

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA  
MODALIDADE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**ALCIR SCHROEDER  
ALEXANDRE PERUSSI  
CLEBER LUIZ MIYAKODA ALCANTARA**

**MODERNIZAÇÃO DE CONTROLE E FUNCIONAMENTO  
INTERMITENTE PARA ESCADAS ROLANTES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA  
2011**

**ALCIR SCHROEDER  
ALEXANDRE PERUSSI  
CLEBER LUIZ MIYAKODA ALCANTARA**

## **MODERNIZAÇÃO DE CONTROLE E FUNCIONAMENTO INTERMITENTE PARA ESCADAS ROLANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica, modalidade Automação de Processos Industriais do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Eng. Gilmar Lunardon

**CURITIBA  
2011**

ALCIR SCHROEDER

ALEXANDRE PERUSSI

CLEBER LUIZ MIYAKODA ALCANTARA

**MODERNIZAÇÃO DE CONTROLE E FUNCIONAMENTO  
INTERMITENTE PARA ESCADAS ROLANTES**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 29 de novembro de 2011, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica, modalidade Automação de Processos Industriais, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguídos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Me. César Janeczko  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

---

Prof. Dr. Décio Estevão do Nascimento  
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. João Almeida de Gois

---

Prof. Eng. Gilmar Lunardon  
Orientador

---

Prof. Me. Marcio Augusto Lombardi

## **AGRADECIMENTOS**

Nossos agradecimentos ao prof. Gilmar Lunardon pela sua dedicação e apoio durante a execução e finalização deste trabalho de diplomação.

Agradecemos aos colaboradores da equipe de operações do fabricante Yaskawa, que se dispuseram de forma rápida ao fornecimento de material para este projeto.

Ao diretor da MTG Tech, sr. Leandro Gracia pela colaboração e orientações durante a fase de idealização do sistema de controle, esclarecendo dúvidas e orientando quais melhores caminhos a seguir.

A todos os professores que no decorrer do curso mostraram o comprometimento com o aprendizado dos alunos do curso de Tecnologia em Eletrônica em especial aos coordenadores do curso no ano de 2011, em especial do prof. Jose Ricardo Alcantara que nos proporcionou a chance de conclusão deste trabalho.

Aos colegas pelo incentivo durante este projeto e em especial a nossos familiares pela compreensão e apoio de forma primordial durante os longos períodos de pesquisa e execução deste trabalho de diplomação.

*ALCIR SCHROEDER*

*ALEXANDRE PERUSSI*

*CLEBER LUIZ MIYAKODA ALCANTARA*

## RESUMO

SCHROEDER, Alcir; PERUSSI, Alexandre; ALCANTARA, Cleber Luiz Miyakoda. Modernização de Controle e Funcionamento Intermitente para Escadas Rolantes. 2011. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica, modalidade Automação de Processos Industriais) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

Em diversas situações observa-se a necessidade de realizar a locomoção de pessoas entre pavimentos, para que em conjunto com a idealização de um trabalho realizado pela construção civil se alcance a total funcionalidade da obra. Analisando aspectos como fluxo de usuários e robustez dos projetos, são comumente utilizadas ferramentas denominadas “escadas rolantes” para atingir este objetivo. Existe um parque nacional de grande porte já utilizando esta tecnologia, trazida ao Brasil nos anos 40. Como esta ferramenta utiliza-se basicamente da energia elétrica para funcionar, correlacionando aspectos mundiais discutidos atualmente no âmbito “sustentável” do consumo de recursos energéticos em todas as áreas, este projeto visa a implementação de controle inteligente para o acionamento e funcionamento desta ferramenta, objetivando a economia e praticidade em vários aspectos da utilização deste meio de locomoção do dia-a-dia. O sistema desenvolvido atua diretamente no acionamento da escada rolante, controlando a velocidade de funcionamento dos motores com base na ociosidade de usuários, fazendo com que os motores sejam acionados de acordo com a necessidade de utilização, ou até mesmo o estado de “descanso”, interrompendo o funcionamento, situações que resultam diretamente nos gastos energéticos do sistema. Tais ações são realizadas através de controle microcontrolado, que realiza diagnósticos do sistema através de sensores fisicamente instalados em locais estratégicos do sistema e atua diretamente nos motores através de inversor de frequência para controle de velocidade.

**Palavras Chave:** Escada Rolante, Inversor de Frequência, Microcontrolador, Controle de Escada Rolante.

## ABSTRACT

SCHROEDER, Alcir; PERUSSI, Alexandre; ALCANTARA, Cleber Luiz Miyakoda. Modernização de Controle e Funcionamento Intermitente para Escadas Rolantes. 2011. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica, modalidade Automação de Processos Industriais) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

In many situations there is the need for moving people between floors, so that together with the idealization of work done by construction to reach the full functionality of the work. Analyzing aspects such as flow of users and robustness of designs are commonly used tools called "escalator" to achieve this goal. There is a large national park already using this technology, brought to Brazil in 40 years. As this tool is used primarily electricity to function, correlating global issues currently discussed under "sustainable" consumption of energy resources in all areas, this project aims to implement intelligent control for the activation and operation of this tool, aiming the economy and practicality in various aspects of using this means of locomotion of the day to day. The developed system acts directly on the escalator drive, controlling the operating speed of the engine based on user idle, causing the engines to be operated in accordance with the need to use, or even the state of "rest" interrupting the operation, situations that result directly in energy expenditure of the system. Such actions are performed using control microcontroller, which performs system diagnostics via physical sensors installed at strategic locations in the system and acts directly on the engine via a frequency inverter for speed control.

**Keywords:** Escalator, Frequency Converter, Microcontroller, Escalator Control.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE QUADROS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 A ESCADA ROLANTE NO BRASIL.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. DIAGNÓSTICO.....	13
4. JUSTIFICATIVA.....	15
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
6. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
6.1. MICROCONTROLADORES.....	17
6.1.1. DESCRIÇÃO DOS BLOCOS DE UM MICROCONTROLADOR.....	18
6.1.2. VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE MICROCONTROLADORES.....	20
6.1.3. DEFININDO O TIPO DE MICROCONTROLADOR.....	21
6.1.4. EM PROJETO: MICROCONTROLADOR AVR ATMEL ATMEGA16.....	22
6.1.4.1. MICROCONTROLADORES DA FAMÍLIA AVR.....	22
6.1.4.2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO UTILIZADO.....	23
6.1.4.3. PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR.....	28
6.2. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO C.....	28
6.2.1. EM PROJETO: LINGUAGEM ESTRUTURADA.....	29
6.2.2. UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROGRAMAÇÃO.....	29
6.3. MOTORES ELÉTRICOS.....	30
6.3.1. DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MOTORES.....	33
6.3.1.1. MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA.....	33
6.3.1.2. MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA.....	34
6.3.1.3. MOTORES ELÉTRICOS ESPECIAIS.....	34
6.3.2. EM PROJETO: MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.....	34
6.4. INVERSORES DE FREQUÊNCIA.....	36
6.4.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	37
6.4.2. DIFERENÇAS NA APLICAÇÃO.....	40
6.4.3. TIPOS DE INVERSORES.....	41
6.4.4. EM PROJETO: INVERSOR YASKAWA.....	42
6.4.4.1. O FABRICANTE.....	42
6.4.4.2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO UTILIZADO.....	42
6.5. INSTRUMENTAÇÃO – SENSORES.....	45
6.5.1. EM PROJETO: SENSOR ÓTICO BALLUFF BOS 18M.....	46
6.5.2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO BOS 18M-PA-1PA-E5-C-S4.....	47
6.6. CONFECÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO.....	49
6.7. ESCADAS ROLANTES.....	52
6.7.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	53
7. DESENVOLVIMENTO.....	55
7.1. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA FINTER.....	55
7.2. METODOLOGIA PARA CONCEPÇÃO DO PROJETO.....	56
7.2.1. PISO INFERIOR.....	57

7.2.2.	PISO SUPERIOR .....	58
7.3.	IMPLEMENTAÇÃO MECÂNICA .....	61
7.4.	IMPLEMENTAÇÃO ELETRÔNICA.....	63
7.4.1.	PLACA DE CONTROLE PRINCIPAL .....	64
7.4.1.1.	ESQUEMA ELETRICO.....	64
7.4.1.2.	LAYOUT DA PLACA DE CIRCUITO .....	68
7.4.2.	PLACA DE SINALIZAÇÃO – PICTOGRAMAS ELETRÔNICOS .....	69
7.4.2.1.	ESQUEMA ELÉTRICO.....	71
7.4.2.2.	LAYOUT DA PLACA DE CIRCUITO .....	71
7.5.	IMPLEMENTAÇÃO DE <i>FIRMWARE</i> .....	72
7.5.1.	<i>FIRMWARE</i> : PLACA DE CONTROLE .....	73
7.5.2.	<i>FIRMWARE</i> : MODULOS DE SINALIZAÇÃO .....	75
7.6.	AJUSTES DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	75
7.6.1.	AUTO AJUSTE DO MOTOR .....	76
7.6.2.	LISTA DE PARÂMETROS CONFIGURADOS PARA APLICAÇÃO: .....	77
8.	RESULTADOS .....	78
9.	CONCLUSÃO.....	83
	REFERÊNCIAS .....	85
	APÊNDICE A – CARACTERISTICAS DO INVERSOR YASKAWA V1000 .....	88
	APÊNDICE B – ROTINA DE <i>FIRMWARE</i> DA PLACA DE CONTROLE .....	91
	APÊNDICE C – ROTINA DE <i>FIRMWARE</i> DA PLACA DE SINALIZAÇÃO.....	97



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Escada Rolante.....	12
Figura 2 – Esquema simplificado de um microcontrolador.....	18
Figura 3 – Diagrama interno de um Microcontrolador.....	20
Figura 4 – Diagrama em blocos do conceito HARVARD.....	23
Figura 5 – ATmega16 encapsulamento DIP.....	23
Figura 6 – ATmega16 encapsulamento TQFP.....	24
Figura 7 – Versatilidade de integração, segundo fabricante ATMEL.....	26
Figura 8 – Diagrama em blocos do microcontrolador ATmega16.....	27
Figura 9 – Programação Tradicional.....	29
Figura 10 – Algoritmo de Programação.....	30
Figura 11 – Exemplos de Motores do Fabricante WEG.....	31
Figura 12 – Tipos de Motores existentes segundo o fabricante WEG.....	32
Figura 13 – Exemplo de Placa de Identificação de motores do fabricante WEG.....	33
Figura 14 – Esquemas de Ligação.....	35
Figura 15 – Partes de um motor Trifásico.....	35
Figura 16 – Inversores de Frequência Yaskawa.....	37
Figura 17 – Diagrama em blocos simplificado de um inversor de frequência.....	38
Figura 18 – Bloco Inversor.....	39
Figura 19 – IGBT Fairchild Semiconductor 600V 120A.....	39
Figura 20 – Visualização detalhada dos blocos de um inversor.....	40
Figura 21 – Inversor Yaskawa CIMR-VU.....	42
Figura 22 – Diagramas de ligação da Série V1000.....	44
Figura 23 – Malha fechada de controle.....	45
Figura 24 – Malha aberta de controle.....	46
Figura 25 – Sensores Óticos da linha BALLUFF.....	46
Figura 26 – Dimensões mecânicas do sensor.....	47
Figura 27 – Diagrama de ligação.....	48
Figura 28 – Exemplo de Layout de circuito.....	50
Figura 29 – Detalhe: vista lateral de placas multi camadas.....	50
Figura 30 – Exemplo de Placa de Circuito Dual Layer.....	51
Figura 31 – Exemplo de Placa de Circuito Impresso Multi-Layer.....	51
Figura 32 – Escada rolante.....	52
Figura 33 – Vista lateral de uma escada rolante.....	53
Figura 34 – Degrau de uma escada rolante.....	54
Figura 35 – Ranhuras no degrau.....	55
Figura 36 – Macro diagrama de funcionamento do FINTER.....	57
Figura 37 – Exemplo de sensores no piso inferior.....	57
Figura 38 – Diagrama em blocos do Piso Inferior.....	58
Figura 39 – Escada rolante e patamar superior.....	58
Figura 40 – Diagrama em blocos do Piso Superior.....	59
Figura 41 – Casa de maquinas localizado no patamar superior.....	59
Figura 42 – Série de segurança na lateral da escada rolante.....	60
Figura 43 – Série de segurança.....	60
Figura 44 – Chave fim de curso NF.....	60
Figura 45 – Painel didático para demonstração do sistema FINTER.....	61
Figura 46 – Diagrama unifilar do painel didático obtido através do software CADdyBasic.....	62

Figura 47 – Motor trifásico 0,75 kW.....	62
Figura 48 – Controle FINTER .....	63
Figura 49 – Eagle CadSoft 5.11 .....	64
Figura 50 – Diagrama elétrico – CPU .....	65
Figura 51 – Diagrama elétrico - Saídas e Fonte.....	66
Figura 52 – Diagrama elétrico - entrada dos sensores de movimento, sinal de emergência, entrada chave de partida, leds indicativos de status e saída para sinalização. ....	67
Figura 53 – layer superior da placa de controle principal .....	68
Figura 54 – layer inferior da placa de controle principal .....	68
Figura 55 – Placa de Controle exportada através do EAGLE 5.11.....	69
Figura 56 – Diagrama de ligações sinalização .....	70
Figura 57 – Sinalização através de Pictograma Eletrônico .....	70
Figura 58 – layer superior da placa de sinalização.....	71
Figura 59 – layer inferior da placa de sinalização.....	71
Figura 60 – Placa de sinalização exportada através do EAGLE 5.11 .....	72
Figura 61 – Interface de gravação USB JTAG ICE .....	72
Figura 62 – ATMEL AVR-Studio .....	73
Figura 63 – Fluxograma de funcionamento do <i>firmware</i> .....	74
Figura 64 – Entradas digitais no inversor .....	75
Figura 65 – Gráfico economia x tempo de escada parada.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo do processador Atmel .....	26
---	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parametrização das entradas digitais .....	76
Quadro 2 – Parâmetros para auto-ajuste do motor .....	76
Quadro 3 – Parâmetros do motor .....	77
Quadro 4 – Outros parâmetros de configuração.....	77
Quadro 5 – Dados da escada rolante .....	78
Quadro 6 – Exemplo com outros valores de parada.....	80
Quadro 7 – Custos do sistema FINTEER.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	<i>Analog/Digital</i>
ADC	<i>Analog Digital Converter</i>
AVR	<i>Advanced Virtual Risc</i>
BCPL	<i>Basic Combined Programming Language</i>
BIT	Digito Binário
BYTES	Conjunto de 8 Bits
CF	Contatora de freio
CHPD	Chave de partida para descer
CP	Contatora de potência
CPU	Unidade Central de Processamento
DAELN	Departamento Acadêmico de Eletrônica
DIP	<i>Dual Inline Package</i>
EEPRON	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EM1	Série de emergência 1
EM2	Série de emergência 2
EMC	<i>Eletromagnetic Compatibility</i>
FBD	Diagrama em Blocos da Função
FINTER	Funcionamento Intermitente para Escadas Rolantes
FLAG_APD	Variável de configuração para descer
FLAG_APS	Variável de configuração para subir
FLAG_EMOK	Variável de emergência OK
GHZ	<i>Gigahertz</i>
HZ	<i>Hertz</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
KW	Quilowatt
KWA	Quilowatt Ampér
KWH	Quilowatt Hora
LED_APD	Led armada para descer
LED_APS	Led armada para subir
LED_DPEM1	Led desarmada por serie de segurança 01
LED_DPEM2	Led desarmada por serie de segurança 02
LED_EMOK	Led de emergência OK
LUX	Unidade de iluminação no Sistema Internacional
MHZ	Megahertz
MM	Milímetros
MS	Milisegundos
°C	Graus Celsius
OHMS	Unidade de medida de resistencia elétrica
PCB	Printed Circuit Board
PCI	Placa de Circuito Impresso
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RISC -	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
ROHS	<i>Restriction of Certain Hazardous Substances</i>

S1	Saída 1
S7	Saída 2
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
STUB	Pedaço de metal utilizado em placas de circuito
TDF	Tempo de funcionamento
TQFP	<i>Thin Quad Flat Pack</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
V/F	Tensão sobre Frequência
VDC	Tensão de corrente continua

## 1. INTRODUÇÃO

Observa-se nos empreendimentos a comum utilização de dispositivos para locomoção de pessoas entre pavimentos. O equipamento comumente utilizado para esta necessidade entra na categoria de esteiras rolantes, chamados popularmente “escadas rolantes” (figura 1).

A escada-rolante como é conhecida nos dias de hoje é resultado do esforço individual de seis pessoas: Nathan Ames, Jesse Wilford Reno, Jacques Hale, Charles Seeberger, George Wheeler e James M. Dodge. A primeira patente nº 25076 datada de 9 de agosto de 1859 deve-se a Nathan Ames, antes mesmo dos motores elétricos (OTIS, 2011).

Em 15 de março de 1892 Jeese W. Reno patenteou seu projeto de uma esteira inclinada, feita de placas de madeira, medindo 10 cm x 60 cm. As madeiras possuíam ranhuras revestidas de borracha direcionadas para frente de modo a facilitar a aderência dos sapatos dos usuários. Um motor elétrico acionava a escada e simultaneamente ao corrimão com uma velocidade de 0,69 m/s (OTIS, 2011).

Em 02 de agosto do mesmo ano, George H. Wheeler patenteou a primeira escada rolante com degraus planos, mas nunca a construiu. Em 1898, Charles D. Seeberger comprou a patente e desenvolveu junto com a “Otis Elevator Company” a fabricação em 1899. A primeira escada rolante para o público foi instalada na Grande Exposição de 1900 em Paris (OTIS, 2011)..

A Otis patenteou o termo “Escalator” (escada-rolante) como seu produto, até que em 1930 a designação foi declarada de domínio público. Em 1901 a escada rolante foi transportada da Exposição de paris para a Filadélfia, sendo instalada na loja Gimbel’s onde funcionou até 1939. A primeira escada rolante com degraus e um mecanismo tipo ponte para o desembarque dos passageiros foi o modelo “L” da Otis, construído em 1921. A combinação das características principais das escadas de Reno e Seeberger gerou o modelo das atuais escadas rolantes (OTIS, 2011).

### 1.1 A ESCADA ROLANTE NO BRASIL

No Brasil só começam a serem produzidas escadas rolantes em 1947 pela empresa Villares, e em 1951 essa mesma empresa assina um contrato com a

prefeitura de São Paulo para fornecer escadas rolantes à Galeria Prestes Maia. Nessa época havia então, no Rio de Janeiro, apenas quatro escadas rolantes: na Sears, da marca Otis e em uma loja de Copacabana da marca Swiss. Com os princípios do mecanismo conhecidos, era necessário o desenvolvimento do projeto (WIKIPEDIA, 2011).

Desenvolvido o projeto, em julho de 1954, durante os festejos do IV Centenário de São Paulo, as primeiras escadas rolantes foram inauguradas no Palácio das Indústrias (prédio que hoje abriga as Bienais Internacionais de Artes no Parque Ibirapuera). Era um assombro para a população, programa para finais de semana, o novo equipamento de transporte vertical modificava os costumes da época. Em 1992 são lançadas escadas rolantes leves, com inclinações e larguras variáveis .(WIKIPEDIA, 2011).



**Figura 1 - Escada Rolante**  
**Fonte: Google Images (2011).**

O movimento para transporte de usuários na escada rolante se dá a partir de um motor dimensionado de acordo com o porte da escada, que é acionado através de uma chave de partida que seleciona o sentido da escada (subir ou descer).

Dentro desta linha de recursos, estuda-se o projeto para a implementação de um sistema inteligente em que se possa gerenciar o mecanismo de acionamento das escadas, gerando economia dos recursos e amenizando os desgastes mecânicos.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.OBJETIVOS GERAIS**

Automatizar e aperfeiçoar o funcionamento de uma escada rolante de acordo com a demanda de utilização através da automatização dos dispositivos nela existentes, e demonstrando o sistema de controle através de planta didática.

### **2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Descrever o macro-processo de funcionamento automatizado de uma escada rolante para atingir o objetivo geral, levando em consideração normas e padrões estabelecidos pela norma brasileira e internacional;
- Analisar e descrever as características mecânicas e elétricas do motor atuante nas escadas rolantes comumente utilizadas no mercado nacional;
- Levantar a melhor maneira de realizar a interface entre mecânica e eletrônica digital do projeto;
- Verificar a nível de mercado a facilidade para aquisição de insumos para construção do projeto;
- Adequar de acordo com os conhecimentos a integração dos módulos eletrônicos e mecânicos;
- Otimização a nível de projeto eletrônico (programação de microcontroladores) do código fonte utilizado no projeto;
- Verificar através de testes e do levantamento dos resultados obtidos a robustez do projeto.

## **3. DIAGNÓSTICO**

A partida e a parada da escada rolante são realizadas manualmente, ou seja, se faz necessária a intervenção de um operador para realizar estas ações. Dependendo da política operacional do empreendimento, a escada pode ficar ativada por tempo indeterminado ou em alguns casos ela é acionada ao início das operações do estabelecimento e parada ao final das atividades.

Atualmente, o mercado dispõe de sistemas de controle inteligente de funcionamento apenas para conjuntos novos de escadas rolantes, não havendo módulo aplicável a conjuntos já instalados e modelos mais antigos.

Analisando de acordo com fluxo de pessoas, existem períodos em que a escada permanece em funcionamento mesmo sem utilização. Podemos usar como exemplo um shopping, onde a escada está em funcionamento mesmo o empreendimento estando fora de horário comercial, período no qual não existem usuários dentro do estabelecimento. Neste período, o consumo de energia elétrica é nominal, ou seja, equivalente a um período normal de fluxo de usuários em horário comercial. Para o empreendimento, o funcionamento da escada rolante em períodos onde o fluxo é nulo ou muito baixo, traz um consumo excessivo de energia elétrica.

Uma escada rolante de porte normal possui um motor trifásico com potência de 7,5 kWh. Podemos assim realizar um comparativo com um chuveiro elétrico residencial, que possui potência de apenas 5,2 kWh. Se este chuveiro permanece ligado 24 horas durante 30 dias (referente a um mês), o consumo total será de 3744 kWh. Se considerarmos este consumo para uma aplicação residencial, na qual o kWh residencial cobrado por uma distribuidora de energia elétrica na cidade de Curitiba no ano de 2011 é de R\$ 0,4412 por kWh, o faturamento mensal da residência seria superior a quantia real de mil e seiscentos reais.

Para uma escada rolante com períodos de baixo fluxo, estima-se uma economia de até 30% no consumo de energia. Essa redução sofre bastante interferência em função do fluxo de pessoas. Novamente fazendo um comparativo com o chuveiro elétrico, uma redução de consumo de 30% para o faturamento acima, teríamos uma economia de R\$480,00 a cada mês. Como exemplo, Shopping Centers de médio porte na cidade de Curitiba possuem em média 10 escadas rolantes. Desta forma acredita-se ser possível conseguir uma redução de pelo menos cinco mil reais considerando R\$0,44 o kWh. Os recursos energéticos ambientais são finitos, logo cada vez mais se faz necessário o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

Para a idealização deste projeto, contemplando os conhecimentos adquiridos durante o curso de Automação Industrial, estuda-se a automatização da partida e parada da escada de maneira inteligente, através de recursos da eletrônica digital. Serão necessários os estudos pertinentes a eletrônica de potência, a serem

aplicados no acionamento direto do motor de gera a movimentação da escada rolante.

No aspecto de execução do projeto, pretende-se chegar à análise e estudo para utilização de componentes de uso comercial, comumente mencionados como componentes de mercado. Além disso, é importante escolher componentes com facilidade de aquisição / manutenção, também visando o aspecto referente a manutenções futuras do projeto, quando utilizado para a comercialização.

O objetivo a ser atingido é a otimização do projeto utilizando a maneira mais eficaz e barata para realizar a interface do acionamento manual do motor que movimenta e escada rolante com a eletrônica digital que realizará o processamento para automatização do projeto. Nesta linha eletrônica também se pretende utilizar tecnologia atual e de fácil acesso para intervenção (manutenção / programação / atualização).

A idéia deste projeto partiu da empresa na qual um dos integrantes da equipe presta seus trabalhos. Esta empresa desenvolve e comercializa produtos especiais para elevadores e escadas rolantes. Com isso, esse projeto auxiliará a formação acadêmica dos integrantes da equipe e será propriedade dessa empresa, qual visa fins comerciais após conclusão do projeto.

#### **4. JUSTIFICATIVA**

Redução dos gastos efetivos de consumo elétrico e custos de manutenção para um empreendimento utilizador do dispositivo denominado escada rolante, através da modernização e readequação dos dispositivos já utilizados.

O desenvolvimento deste projeto pode ser considerado com um desenvolvimento sustentável, uma vez que visa a redução no consumo de energia elétrica.

#### **5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Este projeto será iniciado com a análise do padrão de equipamentos existentes no mercado nacional de escadas rolantes, inicialmente executando a pesquisa exploratória em campo e mapeando a utilização do dispositivo escada rolante na

cidade de Curitiba, Paraná. Após a coleta de informações técnicas em relação ao modelo de dispositivos a serem manipulados, informações referentes à potência e modelo de motores utilizados, levantamento médio de demanda de utilização, periodicidade de funcionamento e consumo estimado, será aplicada pesquisa para dimensionamento das ferramentas e dispositivos a serem empregados no projeto.

Um dos itens importantes a serem analisados em campo é a potência do motor utilizado na escada rolante. O levantamento das características elétricas de funcionamento do motor implica no dimensionamento e escolha correta do inversor de frequência a ser utilizado para o funcionamento intermitente da escada rolante. Este inversor será adequado de acordo com estas informações e levando em consideração as características dos inversores de frequência comumente disponibilizados no mercado.

Após aferição do conjunto motor e inversor de frequência, se dá início a escolha do microcontrolador e projeto do circuito eletrônico empregado. Informações coletadas em campo em relação às condições em que a parte eletrônica do projeto será alocada e a arquitetura e ferramentas pertinentes aos microcontroladores de mais fácil acesso no mercado local. O levantamento das condições de armazenamento do projeto eletrônico implica nas condições exatas para dimensionamento e projeto da placa de circuito impresso e métodos para fixação mecânica sem que haja alteração abrupta no que já está implementado em campo, segundo as condições originais de montagem da escada rolante.

O mapeamento será executado em campo e as informações necessárias serão buscadas em conjunto com os respectivos fabricantes e se necessária a consultoria de profissionais da área será utilizada.

Após dimensionamento do projeto, segue a prototipagem do circuito e execução de unidade piloto de testes em escala reduzida, mas mantendo as características de funcionamento do conjunto em tamanho real. Estas características de funcionamento também serão aferidas proporcionalmente para aplicação em protótipo. Este modelo será utilizado em apresentação final do projeto, em decorrência das características dimensionais do projeto em escada real.

