

# UM PROGRAMA DIDÁTICO PARA O ENSINO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

**Wânderson O. Assis<sup>1</sup>; Alessandra D. Coelho<sup>2</sup>**

Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Escola de Engenharia Mauá

Praça Mauá, 1

CEP : 09580 900 , São Paulo, SP

<sup>1</sup>wanderson.assis@maua.br; <sup>2</sup>alessandra.coelho@maua.br

**Resumo:** Este artigo apresenta um programa didático para laboratórios de automação industrial focando em aplicações com controladores lógicos programáveis. A abordagem considera o desenvolvimento de experiências práticas similares às aplicações na indústria de forma a capacitar o aluno a projetar, programar e manipular equipamentos de automação industrial tipicamente disponíveis no mercado de trabalho. Na metodologia utiliza-se bancadas e equipamentos didáticos de forma a reduzir o esforço de montagem de circuitos eletrônicos mas permitindo a assimilação de vários conceitos tais como: programação utilizando linguagens diferentes, acionamento de motores de indução trifásicos comandados por controladores lógicos programáveis, montagem e simulação de aplicações de pneumática, entre outros.

**Palavras-chave:** Controladores lógicos programáveis, Ensino de engenharia, Laboratório, Pneumática, Motores de indução.

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios no desenvolvimento de experiências de laboratório para o ensino de engenharia é reproduzir as mesmas condições que o profissional irá encontrar futuramente na indústria. Particularmente no ensino de automação industrial onde novas tecnologias são desenvolvidas a cada dia é essencial que os alunos tenham acesso a equipamentos modernos aprendendo a projetar, programar e manipular equipamentos similares aos encontrados no mercado de trabalho. Por outro lado, experiências de laboratório de automação devem, dentro do possível, evitar a montagem de circuitos eletrônicos complexos, pois em geral, este não é o objetivo específico da experiência, além de consumir um tempo considerável tornando-a longa, enfadonha e desestimulante. Deve-se ter em mente que o mais importante é capacitar o aluno para adquirir uma visão sistêmica para o desenvolvimento de aplicações e solução de problemas na área de automação.

A utilização de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) continua sendo uma excelente solução para a automação de sistemas a eventos discretos (SEDs) porque:

- trata-se de um equipamento eficiente, confiável e robusto que permite o desenvolvimento de diversas aplicações com relativa facilidade, interoperacionalidade e escalabilidade;

- existe uma infinidade de modelos e fabricantes disponíveis no mercado apresentando uma grande variedade de características além de custo bastante variável, permitindo ao projetista selecionar a solução mais adequada à sua aplicação;

- permite desenvolver soluções integradas provendo informações para a manutenção, para o gerenciamento da produção bem como para sistemas de segurança.

Os CLPs modernos permitem a programação em diferentes linguagens de programação, são muito rápidos, apresentam interfaces especiais que permitem que instrumentos possam ser conectados diretamente e além disso incorporam funções especiais para controlar simultaneamente sistemas contínuos e sistemas a eventos discretos.

Diante do exposto, este artigo apresenta uma breve descrição do curso “Laboratório de Controle e Automação I” do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) e das experiências desenvolvidas, onde os principais objetivos são demonstrar a metodologia de ensino utilizada, apresentação dos equipamentos e ferramentas utilizadas, e os resultados obtidos.

## 2. LABORATÓRIO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO I

O curso de Engenharia Elétrica do IMT apresenta na última série um conjunto de disciplinas eletivas que são escolhidas pelo aluno conforme a especialização desejada ou a área de atuação pretendida. Dentre elas podemos citar os Laboratórios de Controle e Automação I e II. Ambos são oferecidos semestralmente, sendo que o primeiro deles tem maior ênfase no desenvolvimento de experiências práticas relacionadas à automação de processos em eventos discretos enquanto o segundo envolve experiências práticas relacionadas ao controle de processos contínuos.

O escopo do Laboratório de Controle e Automação I aborda um conjunto de experiências preparadas para fornecer ao Engenheiro Eletricista que atua na área de automação os seguintes fundamentos:

- visão geral sobre o funcionamento e aplicações dos CLPs;
- desenvolvimento de habilidades básicas para a programação baseada no padrão IEC61131-3;
- capacitá-lo para o desenvolvimento das principais linguagens de programação;
- apresentar os fundamentos da pneumática e eletropneumática;
- utilização de instrumentação em aplicações de automação controladas por CLP.

