ao envio dos sinais digitais (0 e 24V) ao módulo de entrada digital. Do mesmo modo, foi adicionado o sensor de temperatura e a placa de amplificação, necessária ao envio do sinal na escala correta para o módulo de entrada analógica.

Por necessitarem de maior potência, o aquecedor e o motor CC são controlados por módulos de PWM, unidirecional e bidirecional respectivamente. O sinal de controle desses módulos é obtido do módulo de saída analógica.

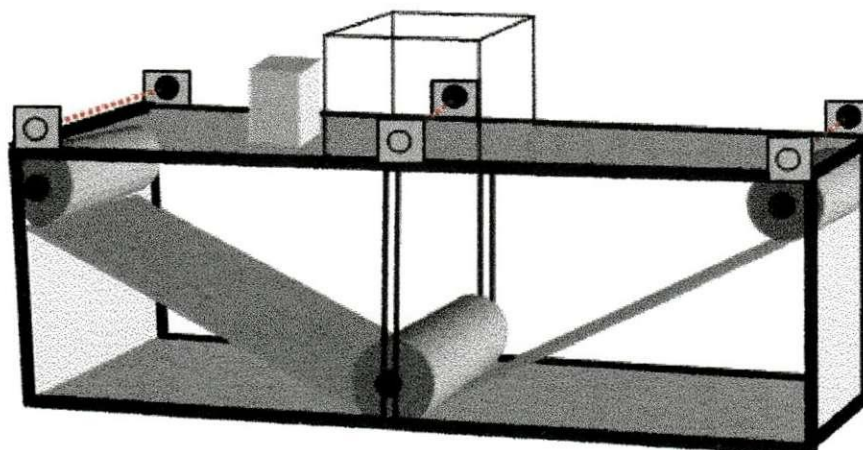
Por último, foi instalado o ventilador, controlado pelo módulo de saída digital. Ele foi necessário, pois o sistema estava respondendo de forma muito lenta à troca dos *setpoints* de temperatura, ou seja, de diferentes níveis de temperatura.

Na Figura 5 segue um diagrama que ajuda a entender como são feitas as ligações entre os componentes da planta e o S7-300 da Siemens.



**Figura 5 - Diagrama de Ligações entre a Planta e o CLP**

Na Figura 6 segue um esquema do protótipo desenvolvido. Nas extremidades e no centro estão localizados os sensores de presença fotoelétricos. O forno foi representado por uma região central determinada pelas arestas da figura geométrica em preto. O produto a ser colocado na esteira foi representado pela figura geométrica posicionada numa posição aleatória sobre a esteira de cor cinza.



**Figura 6 - Esquema do Protótipo**

#### **4.2 Princípio de funcionamento**

O objetivo principal desse projeto é o aquecimento de um produto colocado na esteira ajustando-se cada valor de referência de temperatura.

O processo a ser controlado envia informações ao CLP através dos sensores de presença fotoelétricos e do sensor de temperatura, o qual tem a função de recebê-las e processá-las em correspondência à lógica armazenada na memória. Após receber os sinais, o controlador lógico programável executa as operações de comando ao processo. O CLP recebe como entrada quatro sinais: três dos sensores de presença e um do sensor de temperatura. Como saída, o controlador liga/desliga um motor DC que move a esteira, liga/desliga o ventilador e fornece entrada a um circuito PWM através de uma saída dos módulos analógicos proporcionando mais/menos potência ao conjunto de resistores que aquecem o forno.

Dois sensores de presença são posicionados nas extremidades da esteira, enquanto o terceiro é colocado no interior do forno, como se pode visualizar na Figura 6. O sensor de temperatura é colocado no interior do forno, juntamente com os resistores, para que a medição seja a mais fiel possível.

Quando o produto é colocado na esteira, este espera até que seu nível de temperatura seja atingido, neste momento, o motor é acionado e a esteira volta a se mover, levando o produto ao forno para que seja pré-aquecido. Após chegar ao fim da esteira o produto volta novamente ao forno para que seja plenamente aquecido e, para tal, permanece por um tempo ajustado pelo usuário.

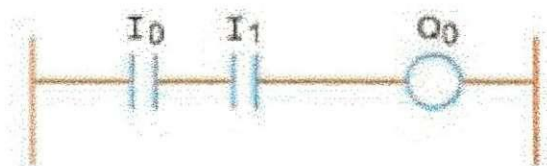
### 4.3 Programa LADDER

Na Figura 7 segue um exemplo de programa em linguagem LADDER. As barras paralelas mostradas na figura representam relés, que nos CLPs são chaves endereçadas através do STEP 7 de acordo com o tipo de módulo usado (digital, analógico).

