

**UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP**  
**PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SISTEMA DE FRENAÇÃO DE MÁQUINA DE  
ROTULAGEM COM CONTROLE BASEADO  
NA LÓGICA PARACONSISTENTE  
ANOTADA EVIDENCIAL E<sub>T</sub>**

**HÉLIO CORRÊA DE ARAÚJO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**SÃO PAULO  
2011**

HÉLIO CORRÊA DE ARAÚJO

**SISTEMA DE FRENAGEM DE MÁQUINA DE ROTULAGEM COM  
CONTROLE BASEADO NA LÓGICA PARACONSISTENTE  
ANOTADA EVIDENCIAL E<sub>T</sub>**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção da Universidade Paulista, para a  
obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Gestão de  
Sistemas de Operação

Linha de Pesquisa: Métodos Quantitativos  
em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Jair Minoro Abe

SÃO PAULO  
2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

Araújo, Hélio Corrêa de

Sistema de frenagem de máquina de rotulagem  
com controle baseado na lógica paraconsistente anotada  
evidencial Et. / Hélio Corrêa de Araújo, 2011.

80 f.il.: Color

Dissertação (Mestrado) – Apresentada ao Instituto  
de Ciências Exatas da Universidade Paulista, São Paulo, 2011.

Área de Concentração : Gestão de sistemas de operação  
“Orientação : Prof.º Dr. Jair Minoro Abe ”

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, Herondino Alves de Araújo e Hilda Corrêa de Araújo, por terem me acompanhado em todos esses anos de vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Dr. Jair Minoro Abe, pela: paciência, dedicação, disponibilidade de tempo, sempre com uma empolgação contagiante em suas orientações prestadas.

Ao Prof. Fábio Vieira do Amaral, por ter me ajudado na escrita desse trabalho.

Ao Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho, pelas contribuições dadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Mário Mollo Neto, pelas contribuições na estruturação desse trabalho.

A amiga Mirian G. Claro, Bibliotecária UNIP Tatuapé, por ter ajudado na correção desse trabalho.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, a Vice\_Reitoria de Pesquisa e a Universidade Paulista – UNIP pelo apoio dado durante a elaboração desse trabalho.

Pelo companheirismo da minha família, que esteve comigo em todos os momentos difíceis, sempre me incentivando.

## EPÍGRAFE

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará a seu tamanho original." (Albert Einstein)

## RESUMO

Nesta dissertação apresenta-se o desenvolvimento de um sistema de frenagem, para máquinas de rotulagem em geral. Que utiliza a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial  $E\tau$ , como base no tratamento dos sinais e controle do sistema. Esse sistema é composto por um cilindro de freio eletromagnético, um sensor de ultrassom, um inverter de frequência, um controlador lógico programável (CLP), e uma placa de circuito impresso. Nessa placa fica acoplado um microcontrolador PIC, que faz o tratamento das informações vindas do sensor e do CLP. O sensor indica o tamanho da bobina de rótulo e o CLP indica a rotação do motor. Esse microcontrolador possui um software em sua memória baseado na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial  $E\tau$ , que faz o tratamento dos sinais vindos do sensor e do CLP, efetuando assim o cálculo do Grau de Certeza  $G_{ce}$ , para determinar com que intensidade será aplicada a frenagem no eixo de sustentação da bobina de rótulos.

**Palavras-chave:** Frenagem; Freio Eletromagnético; Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial  $E\tau$ ;

## ABSTRACT

This dissertation presents the development of a braking system for labeling machines in general. Who uses Annotated Paraconsistent Evidential Logic  $E\tau$ , based on signal processing and control of the system. This system consists of an electromagnetic brake cylinder, an ultrasonic sensor, a frequency converter, a programmable logic controller (PLC), and a printed circuit board. This plate is attached a PIC microcontroller, which makes the processing of information coming from the sensor and PLC. The sensor indicates the size of the label coil and the PLC indicates the engine speed. This microcontroller has in his memory a software based on Annotated Paraconsistent Evidential Logic  $E\tau$ , what does the processing of signals from the sensor and PLC, thus making the calculation of the degree of certainty  $G_{ce}$  to determine how hard braking will be applied on axis of the label coil support.

**Key Words:** Braking; Electromagnetic brake; Annotated Paraconsistent Evidential Logic  $E\tau$ .

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de uma linha de produção garrafas PET .....	13
Figura 2 - Sopradora de garrafas PET (Fonte: Romi, 2011) .....	17
Figura 3 - Vista área: Sopradora de garrafas PET (Fonte: Romi, 2011) .....	18
Figura 4 – Rotuladora (Fonte: ZEGLA, 2011).....	19
Figura 5 - Enchedora de garrafas PET (fonte: ZEGLA, 2011).....	20
Figura 6 - Estrutura externa do microcontrolador pic (fonte: Pereira 2003) .....	29
Figura 7 - Interface gráfica PMLAB (fonte: Microchip, 2011).....	31
Figura 8 - Multiprog2 programador (Fonte: Mult, 2011).....	32
Figura 9 - Reticulado com graus de certeza e incerteza (ABE, 2011).....	37
Figura 10 - Estados extremos e não-extremos (ABE, 2011) .....	39
Figura 11 - Diagrama com os graus de incerteza e de certeza (ABE, 2011) .....	40
Figura 12 - Diagrama do sistema de frenagem .....	44
Figura 13 - Situação em que a máquina se encontra com o rótulo desalinhado .....	46
Figura 14 - Sistema de frenagem manual .....	47
Figura 15 - Forma de onda dos pinos INIT e ECHO (Fonte: Acroname, 2010).....	50
Figura 16 - Sensor de ultrassom: R287-SRF02 (Fonte: Acroname, 2010).....	50
Figura 17 - Freio eletromagnético (fonte: Sanyo, 2010) .....	52
Figura 18 - Dimensões do freio eletromagnético (fonte: Sanyo, 2010) .....	52
Figura 19 - Inversor de frequência (fonte: Mitsubishi, 2010) .....	53
Figura 20 - Controlador lógico programável (fonte: Mitshubishi, 2011).....	54
Figura 21 - Fonte de informação CLP .....	56
Figura 22 - Fonte de informação do sensor .....	58
Figura 23 - Esquema da lógica de programação.....	59
Figura 24 – Esquema completo da máquina.....	60
Figura 25 - Situação em que o motor se encontra parado .....	61
Figura 26 - Motor em alta rotação e bobina pequena.....	62
Figura 27 - Motor em baixa rotação e bobina grande.....	63
Figura 28 - Fluxograma do software desenvolvido para determinar a frenagem.....	64
Figura 29 - Diagrama elétrico do sistema de frenagem.....	65
Figura 30 - Placa de circuito impresso do sistema de frenagem .....	66
Figura 31 - Sistema de frenagem automático (visão aproximada) .....	67
Figura 32 - Sistema de frenagem automático.....	68
Figura 33 - Suporte para instalação da placa de circuito impresso .....	69
Figura 34 - Gráfico comparativo da produção (março e maio 2011) .....	71
Figura 35 - Gráfico comparativo da produção (abril e junho 2011) .....	71

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Média de paradas diárias dos equipamentos .....	14
Tabela 2 - Estados extremos (ABE, 2011) .....	40
Tabela 3 - Estados não-extremos (ABE, 2011) .....	41
Tabela 4 - Dados da produção usando freio manual.....	48
Tabela 5 – Parâmetros e especificação técnica do freio eletromagnético( fonte: Sonyo, 2010).....	53
Tabela 6 - Lista de componentes usados na montagem da placa de circuito impresso .....	66
Tabela 7 - Dados da produção usando freio eletromagnético maio 2011 .....	70
Tabela 8 - Dados resumidos da produção (março e maio 2011).....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA = Inteligência Artificial

$G_{ce}$  = Grau de certeza

$G_{in}$  = Grau de incerteza

LPA= Lógica Paraconsistente Anotada

$V_{cve}$  = Valor de controle de veracidade

$V_{cfa}$  = Valor de controle de falsidade

$V_{cic}$  = Valor de controle de inconsistência

$V_{cpa}$  = Valor de controle de paracompleteza

QUPC = Quadro Unitário do Plano Cartesiano

$E\tau$  = Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial  $E\tau$

RISC = *Reduced Instruction Set Computing*

CLP = Controlador Lógico Programável

PET = Politereftalato de Etileno

## LISTA DE SÍMBOLOS

$V$ = Verdadeiro

$F$ = Falso

$T$  = Inconsistente

$\perp$  = Paracompleto

$\mu$  = Grau de evidência favorável

$\lambda$  = Grau de evidencia desfavorável

$\tau$  = Reticulado associado à Lógica Paraconsistente

$\neg$  = Negação

$\wedge$  = Conjunção

$\vee$  = Disjunção

$\rightarrow$ = Implicação

$\leftrightarrow$  = Bi-implicação

## Sumário

FICHA CATALOGRÁFICA .....	I
DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS .....	III
EPÍGRAFE .....	IV
RESUMO.....	V
ABSTRACT .....	VI
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	X
Sumário .....	XI
1. Introdução .....	13
1.1 Apresentação .....	13
1.2 Objetivos .....	15
1.2.1 Objetivo Principal .....	15
1.2.2 Objetivos Secundários.....	15
2. Revisão Bibliográfica.....	16
2.1 Automação da Produção .....	16
2.2 Máquinas usadas na produção de garrafas PET .....	17
2.2.1 Sopradora.....	17
2.2.2 Rotuladora.....	18
2.2.3 Enchedora .....	19
2.3 Equipamentos usados no projeto .....	20
2.3.1 Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) .....	21
2.3.2 Sensor .....	22
2.3.3 Atuador.....	23
2.4 Lead Time .....	24
2.4.1 Tecnologia de Processo .....	25
2.5 Sistemas Eletrônicos Embocados .....	25
2.6 Sistema de Automação e Controle .....	26
2.6.1 Microcontroladores .....	28
2.6.2 Família de Microcontroladores PIC .....	28
2.6.3 Programação de Microcontroladores.....	30
2.6.4 Ferramentas de Programação e Compiladores.....	30
2.6.5 Gravação no microcontrolador .....	31
3. Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et .....	32
3.1 O Conectivo da Negação .....	35
3.2 Os Conectivos da Conjunção Disjunção e Implicação .....	36
3.3 O Reticulado $\tau$ .....	36
3.4 Graus de Certeza e de Incerteza .....	37
3.5 Estados de Decisão: Extremos e Não-extremos .....	38

3.6 Algoritmo “Para-analisador”.....	41
4. Materiais e Métodos .....	44
5. Estudo de Caso.....	46
5.1 Apresentação .....	46
5.2 Funcionamento da Máquina de Rotulagem antes da Automação .....	46
5.2 Levantamento do Histórico de Produção.....	48
5.3 Definição dos Componentes Utilizados no Desenvolvimento do Protótipo .....	49
5.3.1 Sensor.....	49
5.3.2 Atuador.....	51
5.3.3 Inversor de Frequência.....	53
5.3.4 Controlador Lógico Programável.....	54
5.4 Desenvolvimento do Software de Controle da Frenagem .....	55
5.4.1 Leitura do CLP .....	55
5.4.2 Leitura do Sensor .....	56
5.4.3 Cálculo do Grau de Certeza .....	58
5.4.4 Exemplificação de Situações onde a Frenagem no Eixo da Bobina foi aplicada .....	60
5.5 Detalhamento do Desenvolvimento do Sistema de Frenagem.....	65
5.5.1 Diagrama elétrico do sistema de frenagem .....	65
5.5.2 Placa de Circuito Impresso do Protótipo do Sistema de Frenagem .....	66
5.6 Construção do Painel de Controle e Instalação na Máquina.....	69
5.7 Levantamento dos Dados de Produção Após a Automação da Máquina .....	70
6. Resultados .....	71
7. Discussão.....	72
8. Conclusão .....	73
Referências .....	75

## 1. Introdução

### 1.1 Apresentação

O processo de produção em uma fábrica de refrigerantes sofre atrasos frequentes, principalmente por apresentar sua linha de produção montada em estágios subsequentes. Segundo (CORRÊA & CORRÊA, 2006) atrasos ocorrem por falha operacional ou por necessidade de manutenção dos equipamentos, caso particular da produção de refrigerantes envasados em garrafas de polietileno (PET). O primeiro estágio da produção define o formato da garrafa (PET), que trata-se de um tubo plástico (pré-forma) que é aquecido, colocado em um molde e após receber uma carga de ar, toma a forma final. O equipamento utilizado nesse processo é denominado sopradora. No segundo estágio a garrafa recebe o rótulo do produto em um equipamento denominado rotuladora e no terceiro estágio o líquido é inserido na garrafa em um equipamento denominado enchedora Figura 1.

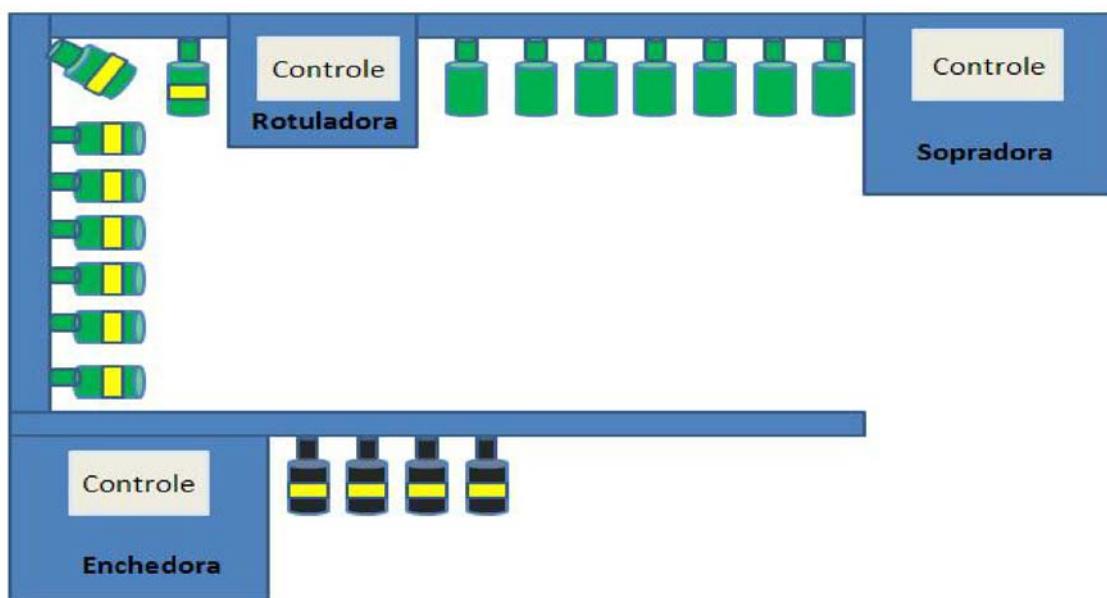


Figura 1 - Exemplo de uma linha de produção garrafas PET

Durante o processo de produção pode ocorrer algum tipo de intercorrência com qualquer um dos equipamentos envolvidos, entre as principais:

- Na sopradora, o carregamento da matéria prima pré-forma acontece de forma automática. Durante o abastecimento da pré-forma se ocorrer um desalinhamento no trilho da sopradora o equipamento sofrerá uma interrupção.
- Na rotuladora, o freio da bobina de rótulo pode apresentar um desajuste na sua precisão, o que leva a interrupção do equipamento. Este desajuste pode ser agravado por um processo manual de controle da frenagem do eixo da bobina de rótulos da máquina rotuladora.
- Na enchedora, a garrafa pode tombar ou a tampa da garrafa pode ter sido inserida de modo incorreto. Em ambas as situações o equipamento sofrerá uma interrupção.

Em levantamento de campo das paradas em um período de 30 dias conforme mostra a Tabela 1, constatou-se que a máquina que apresenta nível mais elevado de problemas é a Rotuladora. Esse número excessivo de paradas acontece devido à frenagem incorreta da bobina de rótulos.

Tabela 1 - Média de paradas diárias dos equipamentos

	Sopradora	Rotuladora	Enchedora
Paradas diárias (período de 30 dias)	17	70	31

Esse levantamento indica que a rotuladora tem papel determinante na eficiência da produção, por sofrer um número mais elevado de interrupções em comparação ao número de interrupções dos demais equipamentos.

Devido a essa condição esse estudo dará enfoque à automatização do sistema de frenagem aplicado ao eixo da bobina de rótulos contido na máquina rotuladora. A automatização será feita através da aplicação de uma tensão elétrica que poderá variar de 110 à 220 volts, em um componente eletromagnético, cuja

função será realizar a frenagem do eixo. O tratamento das informações será feito com um software de monitoramento que, se valerá da aplicação dos conceitos da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et, para a tomada de decisão. Neste caso, decidir se o componente eletromagnético deverá realizar a frenagem com maior ou menor intensidade. Após a mudança do processo original, que não envolve um controle de frenagem automático espera-se reduzir a número de interrupções na etapa de rotulagem aumentando a eficiência do sistema.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Principal**

Esse trabalho tem como objetivo principal a automatização do sistema de frenagem de uma máquina usada para colocar rótulo em garrafas PET. Tentando assim reduzir o número excessivo de paradas.

### **1.2.2 Objetivos Secundários**

- i. Levantamento Físico do Funcionamento da Máquina Antes da Automação
- ii. Levantamento dos Históricos de Produção
- iii. Definição dos Sensores e Atuadores
- iv. Desenvolvimento do Software Usado no Controle da Frenagem
- v. Construção dos Painéis de Controle e Instalação na Máquina
- vi. Testes e Avaliação do Desempenho do Sistema de Frenagem
- vii. Levantamento dos Dados de Produção Após a Automação da Máquina

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Automação da Produção

A revolução Industrial teve início no século XVIII na Inglaterra, com a mecanização dos sistemas de produção. Tarefas executadas de maneira artesanal foram mecanizadas, o que levou a ganhos de escala na produção, abrindo assim possibilidades para produção em massa.

O pioneirismo das indústrias teve o seu preço. Elas não conseguiam produzir em massa produtos mais complexos compostos por vários itens, e que necessitassem de habilidades e conhecimentos refinados por parte dos profissionais envolvidos na sua produção.

O conhecimento tecnológico e a solidez estrutural (finanças e recursos naturais) permitiu à Inglaterra assumir o papel de líder da revolução industrial. (LOBO, 1986).

Neste período a Inglaterra possuía grandes reservas de carvão mineral e minério de ferro, respectivamente a principal fonte de energia e a principal matéria-prima utilizada por esse novo paradigma de produção.

Outros dois fatores contribuíram na condução da liderança inglesa, mão-de-obra abundante e a burguesia com capital para investir em uma forma nova de manufatura (LOBO, 1986).

Com isso, o mundo descobriu uma nova maneira de produzir mais e melhor, reduzindo o custo da produção e causando impacto de menor preço para o consumidor final.

## 2.2 Máquinas usadas na produção de garrafas PET

A seguir serão apresentadas as máquinas usadas nos 3 estágios de produção de garrafas PET.

### 2.2.1 Sopradora

Equipamento utilizado no primeiro estágio em uma linha de produção de refrigerantes Figura 2 e Figura 3.

Itens que compõe a máquina Sopradora:

1. Depósito de pré-forma; matéria-prima para produção de garrafas.
2. Elevador de pré-forma; transporta a matéria-prima até o alinhador.
3. Alinhador; organizar de forma sequencial a pré-forma e inclusão da mesma na roda de carregamento Figura 3.
4. Estampagem da pré-forma; injeção de ar-comprimido no molde com pré-forma Figura 3.
5. Expurgo de pré-forma; exclusiva de pré-forma ou garrafas fora dos padrões de conformidade.
6. Saída da garrafa finalizada.



Figura 2 - Sopradora de garrafas PET (Fonte: Romi, 2011)

A Figura 3 apresenta a vista aérea da Sopradora.

Itens que compõe a máquina Sopradora:

1. Roda de carregamento; conduzir a pré-forma até a caixa de aquecimento.
2. Caixa de aquecimento; aquecer a pré-forma.
3. Molde; responsável pela definição da forma final da garrafa.