O curso é desenvolvido em dois laboratórios distintos utilizando-se de equipamentos diferentes (Laboratório 1 e Laboratório 2).

O Laboratório 1 apresenta bancadas didáticas constituídas dos seguintes equipamentos: micro-computadores tipo PC, controladores lógicos programáveis da Modicom-Telemecanique® modelo TSX3722, motores de indução trifásicos, servomotores de corrente contínua, painel didático, além de vários outros componentes e instrumentos que podem ser utilizados aleatoriamente em cada experiência, tais como osciloscópios, multímetros e componentes eletrônicos diversos. Os painéis didáticos, projetados na própria instituição apresentam vários equipamentos embutidos, dentre eles o próprio CLP, que facilitam o desenvolvimento das montagens práticas. Os principais equipamentos instalados no painel são: LEDs para sinalização, *push-buttons*, chaves (*switchs*), contatores, relé térmico, amperímetro analógico, bornes para conexões de entradas e saídas analógicas e digitais, interruptor trifásico e sistema de proteção. A Figura 1 apresenta uma bancada do Laboratório 1 destacando os principais equipamentos utilizados nas experiências práticas.

O Laboratório 2 apresenta bancadas didáticas projetadas pela FESTO Didactic® que também disponibiliza os seguintes equipamentos utilizados nas experiências: controladores lógicos programáveis marcas IPC FEC, fonte de alimentação, placas de botões, placas de sinalização, conjunto de dispositivos pneumáticos e eletropneumáticos (válvulas direcionais, cilindros atuadores lineares, unidades de conservação, distribuidores de ar comprimido, válvulas reguladoras, válvulas alternadoras, válvulas de simultaneidade, etc) além de sensores digitais de vários tipos. Na parte externa do laboratório encontra-se instalado um compressor

do tipo pistões acionado por motor de indução, além de reservatório de ar comprimido, que mantém sob pressão o ar que é disponibilizado em todas as bancadas. A Figura 2 apresenta uma bancada do Laboratório 2 destacando alguns dos principais equipamentos utilizados nas experiências práticas.



Figura 1 – Bancada didática do Laboratório 1



Figura 2 – Bancada didática do Laboratório 2

A abordagem utilizando laboratórios e equipamentos diferentes, tem como principais vantagens:

- permite ao aluno conhecer diferentes equipamentos e adquirir conhecimentos relacionados ao desenvolvimento de aplicações totalmente adversas;
- permite o contato com diferentes interfaces de programação podendo inclusive vislumbrar as vantagens e desvantagens da utilização do padrão IEC61131-3 na programação de CLPs.

O programa do curso de Laboratório de Controle e Automação I compreende um conjunto de 14 experiências, conforme demonstrado na Tabela 1, sendo uma delas oferecida a cada semana e utilizando um dos laboratórios citados. Toda a experiência é desenvolvida em sala de forma que o professor pode orientar os alunos durante todo o processo de programação, montagem e análise de resultados dos projetos.

A experiência 1 apresenta os fundamentos necessários para o entendimento do funcionamento básico dos CLPs. São apresentados os fundamentos teóricos e práticos abordando os seguintes aspectos: arquitetura interna e elementos constitutivos dos CLPs modernos, definição de ciclo de varredura, tipos de entrada e saída, especificação de um projeto com CLP, índice de proteção, funções especiais, diagrama de conexões elétricas das entradas e saídas, normas padronizadas para a programação de CLPs, integração e transferência de dados utilizando protocolos de comunicação, integração com sistemas supervisórios, etc. Na oportunidade, os alunos têm o primeiro contato com os equipamentos e com o *software* de programação.