## 6. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os princípios de funcionamento e fundamentação teórica para realização deste projeto estão relacionados a quatro assuntos distintos: microcontroladores, motores elétricos, inversores de frequência e princípios para funcionamento intermitente de escada rolante.

- Microcontroladores;
- Linguagem de Programação;
- Motores Elétricos;
- Inversores de Frequência;
- Sensores
- Placas de Circuito Impresso;
- Escadas Rolantes;

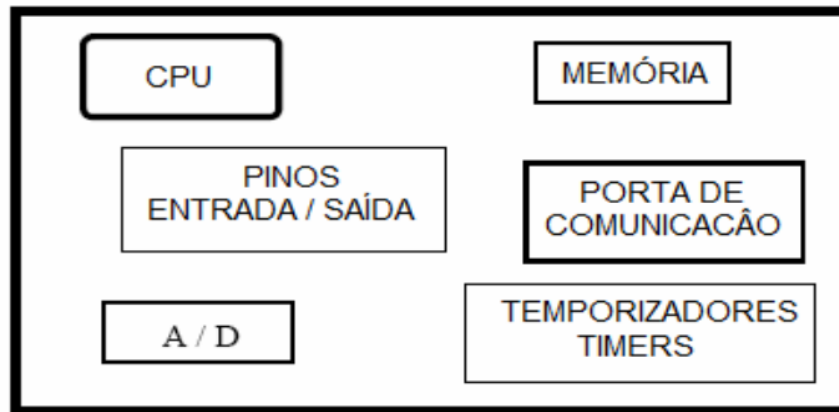
### 6.1.MICROCONTROLADORES

Um microcontrolador é um componente eletrônico que possui integrado na mesma pastilha um microprocessador mais uma série de periféricos que são úteis para o controle de um processo (SCHIEFLER JR, 2011).

Este dispositivo é um sistema computacional completo (figura 2), no qual estão incluídos uma CPU (*Central Processor Unit*), memória de dados e programa, um sistema de clock, portas de I/O (*Input/Output*), além de outros possíveis periféricos, tais como, módulos de temporização e conversores A/D entre outros, integrados em um mesmo componente (DENARDIN, 2008).

Os principais blocos presentes na arquitetura de um microcontrolador são:

- Unidade Central de Processamento (CPU);
- Sistema de *clock* para sequenciar as rotinas na CPU;
- Memória para manipulação de dados e armazenamento de instruções;
- Entradas para tratar as informações provenientes do meio externo;
- Saídas para atuar nas interfaces com o meio externo;
- Programa (*firmware*) para definir um objetivo ao sistema



**Figura 2 – Esquema simplificado de um microcontrolador**  
 Fonte: Autoria própria.

### 6.1.1. DESCRIÇÃO DOS BLOCOS DE UM MICROCONTROLADOR

Os blocos internos de um microcontrolador, como demonstrados na figura 3, são descritos da seguinte forma:

- Unidade de Memória: memória é bloco que tem a função básica de armazenar dados. Para um determinado endereço, há um conteúdo específico (SCHIEFLER JR, 2011);
- Unidade Central de Processamento CPU: executa operações aritmética e lógica, podendo desta maneira realizar operações de multiplicar, dividir, subtrair e mover seus conteúdos de um local de memória para outro. Estes locais de memória da CPU chamam-se registros (SCHIEFLER JR, 2011);
- Barramento Bus: fisicamente falando, corresponde a um grupo de 8, 16 ou mais linhas de tráfego de informações (SCHIEFLER JR, 2011). Tipos de barramento:
  - Barramento de dados: depende da quantidade de memória que se deseja endereçar;
  - Barramento de endereço: depende da largura da palavra de dados.

- Unidade de entrada/saída: são chamadas de portas I/O, que podem ser configuradas como entrada e saídas (SCHIEFLER JR, 2011):
  - I – *input*, ou seja entrada;
  - O – *output*, ou seja saída.
  
- Porta de comunicação serial: unidade responsável por realizar a comunicação serial enviando e recebendo dados através de duas vias de comunicação (SCHIEFLER JR, 2011).
  
- Unidade de temporização: bloco de temporização da informação acerca da hora, duração e protocolo. A unidade básica do temporizador é um contador (registro) cujo conteúdo aumenta de uma unidade num intervalo de tempo fixo. Obtendo as informações diretas destes registradores de tempo (T1 e T2), se ontem a quantidade de tempo decorrido (SCHIEFLER JR, 2011).
  
- *Watchdog*: bloco munido de um contador contínuo através de um clock interno e que o programa põe a zero sempre que é executado corretamente. Ocorrendo alguma falha de processamento das instruções do microcontrolador, o zero não será escrito e o contador automaticamente reinicia o dispositivo (SCHIEFLER JR, 2011).
  
- Conversor analógico – digital: como os sinais provenientes dos periféricos são substancialmente diferentes daqueles que o microcontrolador pode entender (sinal digital, zero e um), estes devem ser convertidos num formato que possa ser interpretado pelo microcontrolador. Esta tarefa é executada por intermédio de um bloco destinado à conversão analógico-digital (A/D). Este bloco realiza a conversão de uma informação de valor analógico para um número binário e pelo seu trajeto através do bloco da CPU, de modo a que este o possa processar a informação (SCHIEFLER JR, 2011).

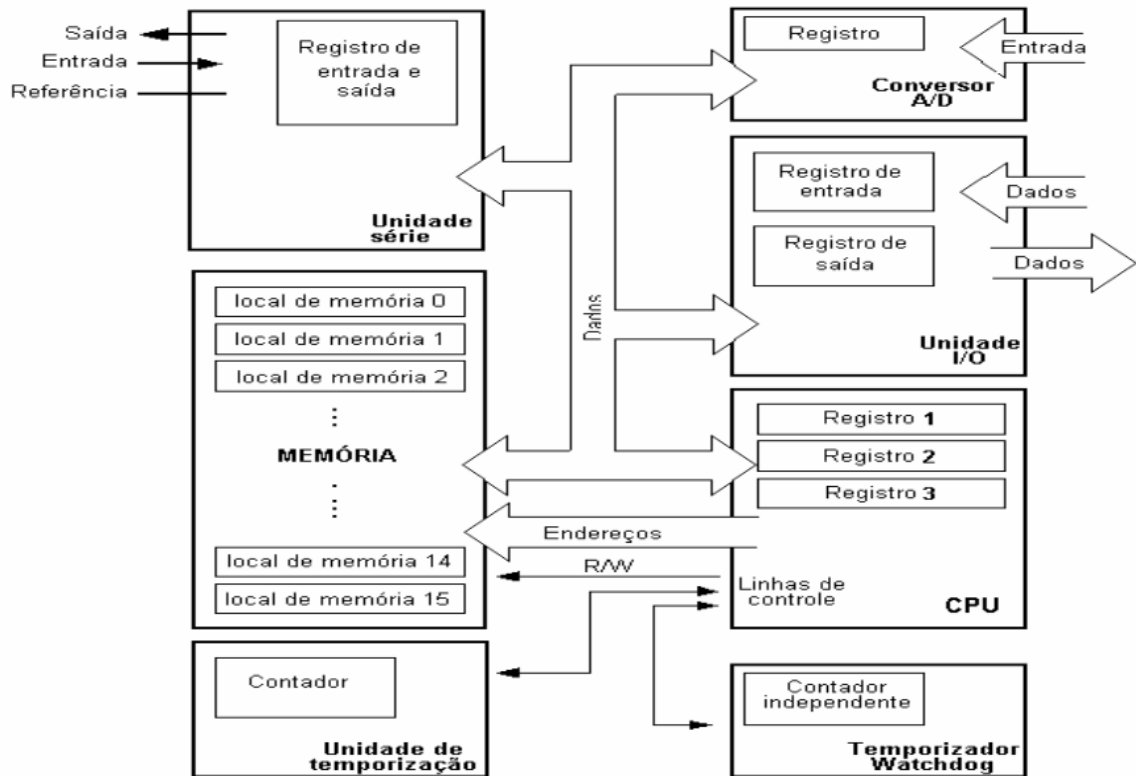


Figura 3 – Diagrama interno de um Microcontrolador  
Fonte: Schiefler JR (2011).

### 6.1.2. VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE MICROCONTROLADORES

Utilizando um microcontrolador, os principais periféricos necessários já estão incorporados em seu invólucro. Desta forma, otimiza-se tempo e espaço na construção e concepção dos projetos (SCHIEFLER Jr, 2011).

O universo de aplicações dos microcontroladores está em grande expansão, com uma grande parcela de aplicações em sistemas embarcados. Sistema embarcado (do inglês *embedded system*) se refere ao microcontrolador inserido nas aplicações (produtos) e usado de forma exclusiva por elas. Como a complexidade desses sistemas cresce vertiginosamente, o *software* tem sido fundamental para oferecer as respostas às necessidades desse mercado (DENARDIN, 2008).

Considerando este mercado em crescimento, *softwares* para microcontroladores representam uma fatia considerável do mercado de *software* mundial. Segundo Edward Yourdon (pioneiro nas metodologias de engenharia do *software* e programação estruturada) o aumento dos sistemas embarcados juntamente com o advento da Microsoft (fabricante de renome mundial de sistemas



operacionais e *softwares* relacionados) são responsáveis pela retomada do crescimento da indústria de *software* nos Estados Unidos da América (DENARDIN, 2008).

### 6.1.3. DEFININDO O TIPO DE MICROCONTROLADOR

Depois de especificadas as funções e o que se espera de um projeto, é hora de determinar o melhor microcontrolador a ser utilizado. Essa escolha deve procurar utilizar as características do microcontrolador em sua totalidade, de forma a não desperdiçar processamento e periféricos, aumentando assim o custo. Apesar disso, não é aconselhável escolher microcontroladores com quantidades de memórias muito próximas do limite que se estima utilizar. Isso pode acarretar na necessidade de mudar o microcontrolador escolhido caso seja necessário modificar o programa (PALPITE DIGITAL, 2011).

Em muitos casos, utiliza-se um microcontrolador diferente do definitivo durante o desenvolvimento do *firmware*. As diferenças são em geral na quantidade de memória e nos processos de gravação.

Outros fatores alheios à exigência do projeto precisam ser levados em consideração antes de escolher o melhor microcontrolador, dentre eles (PALPITE DIGITAL, 2011):

- Custo;
- Conhecimento prévio a respeito da arquitetura, o que irá impactar no tempo de aprendizado para o desenvolvimento;
- Suporte do fabricante: kits de desenvolvimento, bibliotecas padrão;
- Existências de possíveis substitutos pino-compatíveis de outros fabricantes;
- Continuidade de fabricação: o custo de um projeto pode inviabilizar sua produção futura se o microcontrolador no qual se baseia deixar de ser produzido e não existirem substitutos de preço compatível no mercado;
- Facilidade de compra;
- Encapsulamentos existentes e facilidades de manufatura;
- Consumo, tensão de alimentação, opções de oscilador, frequências de trabalho.

#### 6.1.4. EM PROJETO: MICROCONTROLADOR AVR ATMEL ATMEGA16

De acordo com as necessidades técnicas e em concordância com os aspectos de seleção abordados anteriormente, foi selecionado para a idealização do projeto o microcontrolador ATmega16, proveniente da família AVR do fabricante ATMEL.

##### 6.1.4.1. MICROCONTROLADORES DA FAMÍLIA AVR

Do fabricante Atmel, a família de microcontroladores AVR surge como uma ferramenta versátil para utilização em projetos eletrônicos por serem ágeis e pela estabilidade de funcionamento, trazendo também a vantagem de possuir um hardware de gravação relativamente simples e de fácil implementação. Possui um sistema de auxílio para os usuários na resolução de dúvidas técnicas (recurso disponibilizado apenas em inglês). Em comparação a outros microcontroladores tecnicamente equivalentes (de outros fabricantes), possui valor em muitos casos menor para sua aquisição (CARVALHO, 2006).

Esta família de processadores foi idealizada e inicialmente desenvolvida em 1996, no Instituto de Ciência e Tecnologia da Noruega pelos estudantes Alf-Egil Bogen e Vergard Wollan, que designaram então para esta linha de dispositivos a sigla AVR, ou *Advanced Virtual RISC*. Esta linha possui arquitetura *RISC* de 8 bits com conceito Harvard.(BERTONHA, 2008).

- Conceito HARVARD (figura 4): memória de dados está separada da memória de programa, assim, é possível uma maior fluência de dados através da unidade central de processamento e maior velocidade de execução de tarefas pelo dispositivo (SOUZA, 2007);
- Arquitetura *RISC*: provém de Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções para execução dos comandos designados (*Reduced Instruction Set Computer*) (SOUZA, 2007).

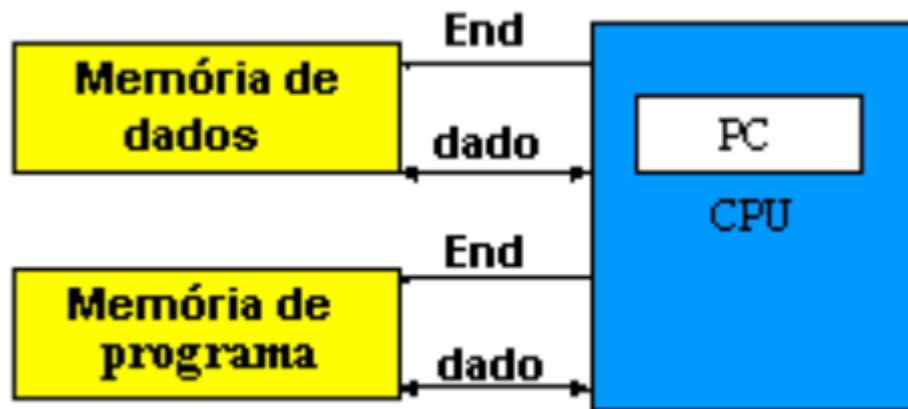


Figura 4 – Diagrama em blocos do conceito HARVARD  
Fonte: Souza (2011).

#### 6.1.4.2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO UTILIZADO

As figuras abaixo apresentam a pinagem do componente nos encapsulamentos DIP (figura 5) e TQFP (figura 6):

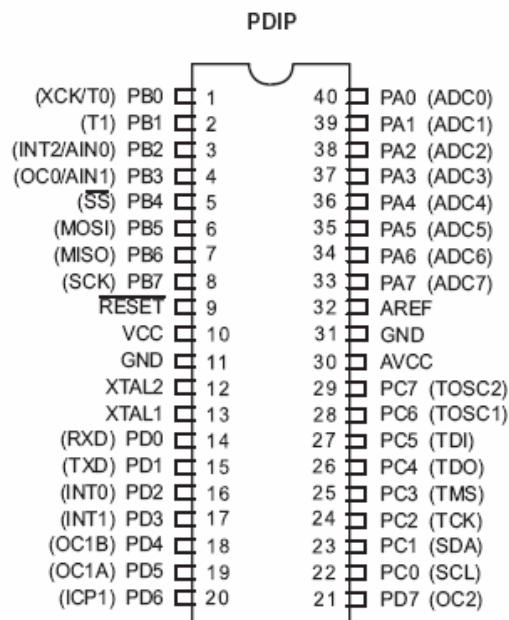
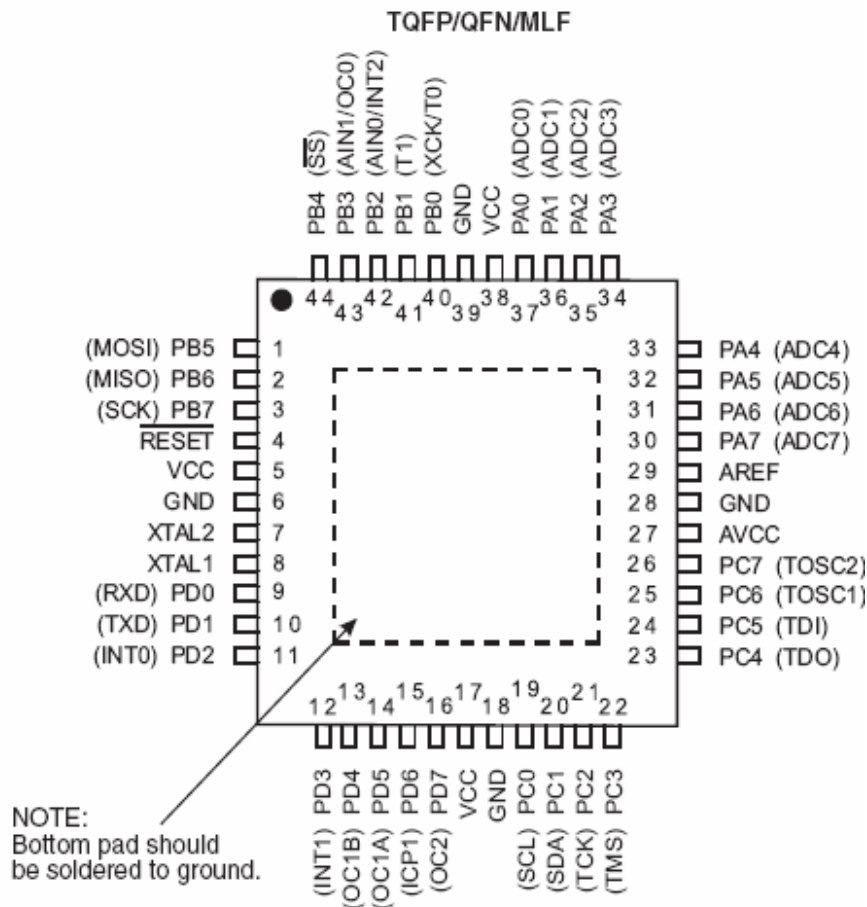


Figura 5 - ATmega16 encapsulamento DIP  
Fonte: Atmel (2011).



**Figura 6 - ATmega16 encapsulamento TQFP**  
**Fonte: Atmel (2011).**

Principais características apresentadas pelo microcontrolador ATmega16 (ATMEL, 2011):

- Alta performance e baixo consumo;
- Arquitetura RISC;
- Memória Flash de 16 Kbytes;
- EEPROM de 512 Bytes;
- SDRAM interna de 1 Kbyte;
- Retenção de memória de 20 anos à 85°C ou 100 anos à 25°C;
- Programação In-System;
- Proteção contra gravação via *software*;
- Dois Temporizadores/Contadores de 8-bit com possibilidade de operações independentes;

- Um Temporizador/Contador de 16-bit com possibilidade de operação independente bem como oscilador independente;
- 4 canais PWM;
- 8 portas ADC com 10 bits;
- 2 portas diferenciais com ganho programável de 1x, 10x, ou 200x;
- Interface Serial;
- Serial USART programável;
- Interface serial SPI principal/escrava;
- Temporizador Watchdog programável com oscilador independente;
- Comparador analógico integrado;
- Detecção de Brown-out;
- Oscilador RC interno;
- Interrupções através de meios interno ou externos;
- 32 linhas programáveis de I/O;
- Tensões de operação:
  - 2.7V - 5.5V for ATmega16L;
  - 4.5V - 5.5V for ATmega16;
- Velocidades:
  - 0 - 8 MHz para ATmega16L;
  - 0 - 16 MHz para ATmega16;
- Consumo à 1 MHz, 3V, e 25°C para modelo ATmega16L:
  - Ativo: 1.1 mA;
  - Modo Idle: 0.35 mA;
  - Modo Power-down: < 1  $\mu$ A.

As figuras 7 e 8 demonstram através de diagrama em blocos a facilidade de integração dos periféricos neste modelo de microcontrolador:

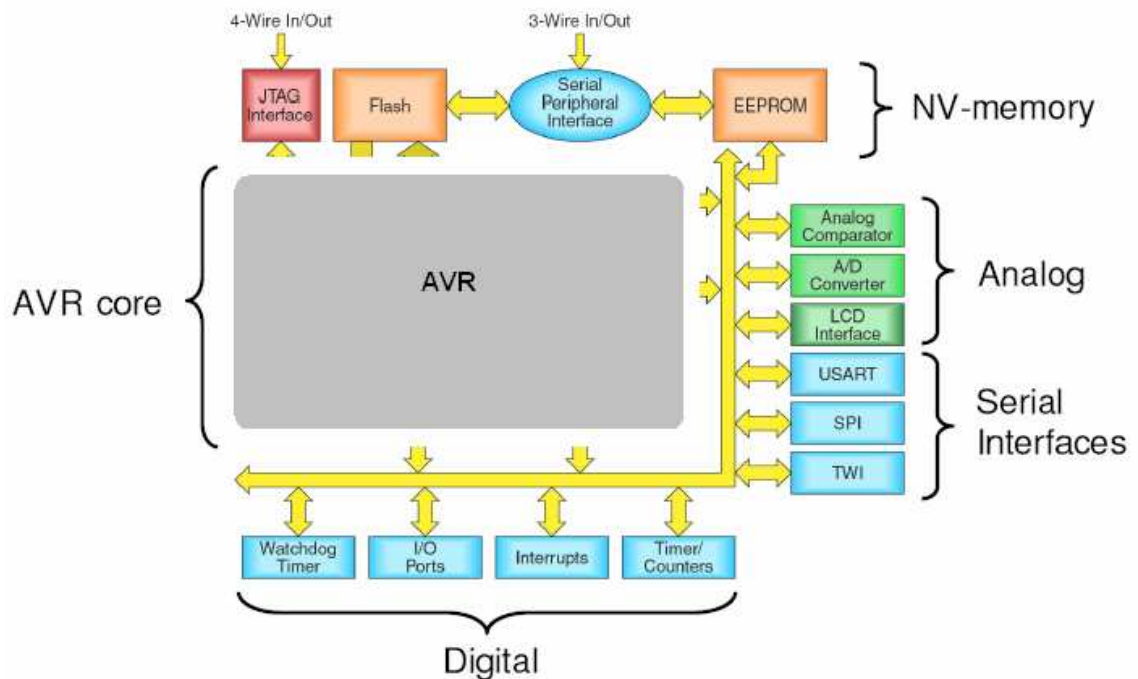


Figura 7 - Versatilidade de integração, segundo fabricante ATMEL  
Fonte: Atmel (2011).

A tabela 1 mostra um comparativo dos recursos proporcionados pelo microcontrolador ATmega16 em comparação a modelos concorrentes de mercado, segundo o fabricante ATMEL:

Tabela 1 - Comparativo do processador Atmel

Device	Max Speed [MHz]	Code Size [Bytes]	Cycles	Execution Time [µS]
ATmega16	16	32	227	14.2
MSP430	8	34	246	30.8
T89C51RD2	20	57	4200	210.0
PIC18F452	40	92	716	17.9
PIC16C74	20	87	2492	124.6
68HC11	12	59	1238	103.2

Fonte: Atmel (2011).

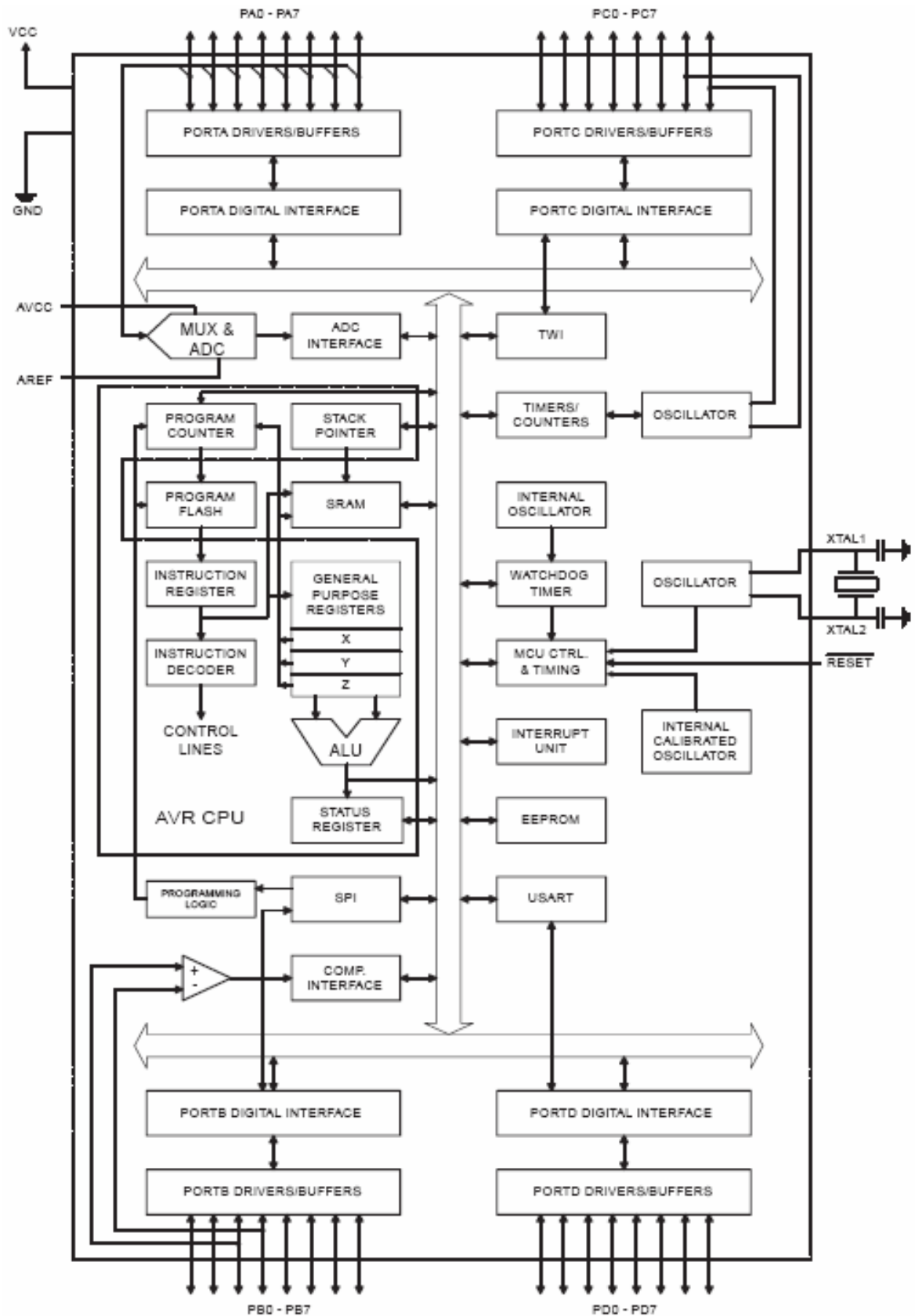


Figura 8 – Diagrama em blocos do microcontrolador ATmega16  
Fonte: Atmel (2011).

### 6.1.4.3. PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

Dentro das possibilidades de programação disponíveis para implementação no projeto, foi optada a utilização da linguagem C, em decorrência da facilidade de programação e fácil adaptabilidade com os softwares compiladores utilizados.