O diagrama de contatos de um programa realizado em linguagem LADDER consiste em um desenho formado por duas linhas verticais, que representam os pólos positivo e negativo de uma bateria ou fonte de alimentação genérica.

Estes contatos podem ser do tipo normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF). Os contatos  $I_0$ ,  $I_1$  são do tipo NA. O contato  $Q_0$  representa um dispositivo de saída que será dependente das entradas dessa mesma rede.

Os contatos  $I_0$ ,  $I_1$  e  $Q_0$  representam dispositivos conectados ao CLP, assim qualquer alteração em seus estados, alterará também os dispositivos que eles representam.



**Figura 7 - Exemplo da linguagem de programação LADDER**

O exemplo da Figura 7 implementa a função lógica AND, ou seja, a saída  $Q_0$  só será ativada quando as duas entradas,  $I_0$  e  $I_1$ , estiverem ativas. A tabela verdade segue na tabela 1.

**Tabela 1 : Tabela verdade da função lógica AND**

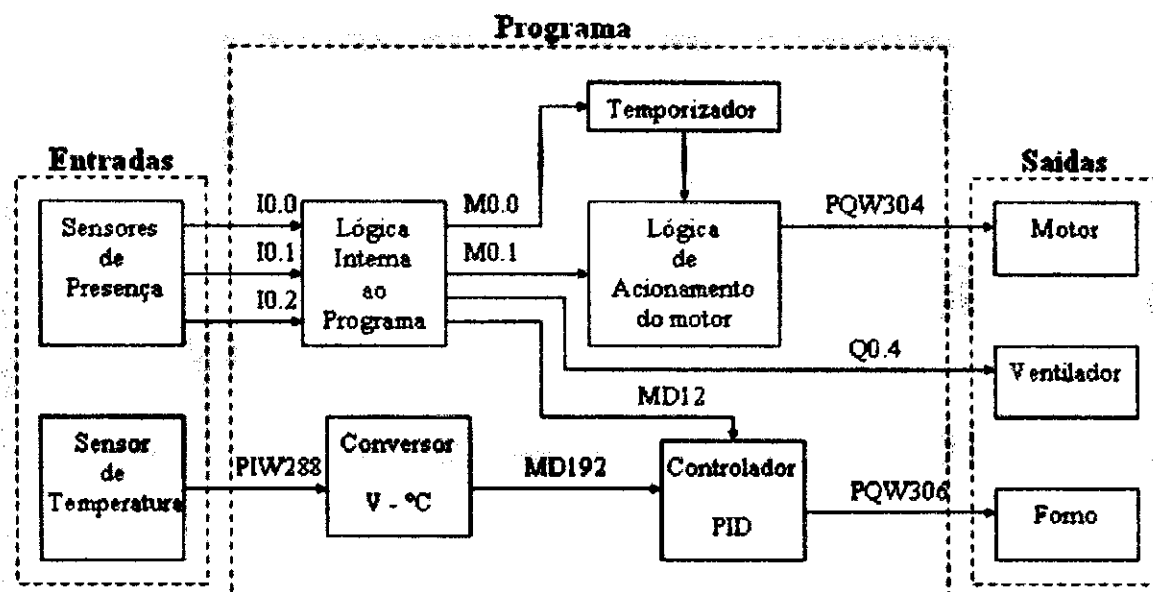
$I_0$	$I_1$	$Q_0$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Na Figura 8 segue o diagrama de blocos do programa desenvolvido para o controle do protótipo.

Neste programa pode-se observar a existência de variáveis nomeadas pela letra M. Essas variáveis não estão associadas a nenhum dispositivo conectado ao CLP, ou seja, estas são variáveis auxiliares internas ao processador.

Assim a mudança de estado dessas variáveis não significará, de forma direta, a mudança de estado dos dispositivos de entrada/saída conectados ao CLP.



**Figura 8 - Diagrama de blocos do programa LADDER**

Os blocos internos as regiões de entrada e saída são os dispositivos externos conectados ao CLP. Há três sensores de presença internos ao bloco sensores de presença e estes estão associados aos endereços do módulo de entrada digital IO.0, IO.1, IO.2 como pode-se visualizar na Figura 8. Interno ao bloco sensor temperatura está o componente LM35, responsável por indicar um valor de tensão correspondente à temperatura sobre ele; sendo este associado ao endereço PIW288 do módulo de entrada analógico.

O bloco conversor V-°C converte tensão em temperatura e fornece este nível de temperatura como entrada para o bloco controlador PID através de a variável auxiliar MD192. O bloco controlador PID tem ainda como entrada outro nível de temperatura ajustado pelo operador através do programa e, armazenado na variável auxiliar MD12.