Tabela 1 – Experiências do Laboratório de Controle e Automação I

Exp.	Título	Lab.
1	Introdução aos CLPs – Norma IEC61131-3	1
2	Introdução à programação de CLPs em ladder – aplicações e ferramentas.	1
3	Partida estrela-triângulo de um motor de indução	1
4	Reversão do sentido de circulação de um veículo acionado por motor de indução	1
5	Furadeira semi-automática com contador	1
6	Desenvolvimento de aplicações em grafset	2
7	Introdução a sistemas pneumáticos e eletropneumáticos	2
8	Acionamento de atuadores de dupla-ação	2
9	Acionamento temporizado de atuadores de dupla-ação – Programação em ladder	2
10	Acionamento temporizado de atuadores de dupla-ação – Programação em lista de instruções	2
11	Sistema de identificação e contagem de peças	2
12	Semáforo	1 ou 2
13	Geração de PWM utilizando funções especiais em CLPs	1
14	Controle PID de velocidade de um servomotor utilizando CLP	1

Na experiência 2 o aluno desenvolve a programação em ladder relacionada a uma aplicação prática utilizando CLP da Modicom-Telemecanique®. Trata-se de uma aplicação simulando o controle de nível de um reservatório. Para isto utiliza-se uma válvula, duas bombas e dois alarmes além de quatro sensores de nível. Na experiência o aluno deve desenvolver a programação para controlar o acionamento das bombas e válvula, ambas saídas digitais, de forma a manter o sistema operando, mas evitando-se a operação em condições limites (tanque muito vazio ou transbordamento). Além disso, nesta experiência os alunos aprendem a utilizar a lógica booleana e ferramentas tais como tabela verdade, mapa de Karnaugh, fluxogramas e máquina de estados como auxiliares no projeto.

Nas experiências 3 e 4 o CLP é utilizado para controlar o acionamento de um motor de indução trifásico. No primeiro caso desenvolve-se a partida estrela-triângulo do motor de indução, onde o instante da partida e da mudança da configuração de acionamento de estrela para triângulo são controlados pelo CLP por meio do chaveamento de contadores, incluindo procedimentos de segurança. No segundo caso simula-se o acionamento de um veículo que deve trafegar em dois possíveis sentidos de operação definidos pela reversão do sentido de rotação do motor de indução trifásico. Em ambos casos utilizam-se funções de temporização na programação. Maiores detalhes sobre as experiência 3 e 4 são apresentados na seção 3 onde apresenta-se a metodologia de ensino aplicada e os equipamentos utilizados.

Na experiência 5 simula-se uma furadeira semi-automática comandada pelo acionamento de *push-buttons* (comando bimodal). A abordagem inclui o monitoramento de várias entradas digitais (sensores e botões) e saídas digitais, neste caso simulando o comando de circuitos eletrônicos com contadores que acionam o motor em duas velocidades possíveis e com reversão do sentido de operação, bem como válvulas direcionais e sinalização luminosa. Na programação utilizam-se comandos de temporização, contadores, dentre outros.

A experiência 6 apresenta o desenvolvimento de uma aplicação utilizando Grafset (Gráficos Funcionais de Comandos Etapa Transição) também conhecida como SFC (*Sequential Flow Chart*). A aplicação simula o acionamento de um robô com dois graus de liberdade. No projeto podem ser utilizadas ferramentas como redes de Petri, fluxograma dentre outros.

A experiência 7 apresenta os conceitos básicos relativos à análise e montagem de sistemas pneumáticos e eletropneumáticos. São demonstrados os principais elementos pneumáticos sendo efetuadas montagens de circuitos. Utilizam-se também softwares para simulação de pneumática permitindo analisar o funcionamento dos principais elementos que compõem circuitos pneumáticos e eletropneumáticos.

A experiência 8 apresenta uma simples aplicação prática com o objetivo de efetuar o acionamento de atuadores de dupla-ação. Na programação utilizam-se as linguagens ladder e lista de instruções (STL – *Statement List*).

As experiências 9 e 10 apresentam um sistema automático de furação de peças que permite efetuar o acionamento temporizado de atuadores de dupla ação. Maiores detalhes sobre estas experiências são apresentados na seção 4 a qual descreve a metodologia de ensino aplicada e os equipamentos utilizados.

A experiência 11 simula um processo industrial constituído de uma esteira acionada por um motor que transporta peças de tamanhos diferentes. O aluno deve desenvolver a programação para fazer a detecção das peças a partir de informações enviadas pelos sensores, direcioná-las e fazer a contagem das peças, identificando e sinalizando quando um determinado número de peças de cada tipo foi atingido.

Na experiência 12 o aluno desenvolve a programação de dois semáforos que poderiam ser utilizados para controlar o tráfego em um cruzamento. Na experiência o aluno desenvolve a programação em ladder e lista de instruções e utiliza funções como temporizadores, contadores e comparadores.