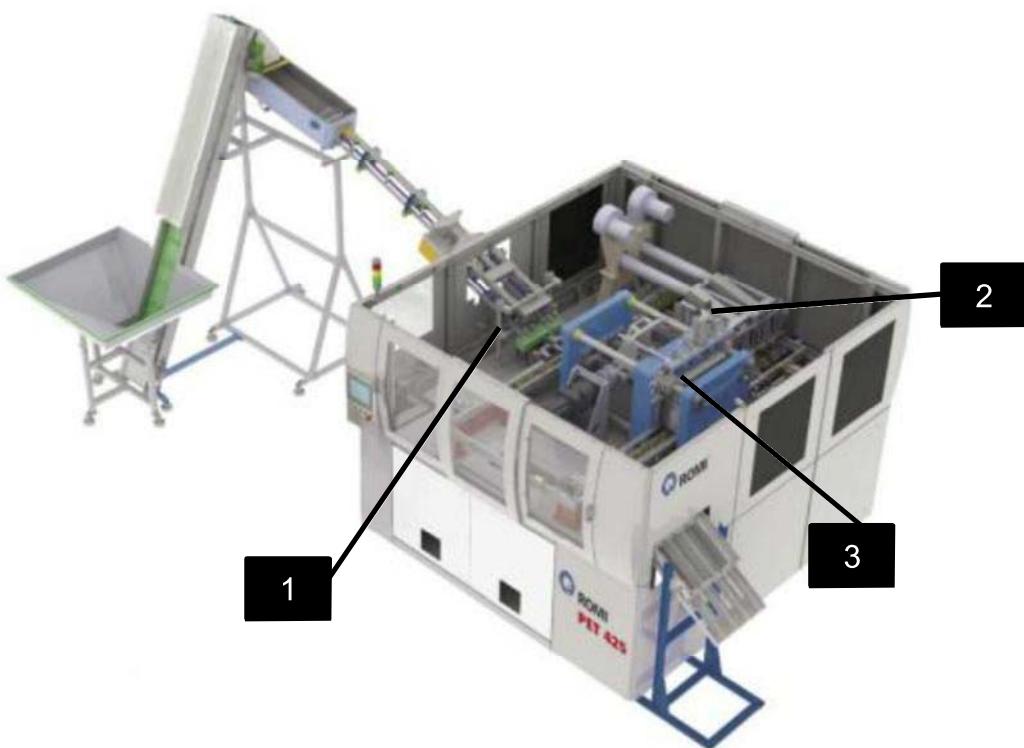


Figura 3 - Vista área: Sopradora de garrafas PET (Fonte: Romi, 2011)

## 2.2.2 Rotuladora

Equipamento utilizado no segundo estágio em uma linha de produção de refrigerantes Figura 4.

Itens que compõe a máquina Rotuladora:

1. Bobina de rótulo; possui os rótulos a serem colocados na garrafa.
2. Eixo do suporte da bobina; onde a frenagem será executada.
3. Tambor; responsável por transferir o rótulo com cola para a garrafa.
4. Garrafa sem rótulo.
5. Garrafa após ser rotulada.

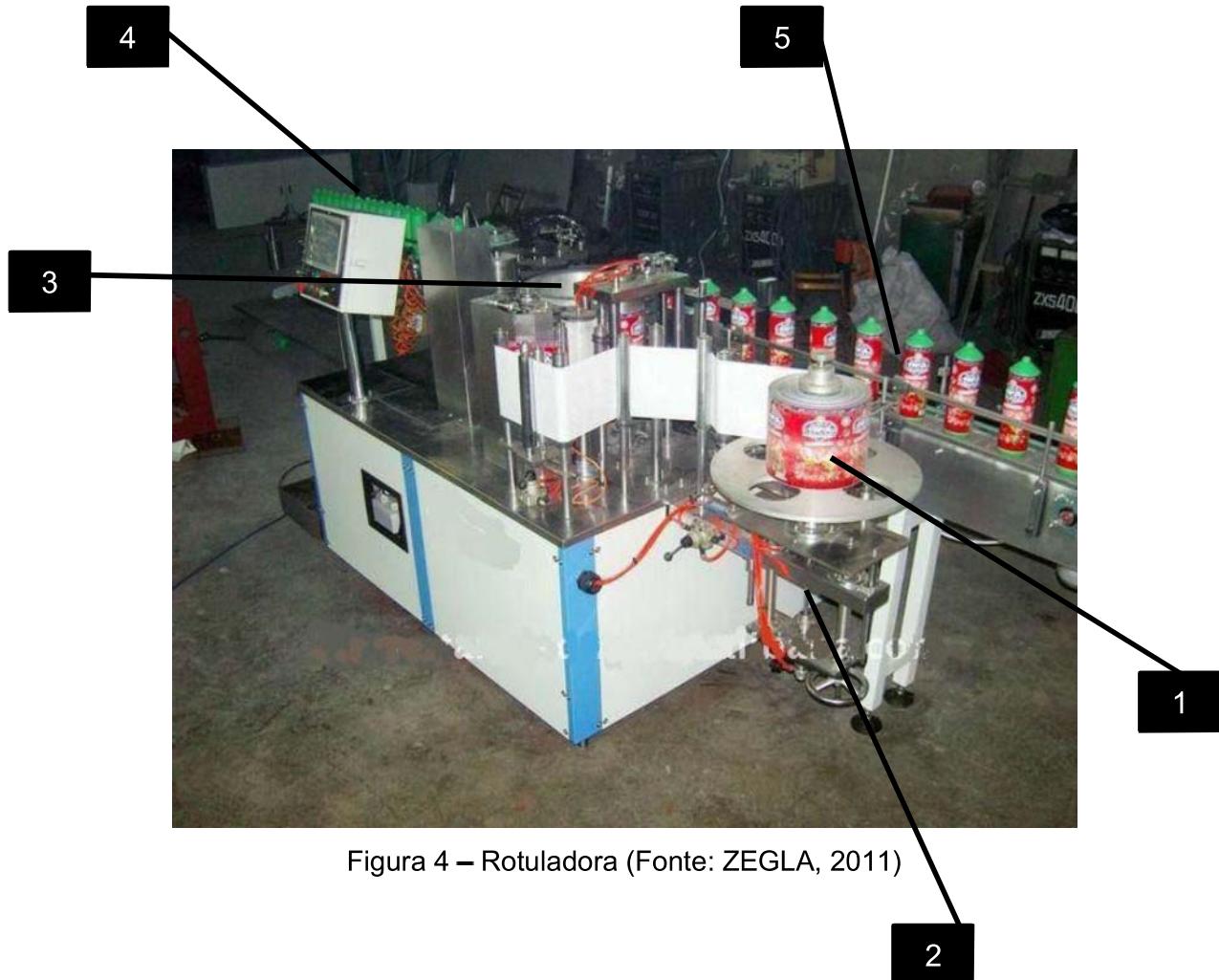


Figura 4 – Rotuladora (Fonte: ZEGLA, 2011)

### 2.2.3 Enchedora

Equipamento utilizado no terceiro estágio em uma linha de produção de refrigerantes Figura 5.

Itens que compõe a máquina Enchedora:

1. Transporte aéreo; condução das garrafas através de trilhos até a roda de enchimento.
2. Roda de enchimento; envasar líquido na garrafa.
3. Esteira de transporte; transportar garrafas cheias até o empacotamento.

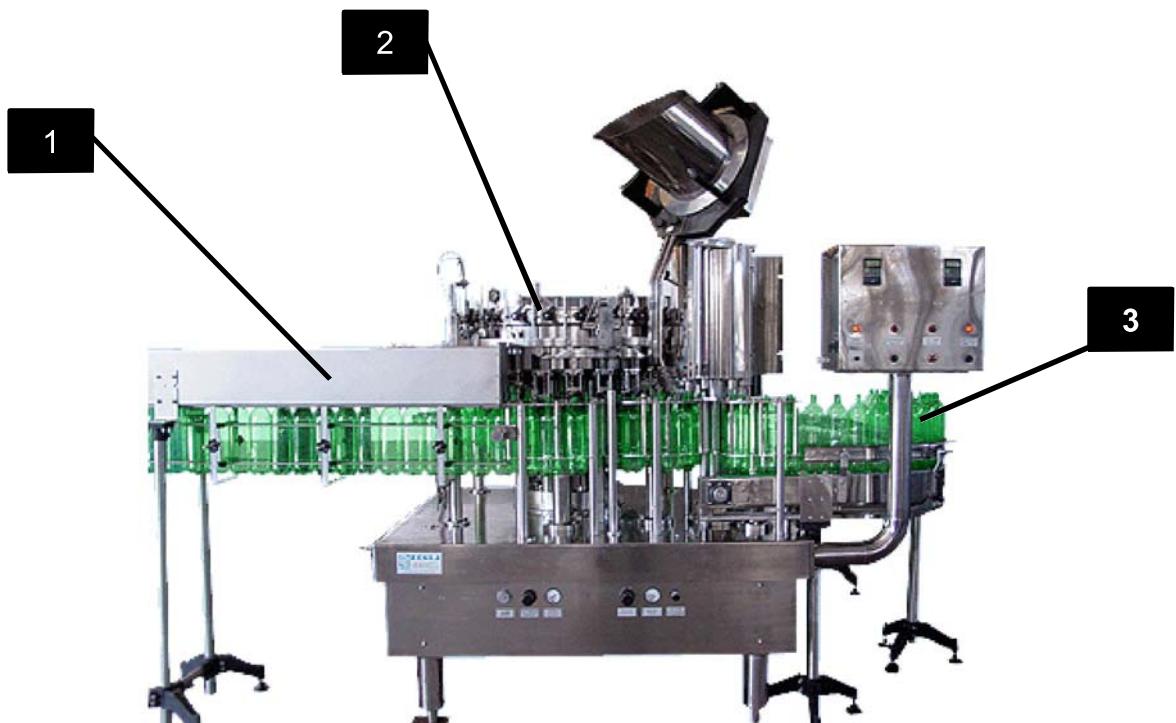


Figura 5 - Enchedora de garrafas PET (fonte: ZEGLA, 2011)

### 2.3 Equipamentos usados no projeto

A seguir serão apresentados os principais equipamentos e ferramentas utilizados no projeto.

### 2.3.1 Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)

Os relés e os dispositivos eletromecânicos usados nas grandes indústrias até o final da década de 60 eram dispositivos fixos que exigiam manutenção constante. O desgaste dos elementos mecânicos exigia uma atenção especial por parte das equipes de manutenção. A busca por uma solução mais eficiente resultou na elaboração de mecanismos de controle mais fáceis de serem operados e programados. O tempo de vida dos componentes aumentou, tornando a estrutura de produção mais confiável (CORETTI, 1998).

Os CLP's se diferem dos relés e dos dispositivos eletromecânicos, por utilizarem controladores microprocessados que possuem funções definidas ou programadas pelo usuário. Segundo Coretti (1998) os CLPs foram projetados para substituir os relés e dispositivos de passo eletromecânicos, tiveram sua primeira experiência real na General Motors americana, em uma linha de montagem.

Com o crescente uso desse equipamento por grandes indústrias, na década de 70 foram incorporadas novas instruções: temporização, contadores, operações aritméticas, controle de impressão, movimentação de dados, terminais de programação TRC, operações matriciais.

Segundo relata Simpson (1994), o precursor do CLP, foi um grupo de engenheiros da General Motors no ano de 1968. Os critérios que eles usaram para desenvolver esse equipamento foram:

- A máquina deve ser facilmente programada. Ela deve ter sequência de operações prontamente modificadas;
- Deve ser de fácil manutenção e reparação em módulos conectáveis;
- A unidade dever ser capaz de operar na planta com maior confiabilidade do que um painel de controle de relés;

- Deve ser fisicamente menor do que um painel de controle de relés e assim reduzir ao mínimo a necessidade de espaço no chão-de-fábrica;
- A unidade deve ter custo competitivo frente aos relés de estado sólido presentemente em uso.

No final da década de 70, foi introduzido nos CLP's recursos de comunicação, o que permitiu a interação entre controladores remotos, fazendo com que se tornassem parte do sistema integrado de fabricação. O protocolo de comunicação utilizado deveria ser único, porém a realidade mostra a utilização de protocolos individuais.

Na década de 80 os CLP's, sofreram uma redução do tamanho físico e a inserção de módulos inteligentes de E/S oferecendo assim uma velocidade de processamento maior e controle preciso em aplicações de posicionamento. Outra melhoria introduzida foi a programação por software em microcomputadores e uma primeira tentativa de padronização dos protocolos de comunicação através do MPA (*Manufacturing Atomation Protocol*) (CORETTI, 1998).

Cada CLP possui o seu próprio software, podendo assim controlar os mais variados tipos de processos, com níveis de complexidade diferentes (ROHNER, 1996). A classificação desse tipo de equipamento, geralmente se dá pela capacidade de processamento e a quantidade de portas de comunicação, entrada e/ou saída.

### **2.3.2 Sensor**

Um sensor é um dispositivo tecnológico que tem suas propriedades elétricas e mecânicas, alteradas na presença de um sinal gerado por uma entidade externa por exemplo: umidade, odor, compostos químicos, pressão, temperatura, etc (EREN, 2006).

Os sensores podem ser classificados, segundo a sua arquitetura, em sensores eletrônicos, mecânicos, bio-sensores, piezo-elétricos, etc. Podem ser de

indicação direta (como um termômetro de mercúrio ou um medidor elétrico) ou indireta (como uma termo resistência ou um sensor digital que precisam ser ligados a um sistema de instrumentação, de modo que o valor detectado possa ser entendível pelo homem).

O sinal de um sensor pode ser usado para detectar e corrigir desvios em sistemas de controle (SC). Um sinal pode ser definido como qualquer quantidade física que varia com o tempo, espaço, ou quaisquer outras variáveis independentes (EREN, 2006).

Normalmente as saídas dos sensores utilizadas para medir variáveis físicas são sinais elétricos como tensão ou corrente.

A corrente ou tensão obtida na saída do sensor são de amplitude muito baixa e quase sempre contém ruídos e interferências ambientais.

Os ruídos encontrados nos sistemas de medição podem ser definidos como variações de corrente e de tensão que podem ser causados por fenômenos aleatórios.

As interferências ambientais são perturbações originadas geralmente por fenômenos periódicos externos ao sistema de instrumentação, tais como a transmissão de rádio frequência, equipamentos eletroeletrônico mal aterrado, frequência do campo elétrico e magnético da rede de alimentação (EREN, 2006).

Para eliminar os erros causados pelas perturbações mencionadas acima, é preciso o emprego de um módulo analógico de acondicionamento de sinais ligado à saída do sensor. O papel desse módulo é amplificar o sinal elétrico de saída do sensor, a fim de reduzir as perturbações ou ruídos encontrados no mesmo (EREN, 2006).

### **2.3.3 Atuador**

Atuador é um elemento capaz de alterar grandezas físicas em um sistema ao qual pertence (geralmente produzindo movimento) obedecendo a comandos que podem ser manuais ou automáticos. Nesse processo também acontece a conversão de

diferentes tipos de energia. São exemplos de elementos atuadores: cilindros pneumáticos (pneumática) ou cilindros hidráulicos (Hidráulica) e motores (dispositivos rotativos com acionamento de diversas naturezas). Para se classificar os elementos atuadores podem ser usados três critérios diferentes, são eles:

- Energia de saída: mecânica, térmica, óptica, etc.
- Princípio de funcionamento: mecânico, pneumático, hidráulico, eletromagnético, etc.
- Caso seja um atuador que gera movimento, pelo tipo de movimento: linear ou rotativo (ALBUQUERQUE & THOMAZINI, 2008).

## 2.4 Lead Time

Entende-se por *lead time* o tempo decorrido entre a adoção de uma providência e sua concretização, ou seja, o tempo havido entre a formulação do pedido e o recebimento da mercadoria correspondente.

Um fator determinante para definir o sucesso de uma organização é a sua competitividade. Conquistar mercado significa oferecer produtos de qualidade, preço justo e excelente serviço (CORRÊA & CORRÊA, 2006).

A diminuição dos tempos envolvidos no processo de produção é determinante para aumentar a flexibilidade da empresa, em relação ao seu concorrente. Utiliza-se para o ciclo produtivo (*Lead Time* de Produção), para o ciclo de pedido (*Lead Time* do Pedido) para o ciclo total da operação logística (*Lead Time* de Ressuprimento) e para definir o tempo de compra mais o tempo de transporte ( *Lead Time Logístico* ou *Tempo de Ciclo Total*) que é o tempo que decorre desde a emissão de uma ordem a um fornecedor até o atendimento da ordem do cliente final. Também, chamado de tempo de resposta, para designar o tempo compreendido entre o início da primeira

atividade até a conclusão da última, em uma série de atividades (CORRÊA & CORRÊA, 2006).

#### **2.4.1 Tecnologia de Processo**

Segundo Slack *et al* (1997), as tecnologias de processo são as máquinas, equipamentos e dispositivos que contribui com a produção, afim de transformar informações e materiais agregando valor a esses, atingindo os objetivos estratégicos da produção. Todas as operações usam tecnologia de processo, desde aquelas que usam intenso trabalho humano às mais sofisticadas e complexas, que usam equipamentos de última geração. Essas tecnologias são utilizadas para gerar vantagem competitiva e adicionar valor à operação.

#### **2.5 Sistemas Eletrônicos Embarcados**

A expressão em inglês *Embedded Electronic System* costuma ser traduzida para o português como: sistema eletrônico embutido ou sistema eletrônico embarcado. Essa denominação indica um sistema eletrônico que tem como base um microprocessador, diferentemente de um computador para uso genérico, possui um software exclusivo dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla. Ao contrário dos computadores convencionais (computador pessoal), um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas pré-definidas, geralmente com requisitos específicos (AMORIM 2011).

Segundo Amorim (2011), um sistema é classificado como embarcado quando este é dedicado a uma única tarefa e interage continuamente com o ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores. Por exigir uma interação contínua com o

ambiente, este tipo de sistema requer do projetista um conhecimento em programação, sistemas digitais, noções de controle de processos, sistemas de tempo real, tecnologias de aquisição de dados (conversão analógico/digital e sensores) e de atuadores (conversão digital/analógico, acionamento eletromecânico e PWM), e cuidados especiais na eficiência de estruturação do projeto e do código produzido.

O software escrito para sistemas embarcados é muitas vezes chamado de *firmware*, e fica armazenado em uma memória, read only memory (ROM) ou memória *flash* ao invés de um disco rígido. Sistemas eletrônicos embarcados podem possuir desde nenhuma interface com o utilizador (dedicados somente a uma tarefa) a uma interface de utilizador completa, similar à dos sistemas operacionais *desktop*.

O sistema eletrônico embarcado é aplicado hoje nas mais variadas áreas, antes isso só ocorria em sistemas complexos como sistemas de produção, aeronaves e navios. Equipamentos como: geladeiras, televisores, telefones celulares, centrais telefônicas, equipamentos para a montagem de redes de computadores, como roteadores, *hubs*, *switches*, *firewalls* e *Access Point WiFi*, controlador de injeção eletrônica de automóveis, entre outros.

## **2.6 Sistema de Automação e Controle**

Automação é a tecnologia baseada na realização de processos sem a intervenção humana, de tal maneira que o homem é deslocado da sua participação direta na realização do processo para função supervisora do processo (GROOVER, 2000). Segundo Kalpakjian (2000), automação é definida como um processo em que

máquinas realizam sequências de operações pré-determinadas com pouco ou nenhum trabalho humano, sendo realizada através de uma variedade de dispositivos de diferentes naturezas envolvendo sensores, atuadores, técnicas e equipamentos que são capazes de observar e controlar um processo.

No princípio da revolução industrial, a mecanização da manufatura foi realizada com auxílio da hidráulica, substituindo a atividade humana por dispositivos que reproduziam ações de intervenção física essencialmente repetitiva. As máquinas possuíam mecanismos automáticos fixos, visando produção de produto específico. Em uma segunda etapa, por volta dos anos 50, a criação do controle numérico foi a grande inovação aplicada a máquinas ferramentas que expandiu a aplicação da automação a maior gama de produtos (KALPAKJIAN, 2000).

A partir deste ponto, a introdução da computação como inovação incorporada à automação tem sido utilizada cada vez em mais aspectos da manufatura. Os objetivos da automação passaram a ser (KALPAKJIAN, 2000):

- Incrementar a integração dos elementos participantes do processo de manufatura;
- Reduzir envolvimento humano com atividades repetitivas;
- Melhorar fatores de competitividade nos negócios, tais como redução de custo (diminuição de perda da matéria-prima e dos custos de produção) e melhoria da qualidade através da garantia de repetibilidade;
- Levar o nível de segurança, principalmente em condições perigosas de trabalho;
- Economizar espaço físico através da disposição racional dos equipamentos demandada pelo uso da automação.