## 6.2.LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO C

Oriunda de um processo de programação denominada BCPL (*Basic Combined Programming Language*, projetada por Martin Richards durante os anos 60), a linguagem C é resultado do processo de aperfeiçoamento e refinamento de instruções desta técnica mais antiga. Chamada comumente de linguagem de programação de médio nível, a linguagem C não proporciona menor quantidade de recursos ou oferece maior dificuldade de programação em relação a linguagens de alto nível (SCHILDT, 1997).

Em relação a recursos de programação para microcontroladores, a manipulação de endereços, *bits e bytes* são elementos básicos para idealização de uma linha de instruções. Por se enquadrar em uma categoria de programação de médio nível, que contempla estes recursos de manipulação, a linguagem C se torna uma ferramenta muito versátil para utilização em conjunto com estes dispositivos (SCHILDT, 1997).

A linguagem C oferece uma grande variedade de possibilidades de programação, suportando em suas rotinas como exemplo diversos tipos de laços (*loops*), como *while* e *for*. Mesmo com estes recursos, essa linguagem não pode rigorosamente ser considerada como uma linguagem estruturada em blocos, mas é normalmente referida por autores e usuários como uma linguagem estruturada de programação. Alguns outros elementos que a linguagem C oferece ao programador são: manipulação de variáveis, constantes, operadores, expressões, matrizes, vetores e funções pré-estabelecidas em bibliotecas (SCHILDT, 1997).

O elemento final de uma linha de instruções destinadas ao microcontrolador, e que é gravado através de técnica específica para cada modelo e família de dispositivo é denominada *firmware*. Em comparação a um sistema computacional microprocessado, *firmware* nada mais é que um *software* embutido em um



*hardware*, ou seja, um programa de uso específico para aquele dispositivo. Deve-se então seguir o mesmo padrão de programação em uma plataforma usual, pois o desenvolvimento de um *firmware* nada mais é do que o desenvolvimento de um *software* para um *hardware* (VIEIRA, 2001).

### 6.2.1. EM PROJETO: LINGUAGEM ESTRUTURADA

A programação tradicional (estruturada, C), consiste no fluxo de programa (figura 9) da primeira linha de código até a última, com foco nos programas (procedimento e funções).

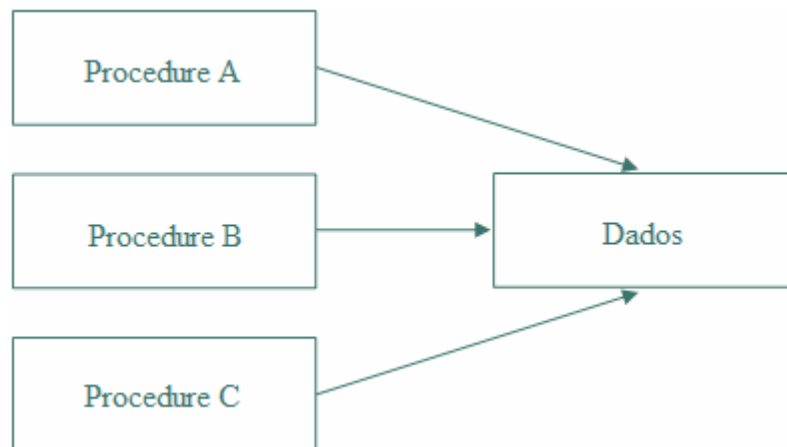
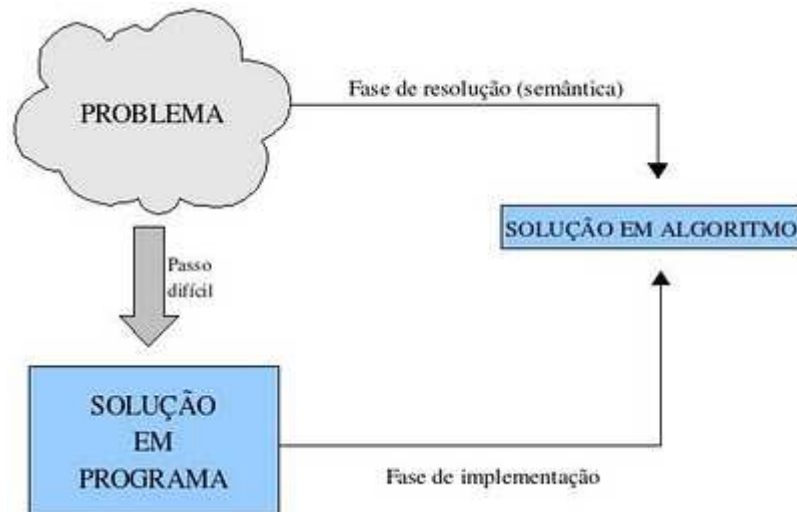


Figura 9 – Programação Tradicional  
Fonte: Vieira (2011).

### 6.2.2. UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS DE PROGRAMAÇÃO

Algoritmo (figura 10) pode ser definido como uma lista de comandos, instruções, seqüências e operações a serem realizadas. O Algoritmo somado com a linguagem de programação escolhida converge ao programa final (*firmware*) a ser gravado no microcontrolador. Um mesmo Algoritmo pode ser aplicado para todas as linguagens de programação. No desenvolvimento de um projeto consistente, é uma ferramenta essencial para solucionarmos o problema proposto e chegarmos ao programa final. (MAYERLE, 2007).



**Figura 10 – Algoritmo de Programação**  
**Fonte: Vieira (2011).**

Características necessárias para desenvolvimento de um Algoritmo (MAYERLE, 2007):

- Definição Perfeita: deve descrever com exatidão as instruções a serem executadas e na seqüência correta das ações;
- Ausência de Ambigüidade: não deve deixar duvidas em relação as ações a serem tomadas;
- Eficácia: o problema deve ser resolvido de todas as maneiras possíveis e previsíveis;
- Eficiência: resolução dos problemas utilizando o mínimo de recursos possíveis antes da perda de qualidade da ação. O Algoritmo deve ser passível de execução com recursos de hardware disponíveis.

### 6.3.MOTORES ELÉTRICOS

Podemos definir motor elétrico como um elemento de trabalho que converte energia elétrica em energia mecânica de rotação (NOLL, 2004). Dentre os tipos existentes de motores, o motor de indução é o mais usado, pois combina as vantagens da utilização de energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simples comandos - com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos (WEG, 2011). A figura 11 demonstra alguns tipos de motores do fabricante WEG.



**Figura 11 - Exemplos de Motores do Fabricante WEG**  
**Fonte: Weg (2011).**

Conforme observado na figura 12, de forma geral os motores elétricos são classificados em (USP, 2011):

- Motores de Corrente Contínua
  - Motores Série;
  - Motores Paralelo;
  - Motores Composto ou Misto.
- Motores de Corrente Alternada
  - Motores Monofásicos;
  - Motores Trifásicos;
    - Motores Síncronos;
    - Motores Assíncronos.

- Motores Especiais
  - Servomotores;
  - Motores de Passo;
  - Universais.

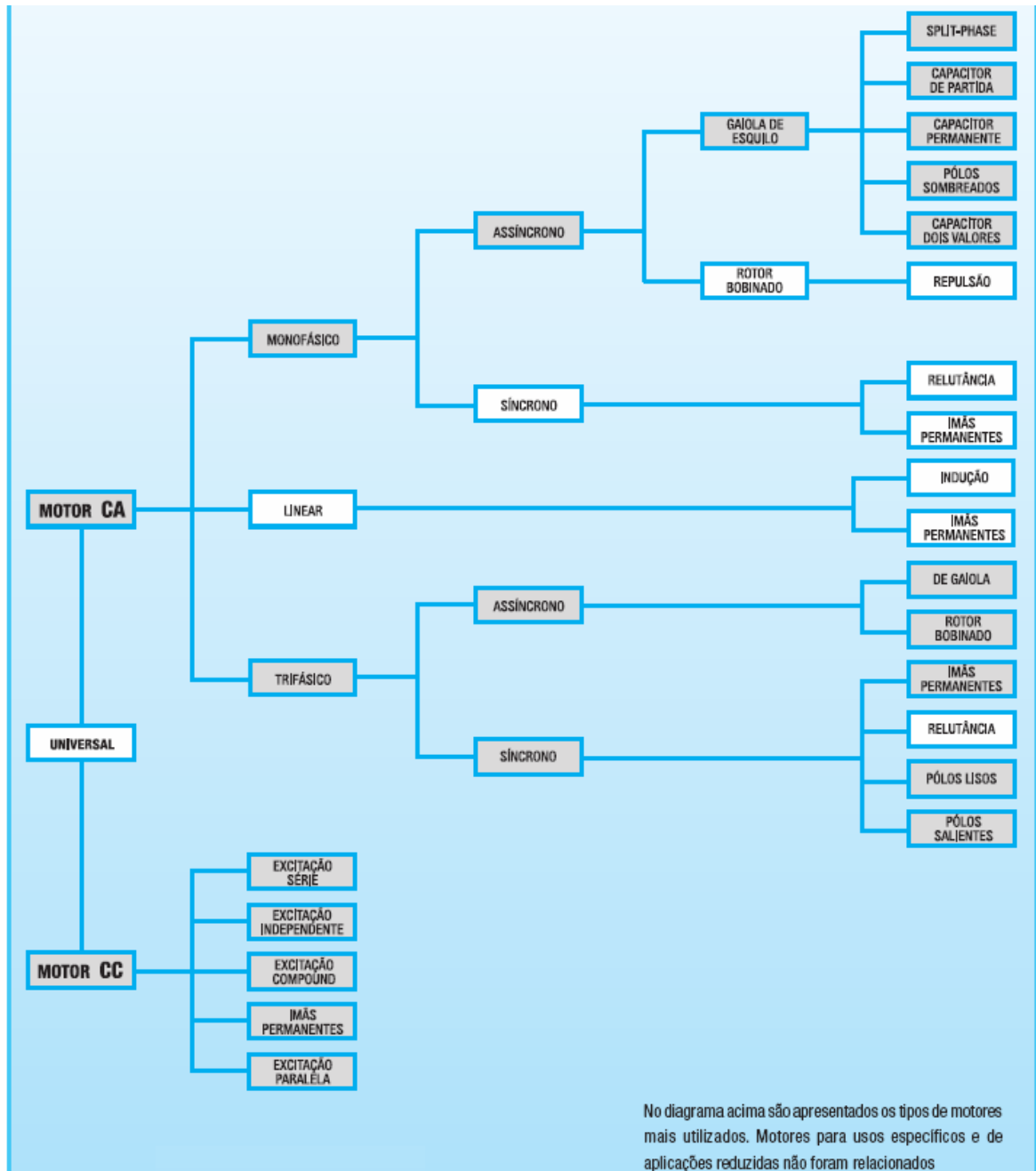


Figura 12 - Tipos de Motores existentes segundo o fabricante WEG  
 Fonte: Weg (2011).

Para exibição das características de um motor existem placas metálicas com informações técnicas a respeito do modelo identificado (exemplo da figura 13). Em alguns modelos estes dados podem estar descritos em sua própria carcaça. Os principais dados elétricos são: tipo de motor, tensão nominal, corrente nominal, frequência, potência mecânica, velocidade nominal, esquema de ligação, grau de proteção, temperatura máxima de funcionamento e fator de serviço (NOLL, 2004).

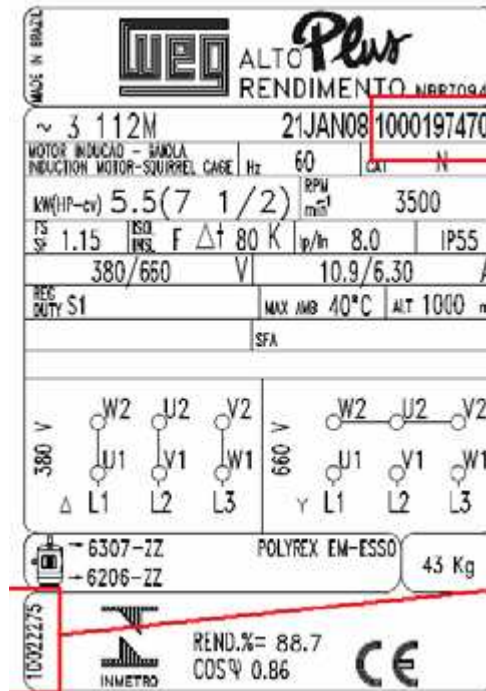


Figura 13 – Exemplo de Placa de Identificação de motores do fabricante WEG  
Fonte: Weg (2011).

### 6.3.1. DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE MOTORES

#### 6.3.1.1. MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

São um tipo de motores que possuem o custo mais elevado e necessitam de uma fonte de alimentação para seu funcionamento. Em geral utilizam-se fontes de conversão de corrente alternada comum para corrente contínua.

Tem a possibilidade de funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites, e tem como característica oferecer controles de grande flexibilidade e precisão. Por seu custo de instalação ser mais alto em relação aos outros tipos de motores, sua utilização é comumente restrita a projetos especiais em que estas exigências compensam o custo para implementação (WEG, 2011).

### 6.3.1.2. MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA

São os motores mais utilizados, pois o fornecimento de energia elétrica já é normalmente realizado pelas concessionárias em corrente alternada.

Os principais tipos são:

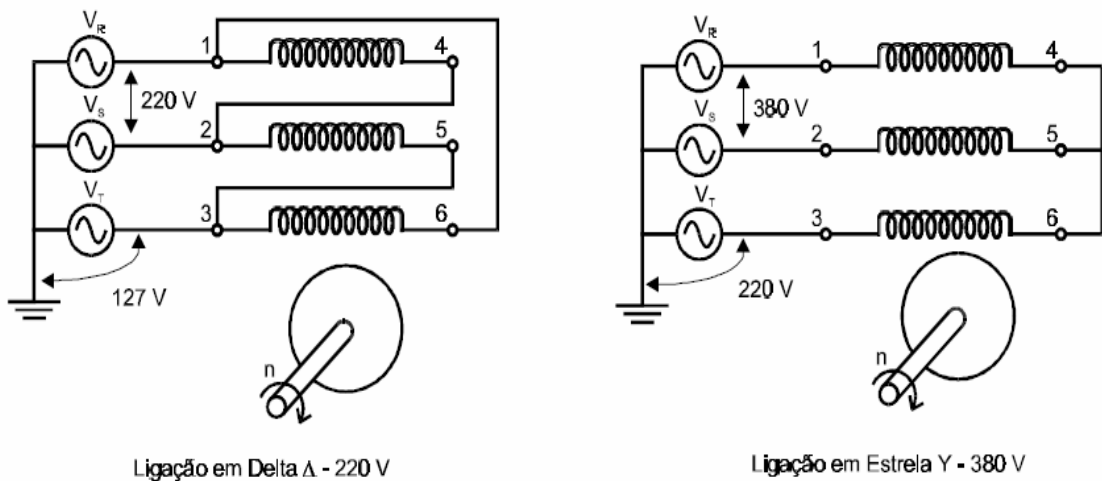
- Motor síncrono: funciona com velocidade fixa, utilizado somente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável;
- Motor de indução: funciona normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. É o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas. Atualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência (WEG, 2011).

### 6.3.1.3. MOTORES ELÉTRICOS ESPECIAIS

Os motores especiais são máquinas construídas para serem aplicadas no controle preciso de posição e velocidades de processos. São motores mais rápidos que os convencionais, seus enrolamentos são dimensionados para suportarem momentâneas correntes elevadas. Já o rotor de uma máquina especial é projetado com uma baixa inércia, isto é, de pequeno diâmetro e grande comprimento (NOLL, 2004).

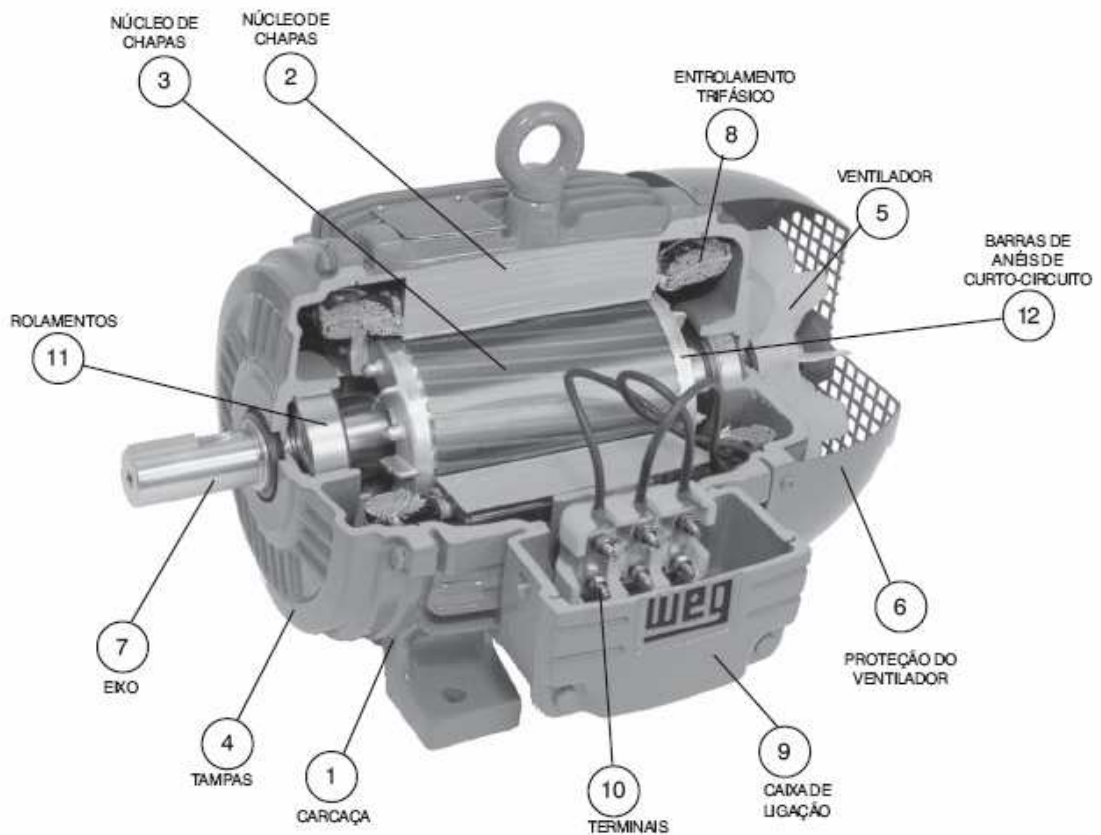
### 6.3.2. EM PROJETO: MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O motor de indução trifásico comumente usado no Brasil apresenta seis terminais acessíveis (figura 14), dois para cada enrolamento de trabalho. Para o sistema de alimentação 220/127V-60Hz este motor deve ser ligado em delta e para o sistema 380/220V-60Hz o motor deve ser ligado em estrela (NOLL, 2004).



**Figura 14 - Esquemas de Ligação**  
 Fonte: Noll (2004).

O motor de indução trifásico (figura 15) é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor (WEG, 2011).



**Figura 15 - Partes de um motor Trifásico**  
 Fonte: Noll (2004).

- Estator
  - Carcaça ( 1 ) - é a estrutura suporte do conjunto; de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e com aletas.
  - Núcleo de chapas ( 2 ) - as chapas são de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas no ferro.
  - Enrolamento trifásico ( 8 ) - três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico ligado à rede trifásica de alimentação.
- Rotor
  - Eixo ( 7 ) - transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor. É tratado termicamente para evitar problemas como empenamento e fadiga.
  - Núcleo de chapas ( 3 ) - as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator.
  - Barras e anéis de curto-circuito ( 12 ) - são de alumínio injetado sob pressão uma única peça.
- Outras partes do motor de indução trifásico:
  - Tampa ( 4 )
  - Ventilador ( 5 )
  - Tampa defletora ( 6 )
  - Caixa de ligação ( 9 )
  - Terminais ( 10 )
  - Rolamentos ( 11 )
  - Barras de anéis de curto-circuito

## 6.4.INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Com o aumento dos recursos eletromecânicos atualmente empregados na indústria e áreas afins, a necessidade de sistemas automatizados para controle destas aplicações. Uma diversidade de ferramentas e equipamentos surge com o intuito de suprir estas necessidades.



Em sistemas que utilizam motores de corrente alternada para funcionamento, o equipamento comumente utilizado para controle é chamado Inversor de Frequência (chamados também de Conversores de Frequência, exemplos do fabricante Yaskawa na figura 16). Através deste equipamento, sistemas que antes utilizavam motores de corrente contínua pela facilidade de controle, hoje podem utilizar motores de corrente alternada de indução. Em conjunto com o avanço da eletrônica de potência, a microeletrônica com o auxílio dos microprocessadores e microcontroladores, tem auxiliado muito o acionamento de máquinas de corrente alternada, permitindo a implementação de funções complexas num tempo de processamento cada vez mais curto. Com este conjunto de ferramentas é possível aplicar sofisticados algoritmos de controle que possibilitam o acionamento de alto desempenho em conjunto a motores de indução (SABER ELETRÔNICA, 2004).



**Figura 16 – Inversores de Frequência Yaskawa**  
Fonte: Yaskawa (2011).

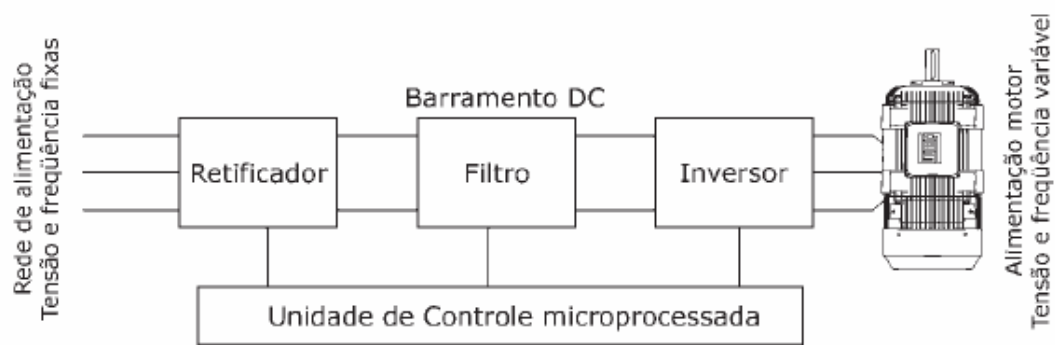
#### 6.4.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

Ao realizar o comando de motores de indução a partir da rede de alimentação disponibilizada pelas concessionárias de energia, observamos que teremos uma

freqüência de alimentação constante (em geral 60Hz), e o produto final de controle da velocidade destes motores também será constante ou seja, velocidade nominal do motor (WEG, 2011).

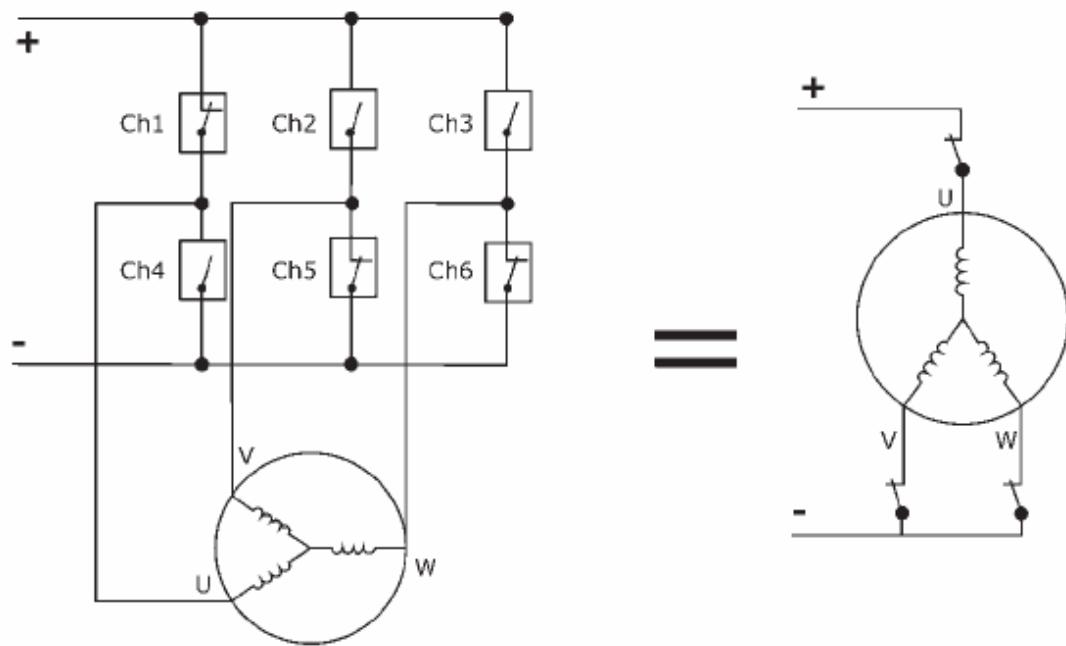
Uma alternativa para controle de motores de indução com velocidade variável a partir de uma freqüência de entrada constante são os Inversores de Freqüência. Estes dispositivos obtêm de uma entrada da rede com freqüência constante um sistema de saída com freqüência variável (WEG, 2011).

Para executar esta conversão de freqüência, o inversor tem como primeiro estágio um circuito retificador, responsável por transformar a tensão alternada em contínua. O segundo estágio é capaz de realizar o inverso, ou seja, a transformação da tensão contínua para uma tensão alternada (inversor) e com a freqüência desejada para o motor (CEPEL, 2004). Estes estágios podem ser observados na figura 17.