O bloco lógica interna ao programa executa as tarefas de fornecer ao usuário a escolha do nível de temperatura, acionar o temporizador, o bloco de acionamento motor e o ventilador. Este último foi adicionado pra que a temperatura não ultrapasse o patamar escolhido. O bloco temporizador armazena o tempo ajustado para permanência do produto no interior do forno.

O bloco lógica de acionamento do motor é o responsável por acionar o motor no sentido correto de locomoção do produto na esteira, ou seja, direita ou esquerda. Este recebe duas entradas armazenadas em variáveis auxiliares, a M0.1 informa o local onde o objeto está posicionado através dos sensores de presença para que dessa forma o motor seja acionado no sentido correto, enquanto a entrada M0.0 aciona o temporizador caso o objeto alcance o forno e durante o tempo escolhido o motor permanece desligado, porém quando este tempo é atingido o bloco envia um sinal para que o motor seja acionado novamente.

## **5. Conclusão**

Neste trabalho foi descrito o desenvolvimento de um protótipo educativo de controle utilizando uma esteira e um forno. A automação deste protótipo foi possível através da utilização de um controlador lógico programável, S7-300 da Siemens.

Foi mostrado todo o processo de desenvolvimento, sendo exposto a implementação em hardware e explanação do software.

Atualmente este protótipo está disponível para auxiliar alunos de graduação, como um primeiro contato prático com a automação. O protótipo será disponibilizado em forma de experimento à disciplina de Automação Industrial do curso de Engenharia Elétrica da UFCG.

## **6. Bibliografia**

**BERGER, H. Automating with STEP7 in LAD and FBD. Siemens, 2<sup>nd</sup> revised edition, 2001.**

**PAZOS, F. A Linguagem de Programação LADDER. Mecatrônica Atual n° 5 p29-37, 2002.**

**STENERSON, J., Fundamentals of Programmable Logic Controllers, Sensors, and Communications, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, 1999.**

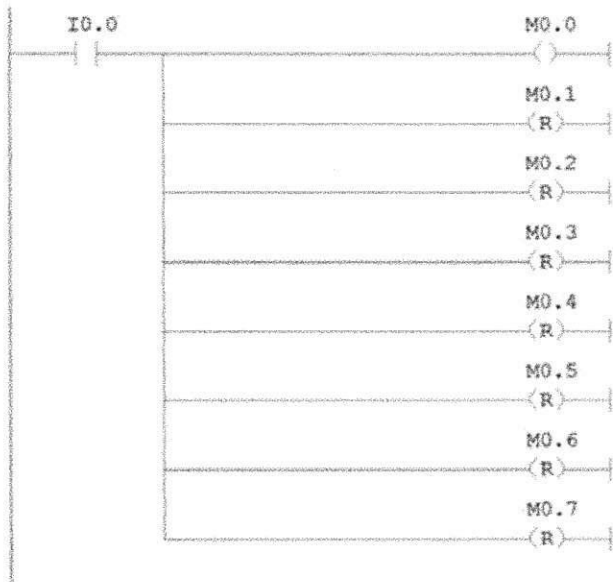
STEP 7, Configuring Hardware with. Manual SIEMENS.

STEP 7, Working with. Manual SIEMENS.