Desta forma, verifica-se que projetos de automação de sistemas produtivos possuem como objetivo primordial a substituição da intervenção humana em diversas funcionalidades. Melhorando assim o rendimento da produção e eliminando problemas causados em seres humanos por efetuarem tarefas repetitivas.

### **2.6.1 Microcontroladores**

Um microcontrolador é um dispositivo que possui um microprocessador, unidades de memória e outros periféricos, de acordo com o modelo, tudo em um *chip*. Quando se compra um circuito específico, este tem determinada função. Pode-se também definir microcontrolador como sendo um circuito integrado cuja função é definida de acordo com o programa nele inserido. Sendo assim, pode-se encontrar microcontroladores registrando dados, controlando o tempo, como cérebro de máquinas e robôs, coletando dados de vídeo, som ou escrevendo mensagens (CARVALHO, 2005).

Existem diversos fabricantes de microcontroladores no mercado que oferecem uma gama de modelos. Dentre esses, pode-se citar *Atmel*, *Motorola*, *Freescale Semiconductor*, *Intel*, *National Semiconductor*, *Texas Instruments*, *Microchip*, entre outros (CARVALHO, 2005).

### **2.6.2 Família de Microcontroladores PIC**

O PIC é uma família de microcontroladores fabricados pela Microchip Technology, dentre as mais conhecidas 12Fxxxx, 16Fxxxx, 18Fxxxx. Esses

processam dados de 8 bits e de 16 bits, mais recentemente 32, com extensa variedade de modelos e periféricos internos, conjunto de instruções RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), com recursos de programação por Memória *flash* e EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) (PEREIRA, 2003).

O PIC18F4520 pertence ao grupo de maior performance entre as famílias de microcontroladores de 8 bits já fabricados pela *Microchip*, contendo diferentes recursos de hardware internos (PEREIRA, 2003). A Figura 6 mostra a estrutura externa do PIC18F4520 em seu encapsulamento PDIP (*Plastic Dual In-Line Packages*) contendo 40 pinos, sendo 2 pares de pinos dedicados a energização do componente e mais 36 pinos dedicados a comunicação com outros dispositivos externos.

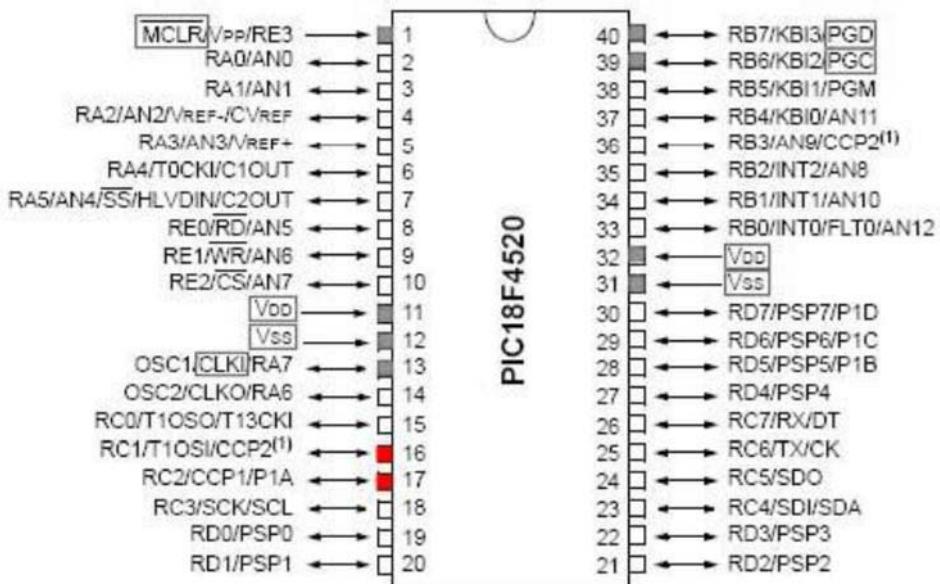


Figura 6 - Estrutura externa do mircrocontrolador pic (fonte: Pereira 2003)

Internamente, o PIC18F4520 assume a arquitetura Harvard, onde a CPU (Central Processing Unit – Unidade Central de Processamento) acessa a memória de dados e de programa por barramentos distintos. Entre os recursos internos do PIC, estão os conjuntos de portas A, B, C, D e E de entrada e saída digital,

tratamento de interrupção externa, oscilador interno, USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), CCP (Capture/Compare/PWM) entre outros (PEREIRA, 2003).

### **2.6.3 Programação de Microcontroladores**

A programação do *firmware*, ou programa interno do microcontrolador, foi realizada fazendo uso de duas diferentes ferramentas de programação. A linguagem de programação adotada para esse desenvolvimento foi à linguagem C. E o compilador mplabc18 da MICROCHIP que de C para Hexadecimal de Hexadecimal para binário. O código binário na sequência é transferido ao chip fazendo uso de uma EPU (*Electronic Programming Unit*).

### **2.6.4 Ferramentas de Programação e Compiladores**

O MPLAB é uma ferramenta desenvolvida pela *Microchip* para editar, simular e montar os códigos para os microcontroladores fabricados pela empresa. A ferramenta possibilita editar o código através da edição de um arquivo texto. O arquivo texto pode ser compilado e testado passo-a-passo. A Figura 7 exibe a interface do MPLAB.

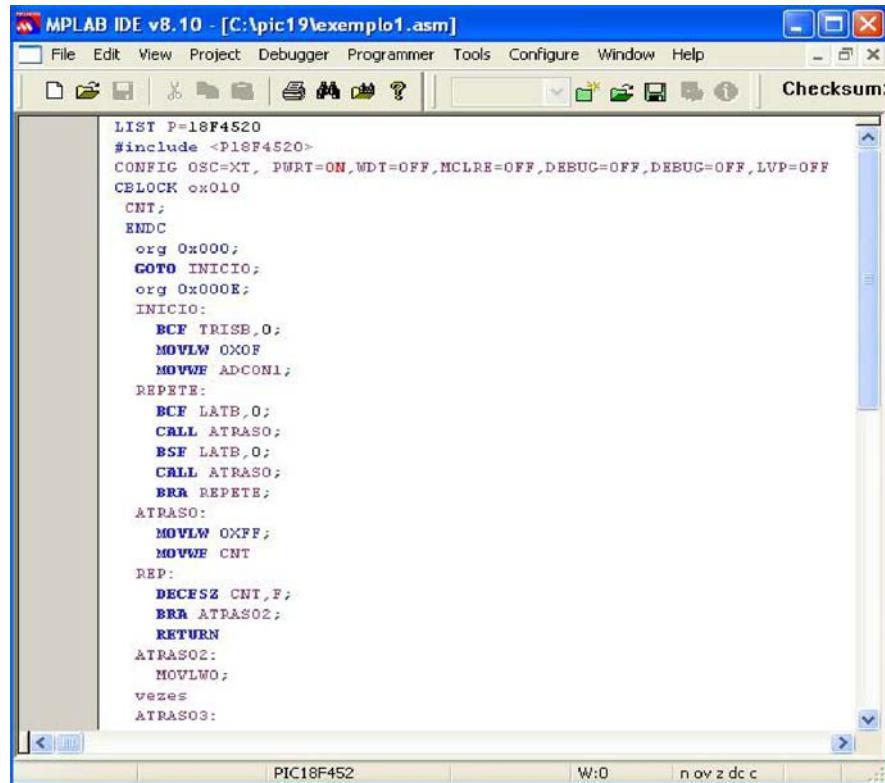


Figura 7 - Interface gráfica PMLAB (fonte: Microchip, 2011)

## 2.6.5 Gravação no microcontrolador

Para efetuar a gravação no microcontrolador, foi usado o MultiPROG 2 é um versátil programador que funciona conectado à porta USB do computador ou notebook sem necessidade de adaptadores ou fonte de alimentação. Programa os principais PICs 12F, 16F e 18F diretamente do software MPLAB Figura 8.

### Principais Recursos:

- Compatível com MPLab;
- Fornecido em caixa especialmente projetada;
- Saída p/ ICSP (programação direta no circuito);
- Interface USB ideal para notebooks;
- Conector ZIF: maior facilidade para programação;
- Leds indicadores de status;

- ICD2 compatível: funciona também como debugger;
- Firmware atualizável diretamente através MPLab;
- Soquete para PICs de 8, 18, 20, 28 e 40 pinos;
- Suporta PICs Flash 18F, 16F, 12F dsPIC33 (através de ICSP) e 24F;
- Compatível com Windows 98, XP, 2000 e Vista



Figura 8 - Multiprog2 programador (Fonte: Mult, 2011)

### 3. Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial $E\tau$

A Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial  $E\tau$  possui uma linguagem  $E\tau$  e as proposições atômicas são do tipo  $p_{(\mu, \lambda)}$  onde  $p$  é uma proposição e  $\mu, \lambda \in [0, 1]$ , intervalo real unitário fechado. Intuitivamente,  $\mu$  indica o grau de evidência favorável de  $p$  e  $\lambda$  o grau de evidência desfavorável de  $p$ . A leitura dos valores  $\mu, \lambda$  dependem das aplicações consideradas e podem sofrer mudanças: com efeito  $\mu$  pode ser o grau de crença favorável e  $\lambda$  poder ser o grau de crença contrária da proposição  $p$ ; também,  $\mu$  pode indicar a probabilidade expressa por  $p$  de ocorrer e  $\lambda$  a improbabilidade expressa por  $p$  de ocorrer. As proposições atômicas  $p_{(\mu, \lambda)}$  da lógica  $E\tau$  podem ser intuitivamente lidas como: creio em  $p$  com o grau de crença favorável

$\mu$  e o grau de crença contrária  $\lambda$ , ou o grau de evidência favorável de  $p$  é  $\mu$  e o grau de evidência desfavorável de  $p$  é  $\lambda$  (ABE, 2011).

### **Exemplo 1:**

Seja a proposição  $p \equiv$  “O meu time ganhou a partida de futebol”. Há :

Se anotarmos com  $(1.0, 0.0)$ , a leitura intuitiva será “O meu time ganhou a partida de futebol com evidência total (= há uma evidência total que o meu time ganhou a partida de futebol)”.

Se se anotarmos com  $(0.0, 1.0)$ , a leitura intuitiva será “O meu time ganhou a partida de futebol com evidência desfavorável total (=há uma evidência total que o meu time ganhou a partida de futebol)”.

Se se anotarmos com  $(1.0, 1.0)$ , a leitura intuitiva será “O meu time ganhou a partida de futebol com evidência totalmente inconsistente”. Isso pode suceder se o meu time não jogou o suficiente para ganhar a partida e, ao mesmo tempo, um torcedor qualquer diz ter visto os jogadores comemorando a vitória.

Se se anotarmos com  $(0.0, 0.0)$ , a leitura intuitiva será “O meu time ganhou a partida de futebol com ausência total de evidência, nem favorável, nem desfavorável” (ABE, 2011).

### **Exemplo 2:**

Seja a proposição  $p \equiv$  “choveu hoje”. Há: Se anotarmos com  $(1.0, 0.0)$ , a leitura intuitiva será “choveu hoje com evidência total”.

Se se anotarmos com  $(0.0, 1.0)$ , a leitura intuitiva será “choveu hoje com evidência desfavorável total (=há uma evidência total que choveu hoje)”.

Se se anotarmos com  $(1.0, 1.0)$ , a leitura intuitiva será “choveu hoje com evidência totalmente inconsistente”. Isso pode suceder se, por exemplo, um vizinho afirma ter visto a chuva cair, quanto um outra afirma que naquele momento não estava chovendo.

Se se anotarmos com  $(0.0, 0.0)$ , a leitura intuitiva será “ choveu hoje com ausência total de evidência”. Isso pode suceder se não poder determinar se choveu ou não.

Desse modo, há algumas leituras interessantes:

- $p_{(1.0, 0.0)}$  pode ser lida como uma proposição verdadeira (evidência favorável total e evidência desfavorável nula).
- $p_{(0.0, 1.0)}$  pode ser lida como uma proposição falsa (evidência favorável nula e evidência desfavorável total).
- $p_{(1.0, 1.0)}$  pode ser lida como uma proposição inconsistente (evidência favorável total e evidência desfavorável total).
- $p_{(0.0, 0.0)}$  pode ser lida como uma proposição paracompleta (evidência favorável nula e evidência desfavorável nula).
- $p_{(0.5, 0.5)}$  pode ser lida como uma proposição indefinida (evidência favorável igual à evidência desfavorável de 0.5).

O conceito de paracompleteza é o dual da de inconsistência (ABE, 2011).

### **Exemplo 3:**

Sejam  $p$  a proposição “A minha irmã vai casar” e  $q$  a proposição “eu que eu vou ao seu casamento”. Há então:

Leem-se  $p_{(1.0,0,0)} \wedge q_{(0.9, 0.1)}$  como “A minha irmã vai casar com uma evidência favorável total e nenhuma evidência desfavorável” e “que eu vou ao seu casamento com uma evidência favorável de 90% e uma evidência desfavorável de 10%”. (= É certo que a minha irmã vai casar e que eu vou ao seu casamento).

Leem-se  $p_{(1.0, 0.0)} \vee q_{(0.9, 0.1)}$  como “A minha irmã vai casar com uma evidência favorável total e nenhuma evidência desfavorável” ou “que eu vou ao seu casamento com uma evidência favorável de 90% e uma evidência desfavorável de 10%”. (= É certo que a minha irmã vai casar ou é praticamente certo que eu vou ao seu casamento (ABE, 2011)).

### **Exemplo 4:**

Seja  $p$  a proposição “A rota do robô é para a direita” Lê-se  $p_{(0.7,0.6)} \rightarrow p_{(0.5, 0.4)}$  como “A rota do robô é para a direita com uma evidência favorável de 70% e uma

evidência desfavorável de 60%” acarreta “A rota do robô é para a direita com uma evidência favorável de 50% e uma evidência desfavorável de 40%”.

### 3.1 O Conectivo da Negação

Uma propriedade interessante que a lógica  $\text{Et}$  apresenta é quando são analisadas negações de proposições. Por exemplo, a proposição  $p_{(1.0, 0.0)}$  do Exemplo 1, “O meu time ganhou a partida de futebol com evidência favorável total e evidência desfavorável nula”. Na análise de sua negação o leitor imediatamente percebe que, em termo da lógica  $\text{Et}$ , é equivalente a dizer “O meu time ganhou a partida de futebol com evidência favorável nula e evidência desfavorável total”, ou seja, a negação da proposição  $p_{(1.0, 0.0)}$  pode ser expressa por meio de uma operação na constante de anotação associada. Em termos técnicos, tem-se que  $\neg p_{(1.0, 0.0)} \leftrightarrow p_{\sim(1.0, 0.0)} \leftrightarrow p_{(0.0, 1.0)}$ . Se  $p$  denotar a proposição “Pedrinho está acometido de pneumonia com 80% de evidência favorável e 40% de evidência desfavorável”, qual é a negação de  $p_{(0.8, 0.4)}$ ? Prosseguindo com o exemplo anterior, é fácil perceber que sua negação equivale a dizer a proposição “Pedrinho está acometido de pneumonia com 40% de evidência favorável e 80% de evidência desfavorável”, ou seja, a evidência favorável de  $p_{(0.8, 0.4)}$  passa a ser a evidência desfavorável de  $\neg p_{(0.8, 0.4)}$  e a evidência desfavorável de  $p_{(0.8, 0.4)}$  passa a ser a evidência favorável de  $\neg p_{(0.8, 0.4)}$ . Em termos técnicos, tem-se que  $\neg p_{(0.8, 0.4)} \leftrightarrow p_{\sim(0.8, 0.4)} \leftrightarrow p_{(0.4, 0.8)}$ .

Generalizando-se através dos exemplos acima, é fácil perceber também que  $\neg p_{(\mu, \lambda)}$  equivale a  $p_{(\lambda, \mu)}$ , que, por sua vez, equivale a  $p_{\sim(\mu, \lambda)}$ . A negação de  $p_{(\mu, \lambda)}$  é a mesma proposição  $p$  com graus de evidência invertidos; o grau de evidência favorável de  $\neg p_{(\mu, \lambda)}$  é a evidência desfavorável de  $p_{(\lambda, \mu)}$  e o grau de evidência desfavorável de  $\neg p_{(\mu, \lambda)}$  constitui o grau de evidência favorável de  $p_{(\lambda, \mu)}$ . Há um operador natural definido sobre  $\tau$  que desempenha o papel da negação do conectivo da lógica anotada:  $\sim: |\tau| \rightarrow |\tau|$ ,  $\sim(\mu, \lambda) = (\lambda, \mu)$ . Isso denuncia uma importante propriedade na lógica  $\text{Et}$ : podem ser considerados equivalentes as proposições  $\neg p_{(\mu, \lambda)}$  e  $p_{(\lambda, \mu)}$ , ou seja, em outra terminologia,  $\neg p_{(\mu, \lambda)} \leftrightarrow p_{\sim(\mu, \lambda)}$ .

Qual é a negação de  $p_{(0.5, 0.5)}$ ? Intuitivamente é a própria proposição  $p_{(0.5, 0.5)}$ , ou seja,  $\neg p_{(0.5, 0.5)} \leftrightarrow p_{(0.5, 0.5)}$ . Agora se se supor que  $p_{(0.5, 0.5)}$  seja verdadeira, tem-se a situação:  $p_{(0.5, 0.5)}$  verdadeira e  $\neg p_{(0.5, 0.5)}$  também verdadeira. Ora, a lógica em questão admite intuitivamente contradições verdadeiras. Coisa semelhante acontece se  $p_{(0.5, 0.5)}$  for falsa. Há  $p_{(0.5, 0.5)}$  falsa e  $\neg p_{(0.5, 0.5)}$  também falsa, ou seja  $E\tau$  é também paracompleta. Daí,  $E\tau$  é não-alética. De modo geral, tem-se  $\neg p_{(\mu, \lambda)} \leftrightarrow p_{(\lambda, \mu)}$ . O fato a negação, lógica ser “absorvida” na anotação faz com que a lógica  $E\tau$  tenha propriedades de importantes na hora de implementações físicas, bem como propriedades de extrema fecundidade em programação e em implementações físicas (ABE, 2011).

### 3.2 Os Conectivos da Conjunção, Disjunção e Implicação

Dadas as proposições  $p_{(\mu, \lambda)}$  e  $q_{(\theta, \rho)}$  podem-se formar a conjunção, disjunção e a implicação entre elas:

$p_{(\mu, \lambda)} \wedge q_{(\theta, \rho)}$  – leia-se a conjunção de  $p_{(\mu, \lambda)}$  e  $q_{(\theta, \rho)}$

$p_{(\mu, \lambda)} \vee q_{(\theta, \rho)}$  – leia-se a disjunção de  $p_{(\mu, \lambda)}$  e  $q_{(\theta, \rho)}$

$p_{(\mu, \lambda)} \rightarrow q_{(\theta, \rho)}$  – leia-se a implicação de  $q_{(\theta, \rho)}$  por  $p_{(\mu, \lambda)}$

O conectivo da bi-implicação introduz-se de modo habitual:

$p_{(\mu, \lambda)} \leftrightarrow q_{(\theta, \rho)} = p_{(\mu, \lambda)} \rightarrow q_{(\theta, \rho)} \wedge q_{(\theta, \rho)} \rightarrow p_{(\mu, \lambda)}$  – leia-se  $p_{(\mu, \lambda)}$  equivale a  $q_{(\theta, \rho)}$

### 3.3 O Reticulado $\tau$

Há algumas terminologias específicas. O par  $(\mu, \lambda)$  denomina-se constante de anotação. Tal par é um elemento de  $[0, 1] \times [0, 1]$  que, algumas vezes, é indicado por  $[0, 1]$ . Mune-se esse conjunto de uma relação de ordem assim definida:  $(\mu_1, \lambda_1) \leq (\mu_2, \lambda_2) \Leftrightarrow \mu_1 \leq \mu_2 \text{ e } \lambda_2 \leq \lambda_1$ .