**Figura 17 – Diagrama em blocos simplificado de um inversor de frequência**  
**Fonte: Weg (2011).**

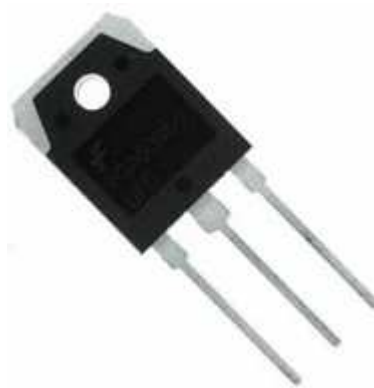
O bloco retificador gera uma tensão contínua que é posteriormente filtrada e introduzida no bloco seguinte, chamado de Inversor (figura 18). O inversor é composto por seis chaves implementadas com configuração observada na figura abaixo (WEG, 2011):



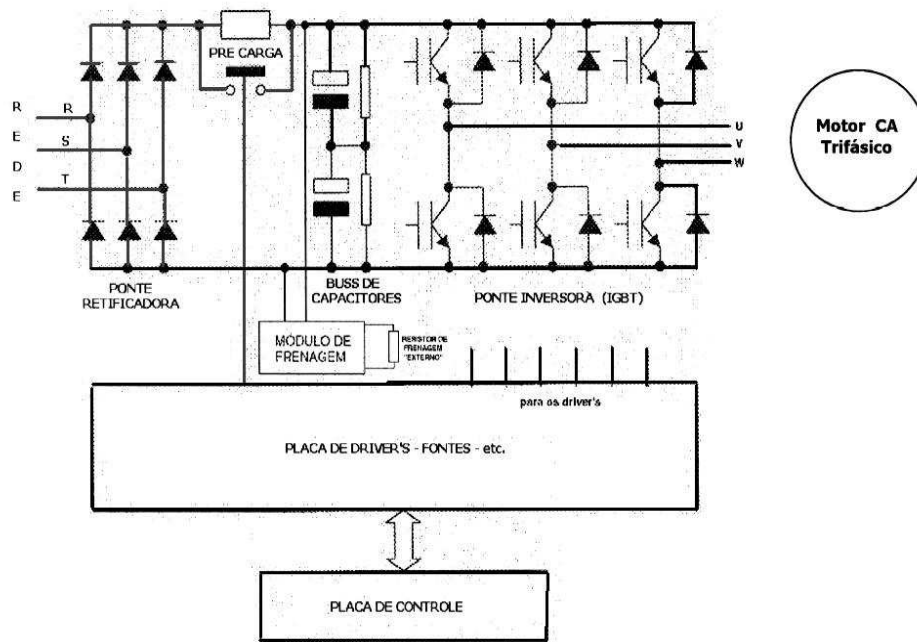
**Figura 18 - Bloco Inversor**  
**Fonte: Weg (2011).**

A obtenção de formas de onda diferentes na saída provém da combinação de abertura ou fechamento das chaves no módulo inversor. Estas chaves são implementadas com dispositivos semicondutores chamados de transistores de potência (exemplo na figura 19). Existem várias tecnologias de fabricação para este tipo de transistor, onde os mais utilizados são os denominados IGBT (WEG, 2011).

IGBT - Transistor Bipolar com Porta Isolada (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).



**Figura 19 – IGBT Fairchild Semiconductor 600V 120A**  
**Fonte: Fairchild (2011).**



**Figura 20 – Visualização detalhada dos blocos de um inversor**  
**Fonte: Cepel (2004).**

Para realizar o processamento de informações e controle dos módulos retificador, filtro e inversor existem placas adicionais ao conjunto inversor (figura 20) de frequência: placa de controle, placa de *drivers* e módulo de frenagem (CEPEL, 2004):

- Placa de controle (sistema microprocessado);
- Placa de *driver's* (disparo dos IGBT e fontes de alimentação);
- Módulo de frenagem (interno ou externo).

#### 6.4.2. DIFERENÇAS NA APLICAÇÃO

Os inversores de frequência são encontrados em diversas aplicações, desde acionamento de bombas até complexos sistemas de automação industrial (CEPEL, 2004).

Para necessidades onde se busca apenas variação de velocidade e partidas suaves (como exemplo bombas, ventiladores e máquinas simples) utilizam-se inversores com tecnologia Escalar. Em contrapartida, para aplicações onde há necessidade além da variação de velocidade o controle de torque, operações em

baixíssimas rotações e alta velocidade de resposta (como exemplo elevadores, guinchos, bobinadeiras e máquinas operatrizes) são utilizados inversores com tecnologia Vetorial (CEPEL, 2004).

### 6.4.3. TIPOS DE INVERSORES

De acordo com a necessidade de aplicação, podem ser do tipo de controle Escalar ou Vetorial.

- Controle Escalar: o funcionamento dos inversores de frequência com controle escalar está baseado numa estratégia de comando chamada “V/F constante”, que mantém o torque do motor constante, igual ao nominal, para qualquer velocidade de funcionamento do motor (WEG, 2011);
- Controle Vetorial: onde há necessidade de alto desempenho dinâmico, respostas rápidas e alta precisão na regulação de velocidade, o motor deve fornecer um controle preciso de torque. A idéia central é promover o desacoplamento entre o controle do fluxo e o controle da velocidade por meio de transformações de variáveis. (WEG, 2011). Os inversores Vetoriais podem ser divididos em duas categorias: aqueles que utilizam a realimentação física da velocidade, obtida de dispositivos transdutores, e aqueles que não empregam a realimentação física da velocidade, fazendo uso de estimadores de velocidade. Os Inversores Vetoriais necessitam da programação de todos os parâmetros do motor como, resistências elétricas, indutâncias, correntes nominais do rotor e estator, dados que normalmente não são facilmente encontrados. Para facilitar a parametrização, existem incorporados às interfaces de programação sistemas de ajustes automáticos (CEPEL, 2004).

Vantagens do Inversor com Controle Vetorial (CEPEL, 2004):

- Elevada precisão de regulação de velocidade;
- Alta performance dinâmica;
- Controle de torque linear para aplicações de posição ou de tração;
- Operação suave em baixa velocidade e sem oscilações de torque, mesmo com variação de carga.

#### 6.4.4. EM PROJETO: INVERSOR YASKAWA

Para concepção do projeto será implementado o inversor de frequência do fabricante Yaskawa, modelo CIMR-VU (figura 21), classe 200 V com entrada trifásica: 0,1 a 18,5 kW, que se enquadra na série V-1000 de inversores deste fabricante.



**Figura 21 – Inversor Yaskawa CIMR-VU**  
Fonte: Yaskawa (2011).

##### 6.4.4.1. O FABRICANTE

Originária de uma pequena empresa fabricante de motores fracionários, fundada por Keiichiro Yasukawa em 1915, a Yaskawa se transformou num grande conglomerado que hoje abarca subsidiárias em 40 países, com unidades fabris no Japão, China, Estados Unidos e Escócia (YASKAWA, 2011).

No Brasil, a Yaskawa Elétrico do Brasil localiza-se na cidade de São Paulo, iniciou suas atividades em 1974 e fornece além dos produtos, consultoria para totalidade dos projetos (YASKAWA, 2011).

##### 6.4.4.2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO UTILIZADO

Tamanho compacto, alta performance e capacidade para atender faixas de potência de até 25CV são algumas das principais características da linha V1000. Cada inversor possui duas CPUs com ciclo de processamento de 2ms, o que na prática se traduz em maior velocidade e alta performance. O V1000 propicia grande economia nas instalações, uma vez que ocupa pouco espaço. A vida útil de 10 anos e seu tempo médio entre falhas – é um dos maiores do mercado: 28 anos (YASKAWA, 2011).

Em termos de aplicação, o V1000 já vem pré-parametrizado, o que facilita sua utilização em diversos equipamentos industriais, como em ventiladores, exaustores, transportadores, lavadoras, compressores, pontes rolantes, bombas e em máquinas de alimentos e bebidas. Atende à norma de segurança EN 954-1, usualmente exigida em máquinas operatrizes - para proteção humana - e à norma europeia RoHs, a qual assegura que durante o processo de fabricação dos produtos foram empregados exclusivamente componentes que não agridem ao meio ambiente (YASKAWA, 2011).

Este modelo oferece o recurso de auto-sintonização com o motor, além de possuir a função *Swing* PWM para minimizar ruídos. Com a opção de programação em Diagrama de Blocos de Função (FBD), via DriveWorksEZ, é possível customizar a aplicação, eliminando a necessidade de uso de alguns CLPs mais simples. O V1000 conta com borneira removível com backup dos parâmetros e acessório opcional com função de leitura, verificação e cópia, que permite descarregar os parâmetros em outro inversor ou em um PC. Todos os modelos da linha possuem transistor de frenagem A figura 22 descreve o esquema de ligação do inversor. (YASKAWA, 2011).

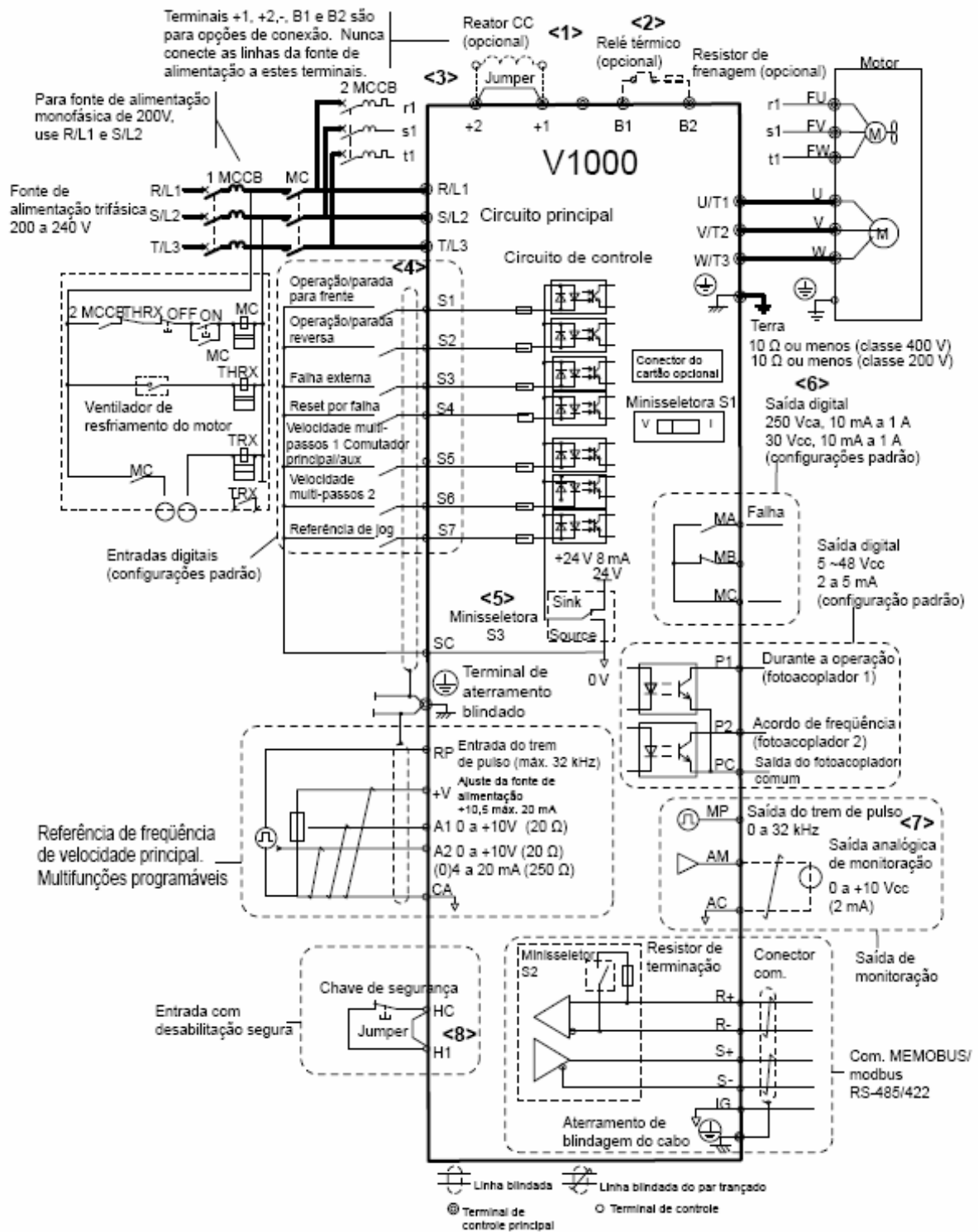


Figura 22 – Diagramas de ligação da Série V1000  
Fonte: Yaskawa (2011).



## 6.5. INSTRUMENTAÇÃO – SENSORES

Com o avanço tecnológico aplicado aos processos industriais, há uma tendência a centralização das variáveis do processo, e por consequência a complexidade no controle de processos pode ser aplicada onde com apenas o controle manual seria impossível. Para atingir o nível em que estamos hoje, os sistemas de controle sofreram grandes transformações tecnológicas, como: controle manual, controle mecânico e hidráulico, controle pneumático, controle elétrico, controle eletrônico e atualmente controle digital (GOLÇALVES, 2003).

Podemos dividir a natureza dos processos como contínuos e descontínuos. Nos dois casos o objetivo do controle é manter as variáveis próximas aos valores desejados. O sistema de controle que permite fazer isto deve ser capaz de comparar o valor da variável do processo com o valor desejado e tomar uma atitude de correção de acordo com o resultado de erro existente, sem a intervenção do operador (GOLÇALVES, 2003).

Para que esta ação de correção possa ser aplicada ao processo de maneira automática (figura 23), são necessários os seguintes componentes no sistema de controle: uma unidade de medida, uma unidade de controle e um elemento final de controle no processo.

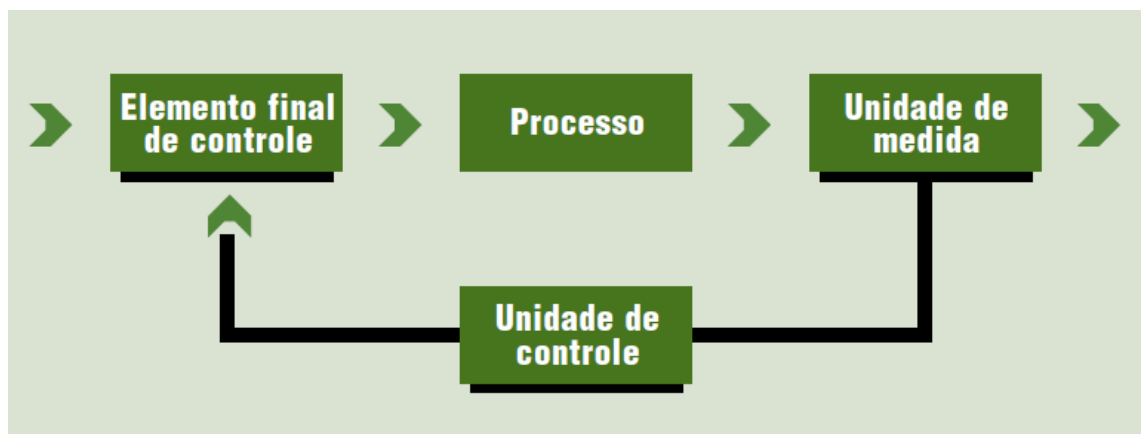
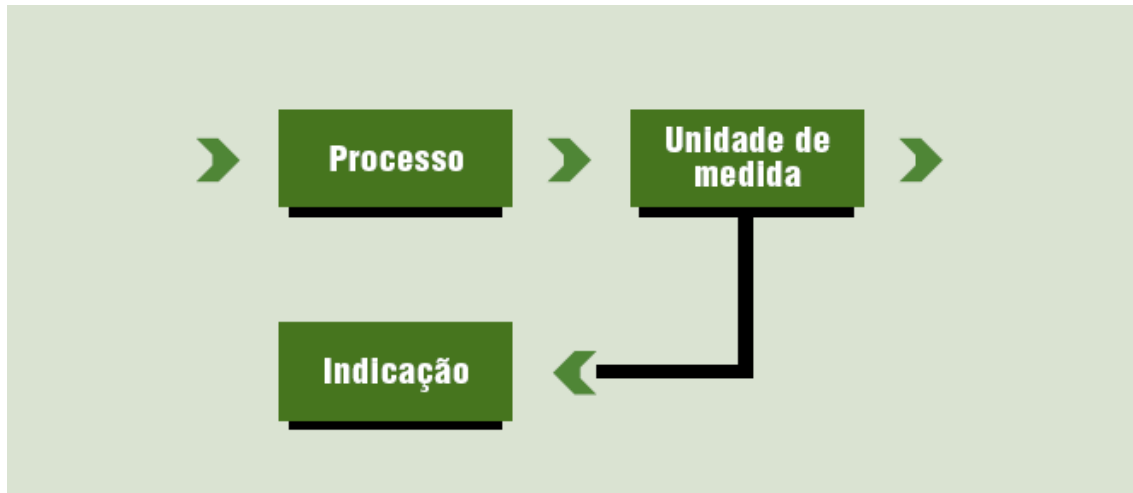


Figura 23 – Malha fechada de controle  
Fonte: Weg (2011).



**Figura 24 – Malha aberta de controle**  
**Fonte: Weg (2011).**

Para a variável controlada pelo processo seja monitorada e possa ser corrigida no caso de erro, ferramentas específicas se fazem necessárias em qualquer processo, seja no controle industrial ou em outras aplicações. Denominamos estas ferramentas de medida como sensores, que obtém informações diretas e em tempo real da saída do processo e informa a unidade de controle para que a devida ação seja tomada.

Existem vários tipos e modelos de sensores que variam conforme o objeto alvo de sensoriamento. Tipos de sensores comumente encontrados:

- Indutivo;
- Capacitivo;
- Fotoelétrico;
- Magnético ou "*Reed-Switch*";
- Pressão ou toque;
- *Encoders*;

#### 6.5.1. EM PROJETO: SENSOR ÓTICO BALLUFF BOS 18M



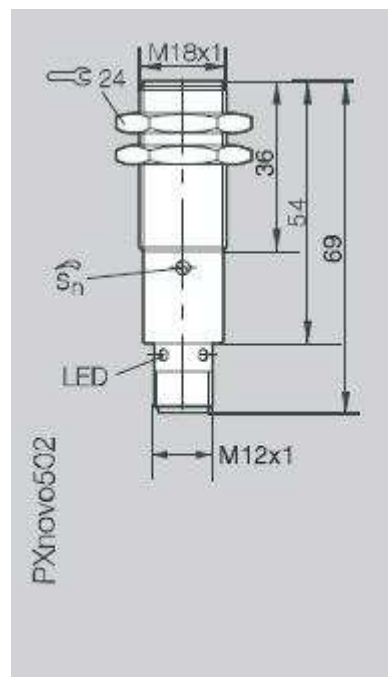
**Figura 25 – Sensores Óticos da linha BALLUFF**  
**Fonte: Balluff (2011).**

Os sensores óticos (também conhecidos como sensores fotoelétricos, observados na figura 25) são utilizados para a detecção de partes e peças através da emissão e recepção de feixe de luz (BALLUFF, 2011). Estes sensores podem ter alcance de vários metros, são aplicados em ambientes que necessitam uma resposta rápida de detecção (WENDLING, 2006).

A existência de requisitos complexos para a detecção de peças e tarefas de posicionamento, expandem o espectro das aplicações de sensores óticos nas indústrias de máquinas-ferramenta, máquinas de embalagem e envase (WENDLING, 2006).

Ambientes extremamente adversos, flutuações de temperatura, vibrações e a presença de líquidos de refrigeração agressivos, ampliam as exigências quanto a características mecânicas e eletrônicas dos sensores óticos. A Balluff oferece uma larga gama de sensores óticos de alta resistência ao meio ambiente, tanto em forma de blocos como com corpo cilíndrico. O grau de conhecimento da Balluff adquirido em máquinas-ferramenta pode ser verificado na maneira como são solucionadas aplicações difíceis, como sensores de fendas e sensores retroreflexivos em forma de L. (BALLUFF, 2011).

#### 6.5.2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO BOS 18M-PA-1PA-E5-C-S4 (figura 26):



**Figura 26 – Dimensões mecânicas do sensor**  
**Fonte: Balluff (2011).**

- Características Gerais
  - Código IEC = IP 67;
  - Sn = 100 mm;
  - Light On/Dark On / PNP;
  - Protegido contra curto-circuitos.
  
- Dados Técnicos
  - Distancia Sensora 100 cm;
  - Temperatura de Ambiente de operação Ta -5...+55 °C;
  - Frequência de chaveamento 100 Hz;
  - Retardo Ligação Desligamento 5 ms;
  - Intensidade Maxima de Luz externa 5000 Lux;
  - Categoria de Utilizacao DC 13.
  
- Dados Elétricos
  - Tensão de alimentação 10 a 30 Vdc;
  - Tensão de isolamento 75 Vdc.
  
- Dados Mecânicos
  - Material do corpo Latão Niquelado;
  - Material da superficie ativa;
  - Tipo de conexão Conector.

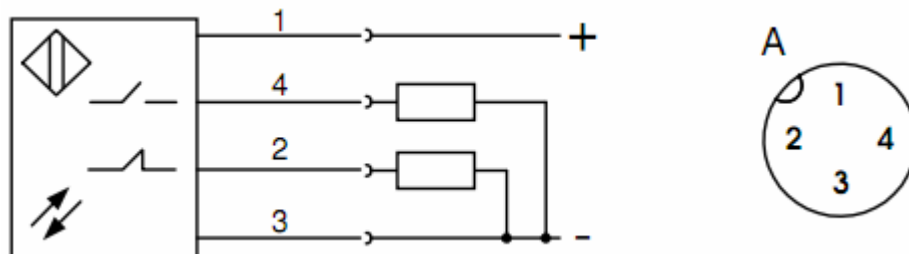


Figura 27 – Diagrama de ligação  
Fonte: Balluff (2011).

Observações de funcionamento segundo o fabricante (BALLUFF, 2011):

- O sensor volta à operação após eliminação da sobrecarga;
- Saída protegida contra picos de tensão.

## 6.6.CONFECÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Um aspecto importante na execução de projetos eletrônicos é como realizar a prototipagem definitiva e ter sucesso na parte dimensional do equipamento que está sendo desenvolvido. Após definição dos componentes eletrônicos, os testes de funcionamento dos circuitos podem ser realizados via simulações de *software* ou simulações práticas através da ferramenta denominada *protoboard* (mesa de protótipo). Após definição do esquema elétrico do projeto, devem ser analisadas as dimensões, local de armazenamento e fixação da Placa de Circuito Impresso (PCI, e comumente denominada em *softwares* como PCB – *Printed Circuit Board*).

É comum a utilização de *softwares* em que se pode gerar o esquema elétrico do projeto, realizar a simulação e obter os testes de funcionamento e automaticamente gerar o desenho eletrônico referente a posição dos componentes em uma placa de circuito impresso e suas trilhas (rotas, figura 28) onde a corrente elétrica deve seguir entre os componentes. Alguns exemplos de *softwares* utilizados: Tango, Proteus, Eagle Cad, Specetra, entre outros.

Um aspecto importante a ser observado na concepção das placas PCI são as restrições de compatibilidade eletromagnética (EMC – *Electromagnetic Compatibility*), para que posteriormente não sejam diagnosticadas falhas de funcionamento do circuito decorrentes de interferências ou ineficácia de funcionamento. Com sistemas operando atualmente em frequências cada vez maiores (megahertz, alguns atingindo os gigahertz) a necessidade de ter um roteamento de placa que atenda as regras mínimas de EMC se faz inevitável (CHOUIY IMAY, 2002).

Para atender as regras de EMC, alguns aspectos devem ser analisados e projetados para que o circuito obtenha os resultados de funcionamento desejados (CHOUIY IMAY, 2002):

- Comprimento máximo da trilha;
- Tempo de atraso máximo do sinal em uma trilha;
- Numero máximo de vias em uma trilha;
- Distancia mínima entre dois elementos;
- Blindagens

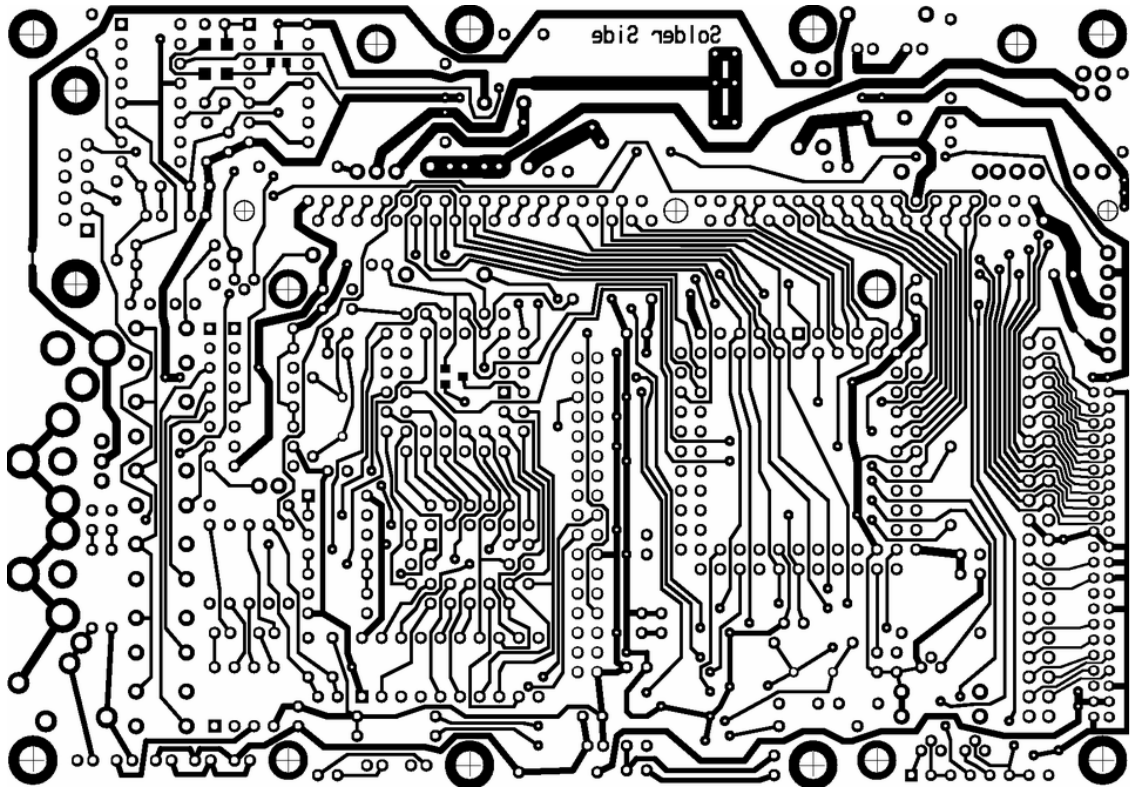


Figura 28 – Exemplo de Layout de circuito  
Fonte: Google Images (2011).