Nas experiências 13 e 14 o aluno aprende a utilizar variáveis analógicas de entrada e saída de forma a desenvolver um sistema de controle de velocidade de servomotor em malha fechada. Na abordagem o aluno aprende a utilizar funções como comparadores, PWM, controle PID, entre outras. Além disso, o aluno tem a oportunidade de avaliar conceitos de sintonia de controladores PID, saturação do sinal de controle, projeto de circuitos condicionadores de sinal, etc.

### **3. PARTIDA E REVERSÃO DO SENTIDO DE ACIONAMENTO DE UM VEÍCULO**

O acionamento de motores de indução trifásico é amplamente utilizado na indústria. A grande vantagem do motor de indução é a sua capacidade de operar sem a necessidade de contato com os enrolamentos do rotor o que reduz significativamente os custos com a manutenção.

O motor de indução com rotor do tipo gaiola de esquilo é um dos mais utilizados principalmente devido à sua robustez e preço reduzido, sendo constituído de barramentos condutores alojados em ranhuras do rotor e curto-circuitados.

No acionamento de motores de indução um dos principais inconvenientes é a elevada corrente de partida que pode chegar a valores de 4 a 10 vezes maior que a corrente nominal. Para motores de grande potência, as altas correntes podem provocar reduções de tensão temporárias que podem influenciar no desempenho de outras máquinas e equipamentos sensíveis conectados ao mesmo barramento, ou ainda provocar desarmes que podem resultar em paradas e prejuízos para as indústrias. Os principais métodos de partida eletromecânicos de motores de indução trifásicos são: a) partida direta; b) partida estrela-triângulo; c) partida com chave compensadora. Com exceção da chave de partida direta, todos os outros métodos permitem a redução da corrente na partida, por meio de uma menor tensão aplicada aos terminais do motor. O método de partida estrela-triângulo é desenvolvido na experiência 3 e utilizando um amperímetro para demonstrar a variação da corrente na partida e o efeito produzido pela utilização da técnica. A figura 3 ilustra a partida estrela-triângulo realizada em laboratório, onde as linhas em vermelho indicam as ligações que devem ser efetuadas pelos

alunos, utilizando os bornes disponíveis na bancada, para realizar o acionamento. A lógica de programação é desenvolvida controlando o acionamento dos contatores C1, C2 e C3 para desenvolver a configuração desejada.

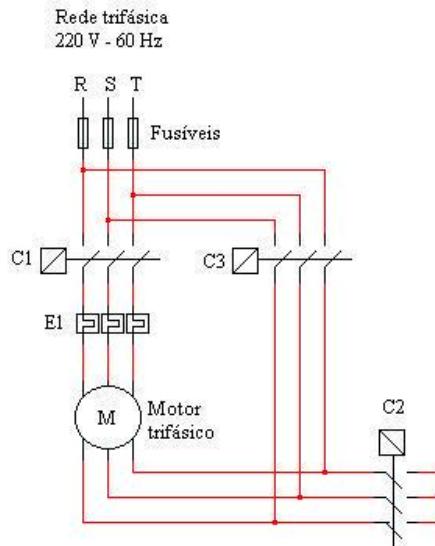


Figura 3 – Partida estrela-triângulo de motor de indução

Consideremos agora a aplicação desenvolvida na experiência 4 onde o motor de indução movimenta um veículo, por exemplo, um AGV (*Automated Guided Vehicle*) ou um trem, que deve trafegar em dois possíveis sentidos, conforme ilustrado na Figura 4.

O sistema é inicializado pressionando-se um *push-button* (botão Liga/Desliga) a partir do qual é feito o acionamento do motor do veículo, fazendo com que este se movimente para a extremidade direita da linha.

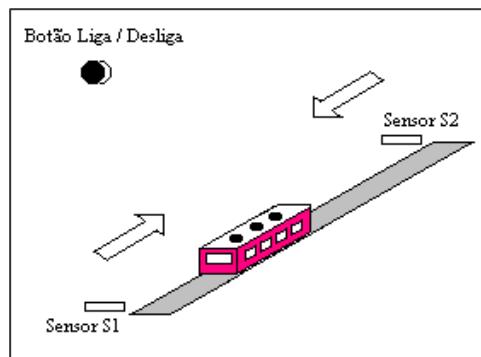


Figura 4 – Acionamento de um veículo controlado automaticamente por CLP

O veículo é paralisado automaticamente a partir da detecção do acionamento do sensor S<sub>2</sub> permanecendo assim durante 20 segundos.