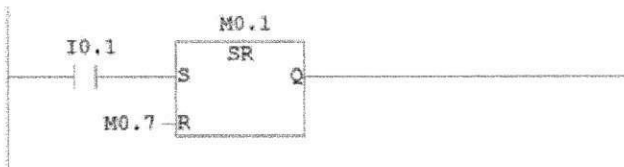
# ANEXO – CÓDIGO DO PROGRAMA

Block: OB1

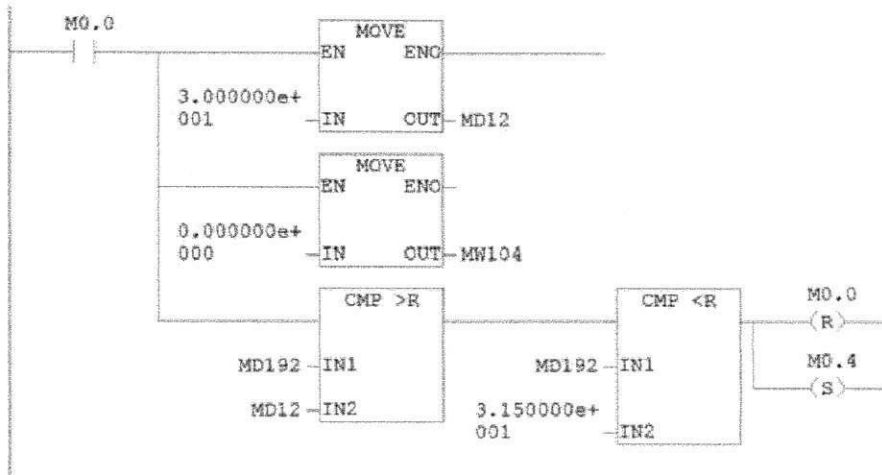
Network: 1



Network: 2



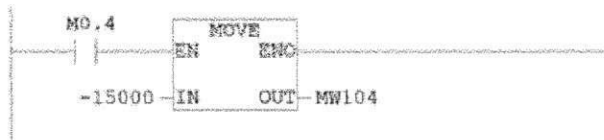
Network: 3



**MD12 – Setpoint no PID ( 30,0 °C)**

**MD192 – temperatura em °C (valor convertido da entrada PIW288 na network 10)**

Network: 4



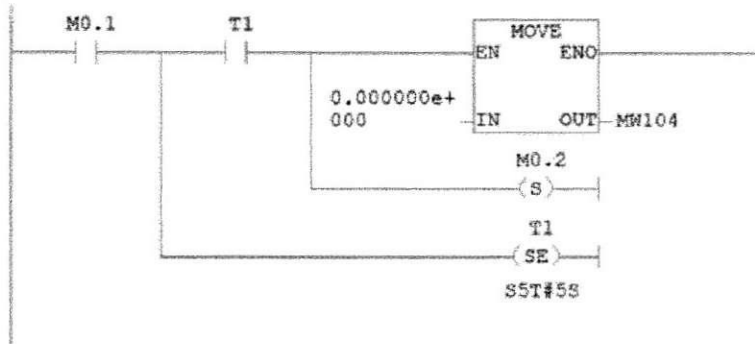
**M0.4 – liga a esteira na direção 1 quando a temperatura estiver entre 30 e 31.5 (Network 3).**

Network: 5



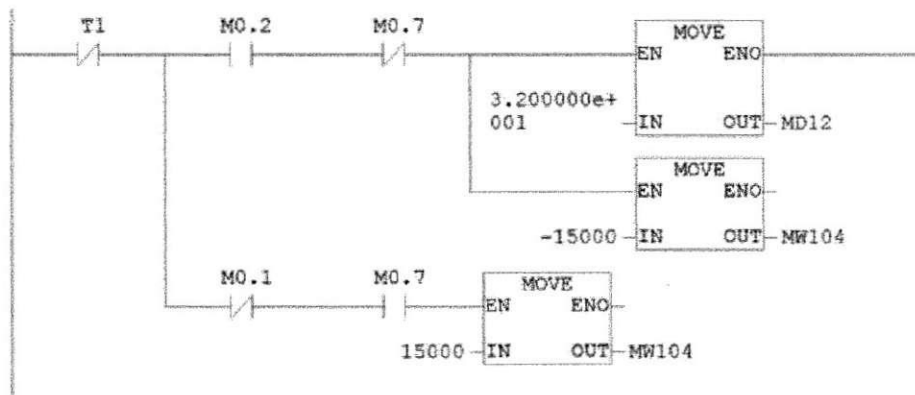
**- Esteira pára com objeto no forno;**

Network: 6



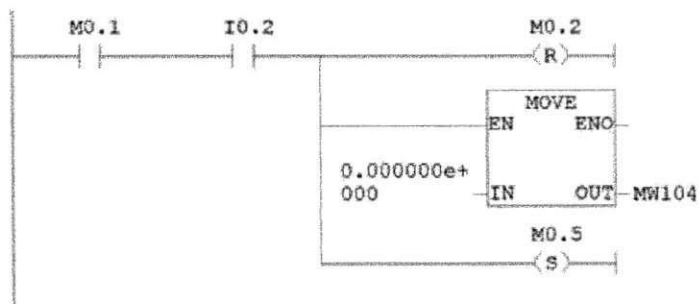
- Objeto permanece no forno durante T1=5s;

Network: 7



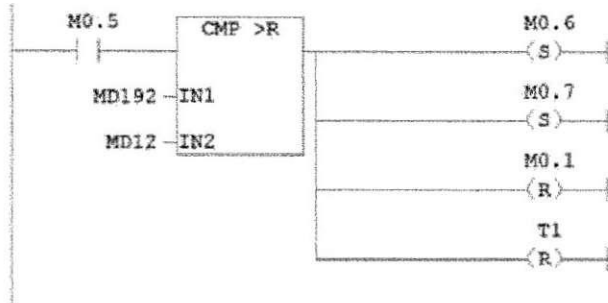
- Se a esteira estiver na direção 1, o setpoint é alterado para 32 °C.  
- O objeto continua na direção anterior (M0.7).