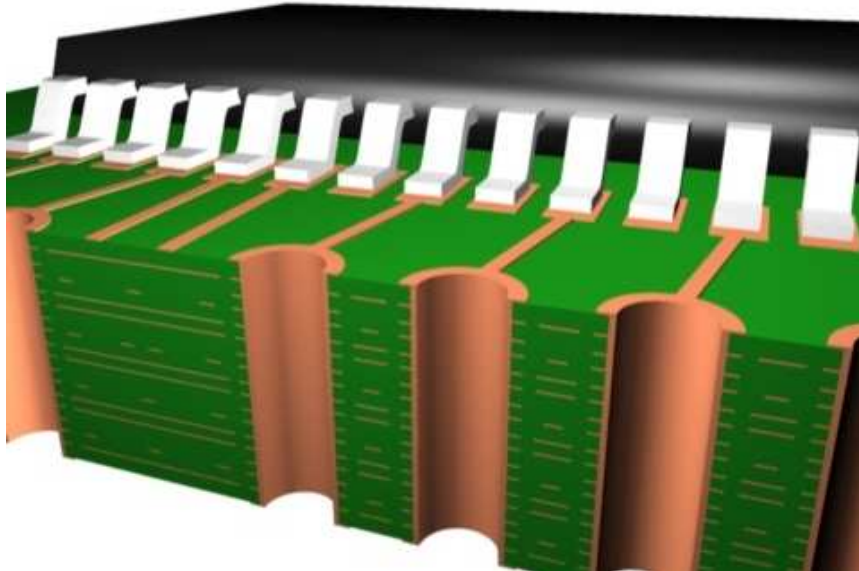
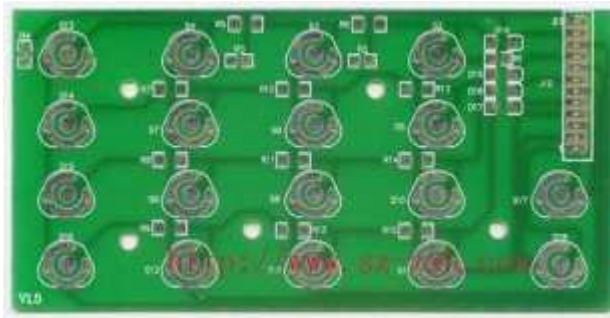


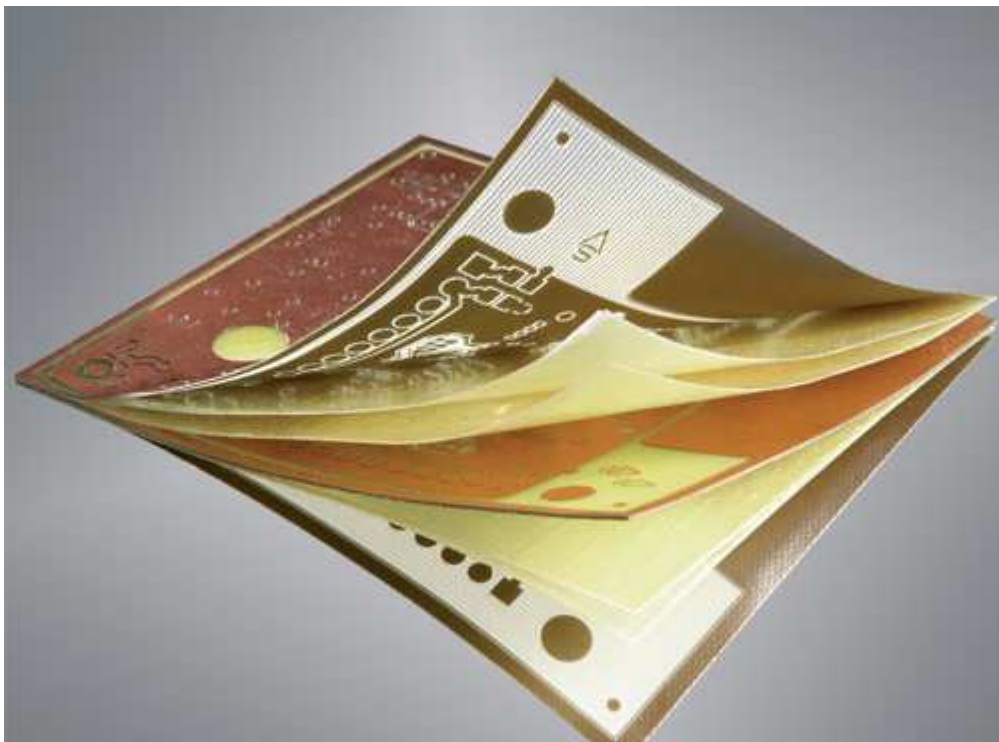
Figura 29 – Detalhe: vista lateral de placas multi camadas  
Fonte: Google Images (2011).

As placas de circuito impresso podem também ser classificadas quanto ao número de camadas que ela possui. Placas com uma camada, ou seja, apenas uma de suas superfícies com trilhas para passagem de sinais elétricos são chamadas de Placas *Single-Layer*. Com os avanços tecnológicos e da microeletrônica, estão

disponíveis no mercado placas de circuito com mais de uma camada, denominadas placas *Multi-Layer* (figuras 29, 30 e 31). Com essa concepção de fabricação e projeto de placas, as dimensões podem ser cada vez menores e novas possibilidades de roteamento são disponibilizadas.



**Figura 30 - Exemplo de Placa de Circuito Dual Layer**  
Fonte: Google Images (2011).



**Figura 31 – Exemplo de Placa de Circuito Impresso Multi-Layer**  
Fonte: Lpks Laser Eletronics (2011).

## 6.7. ESCADAS ROLANTES

O meio de transporte entre pavimentos denominada Escada Rolante (figura 32) tornou-se uma parte integrante da paisagem urbana. Este robusto meio de transporte foi introduzido no mercado (em 1899) logo após a consolidação de outro meio de transporte entre níveis, os elevadores (de 1870) pela empresa Otis Elevator Company, que detém a patente deste aparelho (OTIS, 2011).

Até 1899 vários projetos de ferramentas de transporte entre níveis surgiram, mas nenhum provou ser seguro e prático o suficiente para entrar em uso geral. Somente neste ano, um projeto partindo da empresa Otis Elevator tornou a idéia comercialmente viável. O projeto original continua sendo a base para desenvolvimento de projetos até os dias atuais. A nomenclatura adotada e de propriedade do fabricante era “*Escalator*”, junção dos termos “*scala*” e “*elevator*”. O termo ficou como marca registrada da empresa até 1950, quando o órgão regulamentador de patentes nos EUA definiu como de domínio público, aplicando este termo para como genérico para uma escada em movimento (OTIS, 2011).



**Figura 32 – Escada rolante**  
**Fonte: Google Images (2011).**



Componentes de uma escada rolante (figura 33):

- Motor
- Eixo de Tração
- Tracionador de Corrimão
- Corrimão
- Degrau
- Guia de Corrente
- Roda de Retorno
- Trilho Interno

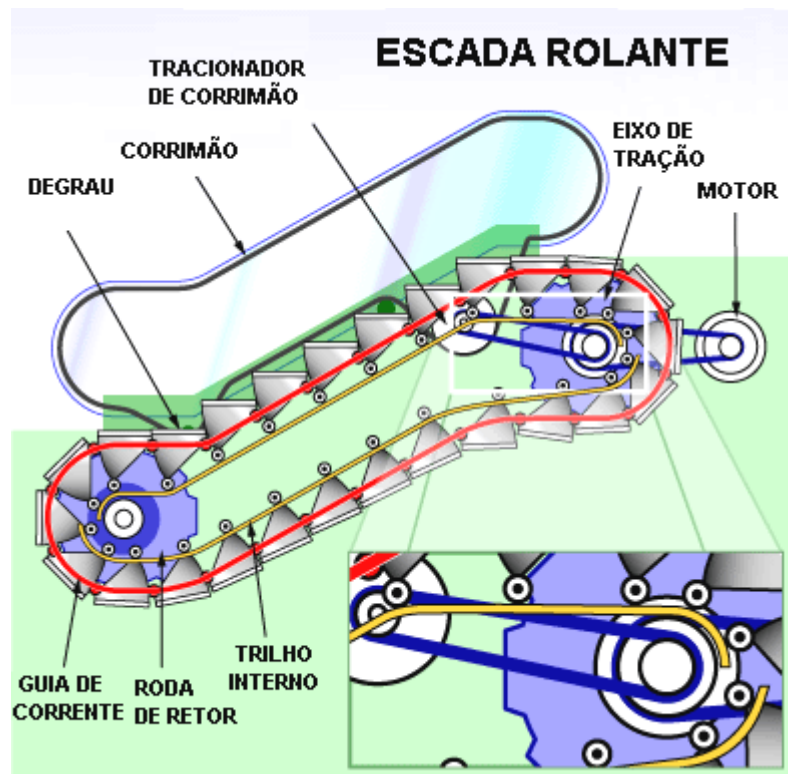


Figura 33 – Vista lateral de uma escada rolante  
Fonte: Ciência UOL (2007).

### 6.7.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

Consideramos como componente principal no sistema de escada rolante o par de correntes que envolvem os dois pares de engrenagens. O movimento mecânico da escada é fornecido através de um motor elétrico (o modelo trifásico 70cv é

comumente utilizado). Esse motor movimenta as engrenagens de tração na parte superior que conseqüentemente movimentam as correntes. O conjunto do motor e das correntes ficam acondicionados dentro da armação, uma estrutura de metal entre dois assoalhos (HARRYS, 2001).

As correntes deslocam uma série de degraus, sempre nivelando os mesmos ao plano horizontal. Na parte superior e inferior da escada rolante, os degraus se encaixam, criando uma plataforma plana, para facilitar a utilização da escada. Esta configuração pode ser observada na figura 33 (HARRYS, 2001).

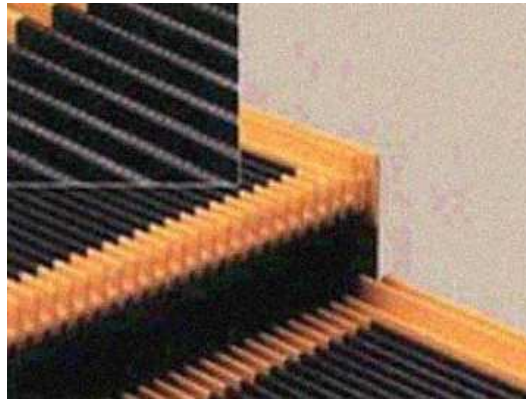
O degrau (figura 34) de uma escada rolante possui dois conjuntos de rodas que se movem em dois trilhos em separado. O conjunto de rodas mais próximas da parte superior do degrau é conectado às correntes do sistema e é puxado através da engrenagem de tração localizado na parte de cima do sistema rolante. O segundo conjunto de rodas apenas desliza ao longo do trilho, seguindo o primeiro conjunto de rodas (HARRYS, 2001).



**Figura 34 – Degrau de uma escada rolante**  
Fonte: Google Images, 2011

O posicionamento dos trilhos (figura 35) de forma a proporcionar a mesma nivelção a cada degrau. Na parte superior e inferior da escada rolante os trilhos são nivelados em uma posição horizontal, deixando a escada plana. Para que

ocorra o alinhamento correto do degrau com seu anterior e posterior, cada degrau possui uma série de ranhuras (HARRYYS, 2001).



**Figura 35 – Ranhuras no degrau**  
Fonte: Ciência UOL (2007).

O motor elétrico tem a função de movimentar as correntes principais do sistema e também cada corrimão que compõe o equipamento. O corrimão é uma correia transportadora de borracha que fica em volta de um conjunto de rodas. Essa correia é configurada com precisão de modo que se movimenta exatamente na mesma velocidade dos degraus, para facilitar a locomoção de prover estabilidade aos usuários (HARRYYS, 2001).

Algumas características operacionais:

- A velocidade da escada rolante varia de 27 a 55 metros por minuto;
- A 44 metros por minuto, a escada pode transportar mais de 10 mil pessoas por hora.

## **7. DESENVOLVIMENTO**

### **7.1. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA FINTER**

Este capítulo tem como objetivo descrever as etapas para execução do projeto FINTER, detalhando os módulos que compõe o sistema eletrônico e mecânico, demonstrando a execução em todas as fases e testes finais.

Como as dimensões do objeto foco do projeto (escada rolante) impedem a demonstração física em escala real do equipamento, foi optado por construção de

um protótipo em escala reduzida, no formato de um painel didático, contendo os módulos básicos e necessários para execução de testes e levantamento de valores.

As sessões seguintes descrevem os seguintes módulos componentes do sistema: placa de controle principal, placas de sinalização, modulo inversor de frequência e componentes auxiliares para integração entre módulos e sensoriamento.

## 7.2.METODOLOGIA PARA CONCEPÇÃO DO PROJETO

O projeto tem como foco o desenvolvimento de um equipamento para modernização de funcionamento e controle intermitente para escada rolante, e sua execução em escala reduzida para demonstração é composta quatro etapas: construção mecânica, construção eletrônica, implementação do *firmware* nos módulos eletrônicos de controle e sinalização e *setup* do inversor de frequência.

O funcionamento do controle intermitente para a da escada rolante baseia-se em obter informações do meio externo (através dos sensores localizados no ponto de entrada dos usuários na escada, conforme figura 37), processar a informação através do modulo de controle FINTER e executar devida ação de controle do estado de funcionamento do motor trifásico (que gera o movimento para a escada) de acordo com pré-ajustes determinados no módulo inversor de frequência.

Através deste sistema de controle (macrofuncionamento observado na figura 36), a escada passa a possuir três estágios básicos de funcionamento: transporte de usuário em velocidade nominal, 10% de velocidade nominal e parada. Estes estágios são aplicados ao controle intermitente da escada rolante através da seguinte lógica:

- Escada com movimento de subida ou descida e com carga (usuário): velocidade nominal;
- Escada com movimento de subida ou descida e sem carga (sem usuário): parada;
- Escada com movimento de subida ou descida e tentativa de utilização do usuário no sentido contrário da escada: 10% de velocidade nominal.



**Figura 36 – Macro diagrama de funcionamento do FINTER**  
**Fonte: Autoria própria.**

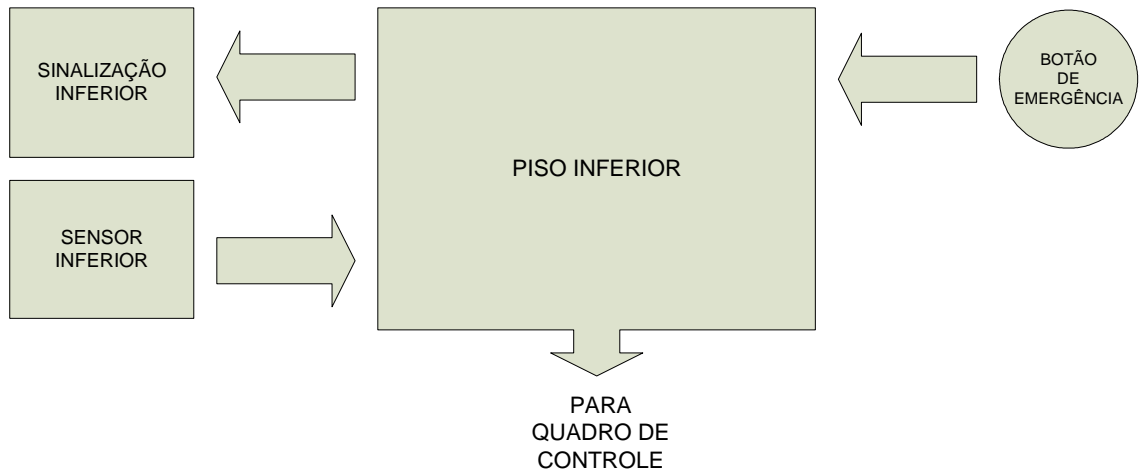


**Figura 37 – Exemplo de sensores no piso inferior**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 7.2.1. PISO INFERIOR

O piso inferior também chamado de patamar inferior é composto de sinalização para orientação do fluxo na escada, sensores de barreira para detecção do usuário na entrada da escada e botão de emergência para parada abrupta do funcionamento da escada em casos de emergência (figura 38).

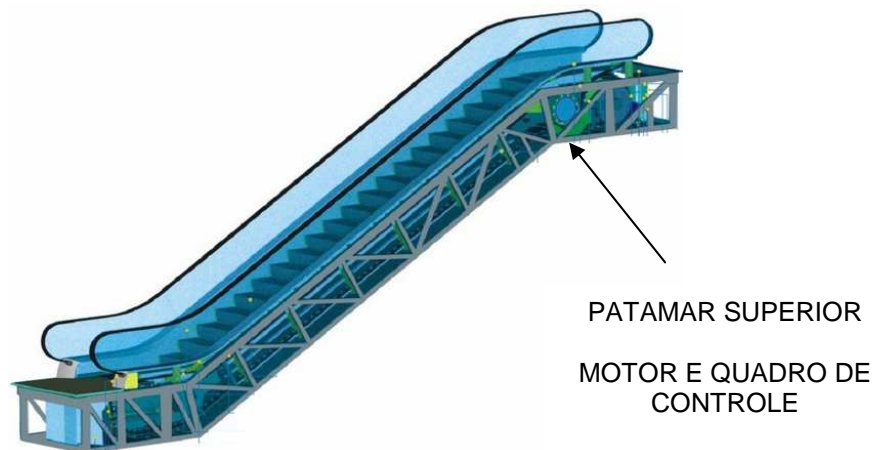
Estas ações destinadas ao controle da escada são enviadas através de barramento de dados e alimentação para o quadro de controle, localizado no patamar superior da escada.



**Figura 38 – Diagrama em blocos do Piso Inferior**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 7.2.2. PISO SUPERIOR

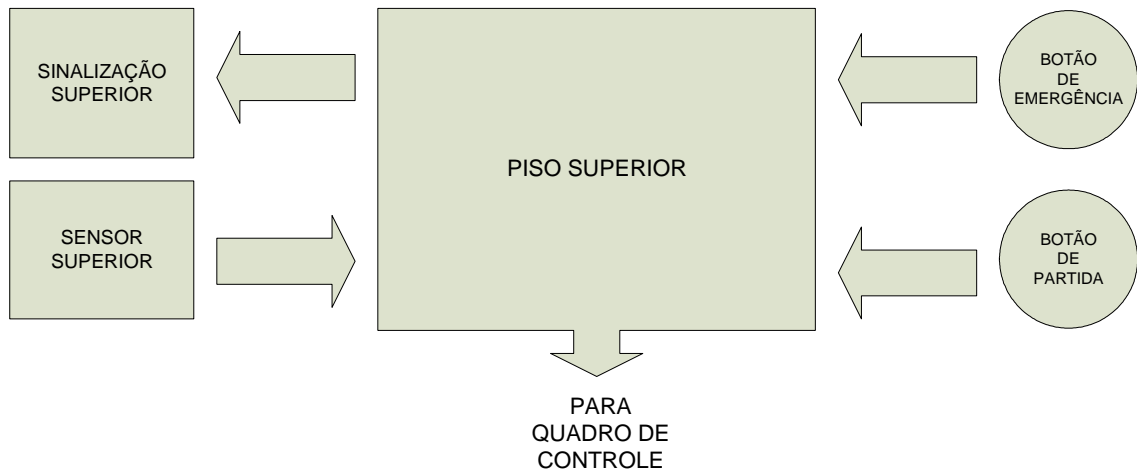
O piso superior, também chamado de patamar superior (figura 39), é o local onde o motor da escada e quadro de controle (figura 41) ficam localizados.



**Figura 39 – Escada rolante e patamar superior**  
**Fonte: Autoria própria.**

Esta parte do sistema possui em similaridade ao piso inferior a sinalização para informar o fluxo de utilização, sensores para detecção de usuários, botão de emergência para interrupção do funcionamento e botão de partida para funcionamento da escada. Em observação, este comando de acionamento da escada está localizado no patamar superior em vista a proximidade com quadro de

controle de motor, facilitando as situações de manutenção do sistema quando necessário (figura 40).



**Figura 40 – Diagrama em blocos do Piso Superior**  
**Fonte: Autoria própria.**



**Figura 41 – Casa de máquinas localizado no patamar superior**  
**Fonte: Autoria própria.**

Em relação a segurança durante funcionamento da escada rolante, existem nas laterais internas da escada uma série de sensores do tipo chave de fim de curso (figura 44), implementadas de tal maneira que qualquer pressão sobre a superfície lateral próxima ao curso dos degraus (figuras 42 e 43) provoca o acionamento destes sensores, ação comumente chamada como “acionamento da série de

segurança”. Estes sensores são dispostos em série, de tal forma que o acionamento de algum deles provoca a abertura do deste circuito de segurança.

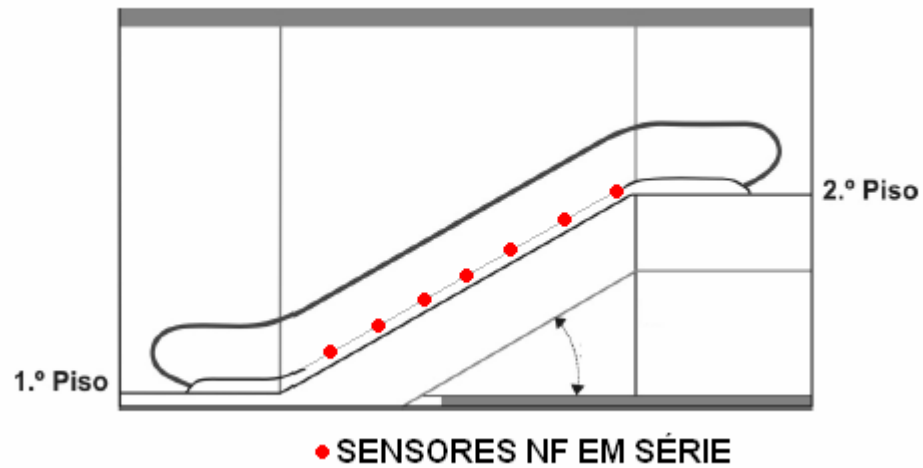


Figura 42 – Série de segurança na lateral da escada rolante  
Fonte: Autoria própria.

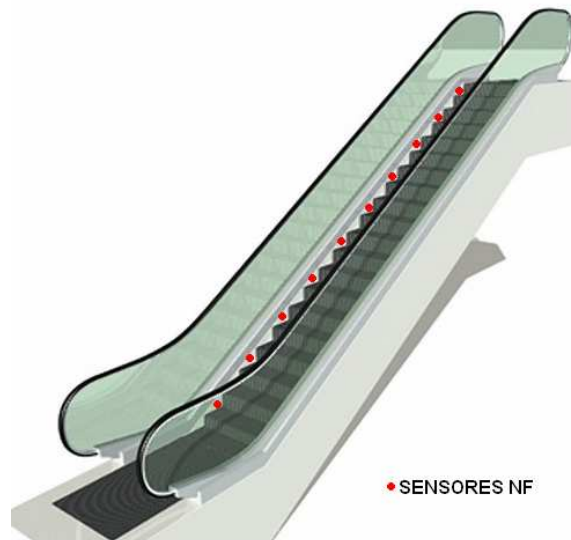


Figura 43 – Série de segurança  
Fonte: Autoria própria.

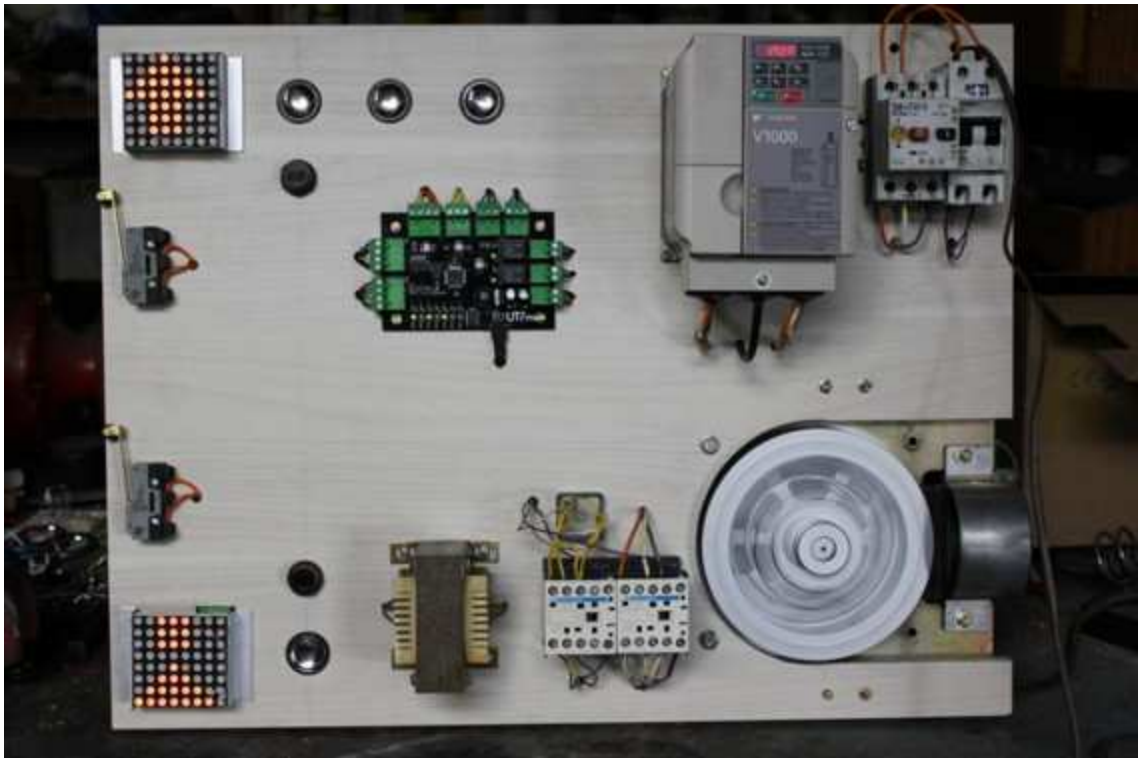


Figura 44 – Chave fim de curso NF  
Fonte: Autoria própria.



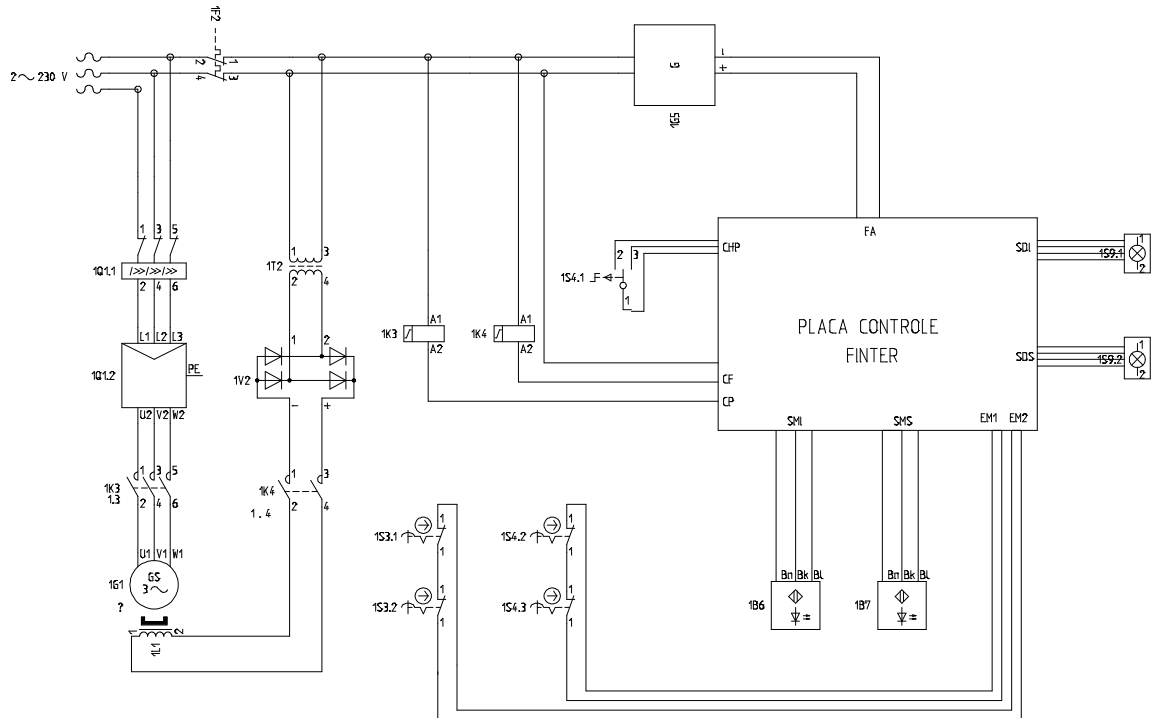
### 7.3.IMPLEMENTAÇÃO MECÂNICA

Para construção do protótipo, os módulos de controle, sensoriamento e sinalização, em simulação a situação real de aplicação, serão dispostos em um painel vertical (figura 45), de forma a dispor os dispositivos para fácil visualização.