Após este tempo o veículo é acionado automaticamente, movimentando-se para a extremidade esquerda da linha.

O veículo é paralisado novamente a partir da detecção do acionamento do sensor S<sub>1</sub> permanecendo assim durante outros 20 segundos.

Após este tempo o veículo é acionado novamente, movimentando-se outra vez para a extremidade direita da linha.

O funcionamento é intermitente, sendo somente interrompido se houver um novo acionamento no botão Liga/Desliga. Observe que em se tratando de um *push-button*, a operação Liga ou Desliga é invertida a cada acionamento neste botão. Considere que o desligamento pode ocorrer em qualquer instante, podendo ocorrer mesmo na região intermediária, mas em qualquer caso, o veículo irá paralisar aguardando um novo comando.

Para definir o sentido de rotação do motor de indução trifásico basta efetuar a inversão de duas fases do motor de indução comandando os contatores C1 (movimentação da esquerda para a direita) e C2 (movimentação da direita para esquerda) conforme a Figura 5, onde as linhas em vermelho identificam as ligações que devem ser efetuadas pelos alunos.

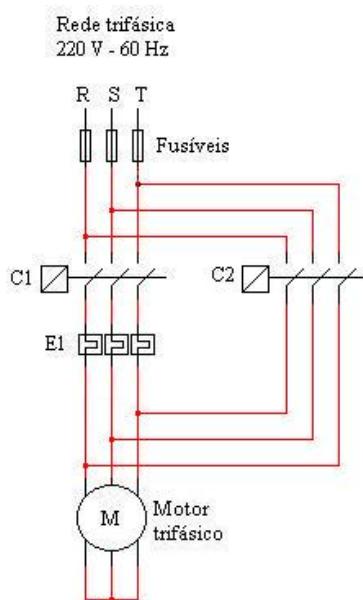


Figura 5 – Reversão do sentido de acionamento de motor de indução

No desenvolvimento da experiência o aluno aplica conceitos de máquinas elétricas e conversão de energia, sistemas de proteção de energia elétrica, lógica de programação e automação.

Para desenvolver a programação o aluno utiliza fluxogramas como principal ferramenta. Um exemplo de fluxograma desenvolvido para desenvolver a reversão do sentido de acionamento do motor de indução está ilustrado na Figura 6.

#### 4. SISTEMA AUTOMÁTICO DE FURAÇÃO DE PEÇAS

As experiências 9 e 10 simulam um sistema automático para furação de peças como ilustrado na Figura 7 e que executa o procedimento detalhado abaixo.

No instante inicial, uma peça transportada através de uma esteira é colocada sobre uma base de fixação. Um sensor  $S_1$  é acionado, indicando que a peça está na posição adequada. O sinal é reconhecido pelo CLP e este provoca o acionamento do atuador A que é responsável pela fixação da peça. Então a haste do atuador A avança, acionando um contato NA (chave 1) acionado por rolete. O cilindro mantém-se atuado durante 4 segundos, durante todo o processo de furação.