Propriedades:

1.  $\forall \mu, \lambda \in \tau, (\mu, \lambda) \leq (\mu, \lambda)$  (reflexividade)
2.  $\forall \mu_1, \lambda_1, \mu_2, \lambda_2 \in \tau, (\mu_1, \lambda_1) \leq (\mu_2, \lambda_2) \text{ e } (\mu_2, \lambda_2) \leq (\mu_1, \lambda_1), \text{ implicam } (\mu_1, \lambda_1) = (\mu_2, \lambda_2)$  (antissimetria)

3.  $\forall \mu_1, \lambda_1, \mu_2, \lambda_2, \mu_3, \lambda_3 \in \tau, (\mu_1, \lambda_1) \leq (\mu_2, \lambda_2) \text{ e } (\mu_2, \lambda_2) \leq (\mu_3, \lambda_3), \text{ implicam } (\mu_1, \lambda_1) \leq (\mu_3, \lambda_3)$  (transitividade)
4.  $\forall \mu_1, \lambda_1, \mu_2, \lambda_2 \in \tau, \text{ existe o supremo de } \{(\mu_1, \lambda_1), (\mu_2, \lambda_2)\} \text{ indicado por } (\mu_1, \lambda_1) \vee (\mu_2, \lambda_2) = (\text{Máx}\{\mu_1, \mu_2\}, \text{Mín}\{\lambda_1, \lambda_2\})$
5.  $\forall \mu_1, \lambda_1, \mu_2, \lambda_2 \in \tau, \text{ existe o ínfimo de } \{(\mu_1, \lambda_1), (\mu_2, \lambda_2)\} \text{ indicado por } (\mu_1, \lambda_1) \wedge (\mu_2, \lambda_2) = (\text{Mín}\{\mu_1, \mu_2\}, \text{Máx}\{\lambda_1, \lambda_2\})$
6.  $\forall \mu, \lambda \in \tau, (0, 1) \leq (\mu, \lambda) \leq (1, 0)$

O quadrado unitário  $[0, 1] \times [0, 1]$  com a relação de ordem constitui um reticulado que é simbolizado por  $\langle \tau, \leq \rangle$  ou simplesmente por  $\tau$  (ABE, 2011).

### 3.4 Graus de Certeza e de Incerteza

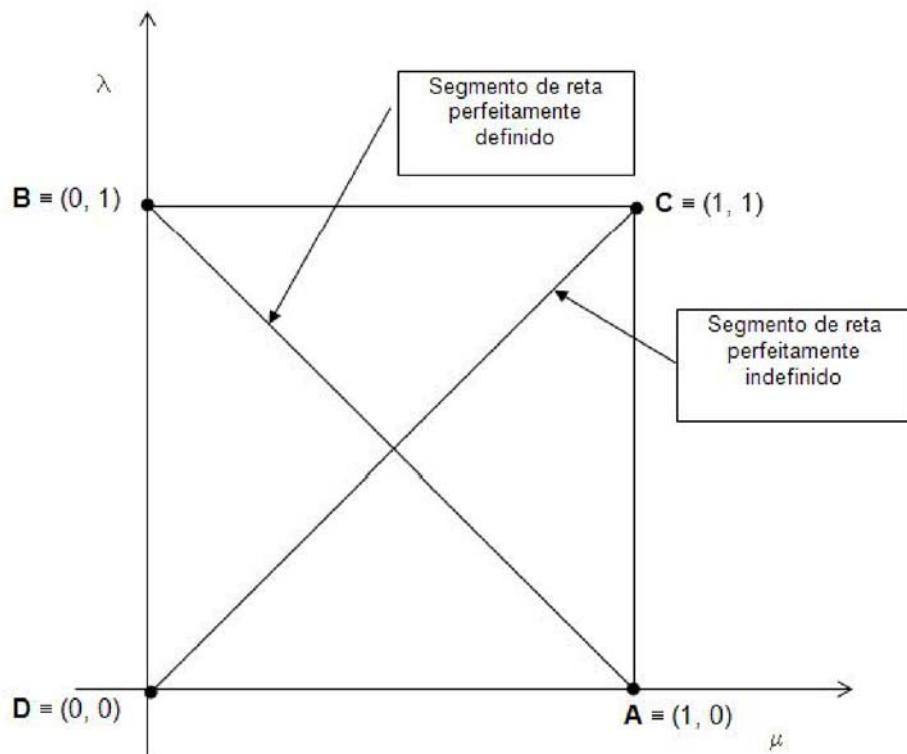


Figura 9 - Reticulado com graus de certeza e incerteza (ABE, 2011)

No reticulado  $\tau$  notam-se quatro pontos que nortearão as perquirições neste trabalho. Denominam-se pontos cardeais. Tais são elas:

- A ≡ (1.0, 0.0) ≡ estado verdadeiro  
 B ≡ (0.0, 1.0) ≡ estado falso  
 C ≡ (1.0, 1.0) ≡ estado inconsistente  
 D ≡ (0.0, 0.0) ≡ estado paracompleto

Embasados nos pontos cardeais, e pelo uso das propriedades dos números reais, cuidadosamente constrói-se uma estrutura matemática com o fito de materializar as ideias de como se quer manipular mecanicamente o conceito de incerteza, contradição e de paracompleteza, entre outros. Tal mecanismo embarcará, de algum modo, os estados de verdadeiro e falso tratados dentro do escopo da lógica clássica, com todas as suas consequências.

Para tanto, iremos introduzem-se diversos conceitos que julgados “intuitivos” para a finalidade acima esboçada.

Segmento perfeitamente definido AB:  $\mu + \lambda - 1 = 0; 0 \leq \mu, \lambda \leq 1$

Segmento perfeitamente indefinido DC:  $\mu - \lambda = 0; 0 \leq \mu, \lambda \leq 1$

As constantes de anotação ( $\mu, \lambda$ ) que incidem no segmento perfeitamente indefinido, possuem a relação  $\mu - \lambda = 0$ , ou seja  $\mu = \lambda$ . A evidência favorável é idêntica à evidência desfavorável, mostrando que a proposição  $p_{(\mu, \lambda)}$  expressa uma indefinição. Ela varia continuamente desde a inconsistência (1, 1) até o paracompleto (0, 0).

Já as constantes de anotação ( $\mu, \lambda$ ), que incidem no segmento perfeitamente definido possuem a relação  $\mu + \lambda - 1 = 0$ , ou seja  $\mu = 1 - \lambda$ , ou ainda  $\lambda = 1 - \mu$ . Ao primeiro caso, a evidência favorável é o complemento booleano da evidência desfavorável e, no segundo, a evidência desfavorável é o complemento booleano da evidência favorável, mostrando que as evidências, favorável e desfavorável ‘comportam-se’ como no caso clássico. Ela varia continuamente desde a falsidade (0, 1) até a veracidade (1, 0) (ABE, 2011).

### 3.5 Estados de Decisão: Extremos e Não-extremos

Segundo os conceitos acima, pode-se trabalhar com “faixas” de verdade, ao invés de a “verdade” ser um conceito ‘hírto’, ‘inflexível’. Talvez melhor dizer que a verdade é uma faixa de certeza com respeito a certa proposição. Para determinar-se tais faixas, são introduzidos os seguintes conceitos:

Quatro valores limites externos:

$$V_{cve} = C_1 = \text{Valor de controle de veracidade}; 0 \leq V_{cve} \leq 1$$

$$V_{cfa} = C_2 = \text{Valor de controle de falsidade}; -1 \leq V_{cfa} \leq 0$$

$$V_{cic} = C_3 = \text{Valor de controle de inconsistência}; 0 \leq V_{cic} \leq 1$$

$$V_{cpa} = C_4 = \text{Valor de controle de paracompleteza}; -1 \leq V_{cpa} \leq 0$$

Tais valores nortearão uma proposição considerada, por exemplo, “verdadeira” para a tomada de decisão positivamente, e assim por diante. A Figura 10 nos ajudará a introduzir conceitos suplementares.

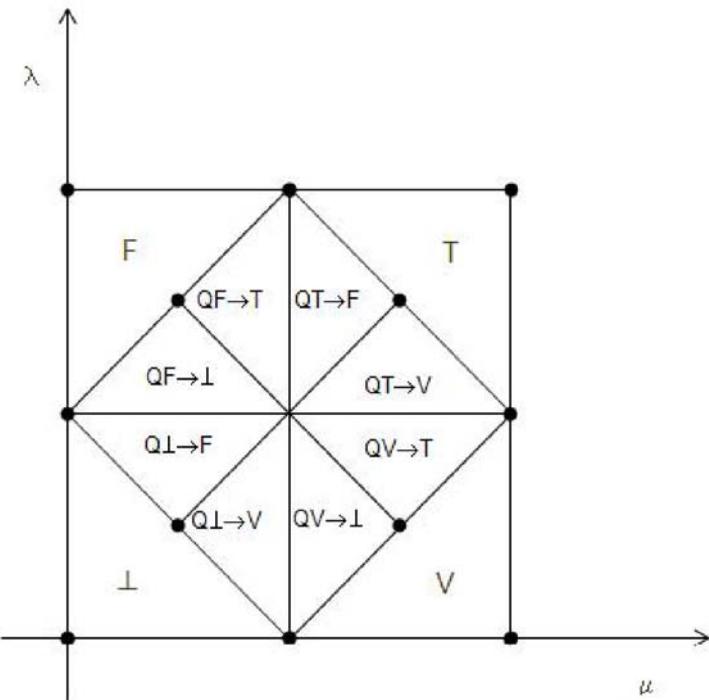


Figura 10 - Estados extremos e não-extremos (ABE, 2011)

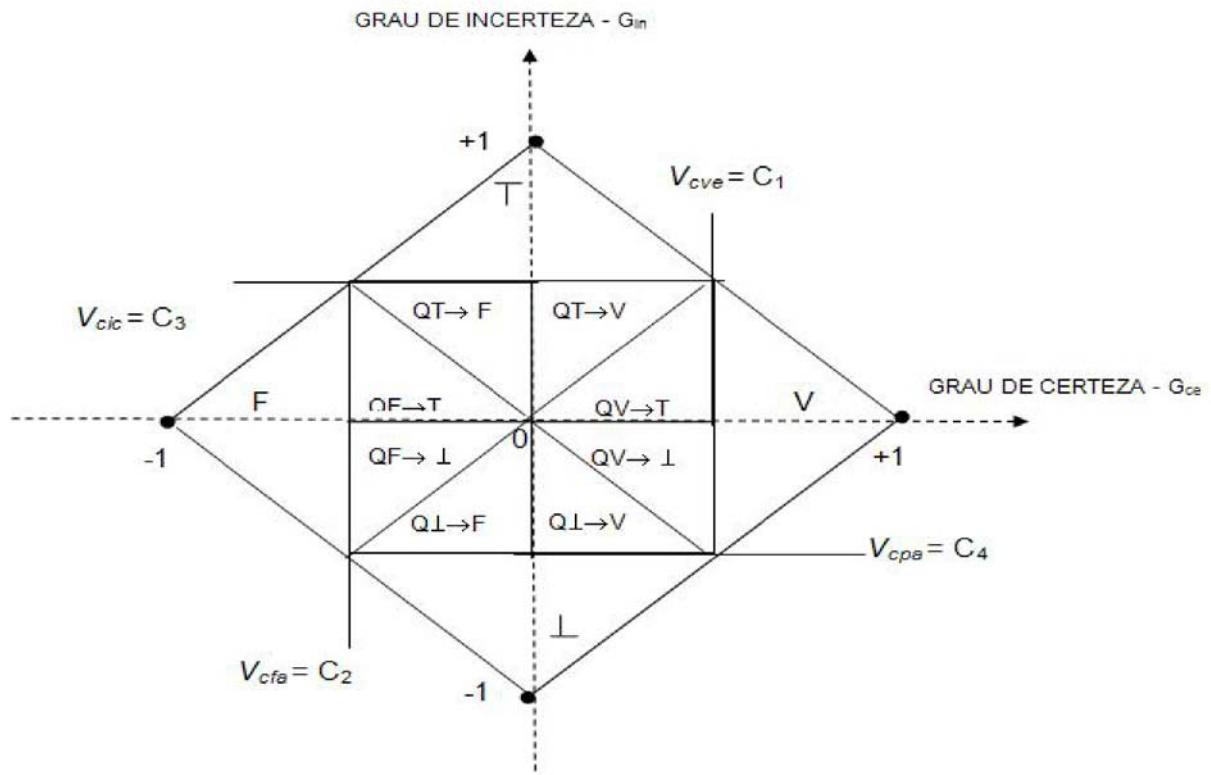


Figura 11 - Diagrama com os graus de incerteza e de certeza (ABE, 2011)

A Figura 11 mostra os valores ajustáveis de controle limite indicados nos eixos e nas regiões consideradas.

Tabela 2 - Estados extremos (ABE, 2011)

Estado	Símbolo
Verdadeiro	V
Falso	F
Inconsistente	T
Paracompleto	$\perp$

Tabela 3 - Estados não-extremos (ABE, 2011)

Estado	Símbolo
Quase-verdadeiro tendendo ao Inconsistente	$QV \rightarrow T$
Quase-verdadeiro tendendo ao Paracompleto	$QV \rightarrow \perp$
Quase-falso tendendo ao Inconsistente	$QF \rightarrow T$
Quase-falso tendendo ao Paracompleto	$QF \rightarrow \perp$
Quase-inconsistente tendendo ao Verdadeiro	$QT \rightarrow V$
Quase-inconsistente tendendo ao Falso	$QT \rightarrow F$
Quase-paracompleto tendendo ao Verdadeiro	$Q\perp \rightarrow V$
Quase-paracompleto tendendo ao Falso	$Q\perp \rightarrow F$

Uma descrição do reticulado, utilizando os valores obtidos pelas equações, origina o algoritmo para-analisador.

### 3.6 Algoritmo “Para-analisador”

O Algoritmo Para-analisador é foi desenvolvido para efetuar os cálculos que determina o Grau de Incerteza e o Grau de Certeza. O algoritmo também faz a comparação entre os valores encontrados e os ajustes externos para definir as regiões do reticulado, representando o estado lógico que será apresentado na saída do algoritmo. O QUPC é dividido em doze regiões e permite análises para tomadas de decisão. Nessa aplicação será usada apenas duas regiões: Verdadeiro e Falso (DA SILVA FILHO & ABE, 2001).

O Algoritmo para-analisador vem sendo empregado no desenvolvimento de software, em tomada de decisão. E pode ser empregado para os mais variados fins. O software que gerencia as funcionalidades do dispositivo foi desenvolvido em C, linguagem de máquina que exige do programador um conhecimento do hardware em uso.

Descrição do Algoritmo:

Definições dos valores:

$V_{cve} = C_1$	<i>Definição do valor de controle de veracidade</i>
$V_{cfa} = C_2$	<i>Definição do valor de controle de falsidade</i>
$V_{cic} = C_3$	<i>Definição do valor de controle de inconsistência</i>
$V_{cpa} = C_4$	<i>Definição do valor de controle de paracompleteza</i>

Variáveis de entrada:

$\mu$

$\lambda$

Variáveis de saída:

Saída discreta =  $S_1$

Saída analógica =  $S_{2a}$

Saída analógica =  $S_{2b}$

Expressões matemáticas:

Sendo:  $0 \leq \mu \leq 1$  e  $0 \leq \lambda \leq 1$

$$G_{in} = \mu + \lambda - 1$$

$$G_{ce} = \mu - \lambda$$

Determinação dos estados lógicos extremos:

Se  $G_{ce} \geq C_1$  então  $S_1 = V$

Se  $G_{ce} \leq C_2$  então  $S_1 = F$

Se  $G_{in} \geq C_3$  então  $S_1 = T$

Se  $G_{in} \leq C_4$  então  $S_1 = \perp$

Determinação dos estados lógicos não-extremos:

Para  $0 \leq G_{ce} < C_1$  e  $0 \leq G_{in} < C_3$

se  $G_{ce} \geq G_{in}$  então  $S_1 = Qv \rightarrow T$

se  $G_{ce} < G_{in}$  então  $S_1 = T \rightarrow v$

Para  $0 \leq G_{ce} < C_1$  e  $C_4 < G_{in} \leq 0$   
 se  $G_{ce} \geq |G_{in}|$  então  $S_1 = Qv \rightarrow \perp$   
 se  $G_{ce} < |G_{in}|$  então  $S_1 = \perp \rightarrow v$

Para  $C_2 < G_{ce} \leq 0$  e  $C_4 < G_{in} \leq 0$   
 se  $|G_{ce}| \geq |G_{in}|$  então  $S_1 = Qf \rightarrow \perp$   
 se  $|G_{ce}| < |G_{in}|$  então  $S_1 = Qf \rightarrow f$

Para  $C_2 < G_{ce} \leq 0$  e  $0 \leq G_{in} < C_3$   
 se  $|G_{ce}| \geq G_{in}$  então  $S_1 = Qf \rightarrow T$   
 se  $|G_{ce}| < G_{in}$  então  $S_1 = T \rightarrow f$   
 $G_{in} = S_{2a}$   
 $G_{ce} = S_{2b}$

$*/ FIM */$

#### 4. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento dessa pesquisa iniciou-se uma revisão da bibliografia disponível sobre o assunto, o que permitiu coletar dados e informações que deram base ao projeto e construção do sistema na forma de um protótipo. Modelando os componentes que fazem parte da placa de circuito impresso e a ligação desta ao microcontrolador e periféricos. O sistema desenvolvido conta com: CLP, inversor de frequência, disco de freio eletromagnético, um sensor, uma central microcontrolada e software de monitoramento embarcado no microcontrolador da placa de circuito impresso Figura 12.

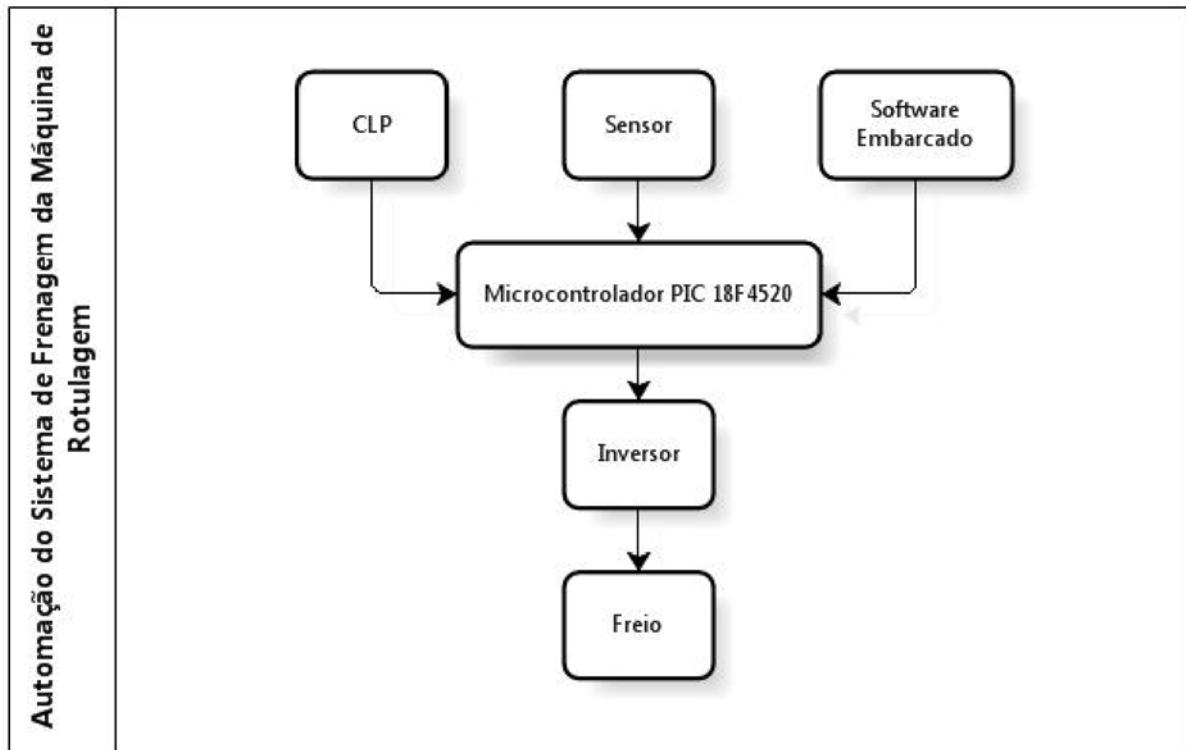


Figura 12 - Diagrama do sistema de frenagem

O sensor verifica o tamanho da bobina de rótulos a cada 5 ms e o CLP verifica a rotação do motor da máquina de rotulagem também a cada 5 ms. O resultado da leitura do sensor e do CLP são enviados através de sinais elétricos ao microcontrolador que os utiliza como evidência favorável e evidência desfavorável no algoritmo para-analisador. A decisão gerada pelo algoritmo é enviada para o

inversor de frequência que, determinará a intensidade da frenagem no eixo da bobina de rótulos.