**Figura 45 – Painel didático para demonstração do sistema FINTER**  
**Fonte: Autoria própria.**

Foi utilizado bloco de maderite de 15mm. de espessura para fixação dos módulos. Os cortes e demais artifícios para fixação foram executados em laboratório pela equipe do projeto.



**Figura 46 – Diagrama unifilar do painel didático obtido através do software CADdyBasic  
Fonte: Autoria própria.**

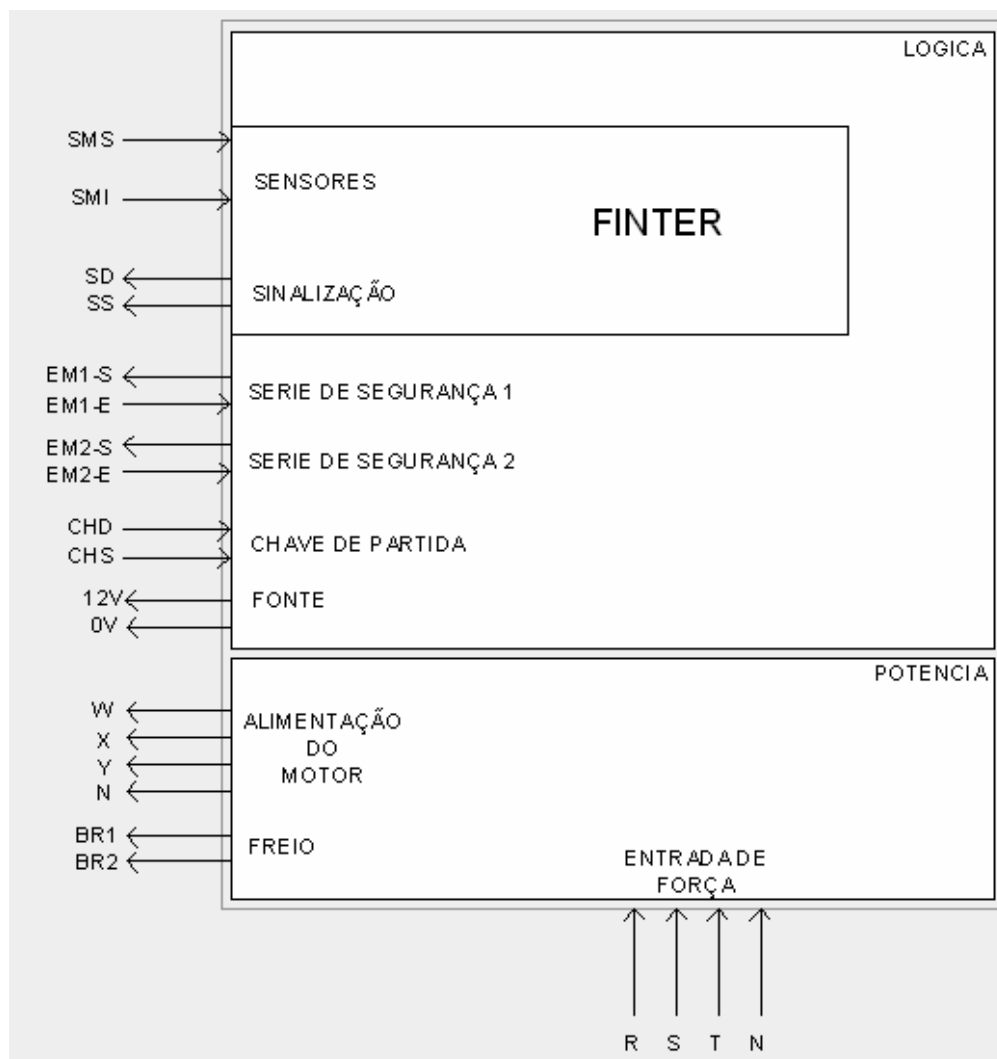
Para implementação no protótipo, foi obtido um motor de menores dimensões (figura 47) em relação do comumente utilizado em escadas rolantes, mas de mesmas características de funcionamento. O modelo utilizado é um trifásico, 0,75 kW de uso doméstico, do fabricante Meidensha Corporation.



**Figura 47 – Motor trifásico 0,75 kW  
Fonte: Autoria própria.**

## 7.4.IMPLEMENTAÇÃO ELETRÔNICA

Para realizar o controle do funcionamento intermitente para o motor trifásico, foi implementada uma placa de controle principal, responsável pelo processamento das informações provenientes dos sensores e pela atuação dos módulos de sinalização e comando do inversor de freqüência (componente este responsável pelo acionamento e parada do motor trifásico). Além dos dispositivos principais do sistema, foram utilizadas para integração dos módulos e motor os seguintes dispositivos adicionais: contatoras, disjuntores, botoeiras, fonte de alimentação para o sistema de freio do motor e fonte de alimentação DC para os circuitos microcontrolados. Estes dispositivos de entrada e saída podem também ser agrupados como destinados à secção lógica e de potência (figura 48).



**Figura 48 - Controle FINTER**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 7.4.1. PLACA DE CONTROLE PRINCIPAL

A placa de controle principal foi desenvolvida com base no esquema elétrico, ambos desenvolvidos através do *software* EAGLE CAD 5.11 (figura 49). Com base no esquema elétrico o *software* gera o esquema elétrico, que pode se ajustado e roteado conforme a necessidade do projeto.

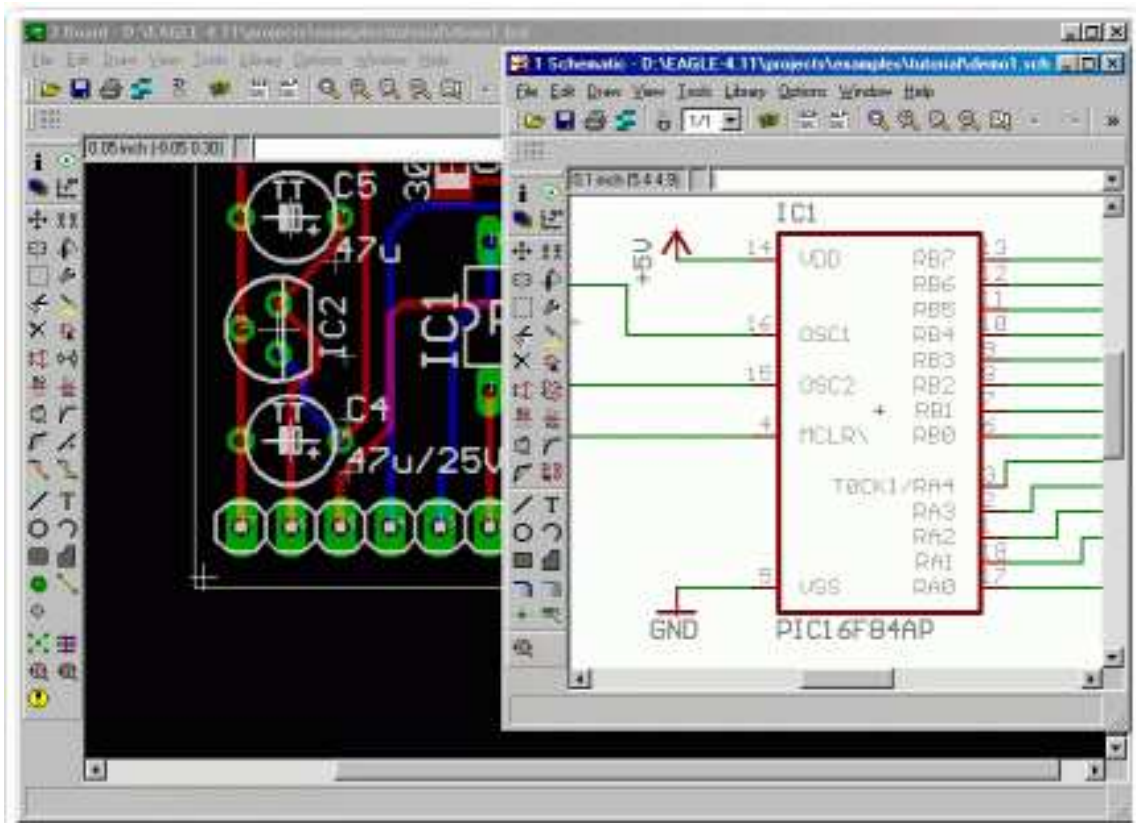


Figura 49 – Eagle CadSoft 5.11  
Fonte: Autoria própria.

Para controle neste deste módulo foi utilizado o processador ATmega16, do fabricante ATMEL.

#### 7.4.1.1. ESQUEMA ELETRICO

Através de recuso disponível no *software* Eagle 5.11, foi desenvolvido esquema elétrico através de módulos de circuito individuais, descritos como: cpu (figura 50), fonte de alimentação, saída para contatora de potência, saída para contatora de freio, driver de saída para o inversor, entrada para o sinal de

emergência (serie de emergência), chave de partida da escada, entrada para os sensores de movimento e saídas para sinalização (inferior e superior).

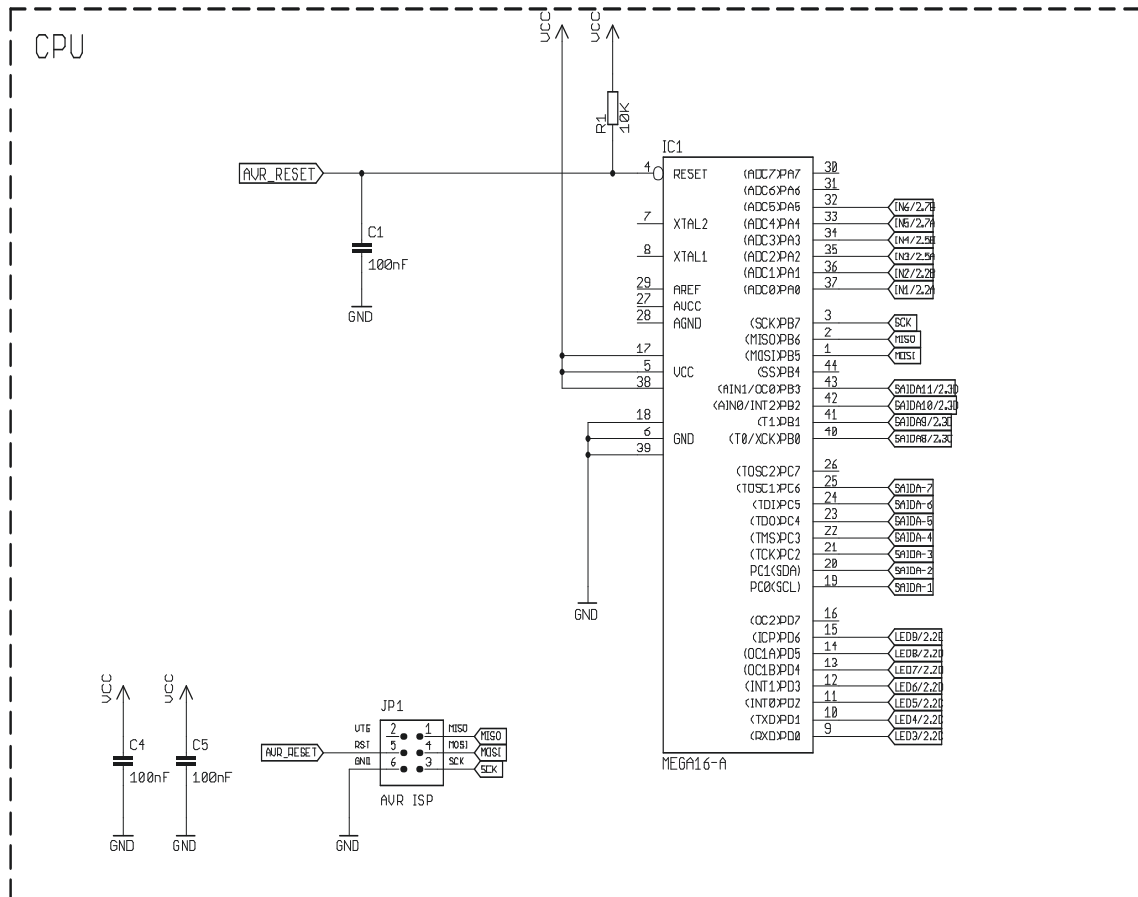


Figura 50 – Diagrama elétrico – CPU  
Fonte: Autoria própria.

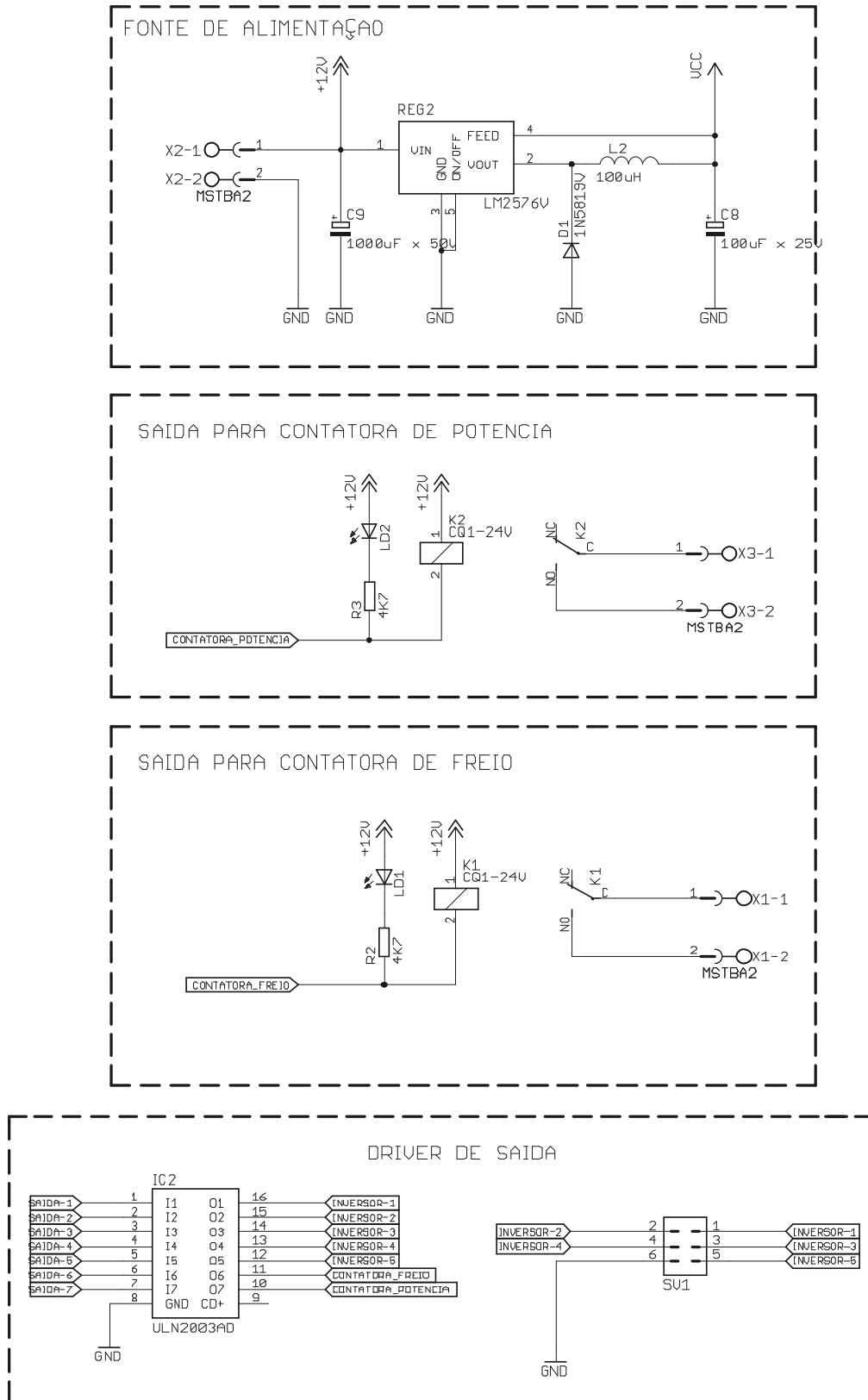


Figura 51 - Diagrama elétrico - Saídas e Fonte  
 Fonte: Autoria própria.

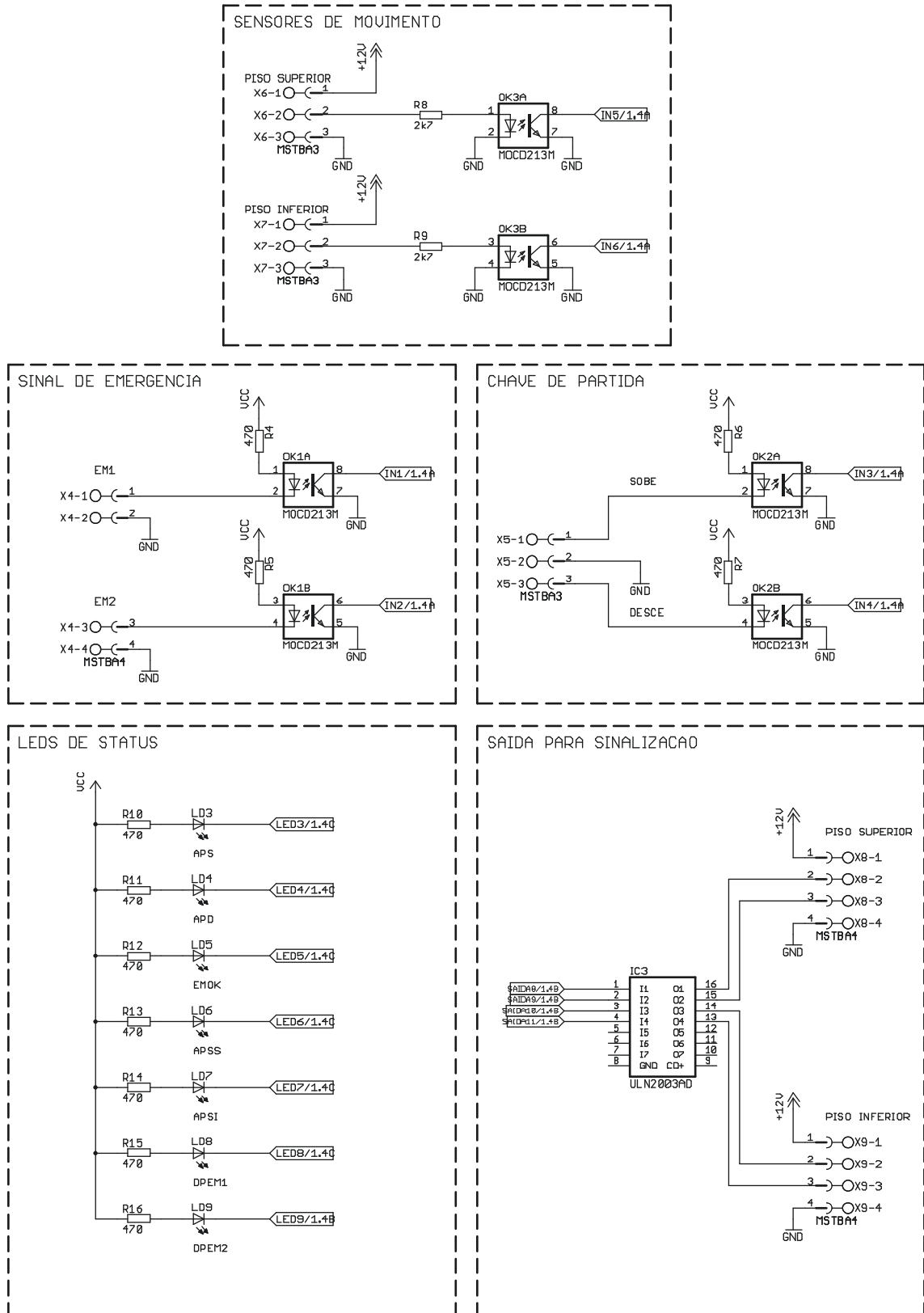


Figura 52 - Diagrama elétrico - entrada dos sensores de movimento, sinal de emergência, entrada chave de partida, leds indicativos de status e saída para sinalização.

Fonte: Autoria própria.

### 7.4.1.2. LAYOUT DA PLACA DE CIRCUITO

Para otimização do tamanho da placa de circuito impresso, foi implementada uma placa com duas faces roteadas. O layout de placa foi obtido e ajustado através de roteamento no *software* Eagle 5.11.

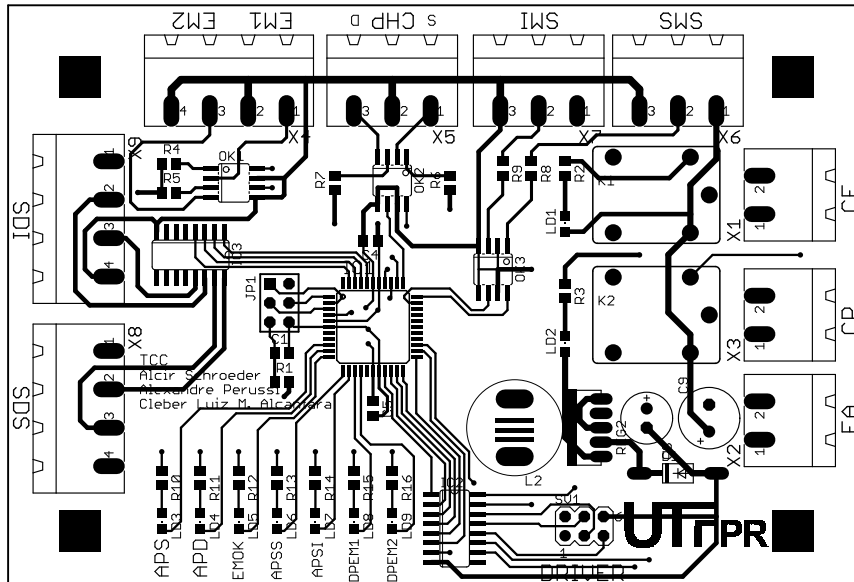


Figura 53 – layer superior da placa de controle principal  
Fonte: Autoria própria.

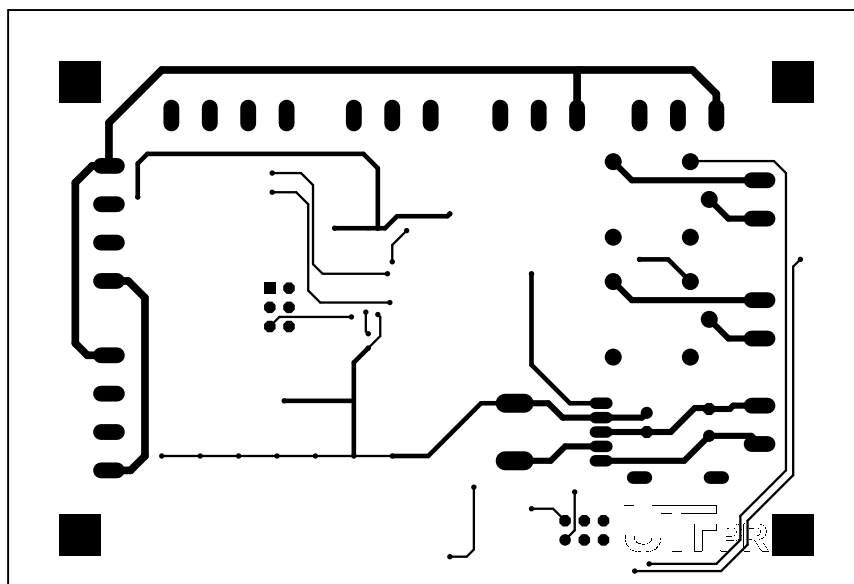


Figura 54 - layer inferior da placa de controle principal  
Fonte: Autoria própria.



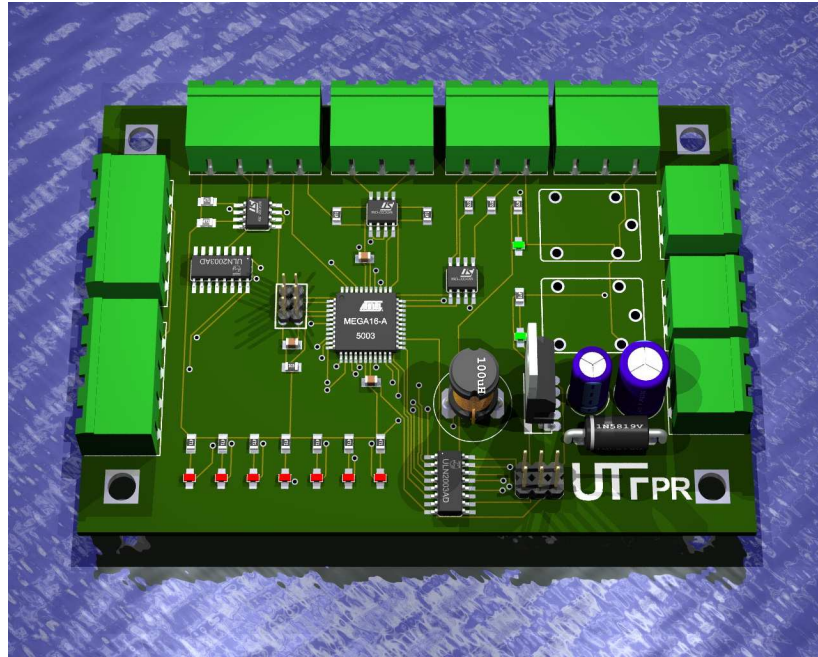


Figura 55 – Placa de Controle exportada através do EAGLE 5.11  
Fonte: Autoria própria.