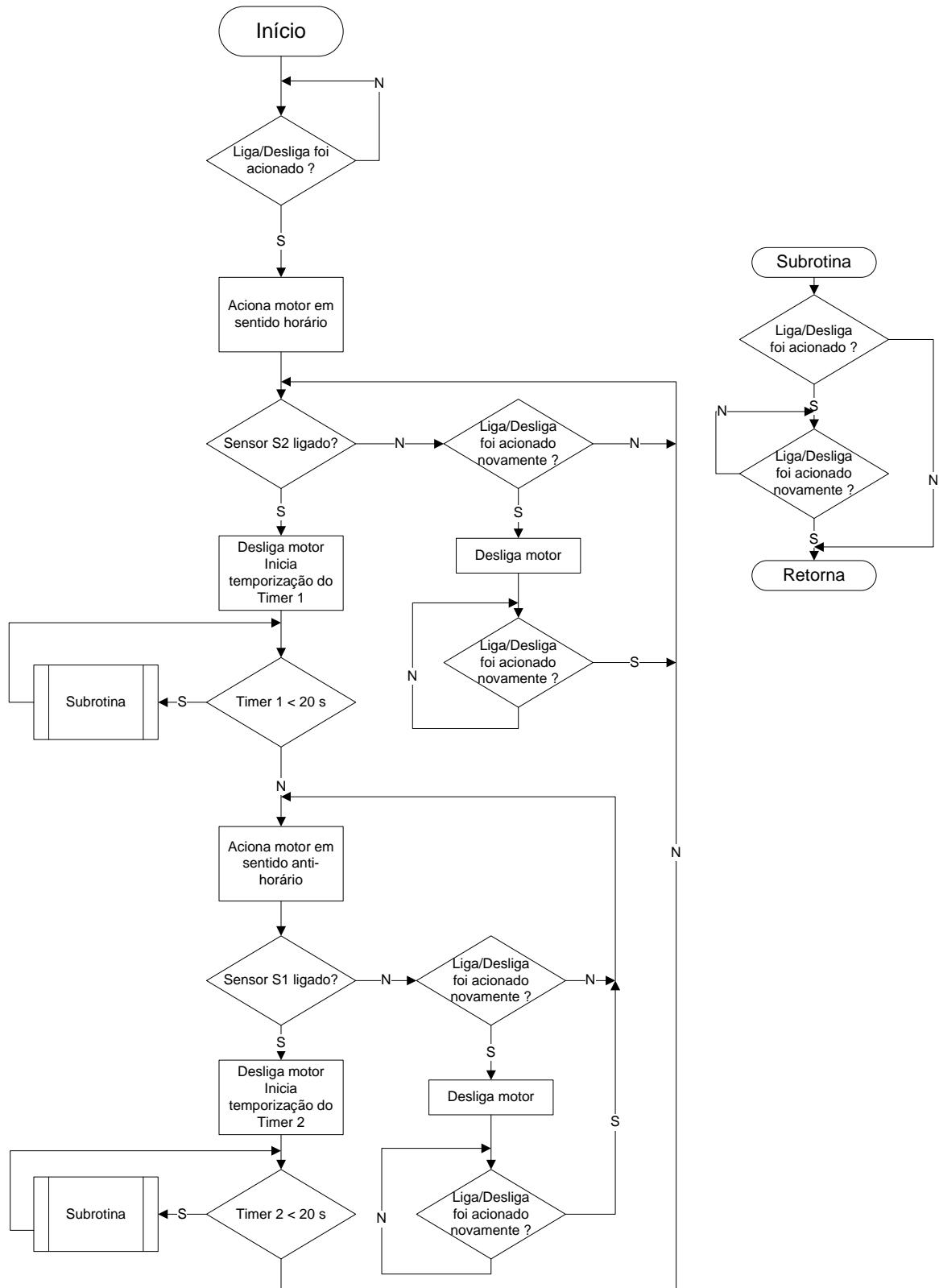


Figura 6 – Fluxograma do algoritmo desenvolvido para reversão do sentido de acionamento de motor de indução

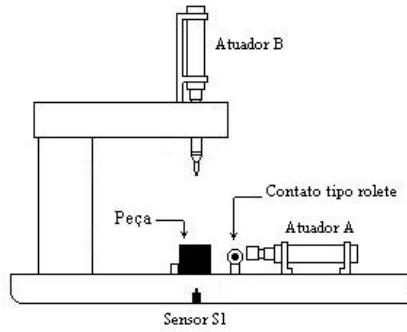


Figura 7 – Sistema automático de furação de peças

O atuador B, que realiza a furação é então automaticamente acionado. O tempo necessário para o avanço da haste do atuador B e furação da peça consiste de aproximadamente 2 segundos, sendo que o atuador B recua após este tempo.

O atuador A retorna então à posição inicial.

O sistema fica então paralisado aguardando até que uma nova peça seja colocada na base de fixação.

Para desenvolver a aplicação os alunos devem desenvolver a programação utilizando duas linguagens: *Ladder* e *STL*. O projeto ainda inclui as etapas de:

- simulação do circuito pneumático utilizando *software* específico onde o aluno deve aprender a identificar cada componente por sua simbologia apropriada;

- montagem do circuito pneumático;
- desenho do diagrama trajeto-passo.