A partir da definição do projeto construiu-se o protótipo.

A validação do protótipo foi realizada, confrontando-se dados da produção com a máquina de rotulagem manual que existe na fábrica de estudo com o novo sistema de frenagem.

## 5. Estudo de Caso

### 5.1 Apresentação

O estudo de caso foi realizado em uma fábrica de refrigerantes real que contribui com apoio financeiro e com sua estrutura para realização dos testes. Por opção da empresa seu nome não pode ser revelado neste trabalho por critérios de sigilo industrial.

### 5.2 Funcionamento da Máquina de Rotulagem antes da Automação

Na medida em que a bobina de rótulos vai sendo consumida é necessário aplicar uma frenagem com maior intensidade sobre o eixo de sustentação da bobina de rótulos, porque pode ocorrer um desalinhamento do rótulo Figura 13.

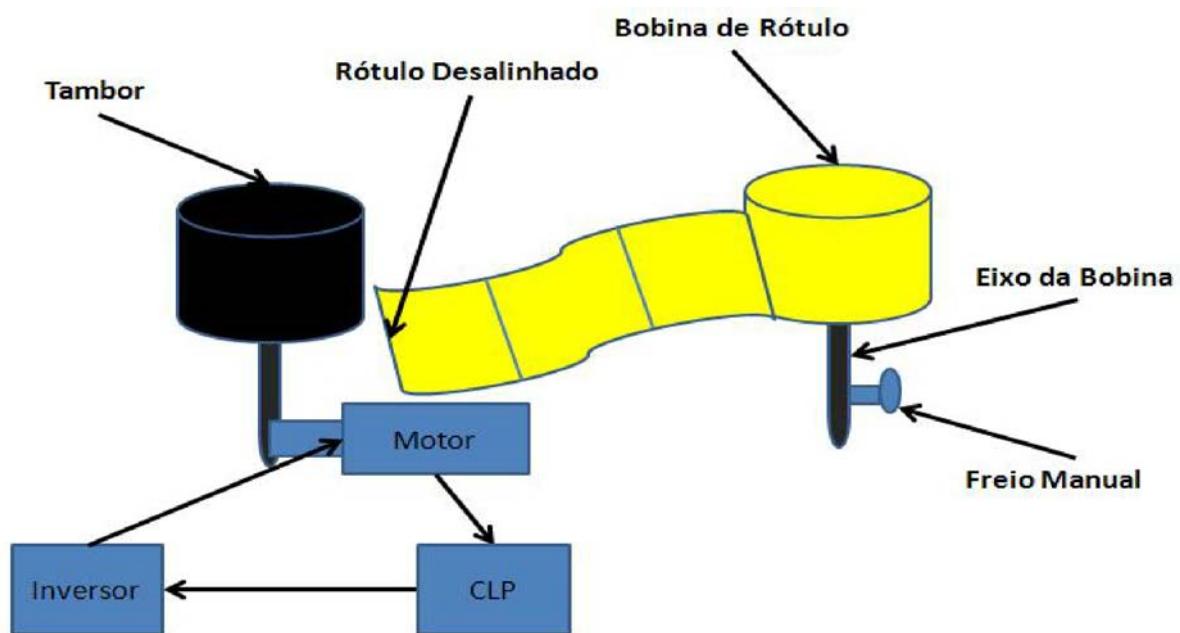


Figura 13 - Situação em que a máquina se encontra com o rótulo desalinhado

Nos equipamentos que utilizam freio manual a possibilidade de ocorrer um erro operacional, por parte do operador humano pode causar a interrupção da

produção. O operador conta somente com sua experiência operacional para definir a intensidade da frenagem empregada sobre o eixo de sustentação da bobina de rótulos. Um erro comum é girar a roldana (item 1 da Figura 14) além do limite necessário, gerando uma tensão excessiva sobre a bobina de rótulos, tal situação pode romper o rótulo.

Equipamento utilizado no sistema de freio manual.

Itens que compõe a sistema de freio manual:

1. Roldana; usada pelo operador para aumentar ou diminuir a pressão da pastilha no eixo da bobina de rótulo.
2. Pastilha de freio.
3. Eixo de sustentação da bobina de rótulos.

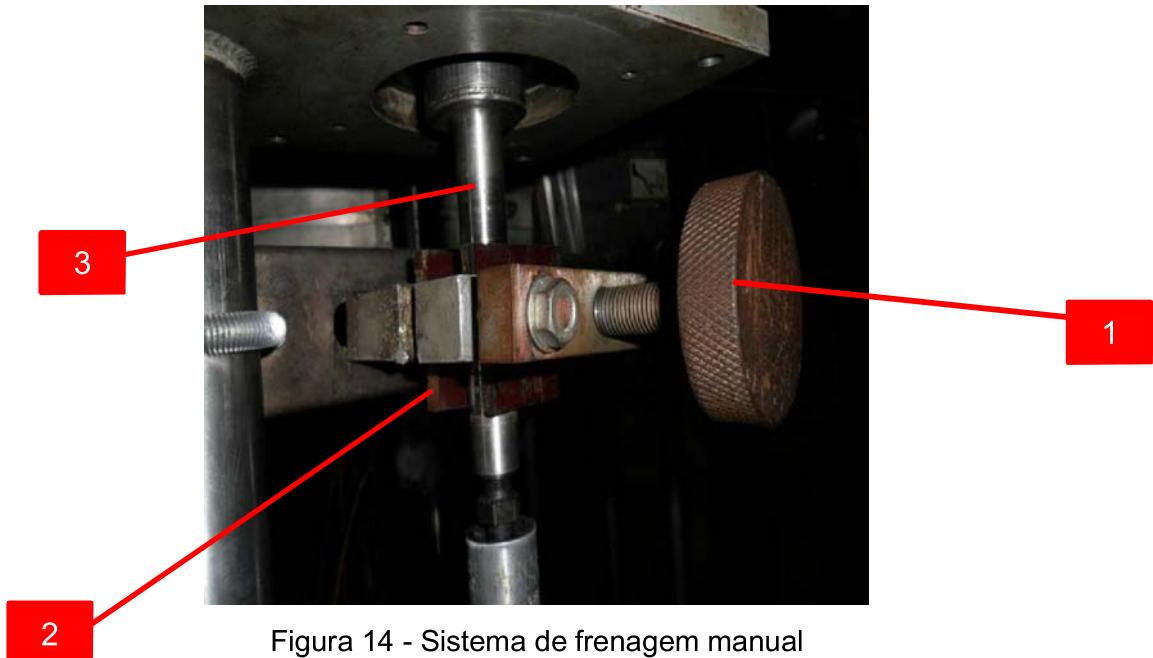


Figura 14 - Sistema de frenagem manual

## 5.2 Levantamento do Histórico de Produção

A Tabela 4, mostra dados da produção usando o freio manual, essa amostra foi colhida por um período de 30 dias, período compreendido entre: 01/03/2011 á 30/03/2011.

Tabela 4 - Dados da produção usando freio manual

Data	Número Paradas	Tempo Parado (minuto)	Perda Garrafa	Perda Rótulo (unidade)
1/3/2011	85	32	1	55
2/3/2011	73	13	1	12
3/3/2011	52	10	-	8
4/3/2011	55	12	-	13
5/3/2011	47	9	1	14
6/3/2011	52	8	-	10
7/3/2011	54	7	-	18
8/3/2011	62	12	1	25
9/3/2011	43	10	-	8
10/3/2011	38	5	-	10
11/3/2011	38	6	-	11
12/3/2011	45	5	-	13
13/3/2011	58	12	-	8
14/3/2011	48	9	1	10
15/3/2011	53	15	1	4
16/3/2011	48	23	-	13
17/3/2011	50	12	1	10
18/3/2011	40	9	-	8
19/3/2011	38	23	-	11
20/3/2011	42	19	1	6
21/3/2011	38	17	1	6
22/3/2011	38	15	1	12
23/3/2011	38	13	-	15
24/3/2011	43	13	-	12
25/3/2011	53	9	-	14
26/3/2011	53	13	1	23
27/3/2011	45	13	1	24
28/3/2011	35	6	4	12
29/3/2011	53	10	2	4
30/3/2011	48	12	-	5
<b>Total</b>	<b>1465</b>	<b>372</b>	<b>18</b>	<b>394</b>

## 5.3 Definição dos Componentes Utilizados no Desenvolvimento do Protótipo

### 5.3.1 Sensor

Utilizou-se o sensor de ultrassom SRF02 da Devatec. Esse sensor pode trabalhar de três maneiras:

- Saída digital; envio ao microcontrolador de um valor binário (0,1) correspondendo à distância entre o sensor e um obstáculo;
- Saída analógica; envio ao microcontrolador de uma tensão que varia entre 0 Volts e +5 Volts; essa variação depende da distância entre o sensor e o obstáculo; para usar esse tipo de comunicação é preciso usar o conversor A/D (Analógic / Digital), para converter o sinal vindo do sensor, pois o microcontrolador só consegue fazer comunicação tipo digital.
- Saída PWM (Modulação Por Largura de Banda); quando o sensor dispara o sinal de ultrassom também dispara um sinal de nível lógico 0, quando o sinal de ultrassom retorna o sensor muda o sinal do ECHO do nível lógico 0 para o nível lógico 1. Essa é a função do sensor que está sendo utilizada no protótipo

A Figura 15 apresenta a forma de onda dos pinos INIT e ECHO do sensor no momento que o sinal de INIT vai para +5 volts e o momento que o sinal de ECHO vai para +5 Volts. Com isso é determinado o tempo gasto para executar essa ação, entre o envio do sinal de ultrassom e o seu retorno, determinando assim o tamanho da bobina.

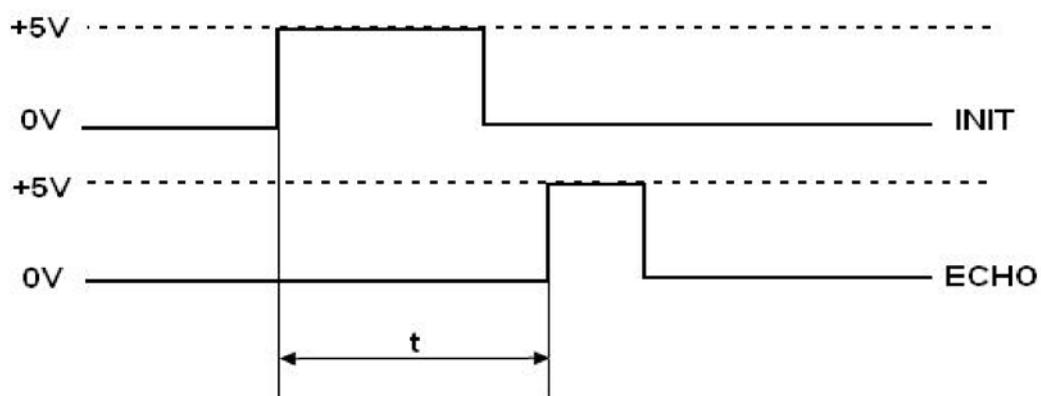


Figura 15 - Forma de onda dos pinos INIT e ECHO (Fonte: Acroname, 2010)



Figura 16 - Sensor de ultrassom: R287-SRF02 (Fonte: Acroname, 2010)

A Figura 16 apresentada o sensor que foi utilizado no protótipo. A seguir é apresentada uma tabela com as características elétricas do sensor.

Tabela 3 - Características elétricas do sensor (Fonte: Acroname, 2010)

<b>Voltagem</b>	5v
<b>Corrente</b>	4mA
<b>Freqüência</b>	40KHz
<b>Máximo alcance</b>	6 m
<b>Mínimo alcance</b>	15 cm
<b>Ganho máximo analógico</b>	Controle automático de ganho 64 step
<b>Conexão</b>	Standard IIC Bus, UART serial
<b>Ajuste completo automático</b>	Não calibrável
<b>Timing</b>	Totalmente pelo tempo do echo
<b>Unidade</b>	Range reported in uS, mm or inches
<b>Peso</b>	4,6g
<b>Volume</b>	24mm w x 20mm d x 17mm h

### 5.3.2 Atuador

O disco de freio utilizado para aplicar à frenagem no eixo da bobina de rótulo, é alimentado com uma tensão elétrica que pode variar entre 0 e 380 volts. Neste trabalho a tensão será limitada entre 0 e 220 volts, pois o inversor responsável pela definição da tensão foi configurado para trabalhar nesta faixa de tensão. Através de testes de campo verificou-se que o limite de 220 volts é suficiente para aplicação da frenagem desejada. A tensão será determinada pelo sinal enviado pelo microcontrolador.

A Figura 17 ilustra o disco de freio eletromagnético

Itens que compõe o disco:

1. Conexão; para alimentação do freio.
2. Imã.

3. Tampa de proteção do imã.

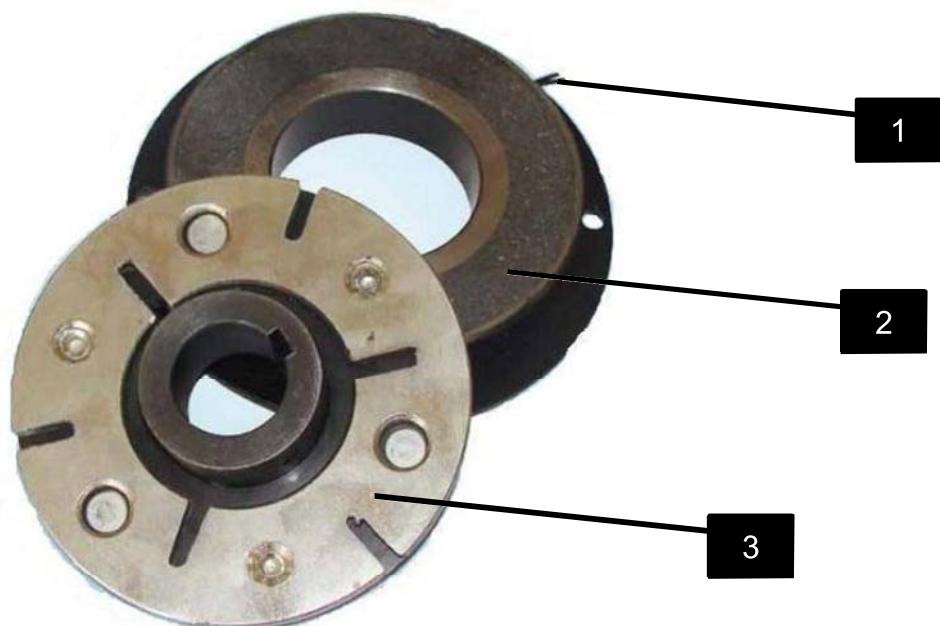
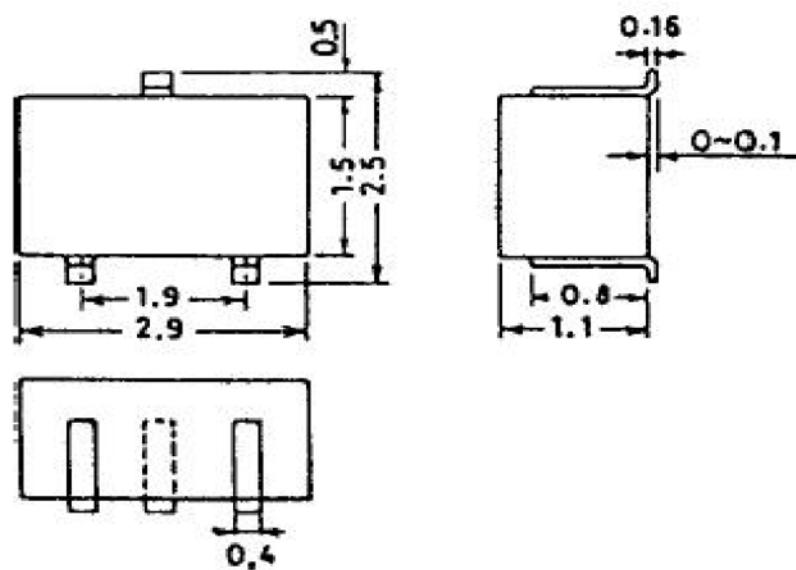


Figura 17 - Freio eletromagnético (fonte: Sanyo, 2010)

A Figura 18, apresenta as dimensões em centímetro do freio eletromagnético.



SANYO

Figura 18 - Dimensões do freio eletromagnético (fonte: Sanyo, 2010)

Tabela 5 – Parâmetros e especificação técnica do freio eletromagnético( fonte: Sonyo, 2010)

Parameters \ Specification	DZD2A-04
Rated brake moment Me(N.m)	4.4
Voltage rating AC(V)	110 220 380
Power rating P20 (W)	11
Max gap of operation (mm)	1.5
Permissible relative rotation velocity (rpm)	6000

### 5.3.3 Inversor de Frequênciа

O inversor utilizado neste trabalho pode ser comandado por dois tipos de sinais: analógico ou digital.

Para o controle da velocidade de rotação de um motor AC, é utilizada uma tensão analógica. Essa tensão encontra-se entre 0 a 10 Vcc. A velocidade de rotação (RPM) será proporcional ao seu valor, por exemplo: 1 Vcc = 1000 RPM, 2Vcc = 2000 RPM. Para inverter o sentido de rotação basta inverter a polaridade do sinal analógico. A Figura 19 ilustra o inversor utilizado no protótipo (FRANCHI, 2008).



Figura 19 - Inversor de frequência (fonte: Mitsubishi, 2010)

### 5.3.4 Controlador Lógico Programável

Neste trabalho o CLP indica para o sistema de controle automático a rotação do motor através de um sinal analógico. A partir da definição da rotação do motor se estabelece a intensidade da frenagem aplicada ao eixo da bobina de rótulos.

Itens que compõe o CLP:

1. Entrada de sinal analógico; número de rotações do motor.
2. Saída de sinal analógico; número de rotações do motor enviado ao microcontrolador.

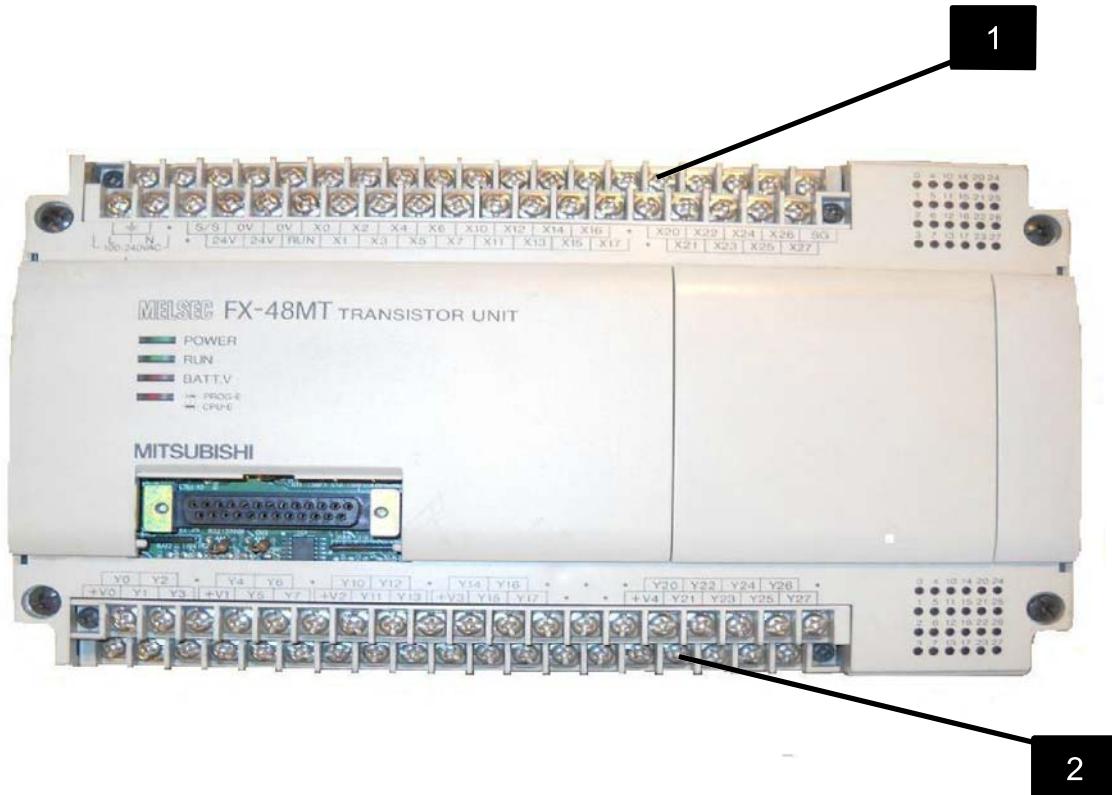


Figura 20 - Controlador lógico programável (fonte: Mitshubishi, 2011)

## 5.4 Desenvolvimento do Software de Controle da Frenagem

O sistema de frenagem se divide em três etapas:

- Fonte de Informação CLP;
- Fonte de Informação Sensor;
- Cálculo do módulo do grau de certeza;

### 5.4.1 Leitura do CLP

Para determinar a frenagem a ser aplicada no eixo de sustentação da bobina rótulos pelo disco de freio, serão analisadas três proposições:

1. “motor em alta rotação”.
2. “bobina pequena”.
3. “a intensidade da frenagem é alta”.