Network: 8



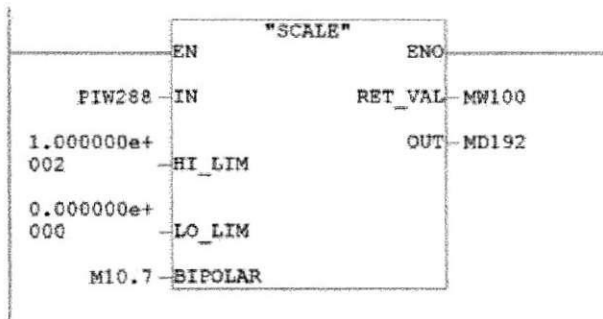
- Esteira pára quando objeto chegar ao fim da esteira.

Network: 9



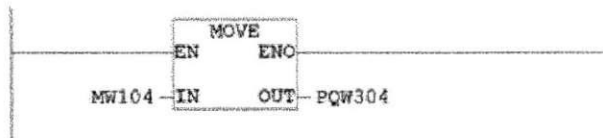
- Objeto só retorna ao forno (direção 2) quando a temperatura (MD192) atingir o novo setpoint (MD12 = 32.0 °C).

Network: 10



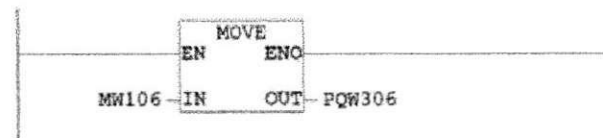
- A tensão lida (0 a 10v) é convertida em temperatura (0 a 100 °C).

Network: 11



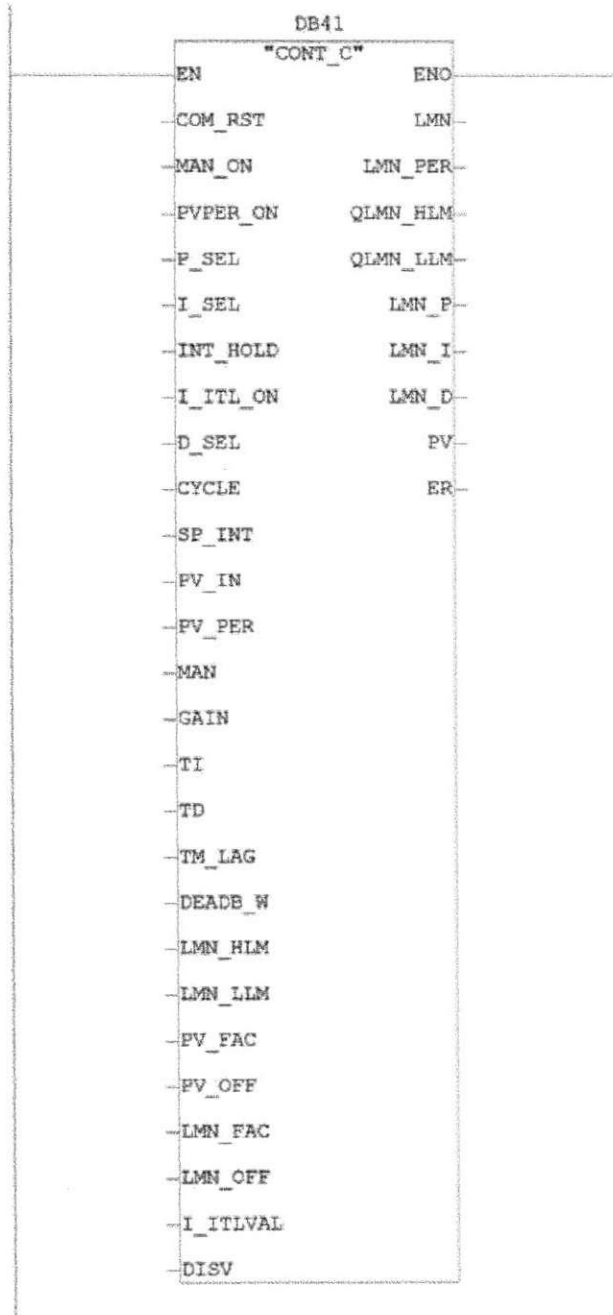
- PQW304 = Motor CC.

Network: 12



- PQW306 = aquecedor.





- Bloco do PID. Ver blocos DB41 e OB35.