A Figura 8 mostra a montagem do circuito pneumático desenvolvida pelos alunos. A Figura 9 ilustra o desenho do circuito pneumático montado no simulador que inclui os cilindros atuadores, válvulas direcionais e circuito de comando das válvulas por meio de solenóide comandado por botão. As válvulas direcionais utilizadas possuem comandos diferentes de forma que o aluno possa identificá-las bem como desenvolver lógica diferente conforme o tipo de comando utilizado. A Figura 10 ilustra os tipos de sensores que podem ser utilizados no laboratório para simular o reconhecimento de peça na posição de furação. A Figura 11 ilustra o diagrama trajeto-passo associado ao projeto.

No desenvolvimento da experiência o aluno aplica e assimila diversos conceitos de pneumática, instrumentação e lógica de programação incluindo utilização de funções de temporização em linguagens diferentes, tornando-o apto para o desenvolvimento de aplicações similares na indústria.

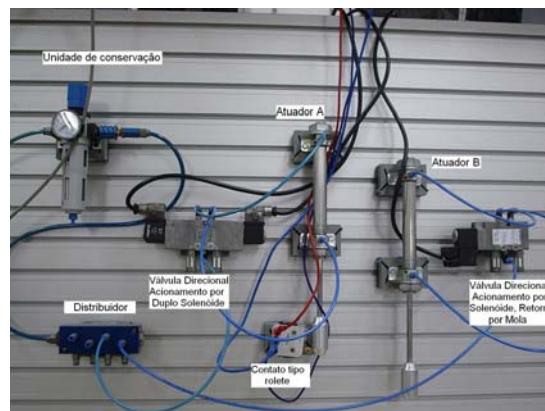


Figura 8 – Montagem do circuito pneumático na bancada

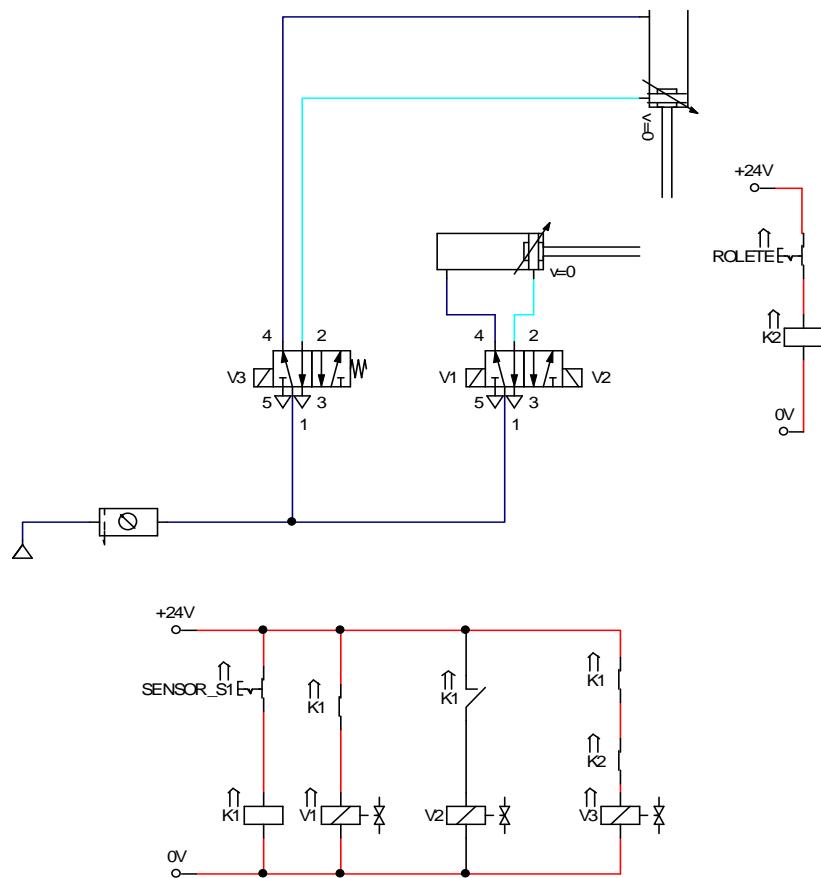


Figura 9 – Simulação do circuito pneumático



Figura 10 – Sensores utilizados para identificação de presença de peça

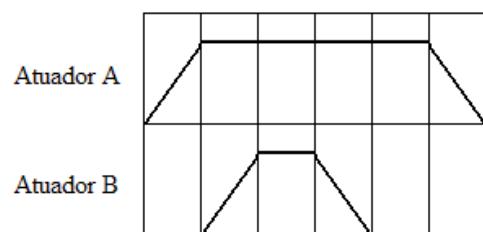


Figura 11 – Diagrama trajeto-passo

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a metodologia utilizada em laboratórios de automação de cursos de engenharia para o ensino de controladores lógicos programáveis. A proposta utiliza dois laboratórios com equipamentos distintos permitindo ao aluno conhecer diferentes tecnologias e interfaces de programação. No laboratório o aluno aprende a projetar, programar e manipular equipamentos modernos equivalentes aos encontrados no mercado de trabalho e as aplicações efetuadas nas experiências são similares às tipicamente desenvolvidas na indústria.

Abordagens similares às descritas neste trabalho são também adotadas em outros cursos de automação industrial, contudo é importante ressaltar alguns pontos do programa apresentado que merecem destaque e que denotam relativa contribuição em relação a outras abordagens:

- o programa é diversificado e envolve numa mesma atividade diversos conceitos da área de automação, tais como pneumática, instrumentação, controle de processos a eventos discretos, controle de processos contínuos, acionamento de motores e eletrotécnica, além de lógica de programação utilizando diferentes linguagens previstas na norma IEC61131-3;

- são utilizados equipamentos de fabricantes distintos, o que permite vislumbrar as diferenças e peculiaridades dos equipamentos e das interfaces de programação, além da funcionalidade e disponibilidade de recursos;