#### ***Proposição 1: Motor em alta rotação***

Para a leitura da rotação do motor a tarefa será dividida em duas partes:

- Chamada de tempo um ( $t_1$ )
- Chamada de tempo dois ( $t_2$ ), onde  $t_2 = t_1 + t$  e  $t = 5 \text{ ms}$ .

Em  $t_1$ , o CLP indica na sua saída  $y_8$ , um sinal analógico que varia de 0 Volts a 5 volts, indicando a rotação do motor. O microcontrolador envia um sinal de nível lógico 1, através do pino P26 ao CLP, ao perceber o sinal na entrada  $x_8$ , o CLP através da saída  $Y_8$  envia um sinal analógico ao pino P25 do microcontrolador.

Ao perceber um sinal no pino P25, o microcontrolador interrompe o seu processamento para atender a chamada externa. O valor recebido no pino P25 é guardado por uma variável chamada de Evidência Favorável a proposição  $p =$  “motor em alta rotação”  $\mu_2$  Figura 21.

Após fazer a leitura da primeira variável ( $\mu_2$ ) é contado um tempo de 5 ms, para efetuar a leitura da segunda variável ( $\lambda_2$ ).

Em t2, o CLP indica na sua saída y8, um sinal analógico que varia de 0 Volts a 5 volts, indicando a rotação do motor. O microcontrolador envia um sinal de nível lógico 1, através do pino P26 ao CLP, ao perceber o sinal na entrada x8, o CLP através da porta Y8 envia um sinal analógico ao pino P25 do microcontrolador.

Ao perceber um sinal no pino P25, o microcontrolador interrompe seu processamento para atender a chamada externa. O valor recebido no pino P25 é guardado por uma variável chamada de Evidência Desfavorável a proposição  $p =$  "motor em alta rotação"  $\lambda 2$  Figura 21.

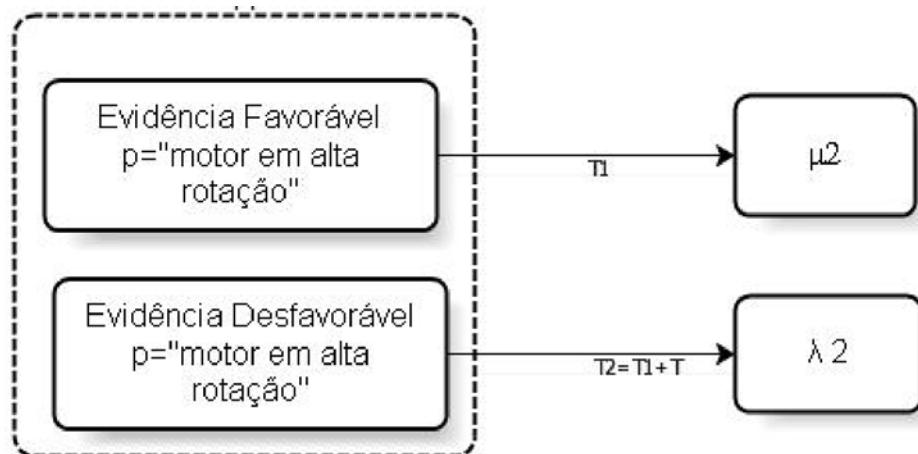


Figura 21 - Fonte de informação CLP

#### 5.4.2 Leitura do Sensor

A informação gerada pelo sensor permite determinar o tamanho da bobina.

##### **Proposição 2: Bobina pequena**

Para a leitura do tamanho da bobina, a tarefa será dividida em duas partes:

- Chamada de tempo um (t1)
- Chamada de tempo dois (t2), onde  $t2 = t1 + t$  e  $t = 5 \text{ ms}$ .

Em t1, o sensor faz a leitura, o microcontrolador envia um sinal de nível lógico 0, através do pino P18, ao perceber o sinal no pino P18, um temporizador é disparado internamente no microcontrolador.

O microcontrolador envia um sinal lógico 1, através do pino 18 que está conectado ao pino INIT do sensor, quando o sensor recebe o sinal nível lógico 1, envia um sinal ultrassônico na faixa de 40Khz.

O sensor através do pino ECHO fica aguardando o sinal de retorno, mantendo o nível lógico do pino em 0. Quando o pino ECHO do sensor perceber o sinal de retorno, o seu nível lógico passará para 1. O pino ECHO do sensor está conectado ao pino P23 do microcontrolador, quando o microcontrolador percebe o sinal lógico 1 nesse pino, interrompe o seu processamento para atender a chamada externa, nesse momento o contador deixa de ser incrementado. O tempo armazenado no contador é guardado por uma variável chamada de Evidência Favorável  $\mu_1$  Figura 22.

Após fazer a leitura da primeira variável ( $\mu_1$ ) é contado um tempo de 5 ms, para efetuar a leitura da segunda variável ( $\lambda_1$ ).

No t2, o sensor faz a leitura, o microcontrolador envia um sinal de nível lógico 0, através do pino P18, ao perceber o sinal no pino P18, um temporizador é disparado internamente no microcontrolador.

O microcontrolador envia um sinal lógico 1, através do pino P18 que está conectado ao pino INIT do sensor, quando o sensor recebe o sinal nível lógico 1, envia um sinal ultrassônico na faixa de 40Khz.

O sensor através do pino ECHO fica aguardando o sinal de retorno, mantendo o nível lógico do pino em 0. Quando o pino ECHO do sensor perceber o sinal de retorno, seu nível lógico passará para 1. O pino ECHO do sensor está conectado ao pino P23 do microcontrolador, quando o microcontrolador percebe o sinal lógico 1 nesse pino ele interrompe o seu processamento para atender uma chamada externa, nesse momento o contador deixa de ser incrementado. O tempo armazenado no contador é guardado por uma variável chamada de Evidência Desfavorável  $\lambda_1$ Figura 22.

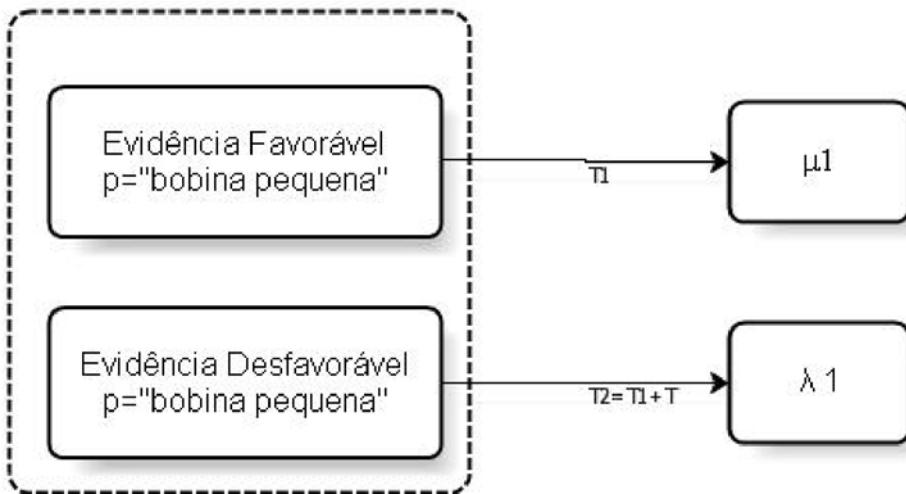


Figura 22 - Fonte de informação do sensor

Feita a leitura de grau de evidência favorável e do grau de evidência desfavorável da segunda proposição será calculado o grau de certeza  $G_{ce}$ , da terceira proposição.

#### 5.4.3 Cálculo do Grau de Certeza

##### ***Proposição 2: A intensidade da frenagem é alta***

Como evidências para essa proposição, serão utilizadas a maximização das evidências favoráveis e a minimização das evidências desfavoráveis, das fontes de informação anteriores (proposições 1 e 2). A partir dessas informações será possível calcular o grau de certeza, incerteza, indeterminação e o grau de paracompleteza.

O microcontrolador através do pino P1, envia o resultado do módulo do  $G_{ce}$  no formato analógico ao inversor de frequência. O inversor ao perceber o sinal na entrada X11, converterá esse sinal em uma frequência, aplicada na alimentação do disco de freio eletromagnético, fazendo com que a frenagem aplicada no eixo da bobina aumente ou diminua, dependendo do valor do  $G_{ce}$ .

A Figura 23 apresenta o esquema completo da lógica de programação usado no algoritmo para determinar a frenagem a ser aplicada à máquina.

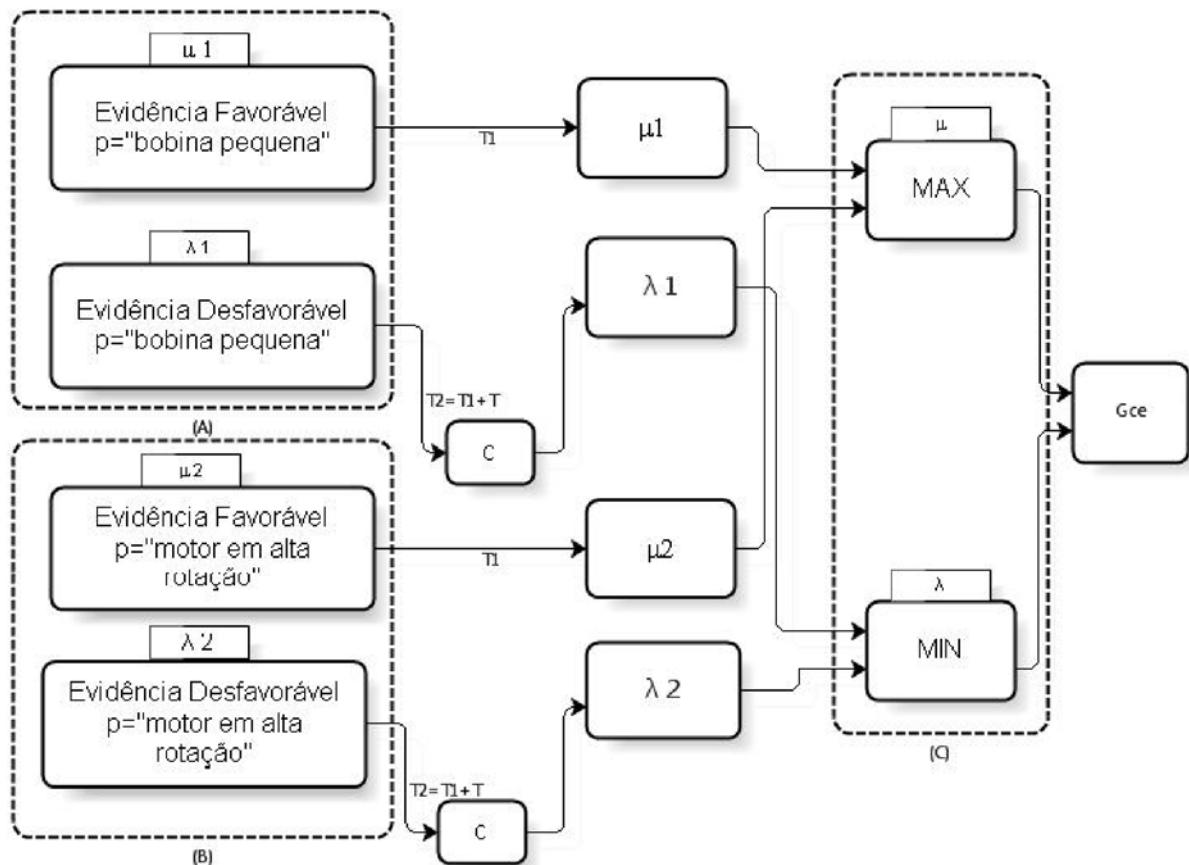


Figura 23 - Esquema da lógica de programação

A Figura 24 mostra o esquema da máquina com os seus devidos componentes posicionados estratégicamente: tambor, motor, bobina, freio, inversor de frequência, controlador lógico programável e sensor.

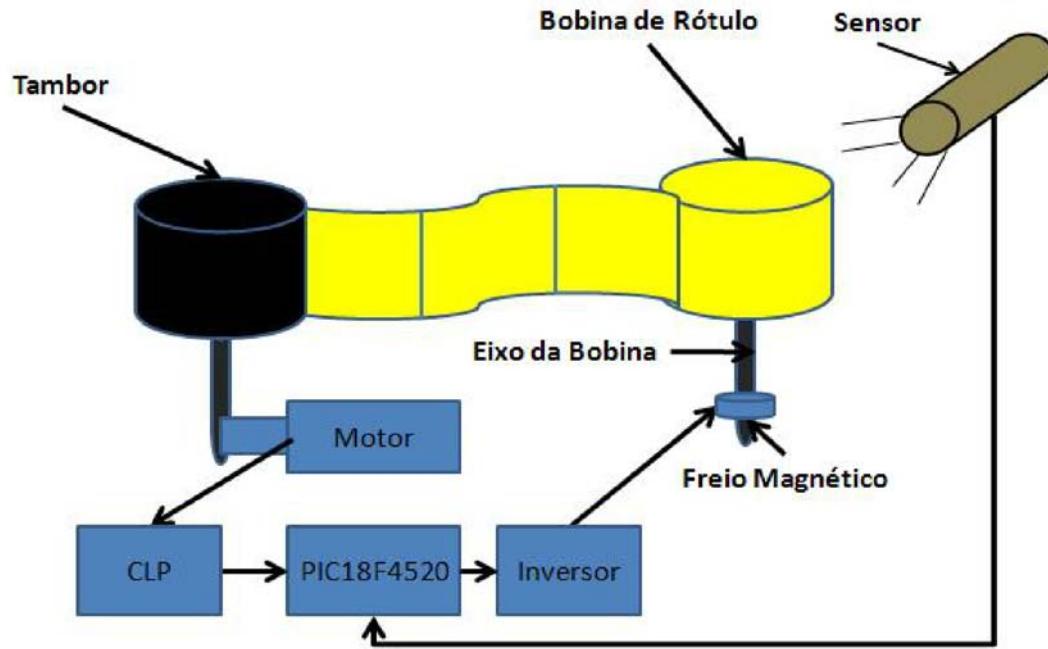


Figura 24 – Esquema completo da máquina

#### 5.4.4 Exemplificação de Situações onde a Frenagem no Eixo da Bobina foi aplicada

##### Primeira situação:

Após fazer a leitura da rotação do motor, será verificado se  $\mu_2 = 0$ , se verdadeiro calcular o  $G_{ce}$  da primeira proposição  $p$  = “motor em alta rotação”. Nesse caso o motor está parado Figura 25.

Motor:  $\mu_2 = 0$  e  $\lambda_2 = 1$ ;

$$G_{ce} = |(\mu - \lambda)| = (0 - 1) = 1$$

Nessa situação é calculado o  $G_{ce}$ , devido  $\mu_2$  ser igual a zero e aplicada uma frenagem 1.0, numa escala que varia de 0 a 1, ou seja, a frenagem deve ser máxima.

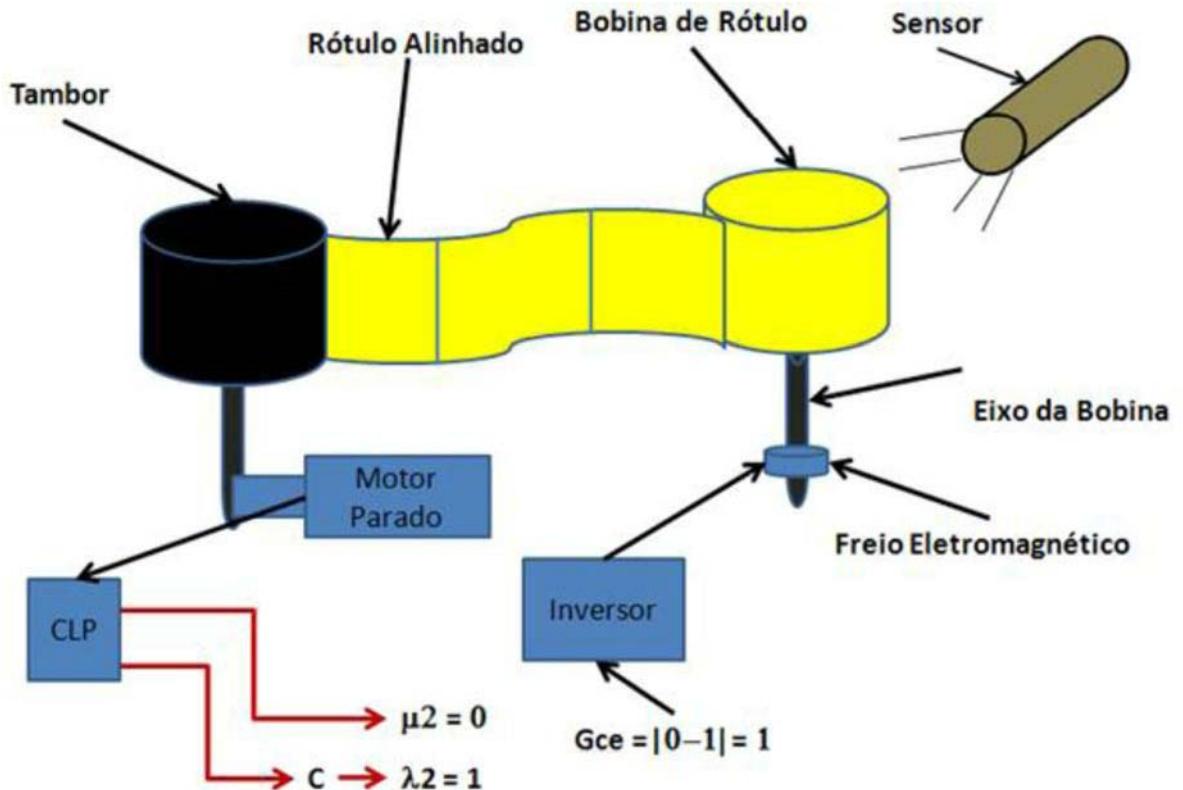


Figura 25 - Situação em que o motor se encontra parado

Caso o motor não esteja parado, é verificada a segunda fonte de informação (sensor), para que seja maximizado o grau de evidência favorável e minimizado o grau de evidência desfavorável, das duas primeiras proposições, na sequência é calculado o  $G_{ce}$  da terceira proposição.

#### Segunda Situação:

O motor em alta rotação e a bobina pequena Figura 26.

Motor:  $\mu_2 = 0.8$  e  $\lambda_2 = 0.2$ ;

Sensor:  $\mu_1 = 0.7$  e  $\lambda_1 = 0.3$ ;

Maximização:  $\mu = 0.8$ ;

Minimização:  $\lambda_1 = 0.2$ ;

$$G_{ce} = |(\mu - \lambda) = (0.8 - 0.2)| = 0.6$$

Nesse caso é aplicada uma frenagem 0.6, numa escala que varia de 0 a 1. Como a bobina é pequena e o motor encontra-se em alta rotação há uma compensação entre ambos, portanto, a frenagem aplicada pode ser considerada mediana.