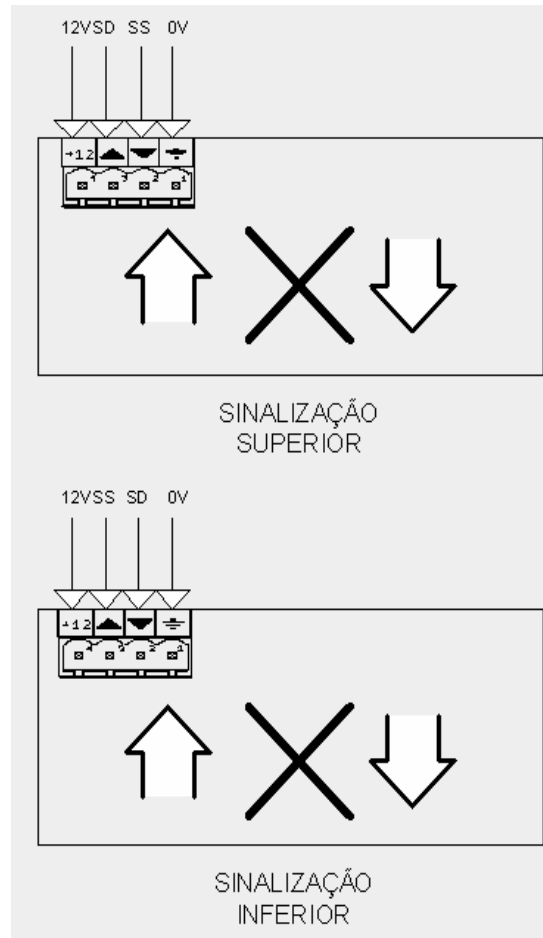
#### 7.4.2. PLACA DE SINALIZAÇÃO – PICTOGRAMAS ELETRÔNICOS

Para sinalização destinada aos usuários da escada rolante, foi projetada uma placa de circuito com leds indicativos, denominada pictograma eletrônico (figura 57). Este dispositivo aciona os leds de maneira específica determinada pelo *firmware* implementado na placa, gerando pictogramas indicativos de utilização da escada rolante. Para que este processamento seja realizado de forma eficaz, foi utilizado no circuito o processador ATMega16.

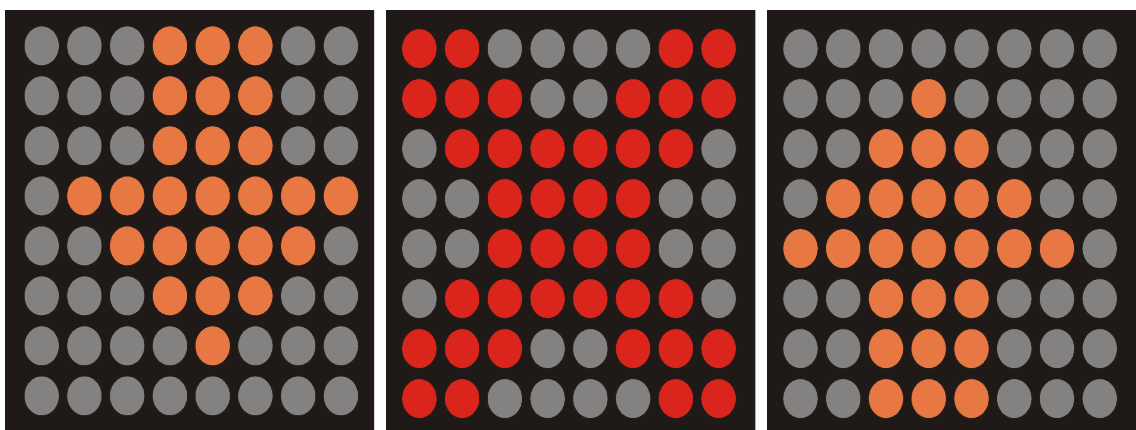
A placa foi idealizada para utilização em várias situações, não somente a implementação em dispositivos como escadas rolantes. Conforme figura 56, o sistema possui entrada de alimentação (12vcc e Gnd) e dois sinais de entrada (sinal SS de subida e sinal SD para descida). Acionando-se as duas entradas ao mesmo tempo se obtém o sinal de parada do dispositivo.

Estados de sinalização:

- Escada programada para subir;
- Escada programada para descer;
- Escada parada.



**Figura 56 - Diagrama de ligações sinalização**  
**Fonte: Autoria própria.**



**Figura 57 – Sinalização através de Pictograma Eletrônico**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 7.4.2.1. ESQUEMA ELÉTRICO

### 7.4.2.2. LAYOUT DA PLACA DE CIRCUITO

Seguindo a implementação da placa de controle principal, o roteamento foi realizado com base no esquema elétrico através do *software* Eagle. O *layout* desta placa possui duas faces de roteamento.

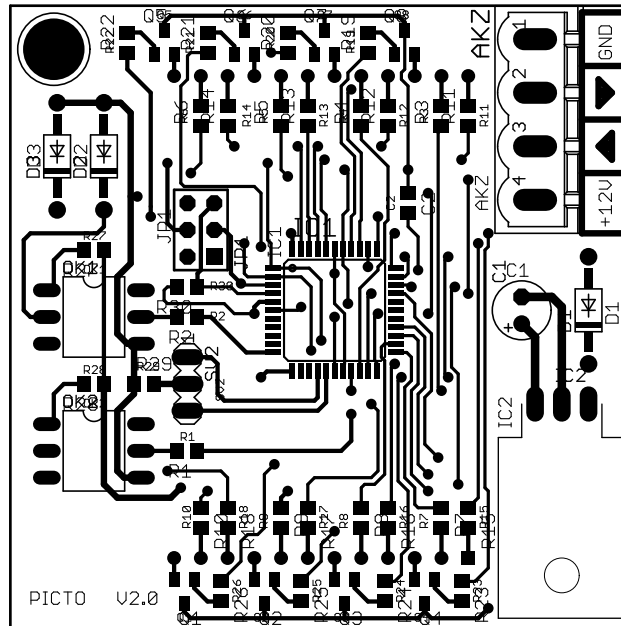


Figura 58 - *layer* superior da placa de sinalização  
Fonte: Autoria própria.

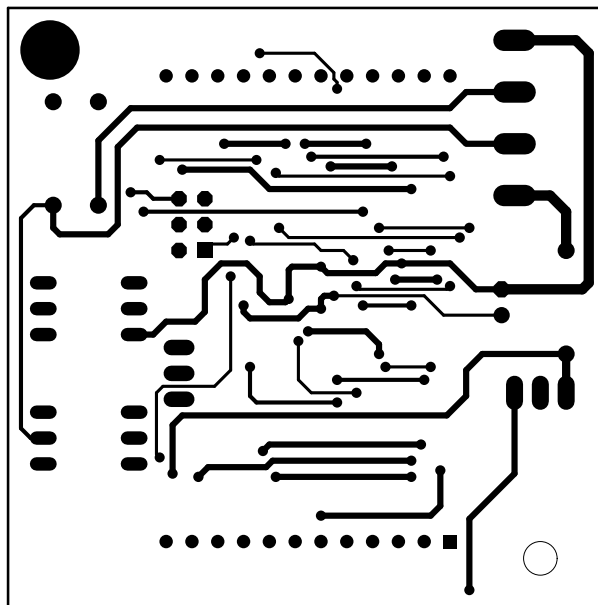


Figura 59 - *layer* inferior da placa de sinalização  
Fonte: Autoria própria.

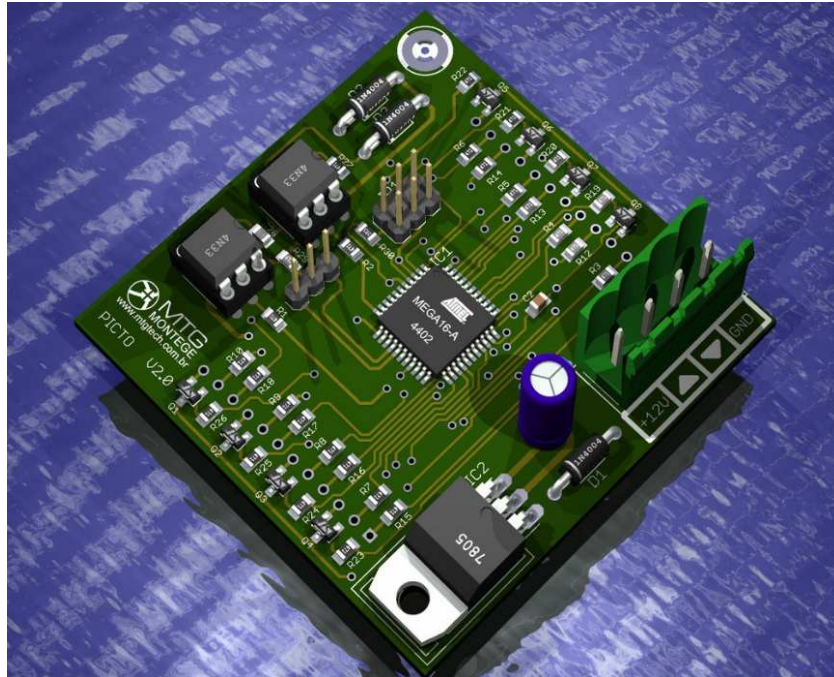


Figura 60 - Placa de sinalização exportada através do EAGLE 5.11  
Fonte: Autoria própria.

### 7.5.IMPLEMENTAÇÃO DE *FIRMWARE*

Para realizar a programação dos *firmware* utilizados nos processadores ATmega16 da placa de controle de placa de sinalização, foi utilizada a linguagem de programação C, com interface de projeto através do *software* AVR-STUDIO (figura 62), do fabricante ATMEL. A gravação é realizada através de técnica *in-system*, ou seja, através canal de comunicação específico para dispositivo de gravação, com interface direta para o microcontrolador prevista na placa de circuito impresso. Para realizar a gravação *in-system* foi utilizado *software* AVR-Studio em conjunto com o compilador GCC++, através da interface física de gravação USB-AVR *Program JTAG ICE* (figura 61).



Figura 61 - Interface de gravação USB JTAG ICE  
Fonte: Autoria própria.

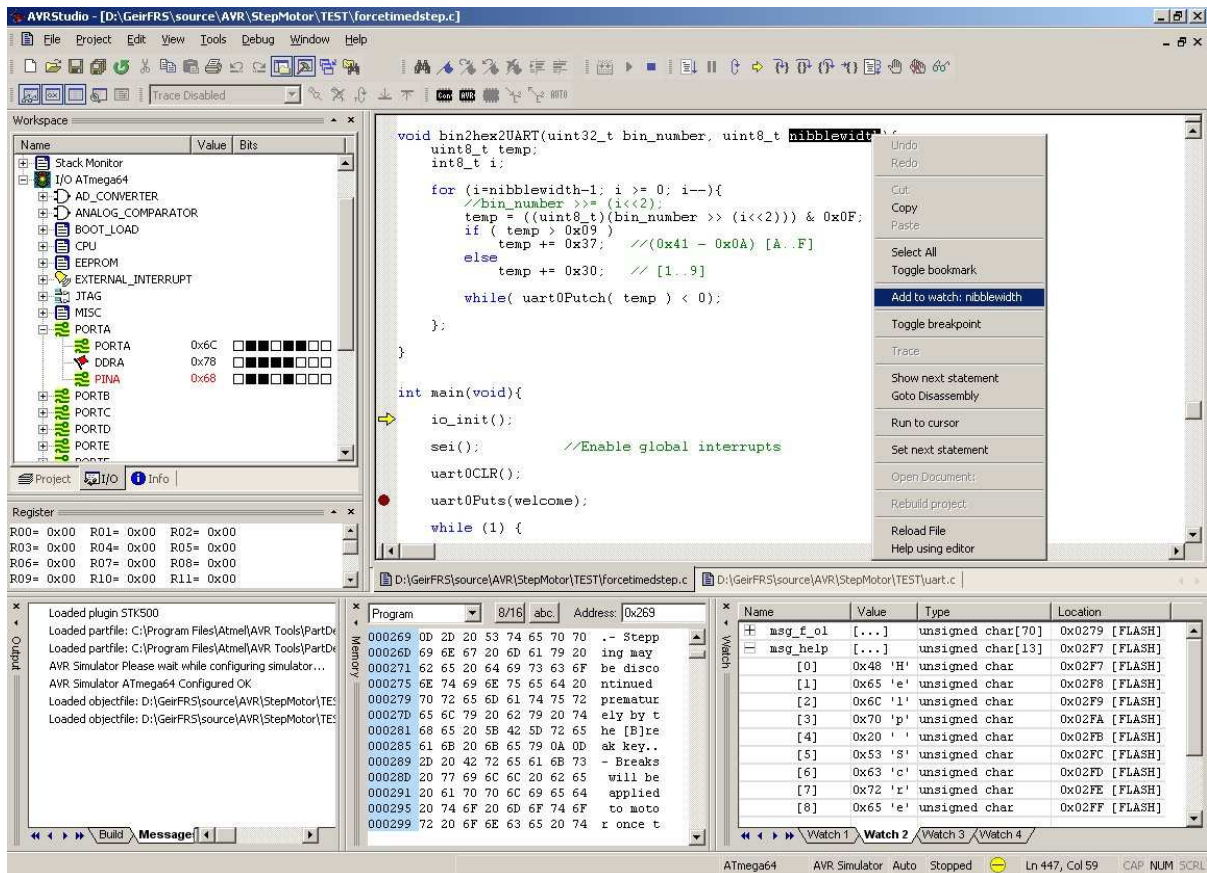


Figura 62 – ATMEL AVR-Studio  
Fonte: Atmel (2011).

### 7.5.1. FIRMWARE: PLACA DE CONTROLE

Descrição de funcionamento do *firmware* implementado na placa de controle principal e respectivo fluxograma (figura 63):

- Inicialização do microcontrolador;
  - Configuração de entradas e saídas;
  - Configuração do Timer;
- Início das rotinas de monitoramento
  - Monitoramento dos sensores;
  - Monitoramento da série de segurança;
- Controle de contadoras;
- Controle do Inversor de frequência (acionamento do motor);
- Controle dos sinalizadores.

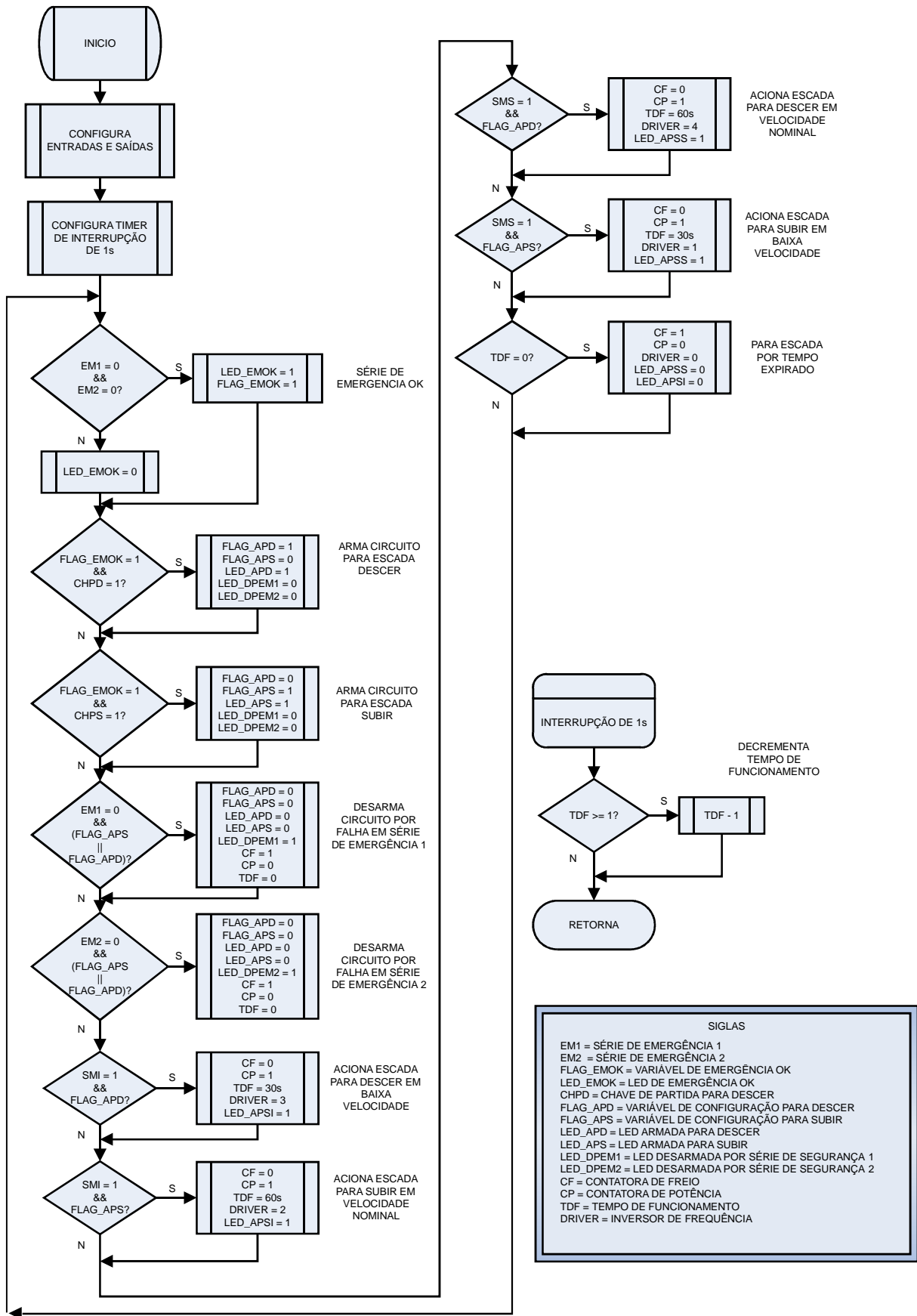


Figura 63 - Fluxograma de funcionamento do *firmware*  
 Fonte: Autoria própria.

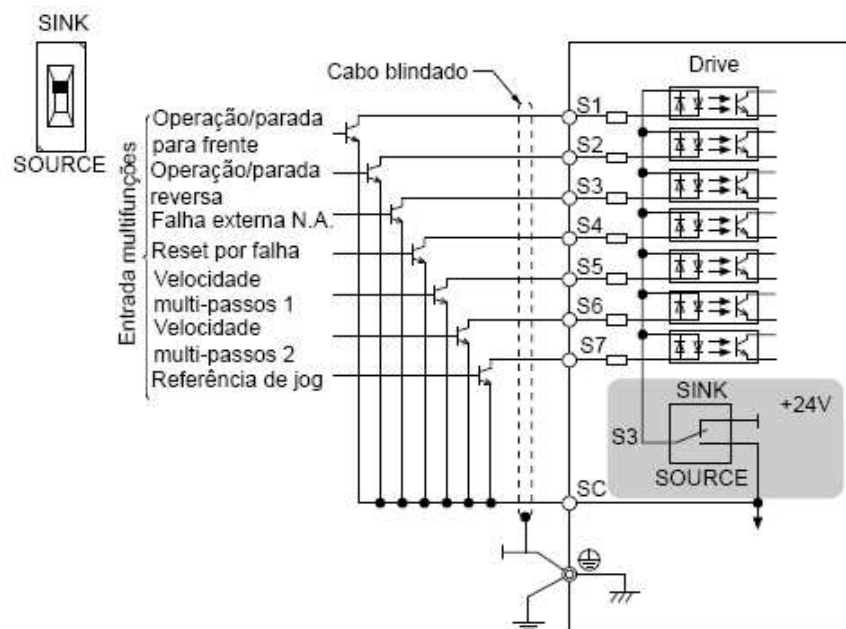
### 7.5.2. FIRMWARE: MODULOS DE SINALIZAÇÃO

Descrição de funcionamento do *firmware* implementado na placa de sinalização:

- Inicialização do microcontrolador;
  - Configuração de entradas e saídas;
  - Configuração do Timer;
- Início das rotinas de monitoramento;
  - Monitoramento das entradas;
- Controle da seqüência de acionamento dos *leds*.

### 7.6. AJUSTES DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

A interface entre o circuito de controle microcontrolador e o inversor de frequência é feita através as entradas programáveis S1, S2, S3, S4, S5 e S7 (figura 64), utilizando o modo de *SINK*, 0V comum e utilizando a fonte 24V interna do *driver*. conforme figura 64:



**Figura 64 - Entradas digitais no inversor**  
Fonte: Yaskawa (2011).

Através da lista de parâmetros H, são atribuídas funções a cada entrada digital multifuncional, conforme quadro 1.

A entrada digital S1 foi configurada para operação de avanço e S2 na operação de recuo. As entradas digitais S5 e S6, são utilizadas para o set de frequência, pré-definido nos parâmetros, conforme quadro 2, da lista de parâmetros.

Parâmetros	Descrição	Def	Função
H1-01	Seleção de função S1, entrada digital	40	Operação avanço
H1-02	Seleção de função S2, entrada digital	41	Operação Reverso
H1-03	Seleção de função S3, entrada digital	F	Não utilizada
H1-04	Seleção de função S4, entrada digital	F	Não utilizada
H1-05	Seleção de função S5, entrada digital	3	Referência 1
H1-06	Seleção de função S6, entrada digital	4	Referência 2
H1-07	Seleção de função S7, entrada digital	F	Não utilizada

**Quadro 1 - Parametrização das entradas digitais**

Fonte: Autoria própria.

### 7.6.1. AUTO AJUSTE DO MOTOR

O auto ajuste determina automaticamente as características elétricas do motor. Efetuado o procedimento de auto ajuste rotacional para controle V/f, inserido os parâmetros do motor, conforme quadro 4, para execução do auto ajuste.

T1-01	Seleção do modo Auto Ajuste	Modo 3
T1-02	Potência nominal do motor	0,75kW
T1-03	Tensão nominal do motor	220V
T1-04	Corrente nominal do motor	2,80 A
T1-05	Frequência nominal do motor	60 Hz
T1-06	Número de pólos	2
T1-07	Velocidade nominal do motor	3500 rpm

**Quadro 2 - Parâmetros para auto-ajuste do motor**

Fonte: Autoria própria.

Efetuada o procedimento de auto ajuste rotacional, conforme manual do inversor, obtido os seguintes parâmetros, que estão descritos nos parâmetros E, conforme quadro 4.



E2-01	Corrente nominal do motor	2,80 A
E2-02	Escorregamento nominal do motor	1,90 Hz
E2-03	Corrente do motor sem carga	1,56 A
E2-04	Números de pólo do motor	2 Pólos
E2-05	Resistência do motor	5,49 ohms
E2-06	Indutância de fuga do motor	13,8
E2-10	Perda no entre ferro do motor	26 W
E2-11	Potência nominal do motor	0,75kW

**Quadro 3 - Parâmetros do motor**

**Fonte: Autoria própria.**

### 7.6.2. LISTA DE PARÂMETROS CONFIGURADOS PARA APLICAÇÃO:

O quadro 5 descreve os demais parâmetros configurados para a aplicação.

A1-02	Seleção do método de controle	0- controle V/f
B1-01	Seleção da referência de freqüência	0- Operador digital
B1-02	Seleção do comando de operação	1- Entradas digitais s1-s7
B1-04	Seleção de operação reversa	0- Reversão habilitada
C1-01	Tempo de aceleração	1s
C1-02	Tempo de desaceleração	1s
D1-02	Referência de freqüência 1	5 Hz
D1-03	Referência de freqüência 2	15 Hz
E1-04	Freqüência máxima de saída	60 Hz
E1-05	Tensão máxima de saída	220V

**Quadro 4 - Outros parâmetros de configuração**

**Fonte: Autoria própria.**

## 8. RESULTADOS

Com base nas informações coletadas através do painel de simulação, e com auxílio da ferramenta de análise oferecida através de opção no Inversor Yaskawa e dados obtidos através de amostragem em ambiente prático de utilização de escadas rolantes, obtiveram-se os seguintes resultados, conforme quadro 5:

DADOS DA ESCADA	
POTÊNCIA DO MOTOR (W)	7500
RENDIMENTO DO MOTOR (%)	90,00%
FATOR DE POTÊNCIA	85,00%
TENSÃO DE LINHA (V)	220
TEMPO DE ACIONAMENTO (min)	2,00
PERÍODO (h)	12,00
POTÊNCIA ATIVA (W)	8333,33
POTÊNCIA APARENTE (VA)	9803,92
CORRENTE NOMINAL (A)	25,72937636

Quadro 5 - Dados da escada rolante

Fonte: Autoria própria.

Cálculos:

- Potência Ativa:

$$P_a = \frac{P_m}{R_m}$$

Onde:

Pa = Potência ativa

Pm = Potência Motor

Rm = Rendimento motor

$$P_a = \frac{7500}{90\%} = 8333,33KVA$$

- Potência aparente:

$$S = \frac{P_a}{FP}$$

Onde:

S = Potência aparente

Pa = Potência Ativa

FP = Fator de potência

$$S = \frac{8333,33}{85\%} = 9803,92$$

- Potência de partida:

$$P_p = \frac{S \times T_p \times 2}{60 \times 1000} = \frac{9803,92 \times 250 \times 2}{60 \times 1000} = 81,699 KVA$$

Logo se a escada ficar 1min parada e 3 funcionando:

- Número de partidas:

$$N_p = \frac{T_o}{T_p + T_a}$$

Onde:

Np = Numero de partidas no período

To = Período de operação

Tp = Período parada

Ta = Período ativa

$$N_p = \frac{12 \times 60}{1 + 2} = 240$$

- Tempo de escada funcionando no período é:

$$T_f = T_o - (N_p \times T_p)$$

Onde:

Tf = Tempo de escada funcionando

$$T_f = (12 \times 60) - (240 \times 1) = 480 \text{ min}$$

- Consumo sem o controle intermitente:

$$C = T_o \times S = 12 \times 9803,92 = \frac{117650VA}{1000} = 117,65kVA$$

- Consumo com controle intermitente é:

$$C_f = (T_f \times S)$$

$$C_f = \left(\frac{480}{60} \times 9803,92\right) = \frac{78431,36}{1000} = 78,43 \text{ kVAh}$$

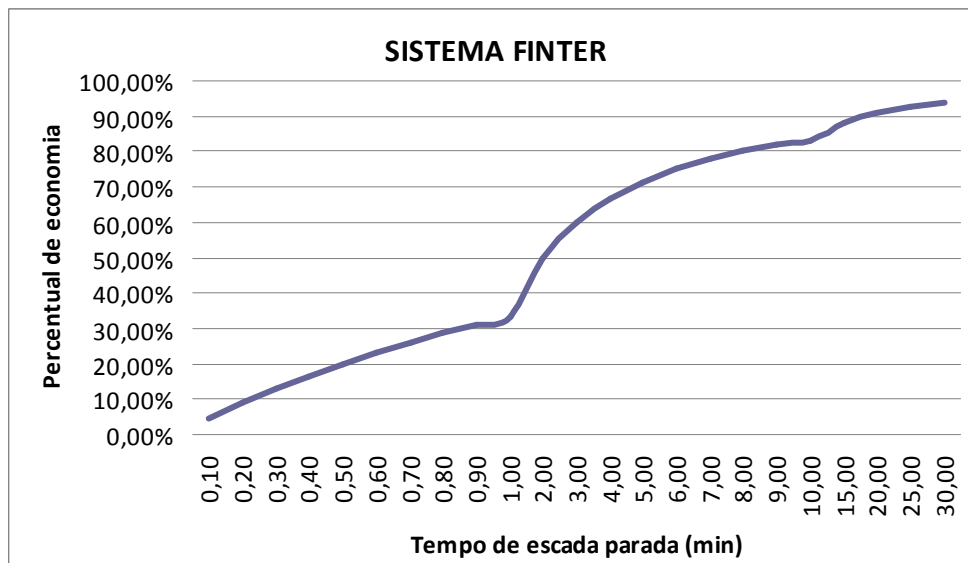
- Percentual de economia na condição de parada a cada 1 min:

$$E = \frac{C - C_f}{C} = \frac{117,65 - 78,43}{117,65} = 33,33\%$$

TEMPO DE ESCADA PARADA POR PARTIDA (min)	NUMERO DE PARTIDAS	TEMPO DE ESCADA FUNCIONANDO (min)	CONSUMO NO PERÍODO (kVAh)	CONSUMO COM FINTER (kVAh)	ECONOMIA
0,10	343	685,71	117,65	112,04	4,76%
0,20	327	654,55	117,65	106,95	9,09%
0,30	313	626,09	117,65	102,30	13,04%
0,40	300	600,00	117,65	98,04	16,67%
0,50	288	576,00	117,65	94,12	20,00%
0,60	277	553,85	117,65	90,50	23,08%
0,70	267	533,33	117,65	87,15	25,93%
0,80	257	514,29	117,65	84,03	28,57%
0,90	248	496,55	117,65	81,14	31,03%
1,00	240	480,00	117,65	78,43	33,33%
2,00	180	360,00	117,65	58,82	50,00%
3,00	144	288,00	117,65	47,06	60,00%
4,00	120	240,00	117,65	39,22	66,67%
5,00	103	205,71	117,65	33,61	71,43%
6,00	90	180,00	117,65	29,41	75,00%
7,00	80	160,00	117,65	26,14	77,78%
8,00	72	144,00	117,65	23,53	80,00%
9,00	65	130,91	117,65	21,39	81,82%
10,00	60	120,00	117,65	19,61	83,33%
15,00	42	84,71	117,65	13,84	88,24%
20,00	33	65,45	117,65	10,70	90,91%
25,00	27	53,33	117,65	8,71	92,59%
30,00	23	45,00	117,65	7,35	93,75%

Quadro 6 - Exemplo com outros valores de parada

Fonte: Autoria própria.