- em ambos laboratórios utilizam-se equipamentos didaticamente projetados para o desenvolvimento de aplicações; em um deles utiliza-se uma bancada didática (Figura 1) não disponível comercialmente e que foi desenvolvida na própria instituição, sendo direcionada para o desenvolvimento de experiências específicas.

Em relação à última contribuição, é importante salientar que, devido aos recursos didáticos disponíveis nos equipamentos, praticamente não há consumo de tempo no processo de montagem dos circuitos eletrônicos, pois as entradas e saídas dos controladores já estão conectadas diretamente aos instrumentos da bancada. Em anos anteriores, antes da montagem da bancada didática, experiências similares foram desenvolvidas e observou-se que em alguns casos consumia-se cerca de 30% do tempo disponível para a experiência na montagem dos circuitos eletrônicos. Inconvenientes como conexão incorreta de ligações, mau contato, queima de componentes, desarmes em equipamentos de proteção, entre outros, ocorriam com certa freqüência, tornando as experiências cansativas e desestimulantes.

### *Agradecimentos*

Aos professores da instituição e equipe do almoxarifado da Engenharia Elétrica do IMT – Instituto Mauá de Tecnologia pela montagem da bancada didática do Laboratório 1.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LI, S.; KHAN, A. A. Applying IT Tools to a Laboratory Course for Measurement, Analysis, and Design of Electric and Electronic Circuits. **IEEE Transactions on Education**. v. 48, n. 3, p. 520-530, August 2005.

MORAES, C. C., CASTRUCCI, P. L. Um Programa Didático em Automação Industrial. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 9, 2002, Natal. **Anais**. p. 1397-1402.

SILVA JR., J. M. G., BAZANELLA, A. S. Um Sistema Didático para o Ensino de Ajuste de Controladores PID. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 9, 2002, Natal. **Anais**. p. 1403-1408.

## **A DIDACTIC PROGRAMME FOR EDUCATION OF PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL**

**Abstract:** *This paper presents a programme for industrial automation laboratory focusing on applications with programmable logic controllers. The approach considers the development of practical experiences similar to applications in industry in order to teach the student to design, plan and handling of industrial automation equipment typically available in the market. The methodology use didactic equipment and resources in order to reduce the effort for the assembly of electronic circuits but allowing the learning of various concepts such as: programming using different languages, three-phase induction motor drives controlled by programmable logic controllers, assembly and simulation of applications of pneumatic, among others..*

**Key-words:** *programmable logic controllers, engineering education, laboratory, pneumatic, induction motor.*