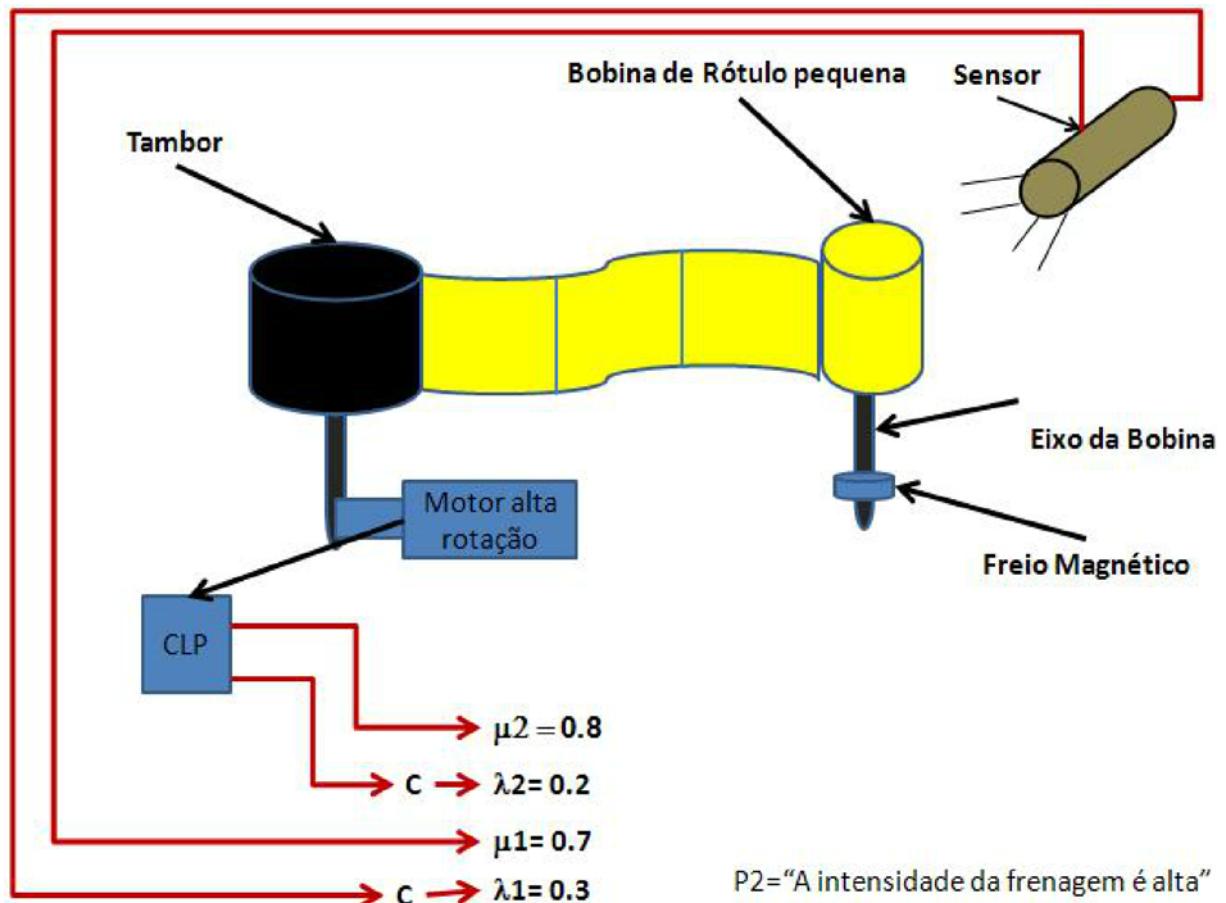


Figura 26 - Motor em alta rotação e bobina pequena

### Terceira situação:

O motor em baixa rotação e a bobina grande Figura 27.

Motor:  $\mu_2 = 0.1$  e  $\lambda_2 = 0.9$ ;

Sensor:  $\mu_1 = 0.2$  e  $\lambda_1 = 0.8$ ;

Maximização:  $\mu = 0.2$ ;

Minimização:  $\lambda_1 = 0.8$ ;

$$G_{ce} = |(\mu - \lambda) = (0.2 - 0.8)| = 0.6$$

Nesse caso é aplicada uma frenagem 0.6, numa escala que varia de 0 a 1. Como a bobina é grande e o motor encontra-se em baixa rotação há uma compensação entre ambos, portanto, a frenagem aplicada pode ser considerada mediana.

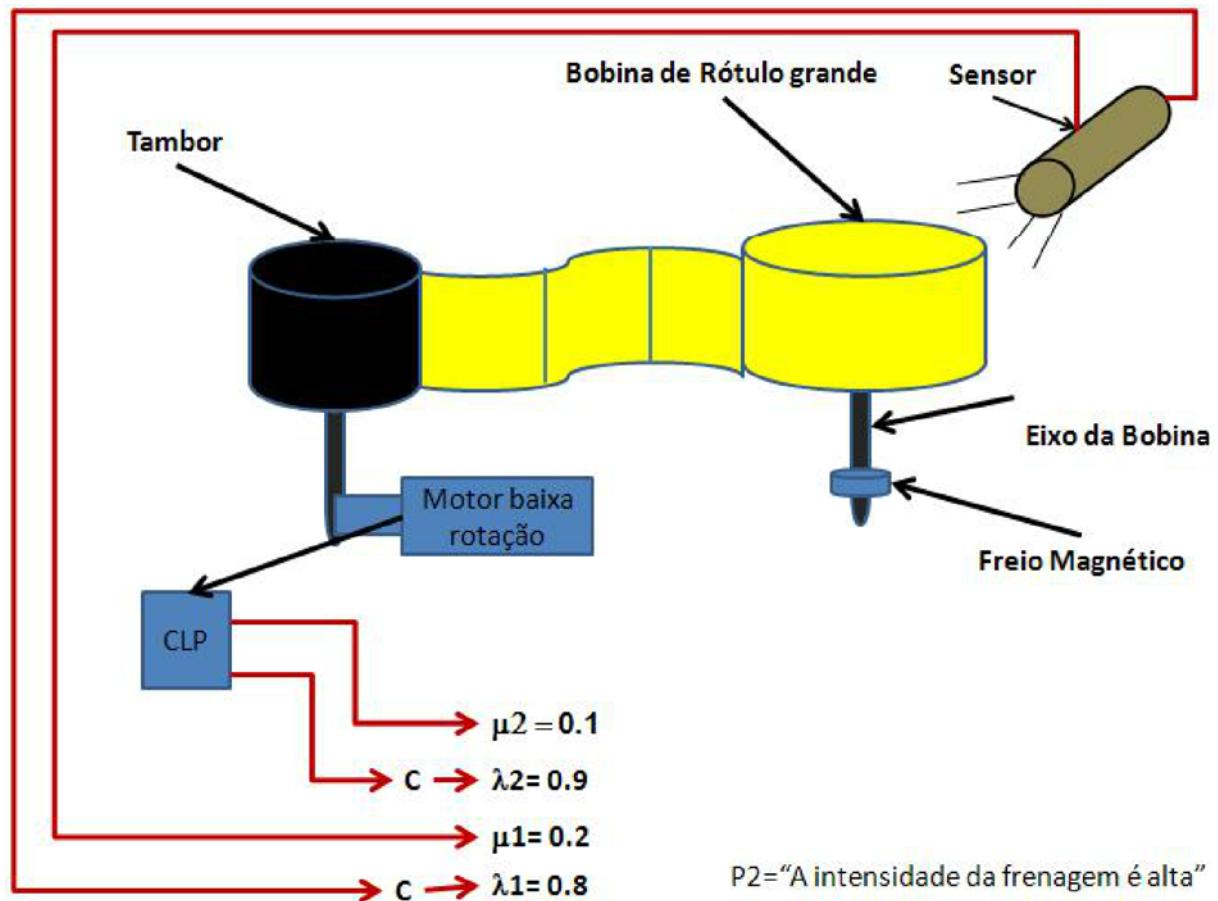


Figura 27 - Motor em baixa rotação e bobina grande

A intensidade da frenagem será determinada pela combinação de fatores, tamanho da bobina versus rotação do motor.

A Figura 28 mostra o fluxograma, do software embutido no microcontrolador pic18F4520, para determinar a intensidade da frenagem a ser aplicada no eixo da bobina.

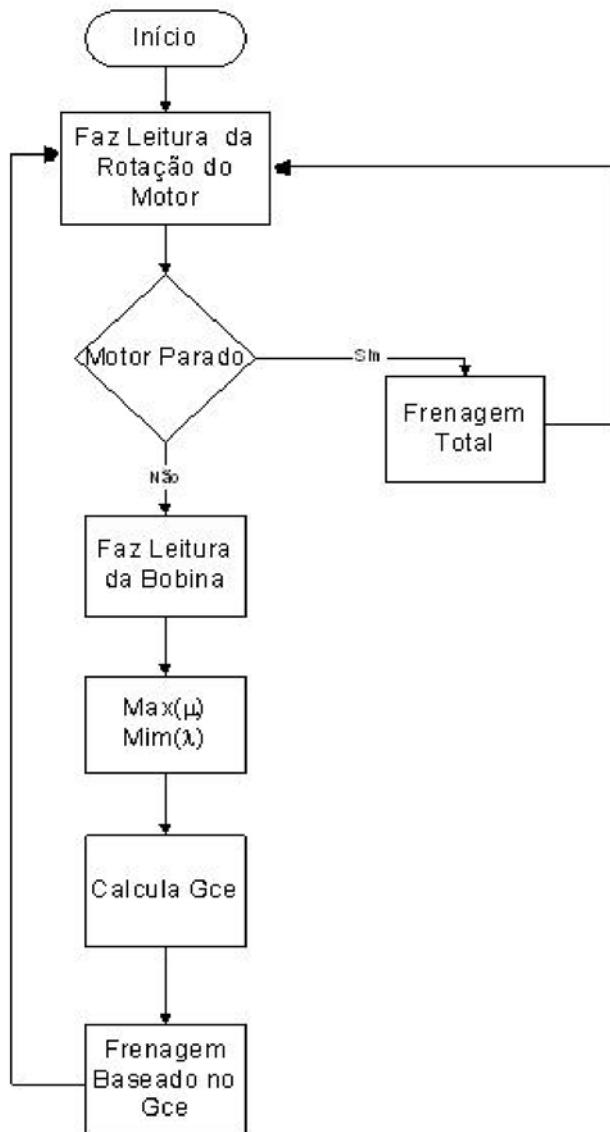


Figura 28 - Fluxograma do software desenvolvido para determinar a frenagem

## 5.5 Detalhamento do Desenvolvimento do Sistema de Frenagem

### 5.5.1 Diagrama elétrico do sistema de frenagem

Foi utilizada a ferramenta Proteus, uma versão gratuita para estudante, para o desenvolvimento do diagrama.

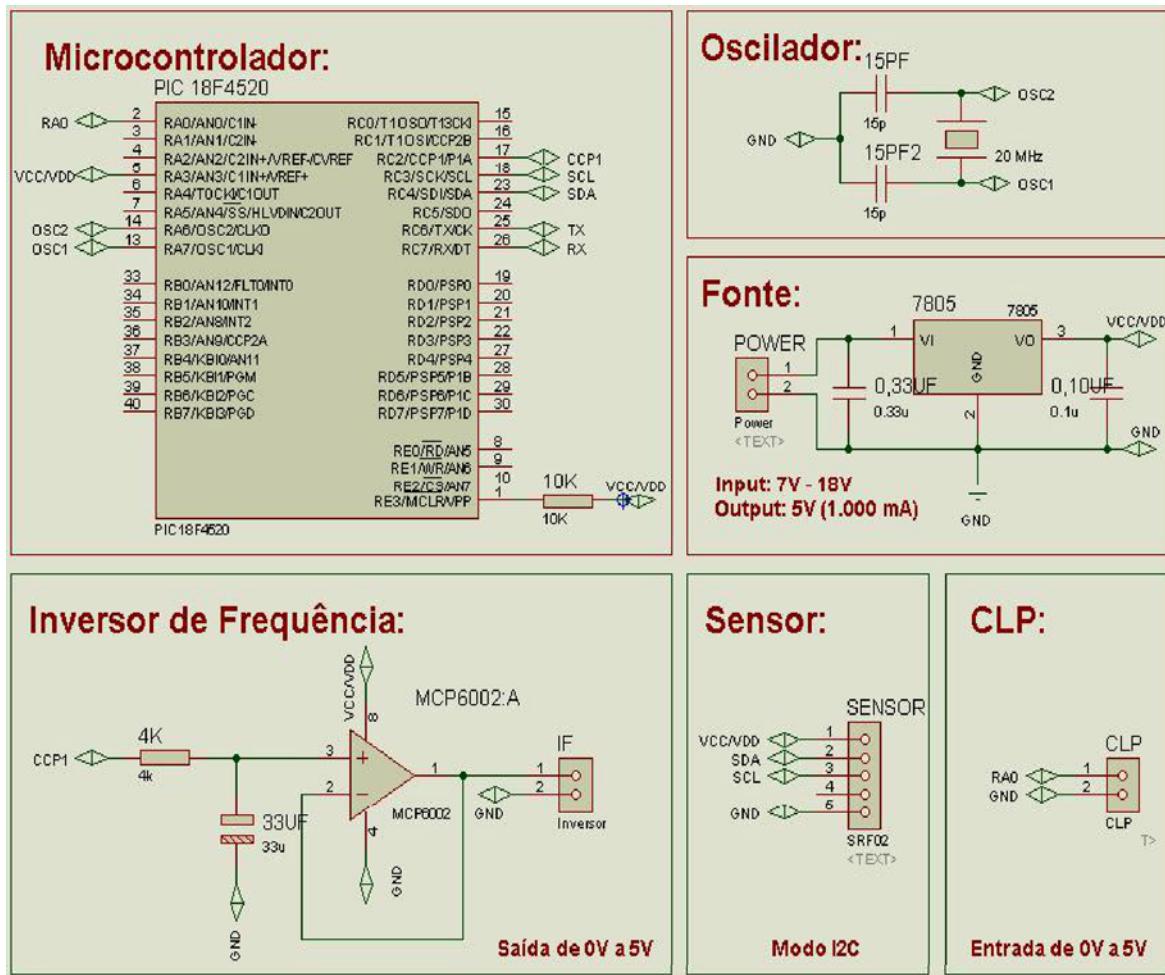


Figura 29 - Diagrama elétrico do sistema de frenagem

### 5.5.2 Placa de Circuito Impresso do Protótipo do Sistema de Frenagem

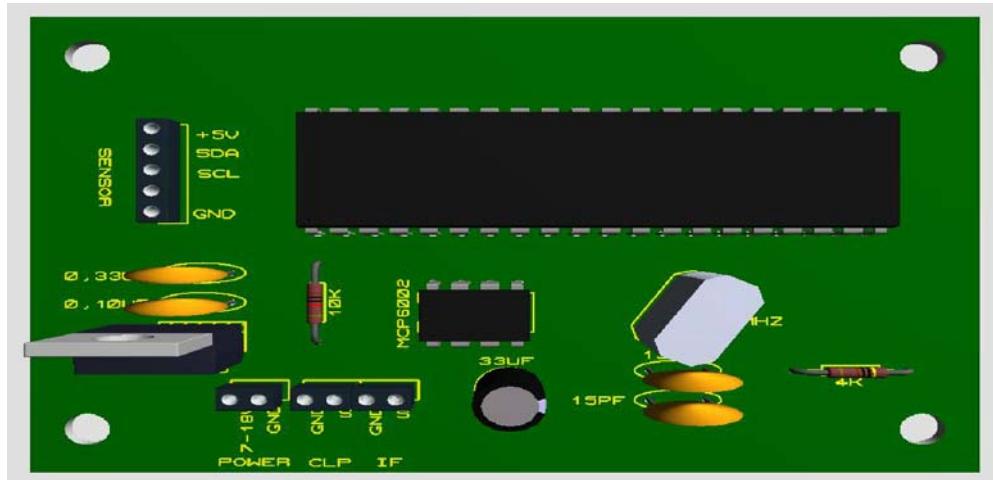


Figura 30 - Placa de circuito impresso do sistema de frenagem

Tabela 6 - Lista de componentes usados na montagem da placa de circuito impresso

Quantidade	Identificação	Valor	Descrição
1	R1	10k	Resistor
1	R2	4k	Resistor
2	C1,C2	15p	Capacitor
1	C3	0,33u	Capacitor
1	C4	0.1u	Capacitor
1	C5	33u	Capacitor
1	U1	7805	Circuito Integrado
1	CLP	-	CLP
1	IF	-	Inversor
1	MCP6002	-	MCP6002
1	PIC	-	PIC18F4520
1	POWER	-	Power
1	SENSOR	-	Sensor
1	XT	20 Mhz	Cristal

A Figura 31 apresenta o disco de freio eletromagnético montado no eixo de sustentação da bobina de rótulos. (Visão aproximada do dispositivo).

Itens que compõe o freio automático:

1. Disco de Freio eletromagnético.

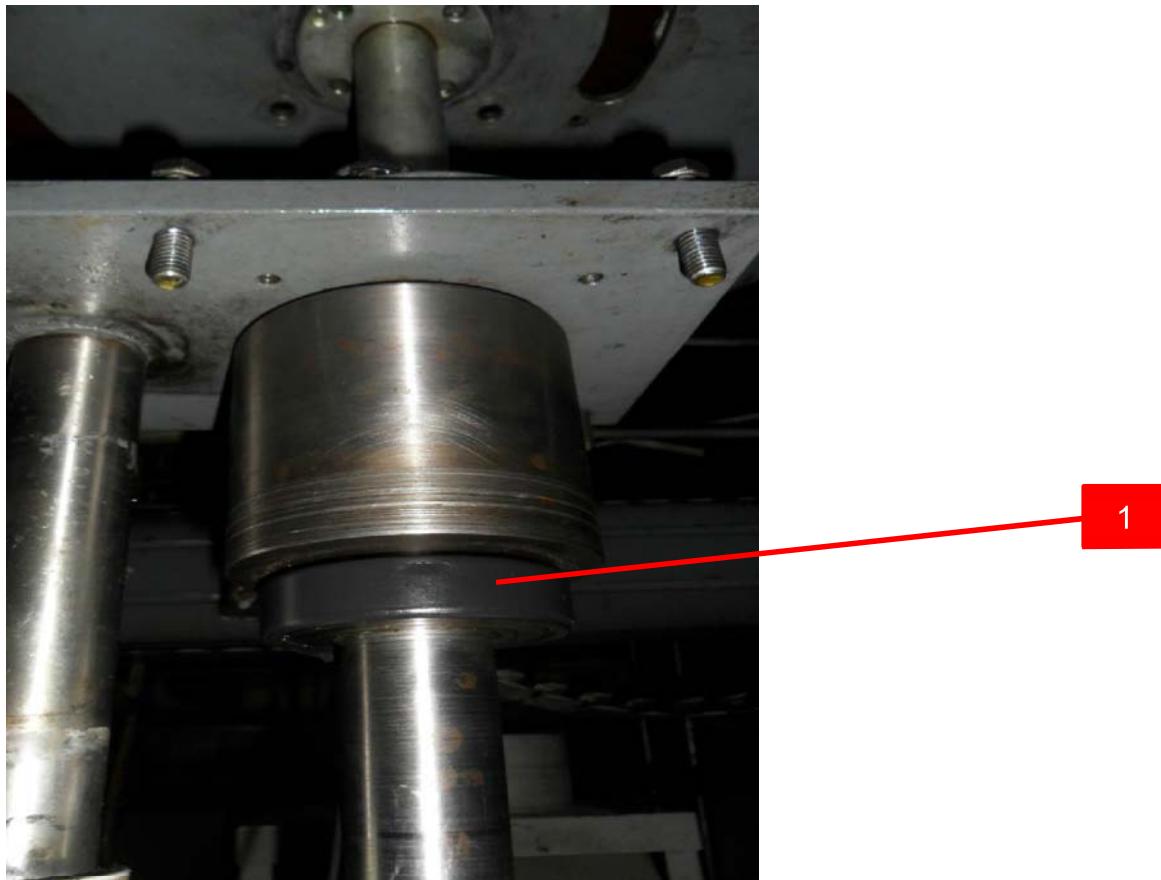


Figura 31 - Sistema de frenagem automático (visão aproximada)

A Figura 32 apresenta o disco de freio eletromagnético montado no eixo de sustentação da bobina de rótulos (máquina em uso).

Itens que compõe o freio automático:

- 1 Eixo de sustentação da bobina de rótulos.
- 2 Disco de Freio eletromagnético.
- 3 Prato; apoio para bobina de rótulos.
- 4 Bobina de rótulo.

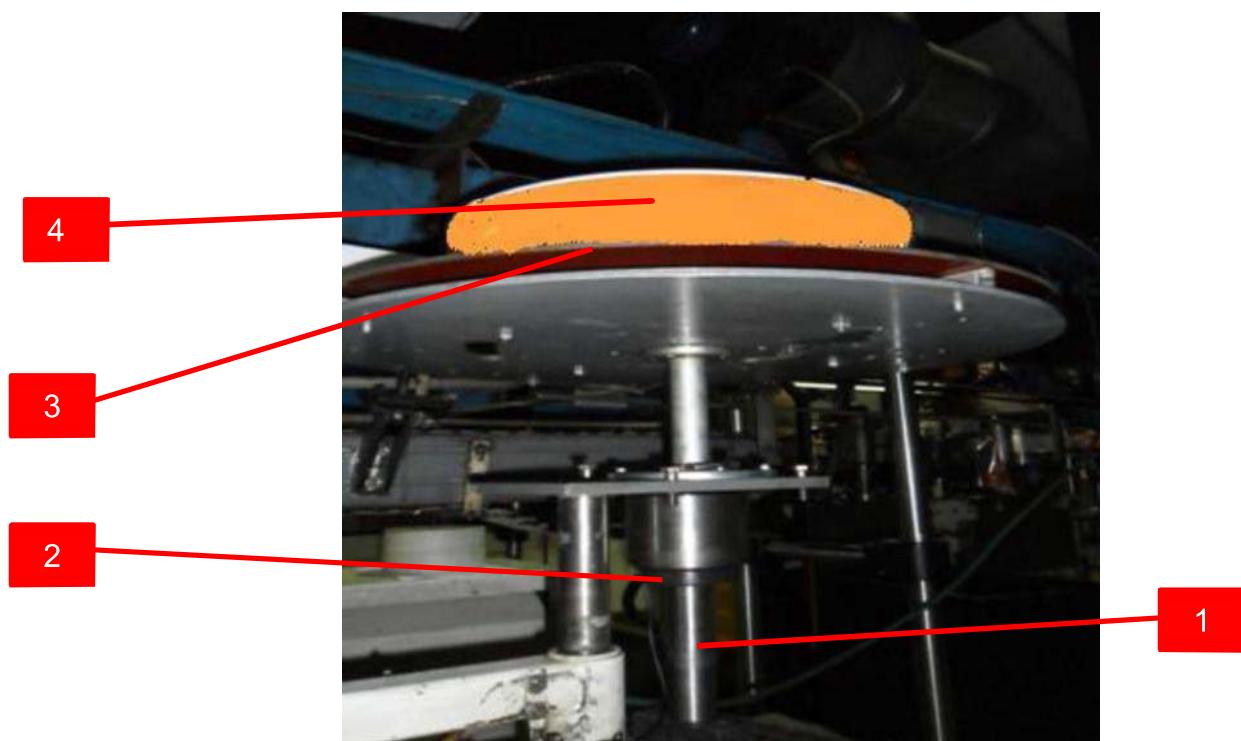


Figura 32 - Sistema de frenagem automático

## 5.6 Construção do Painel de Controle e Instalação na Máquina

A Figura 33 apresenta o suporte onde foi instalada a placa de circuito impresso, que faz o controle do sistema de frenagem.

Itens que compõe o CLP:

- 1 Acrílico de suporte da placa de circuito impresso .
- 2 Alimentação da placa de circuito impresso.

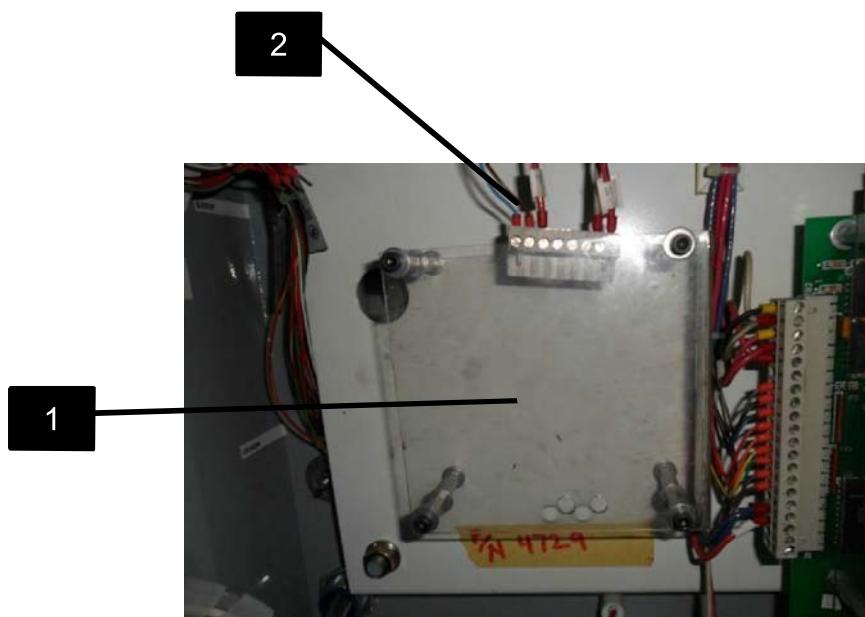


Figura 33 - Suporte para instalação da placa de circuito impresso

## 5.7 Levantamento dos Dados de Produção Após a Automação da Máquina

Durante um período de 30 dias foram levantados o número de paradas da máquina rotuladora, o número de paradas, o tempo de parada, a perda de garrafas e a perda de rótulos Tabela 7.

Tabela 7 - Dados da produção usando freio eletromagnético maio 2011

Data	Número Paradas	Tempo Parado	Perda Garrafa	Perda Rótulo(unidade)
1/5/2011	80	30	-	5
2/5/2011	70	13	-	-
3/5/2011	45	8	-	18
4/5/2011	50	10	-	-
5/5/2011	45	9	1	1
6/5/2011	50	8	-	-
7/5/2011	40	7	-	-
8/5/2011	51	6	1	61
9/5/2011	40	9	-	-
10/5/2011	35	5	-	12
11/5/2011	35	4	-	-
12/5/2011	37	5	-	15
13/5/2011	49	6	-	-
14/5/2011	45	8	1	10
15/5/2011	33	12	1	4
16/5/2011	37	23	-	15
17/5/2011	31	12	-	-
18/5/2011	28	8	-	-
19/5/2011	35	23	-	18
20/5/2011	40	19	1	6
21/5/2011	38	17	1	6
22/5/2011	33	15	1	50
23/5/2011	21	12	-	-
24/5/2011	34	13	-	21
25/5/2011	50	8	-	-
26/5/2011	45	7	1	23
27/5/2011	28	13	1	53
28/5/2011	32	6	4	4
29/5/2011	40	5	2	4
30/5/2011	45	3	-	-
<b>Total</b>	<b>1242</b>	<b>324</b>	<b>15</b>	<b>326</b>

## 6. Resultados

Houve um ganho de produtividade da linha de produção em decorrência da diminuição em 15% da parada da máquina de rotulagem.

Tabela 8 - Dados resumidos da produção (março e maio 2011)

	Freio Manual	Freio Eletromagnético
Número Paradas	1465	1242
Tempo Parado (minuto)	372	324
Perda Garrafa (unidade)	18	15
Perda Rótulo	394	326

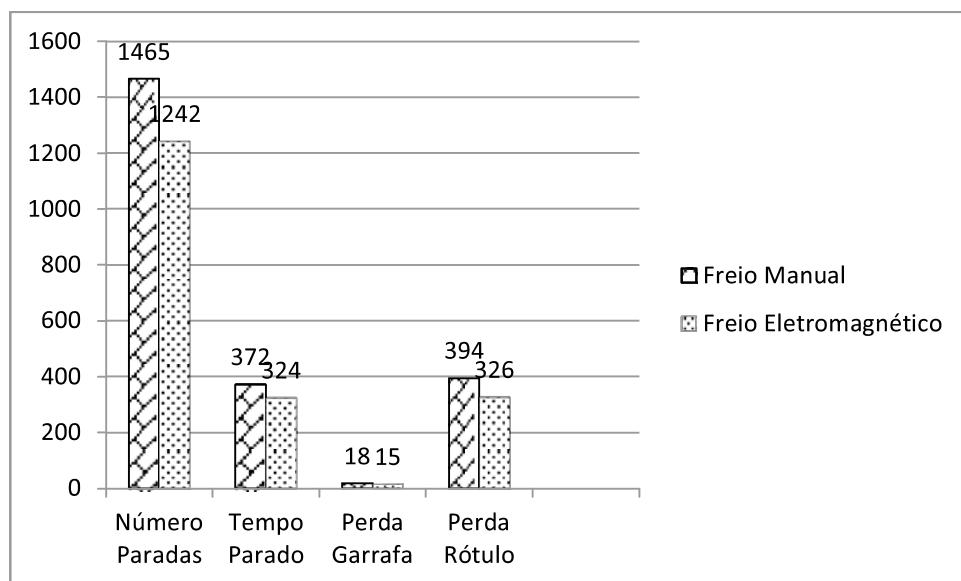


Figura 34 - Gráfico comparativo da produção (março e maio 2011)

Figura 34 é possível comparar os dados da produção, entre os meses de março e maio de 2011. Os quatro itens analisados quando usando o freio eletromagnético obtiveram resultados melhores.

## 7. Discussão

O trabalho mostrou ser viável o desenvolvimento de um sistema de frenagem para máquina de rotulagem automático.

- i. Levantamento Físico do Funcionamento da Máquina Antes da Automação;

A máquina de rotulagem apresenta dependência dos conhecimentos e habilidades operacionais do funcionário envolvido na sua operação o que pode acarretar tomadas de decisão equivocadas o que pode gerar.

- ii. Levantamento dos Históricos de Produção;

Graças à colaboração da empresa utilizada como estudo de caso, foi possível coletar os dados da produção em dois períodos: mês de março e maio.

- iii. Definição dos Sensores e Atuadores;

Após pesquisa bibliográfica e experiência adquirida de elaboração e execução do projeto Keller (CELESTINO, 2009), chegou-se a conclusão que o sensor (SRF02), é adequado ao projeto em questão.

- iv. Desenvolvimento do Software Usado no Controle da Frenagem;

O software de controle do sistema de frenagem, foi desenvolvido utilizando os conceitos da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et. A decisão da intensidade da frenagem é tomada a partir da análise da combinação das seguintes proposições: “motor em alta rota”, bobina pequena e a intensidade da frenagem é alta.

- v. Construção dos Painéis de Controle e Instalação na Máquina;

A placa de circuito impresso foi instalada em um painel existente nas instalações da empresa utilizada no estudo de caso. Tal decisão foi

tomada porque o local escolhido apresentava um nível de proteção adequado as necessidades do projeto a ser implementado.

vi. Testes e Avaliação do Desempenho do Sistema de Frenagem;

Os testes formam planejados a fim de se validar a eficiência de um novo modelo do ponto de vista da produtividade das linhas de produção.

vii. Levantamento dos Dados de Produção Após a Automação da Máquina;

Os dados da produção após a implantação do novo sistema de frenagem apresentaram um ganho de desempenho de 15%.

## 8. Conclusão

A empresa utilizada como estudo de caso mantém uma linha de produção adicional para o período de alta temporada. Levando-se em consideração que o período de alta temporada corresponde a apenas quatro meses do ano, em um período de oito meses a referida linha se mantém inativa. Para a empresa ocorre um desperdício de investimento em infraestrutura, pois a linha reserva poderia estar sendo utilizada em outra planta fabril.

Se a automatização da máquina rotuladora melhorar em apenas 20% a sua produtividade se justifica a mudança do modelo manual para o modelo automatizado, pois a empresa possui seis linhas de produção sendo uma reserva. Um aumento de 20% na produtividade em cinco linhas de produção corresponde a produtividade de uma única linha. Sendo assim a linha sobressalente pode ser realocada para outra planta fabril.

No estudo de caso obteve-se um ganho de 15% do modelo automatizado em relação ao modelo manual, portanto, faltam apenas 5% no aumento de produtividade para que a linha adicional possa ser desativada.

Como trabalho futuro, pode-se realizar uma reanálise do processo produtivo das linhas de produção a fim de se reduzir em 5% a ineficiência das mesmas.

Os resultados mostraram que a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et é bastante eficiente para tratamento de informações e pode ser empregada no controle de processos industriais.

## Referências

- ABE J. M. "Fundamentos da Lógica Anotada" Tese de Doutoramento, FFLCH/USP - São Paulo, 1992.
- ABE J. M. Some Aspects of Paraconsistent Systems and Applications, Logique et Analyse, 15, 83-96, 1997.
- ABE, J. M; DA SILVA FILHO, J. I. Logic, Artificial Intelligence, and Robotics, Editors, Frontiers in Artificial Intelligence and Its Applications, IOS Press, Amsterdam, Ohmsha, Tokyo, Vol. 71, 287p., 2001.
- ABE, J. M; DA SILVA FILHO, J. I. Manipulating Conflicts and Uncertainties in Robotics, Multiple-Valued Logic and Soft Computing, V.9, 147-169, 2003.
- ABE, J. M. Para-fuzzy logic controller, Lecture Notes In Computer Science 3214, Springer, pp. 935-941, 2004.
- ABE J. M. TORRES, C. R. Nakamatsu K, Intelligent Paraconsistent Logic Controller and Autonomous Mobile Robot Emmy II, Lecture Notes in Computer Science 4252, 851-857, Springer, 2006.
- ABE, J.M. Annotated logics Qt and model theory, in Logic, Artificial Intelligence, and Robotics, Proc. 2nd Congress of Logic Applied to Technology – LAPTEC'2001, Edts.
- ABE, J.M; DA SILVA FILHO, J.I. Frontiers in Artificial Intelligence and Its Applications, IOS Press, Amsterdam, Ohmsha, Tokyo, Editores, Vol. 71, ISBN 1 58603 206 2 (IOS Press), 4 274 90476 8 C3000 (Ohmsha), ISSN 0922-6389, 1-12, 287p., 2001.
- ABE, J.M. Some Aspects of Paraconsistent Systems and Applications, Logique et Analyse, 157(1997), 83-96.

ABE, J.M; DA SILVA FILHO, J.I. Manipulating Conflicts and Uncertainties in Robotics, Multiple-Valued Logic and Soft Computing, V.9, ISSN 1542-3980, 147-169, 2003.

ABE, J.M. et al. Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et. São Paulo: Comunnicar. 2011

ÁVILA, B. C. Uma Abordagem Paraconsistente Baseada em Lógica Evidencial para Tratar Exceções em Sistemas de Frames com Múltipla Herança, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ACRONAME. Disponível em Acroname Robotics: <http://www.acroname.com>, acessado em outubro, 2011.

ABPFSP. Museu Ferroviário – Paranapiacaba:  
[http://www.abpfsp.com.br/museu\\_ferroviario\\_paranapiacaba.htm](http://www.abpfsp.com.br/museu_ferroviario_paranapiacaba.htm), acessado em setembro 2011.

AMORIM, E. C. G. Desenvolvimento de Sensor Micropocessado de Baixo Custo Para Análise de Cores. Disponível em:  
[http://www.anchieta.br/unianchieta/revistas/engenho/pdf/revista\\_engenho03.pdf](http://www.anchieta.br/unianchieta/revistas/engenho/pdf/revista_engenho03.pdf)  
Acesso em 08/12/2011.

CELESTINO, U. “Dispositivo Eletrônico Para Auxílio na Locomoção de Deficientes Visuais e/ou Auditivos Baseado na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et.” Dissertação de Mestrado, UNIP - São Paulo, 2009.

CHOPRA, S; MEINDL, P. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: estratégia, planejamento e operação. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CORETTI, J. A. Manual de Treinamento Básico de Controlador Programável. Sertãozinho, Centro de Treinamento SMAR.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. Administração da produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

CARVALHO, G. Microcontroladores PIC, Teoria e Montagens Práticas, 1.ed., Editora Eltec, 2005.

DA SILVA FILHO, J. I; ABE, J. M; TORRES,G.L., Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes, LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., São Paulo, ISBN 978-85-216-1631-3, 313 págs., 2008.

DA SILVA FILHO, J.I; TORRES, G. L; ABE, J.M. Uncertainty Treatment Using Paraconsistent Logic - Introducing Paraconsistent Artificial Neural Networks, IOS Press, Holanda, Vol. 211, ISBN 978-1-60750-557-0, doi: 10.3233/978-1-60750-558-7-I, 328pp., 2010.

DA SILVA FILHO, J.I., Métodos de interpretação da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação com dois valores LPA2v com construção de Algoritmo e implementação de Circuitos Eletrônicos, EPUSP, Tese de Doutoramento, São Paulo, 1999.

DA SILVA FILHO, J.I; ABE, J.M. Paraconsistent analyser module, International Journal of Computing Anticipatory Systems, vol. 9, ISSN 1373-5411, ISBN 2-9600262-1-7, 346-352, 2001.

DA COSTA, N. C. A; ABE, J. M; DA SILVA FILHO, J. I; MUROLO, A.C. Lógica Paraconsistente Aplicada, Editora Atlas, 1999.

DA COSTA, N. C. A. O Conhecimento Científico, Discurso Editorial, 2000.

DA SILVA FILHO, J. I; ABE J.M. Introdução á Lógica Paraconsistente Anotada com Ilustrações, Editora Emmy, Santos 166p, 2000.

DA COSTA N. C. A. Logiques Classiques et Non Classiques, Masson, Paris, 1997.

DA SILVA FILHO, J. I. Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com Dois Valores LPA2v com Construção de Algoritmo e Implementação de Circuitos Eletrônicos, in Portuguese, Ph. D. Thesis, University of São Paulo, São Paulo, 1999.

EREN, H. Wireless Sensors and Instruments. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006.

FRANCHI, C. M; Inversores de Frequência – Teoria e Aplicações. São Paulo: Erica, 2008.

GROOVER, M. P. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing, Second Edition. Prentice-Hall, 2000.

KALPAKJAN, S. Manufacturing Engineering and Technology. 4<sup>a</sup> Edição. Prentice-Hall, 2000.

LOBO, H; Arte e a Revolução Industrial nos Séculos XVIII: Livros Horizonte, 1986.

MITSUBISHI. Acesso em novembro 2011, disponível em:  
<http://www.mitsubishielectric.com/company/ir/index.html>

MULTI. Acesso em dezembro 2011, disponível em:  
[http://loja.multcomercial.com.br/ecommerce\\_site/produto\\_4700\\_4689\\_Programador-e-Gravador-USB-e-ICD2-para-Microcontroladores-PIC-MultiPROG-2](http://loja.multcomercial.com.br/ecommerce_site/produto_4700_4689_Programador-e-Gravador-USB-e-ICD2-para-Microcontroladores-PIC-MultiPROG-2)

PEREIRA, F. Microcontroladores pic – Programando em C. São Paulo: Erica, 2003.

PRADO, J. P. A. Uma Arquitetura em Inteligência Artificial Baseada em Lógica Paraconsistente, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

REALE, G; ANTISERI, D. História da Filosofia - Antiguidade e Idade Média (Vol. vol.1). São Paulo, SP, Brasil: Paulus.

ROMI, Acesso em dezembro 2011, disponível em:  
[http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/IP/Catalogos/Portugues/MP\\_Inform\\_2011\\_AA\\_BX.pdf](http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/IP/Catalogos/Portugues/MP_Inform_2011_AA_BX.pdf)

SHING, S. Sistemas de Produção com Estoque Zero. 1<sup>a</sup> Edição. Porto Alegre: Bookman Companhia, 1996.

SANYO. Acesso em 10 de novembro de 2011, disponível em:  
<http://semicon.sanyo.com>.

SOUZA, D. J; Desbravando o PIC. São Paulo: Erica, 2010.

SIMPSON, N.D; Programmable Logic Controllers. Prentice Hall, 1994.

SLACK, N; *et al.* Administração da produção. São Paulo: Atlas, 1997.

TUBINO, D. F. Planejamento e controle da produção: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2007.

TUBINO, M. Planejamento e Controle da Produção. 2<sup>a</sup> Edição. São Paulo: Atlas, 2009.

TRINE. Labeler. Manual operacional e técnico, 1997.

ZANCO, W.S; Microcontroladores pic 18 com Linguagem C. São Paulo: Erica, 2010.

ZEGLA. Acessado em dezembro de 2011, disponível em: <http://www.zegla.com.br/>