**Figura 65 - Gráfico economia x tempo de escada parada**  
**Fonte: Autoria própria.**

De acordo com os dados obtidos (quadro 6 e gráfico da figura 65), conclui-se que o sistema gera economia em todas as situações de parada existente. De acordo com valores obtidos na prática, o tempo médio de escada parada parte de 6 segundos (neste caso a economia é de 4,76%). Como o sistema utiliza um inversor de frequência, o consumo decorrente das partidas executadas no período é descartado para contabilização, não interferindo na contabilização dos dados finais de economia.

Considerando a situação acima para paradas de 1 min. em períodos de 12h, a economia em kWh durante 30 dias será de 1176,6 kWh/mês:

$$(117,65-78,43) \times 30 = 1176,6 \text{ kWh/mês}$$

Comercialmente, o investimento (quadro 7) do sistema FINTER de acordo com valores médios de utilização (variáveis de 6 segundos a 1 minuto de paradas a cada 2 minutos em média) terá 20,5% de economia, expressos em 725Kw por Mês.

Como exemplo de aplicação, a tarifação comercial para energia elétrica em um shopping da capital São Paulo é de R\$1,30 por kW, expressos por R\$942,00 de economia por mês. Conforme quadro abaixo, o custo do sistema FINTER instalado seria de R\$4.792,95, investimento que seria pago em aproximadamente 6 meses de utilização.

## Custos do sistema FINTER:

Inversor Yaskawa CIMR-VU2A0056F	R\$ 2.376,02
Sensores Balluff BOS-18M-PS-1RB-BOC-3	R\$ 364,28
Contatora Metaltex CNU-40	R\$ 138,00
Contatora Metaltex CN-6	R\$ 27,00
Fonte de alimentação Maiwa	R\$ 24,00
Sinalização	R\$ 60,00
Placa de controle	R\$ 76,00
Disjuntor Metaltex DM2-40	R\$ 32,00
Disjuntor Metaltex DM1-1	R\$ 18,00
Miscelâneas Apox.	R\$ 80,00
Custo total	R\$ 3.195,30
Valor aproximado para venda	R\$ 4.792,95

Quadro 7 - Custos do sistema FINTER

Fonte: Autoria própria.

Em relação a modelos de controle similares no mercado nacional, podemos destacar dois fabricantes:

- Modelo novo, com controle intermitente do fabricante OTIS:
  - Requer substituição da escada antiga;
  - Requer análise para descarte do modelo usado;
  - Controle eletrônico de fabricante chinês, o que dificulta a o serviço de pós-vendas;
  - Valor de venda: R\$250.000,00.
- Modelo para modernização do fabricante Infolev:
  - Não requer substituição do modelo antigo;
  - Valor de venda: R\$8.000,00

Observa-se que o sistema FINTER chega comercialmente ao valor de venda cerca de 40% mais baixo que o concorrente nacional.

## 9. CONCLUSÃO

Após a finalização da lista de materiais necessários para confecção do protótipo, observou-se a dificuldade para obtenção de alguns dispositivos. O inversor de frequência apresentou certa dificuldade para obtenção, visto o valor mais elevado em relação aos outros dispositivos. A opção neste caso em específico foi a busca por parcerias junto aos fabricantes e a universidade para doação de um modelo para uso didático. Dentre os fabricantes contatados, a empresa Yaskawa se propôs em um curto prazo ao fornecimento de um modelo para a universidade, item que foi utilizado no projeto.

Outra alternativa adotada para a disponibilização de material foi a aquisição das placas de circuito impresso utilizadas no projeto. Por se tratar de um circuito que envolve o controle indireto de um sistema de potência, o dispositivo deve ser controlado com precisão (escada rolante), por este motivo a qualidade da placa de circuito torna-se fator importante para o correto funcionamento e integridade do sistema. De acordo com os critérios de qualidade e testes previamente realizados com diversos fornecedores nacionais, foi optada por importação deste material diretamente de um fornecedor de fora do país (PCB Core, Hangzhou – China), distribuidor de placas de circuito impresso que atende todos os países e com prazos de entrega para o mercado sul-americano em até duas semanas a partir da data de envio do pedido do material.

O desenvolvimento do *firmware* ocorreu de forma concomitante implementação às etapas de implementação mecânica e aquisição dos materiais. Algumas alterações no sistema de controle de acordo com as características dos materiais adquiridos levaram a adequação de rotinas específicas, principalmente no que se refere ao controle do inversor de frequência, que possui características para acionamento de acordo com cada modelo.

Em relação ao motor, por se tratar de um modelo de funcionamento rápido, a aplicação do freio eletromecânico exigiu um cuidado específico. De acordo com testes de funcionamento realizados após a implementação inicial do *firmware*, constatou-se a necessidade de realizar a desaceleração do motor através de parâmetros do inversor de frequência, e somente após esta diminuição de rotação efetivamente realizar a atuação do freio eletromecânico. Sem este recurso de desaceleração do inversor de frequência, a atuação abrupta do freio reduziria em

80% a vida útil deste dispositivo, inviabilizando a implementação deste recurso no protótipo.

Após definição dos dispositivos e construção mecânica, ajustes no *firmware* foram realizados, convergindo para um algoritmo que provê o menor gasto energético possível, intuito principal do FINTER. Este escopo foi atingido, como pode ser observado nos cálculos obtidos e comparando-os com sistemas normais de funcionamento de escadas rolantes existentes no mercado. O custo reduzido em relação a sistemas similares de controle disponibilizados no mercado já torna o projeto viável para implementação, e agregando os fatores de redução de consumo energético em períodos de ociosidade mais tempo reduzido para reposição do investimento tornam o sistema de modernização de controle e funcionamento intermitente de escadas rolantes atraente para o mercado a que se propõe, principalmente com os aspectos sustentáveis de consumo energético sendo cada vez mais relevantes.



## REFERÊNCIAS

BALLUFF. **Sensoriamento**. Disponível em: <<http://www.balluff.com.br/>>. Acesso em: 14 out. 2011.

BERTOIGNA, Eduardo. **APOSTILA AVR**. Curitiba: UTFPR, 2008.

CARVALHO, Geraldo. Comparativo AVR e PIC. **Revista Saber Eletrônica**, 2006. ano 42, nº 398, p.42-45, São Paulo, 2006.

DENARDIN, Gustavo Weber. **Apostila Microcontroladores**. Curitiba: UTFPR, 2008.

FAATESP. **Inversores de Frequência**. Disponível em: <<http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/inversor1.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2011.

IMAY, M. C.; MOECKEL, A.; KARDUSH, I. A. Otimização do roteamento de placas de circuito impresso em função de regras de compatibilidade eletromagnética. In: VII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO CEFET-PR. 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2002. p.73-76.

MARIN, Gustavo W. **Apostila\_microcontroladores. 2008**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2008. Disponível em: <[http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/apostila\\_micro.pdf](http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/apostila_micro.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2011.

MOHAN, Ned. UNDELAND, Tore M. ROBBINS, William P. **Power Electronics Converters, Applications and Design**. Canada:John Wiley & Sons, 1989.

OTIS ELEVATORS. **Documentation about Escalators**. Disponível em: <[http://www.otis.com/site/br/OT\\_DL\\_Documents/OT\\_DL\\_SiteDocuments/Bb4\\_About Escalators.pdf](http://www.otis.com/site/br/OT_DL_Documents/OT_DL_SiteDocuments/Bb4_About Escalators.pdf)>. Acesso em: 14 ou. 2011.

PALPITE DIGITAL. **Por que utilizar microcontroladores.** Disponível em: <<http://www.palpitedigital.com.br>>. Acesso em: 04 mar. 2011.

PENELLO, Luiz Fernando. **Filtro Ativo de Potência “Shunt”.** 1992. 122f. Tese de Mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro:1992.

RASHID, Muhammad Harunur. **Power Electronics** – Circuits, devices and applications. 2ª ed.. New Jersey: Prentice Hall, 1993.

SCHIEFLER JR, NIVALDO T. **Microcontroladores.** 2011. 51 f. Instituto Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <[http://www.joinville.ifsc.edu.br/~nivaldo/Microcontroladores/Aulas/Introducao\\_ao\\_PIC.pdf](http://www.joinville.ifsc.edu.br/~nivaldo/Microcontroladores/Aulas/Introducao_ao_PIC.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2011.

SCHILDT, Hebert. **C completo e total.** 3. ed. São Paulo: Pearson, 1997.

SOUZA, David José. **Desbravando o PIC** - Ampliado e Atualizado para PIC 16F628A. São Paulo: Erica, 2011.

UFSC. **Técnicas de sensoriamento.** Disponível em: <<http://s2i.das.ufsc.br/tikiwiki/apresentacoes/tecnicas-sensoreamento.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2011.

UFRN. **Treinamentos de Instrumentação.** Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~acari/Sistemas/>>. Acesso em: 14 out. 2011.

VIEIRA, Juliano Mourão. **Apostila de técnicas de programação.** Curitiba: UTFPR, 2001.

WEG ELETRIC CORP. **Motores Elétricos.** Disponível em: <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-motores-eletricos-baixa-tensao-mercado-brasil-050-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2011.

WIKIPÉDIA, A ENCICLOPÉDIA LIVRE. **Escadas Rolantes**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em: 03 mar. 2011.

YASKAWA ELETRONICS. **Inversores de Frequência**. Disponível em: <<http://www.yaskawa.com.br/>>. Acesso em: 13 out. 2011.

## APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR YASKAWA V1000

Item		Especificação			
Trifásico: CIMR-V□2A		0030	0040	0056	0069
Monofásico: CIMR-V□BA <▶>		-	-	-	-
Tamanho máximo permitido de motor (kW) <▶>	Classificação ND	7.5	11.0	15.0	18.5
	Classificação HD	5.5	7.5	11.0	15.0

Item			Especificação							
Trifásico: CIMR-V□2A			0001	0002	0004	0006	0010	0012	0020	
Monofásico: CIMR-V□BA <▶>			0001	0002	0003	0006	0010	0012	-	
Tamanho máximo permitido de motor (kW) <▶>	Classificação ND		0.2	0.4	0.75	1.1	2.2	3.0	5.5	
	Classificação HD		0.1	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7(4.0)	
Entrada	Corrente de entrada (A) <▶>	Trifásico	Classificação ND	1.1	1.9	3.9	7.3	10.8	13.9	24.0
			Classificação HD	0.7	1.5	2.9	5.8	7.5	11.0	18.9
		Monofásico	Classificação ND	2.0	3.6	7.3	13.8	20.2	24.0	-
			Classificação HD	1.4	2.8	5.5	11.0	14.1	20.6	-
Saída	Capacidade nominal de saída (kVA) <▶>	Classificação ND	0.5	0.7	1.3	2.3	3.7	4.6	7.5	
		Classificação HD	0.3	0.6	1.1	1.9	3.0	4.2	6.7	
	Corrente de saída (A)	ND Rating <▶>	1.2	1.9	3.5(3.3)	6.0	9.6	12.0	19.6	
		Classificação HD	0.8 <▶>	1.6 <▶>	3.0 <▶>	5.0 <▶>	8.0 <▶>	11.0 <▶>	17.5 <▶>	
Tolerância à sobrecarga		Classificação ND: 120% da corrente nominal de saída para 1 minuto Classificação HD 150% da corrente nominal de saída para 1 minuto (Uma redução da capacidade pode ser necessária para aplicações que partem e param frequentemente)								
Frequência portadora		2 kHz (definido pelo usuário, 2 a 15 kHz)								
Tensão máxima de saída (V)		Potência trifásica: 200 a 240 V trifásico (proporcional à tensão de entrada) Potência monofásica: 200 a 240 V trifásico (proporcional à tensão de entrada)								
Frequência máxima de saída (Hz)		400 Hz (ajustável pelo usuário)								
Power Supply	Tensão nominal Frequência nominal		Potência trifásica: 200 a 240 V 50/60 Hz trifásica Potência monofásica: 200 a 240 V 50/60 Hz							
	Flutuação de tensão permitida		-15 a 10%							
	Flutuação de frequência permitida		±5%							
Contra-medidas harmônicas		Reator CC Opcional								
Geração de calor (W)	Trifásico	Classificação ND	13.0	17.1	29.4	44.7	77.5	91.7	145.0	
		Classificação HD	11.6	16.7	27.6	43.3	78.6	100.7	153.8	
	Monofásico	Classificação ND	13.5	17.3	29.0	49.5	81.5	98.4	-	
		Classificação HD	11.7	16.8	27.6	50.5	80.7	104.8	161.9	

Item				Especificação			
Trifásico: CIMR-V□2A				0030	0040	0056	0069
Monofásico: CIMR-V□BA <?>				-	-	-	-
Entrada	Corrente de entrada (A) <?>	Trifásico	Classificação ND	34.7	50.9	69.4	85.6
			Classificação HD	26.0	35.4	51.9	70.8
		Monofásico	Classificação ND	-	-	-	-
			Classificação HD	-	-	-	-
Saída	Capacidade nominal de saída (kVA) <?>	Classificação ND	11.4	15.2	21.3	26.3	
		Classificação HD	9.5	12.6	17.9	22.9	
	Corrente de saída (A)	Classificação ND <?>	30.0	40.0	56.0	69.0	
		Classificação HD	25.0 <?>	33.0 <?>	47.0 <?>	60.0 <?>	
	Tolerância à sobrecarga		Classificação ND 120% da corrente nominal de saída para 1 minuto Classificação HD 150% da corrente nominal de saída para 1 minuto (Uma redução da capacidade pode ser necessária para aplicações que partem e param frequentemente)				
	Frequência portadora		2 kHz (definido pelo usuário, 2 a 15 kHz)				
	Tensão máxima de saída (V)		Potência trifásica: 200 a 240 V trifásico (proporcional à tensão de entrada) Potência monofásica: 200 a 240 V trifásico (proporcional à tensão de entrada)				
	Frequência máxima de saída (Hz)		400 Hz (ajustável pelo usuário)				
Fonte de alimentação	Tensão nominal Frequência nominal		Potência trifásica: 200 a 240 V 50/60 Hz trifásica Potência monofásica: 200 a 240 V 50/60 Hz				
	Flutuação de tensão permitida		-15 a 10%				
	Flutuação de frequência permitida		±5%				
Contra-medidas harmônicas		Reator CC		Opcional			
Geração de calor (W)	Trifásico	Classificação ND	-	-	-	-	
		Classificação HD	335.3	379.5	509.7	646.2	
	Monofásico	Classificação ND	303.7	321.3	465.2	589.1	
		Classificação HD	-	-	-	-	

Item	Especificação
Características de controle	<b>Método de controle</b> Os seguintes métodos de controle estão disponíveis: Controle do vetor de malha aberta (vetor de corrente), controle V/f e vetor de malha aberta PM (para utilização com SPM e IPM)
	<b>Faixa de controle de frequência</b> 0.01 a 400 Hz
	<b>Precisão de frequência</b> Entrada digital: dentro de $\pm 0.01\%$ da frequência máxima de saída ( $-10$ to $+50$ °C) Entrada analógica dentro de $\pm 0.5\%$ da frequência máxima de saída ( $25^{\circ}\text{C} \pm 10$ °C)
	<b>Resolução de ajuste de frequência</b> Entradas digitais: 0.01 Hz Entradas analógicas: 1/1000 da frequência máxima de saída
	<b>Resolução de frequência de saída</b> 1/220 da frequência máxima de saída
	<b>Sinal de ajuste de frequência</b> Referência da frequência principal: 0 a +10 Vdc (20 k $\Omega$ ), 4 a 20 mA (250 $\Omega$ ), 0 a 20 mA (250 $\Omega$ ) Referência da rotação principal: Entrada do trem de pulso (máx 33 kHz)
	<b>Torque de partida</b> 200%/0.5 Hz (controle do vetor de malha aberta, classificação HD, IM de 3.7 kW ou menor), 50%/6 Hz (controle do vetor de malha aberta PM)
	<b>Faixa de controle de velocidade</b> 1:100 (Abrir o controle do vetor de malha aberta), 1:40 (Controle V/f), 1:10 (Controle do vetor de malha aberta PM)
	<b>Precisão do controle de velocidade</b> 0,2% no controle do vetor de malha aberta $\leftarrow$
	<b>Resposta de rotação</b> 5 Hz ( $20$ °C $\pm 10$ °C) no controle do vetor de malha aberta (exclui a variação de temperatura quando executar auto-ajuste da rotação)
	<b>Limite de torque</b> Somente controle do vetor de malha aberta. Ajustável em 4 quadrantes.
	<b>Tempo de acel/desacel</b> 0,00 a 6000,0 s (permite quatro ajustes separados para aceleração e desaceleração)
	<b>Torque de frenagem</b> Torque de desaceleração média instantânea $\leftarrow$ : 0,1/0,2 kW: acima de 150%, 0,4/0,75 kW: acima de 100%, 1,5 kW: acima de 50%, 2,2 kW e acima: acima de 20% Torque regenerativo contínuo: 20%, 125% com uma unidade de resistor de frenagem $\leftarrow$ : (10% ED) 10 s com um resistor interno de frenagem.
	<b>Características V/f</b> Predefina os padrões V/f e programa ajustável pelo usuário disponível.
<b>Funções do drive</b> Tempo de permanência funcional com perda de potência momentânea, procura de rotação, detecção de sobretorque, limite de torque, rotação com multi-passos (máx de 17 passos), interruptor de tempo de acel/desacel, acel/desal da curva S, sequência de 3 cabos, auto-ajuste de rotação, auto-ajuste estacionário de resistência linha a linha, permanência, ON/OFF do ventilador de resfriamento, compensação de escorregamento, compensação de torque, salto de frequência, limite superior/inferior da referência de frequência, frenagem de injeção CC (partida e parada), frenagem de alto escorregamento, controle PID (com função de escorregamento), economia de energia, MEMOBUS (RS-485/422 Máx 115.2 kbps), reset de falha, cópia de parâmetro.	

## APÊNDICE B – ROTINA DE *FIRMWARE* DA PLACA DE CONTROLE

---hardware.c-----

```
#include <avr/io.h>
#include "hardware.h"

void INIT_ports (void)
{
    LEADS_CONFIG();
    LED_APS(0);
    LED_APD(0);
    LED_EMOK(0);
    LED_APSS(0);
    LED_APSI(0);
    LED_DPEM1(0);
    LED_DPEM2(0);
    RELE_CONFIG();
    RELE_CP(0);
    RELE_CF(1);
    EM_CONFIG();
    EM1_CONFIG();
    EM2_CONFIG();
    CHP_CONFIG();
    CHPD_CONFIG();
    CHPS_CONFIG();
    SM_CONFIG();
    SMS_CONFIG();
    SMI_CONFIG();
    DSP_CONFIG();
}
```

---hardware.h-----

```
#ifndef __hardware_H__
#define __hardware_H__
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <inttypes.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/wdt.h>
#define LEADS_CONFIG()      DDRD |= (1 << PD0) | (1 << PD1) | (1 << PD2) | (1 << PD3) | (1 << PD4) | (1 << PD5) | (1 << PD6)
#define DSP_CONFIG()       DDRB |= (1 << PB0) | (1 << PB1) | (1 << PB2) | (1 << PB3)
#define RELE_CONFIG()      DDRC |= (1 << PC5) | (1 << PC6)
#define EM_CONFIG()        DDRA &= ~(1 << PA0) | ~(1 << PA1)
#define CHP_CONFIG()       DDRA &= ~(1 << PA2) | ~(1 << PA3)
#define SM_CONFIG()        DDRA &= ~(1 << PA4) | ~(1 << PA5)
#define EM1_CONFIG()       PORTA |= (1 << PA0)
```

```

#define EM2_CONFIG()          PORTA |= (1 << PA1)
#define CHPD_CONFIG()        PORTA |= (1 << PA3)
#define CHPS_CONFIG()        PORTA |= (1 << PA2)
#define SMS_CONFIG()          PORTA |= (1 << PA4)
#define SMI_CONFIG()          PORTA |= (1 << PA5)
#define LED_APS(x)            ((x) ? (PORTD &= ~(1 << PD0)) : (PORTD |= (1 <<
PD0)));
#define LED_APD(x)            ((x) ? (PORTD &= ~(1 << PD1)) : (PORTD |= (1 <<
PD1)));
#define LED_EMOK(x)           ((x) ? (PORTD &= ~(1 << PD2)) : (PORTD |= (1 <<
PD2)));
#define LED_APSS(x)           ((x) ? (PORTD &= ~(1 << PD3)) : (PORTD |= (1 <<
PD3)));
#define LED_APSI(x)           ((x) ? (PORTD &= ~(1 << PD4)) : (PORTD |= (1 <<
PD4)));
#define LED_DPEM1(x)          ((x) ? (PORTD &= ~(1 << PD5)) : (PORTD |= (1 <<
PD5)));
#define LED_DPEM2(x)          ((x) ? (PORTD &= ~(1 << PD6)) : (PORTD |= (1 <<
PD6)));
#define RELE_CP(x)            ((x) ? (PORTC |= (1 << PC6)) : (PORTC &= ~(1 <<
PC6)));
#define RELE_CF(x)            ((x) ? (PORTC |= (1 << PC5)) : (PORTC &= ~(1 <<
PC5)));

#define EM1                    bit_is_clear(PINA, 0)
#define EM2                    bit_is_clear(PINA, 1)
#define CHPD                   bit_is_clear(PINA, 3)
#define CHPS                   bit_is_clear(PINA, 2)
#define SMS                    bit_is_clear(PINA, 4)
#define SMI                    bit_is_clear(PINA, 5)

```

```
void INIT_ports (void);
```

```
#endif
```

```
---timer.c-----
```

```

#include <avr/interrupt.h>
#include <inttypes.h>
#include <avr/iom16.h>
#include <avr/wdt.h>
#include "hardware.h"
#include "timer.h"

```

```

unsigned int contador = 0;
extern volatile unsigned int Tempo_de_Funcionamento;

```

```

/*****/
void INIT_timer (void)

```



```

{
    //TCCR0 = (1 << CS00) | (1 << CS02);
    TCCR0 = (1 << CS01);
    TIMSK = (1 << TOIE0);
}
/*****/
SIGNAL ( SIG_OVERFLOW0 )
{
    if (contador >= 4000) //1S
    {
        if (Tempo_de_Funcionamento != 0)
        {
            Tempo_de_Funcionamento--;
        }
        contador = 0;
        PORTB ^= (1 << PB0);
    }
    contador++;
}
/*****/

```

---timer.h-----

```

#ifndef __timer_H__
#define __timer_H__

#define TCOUNT      0xB0 //10mS @ 8MHz W 1024 prescaler
#define TCOUNT      0x07 //50mS @ 14.7456MHz W 1024 prescaler
//b7
void INIT_timer (void);
char GET_valor (void);
char GET_valor2 (void);
void SET_rele (unsigned char tmp);
void SET_picto (unsigned char picto);
void wait (unsigned int tempo);

#endif

```

---main.c-----

```

#include <avr/io.h>
#include <avr/wdt.h>
#include "hardware.h"
#include "timer.h"

```

```

#define EM_OK    (EM1 && EM2)

#define Tempo_em_baixa 10
#define Tempo_em_alta  20

volatile unsigned int Tempo_de_Funcionamento = 0;
void SET_DRIVER(unsigned char sentido);

int main ()
{

    unsigned char APD_Flag = 0;
    unsigned char APS_Flag = 0;

    INIT_ports();
    INIT_timer();
    sei();

    while(1)
    {

////////// EM OK //////////
        if(EM_OK)
        {
            LED_EMOK(1);
        }
        else
        {
            LED_EMOK(0);
        }

////////// ARMAR //////////
        if(CHPD && EM_OK)
        {
            APD_Flag = 1;
            APS_Flag = 0;
            LED_APD(1);
            LED_DPEM1(0);
            LED_DPEM2(0);
        }

        if(CHPS && EM_OK)
        {
            APD_Flag = 0;
            APS_Flag = 1;
            LED_APS(1);
            LED_DPEM1(0);
            LED_DPEM2(0);
        }
    }
}

```

```

    }
    //////////// DESARME POR EM1 ////////////
    if(!EM1 && (APD_Flag || APS_Flag))
    {
        APD_Flag = 0;
        APS_Flag = 0;
        LED_DPEM1(1);
        LED_APD(0);
        LED_APS(0);
        RELE_CF(1);
        RELE_CP(0);
        Tempo_de_Funcionamento = 0;
    }

    //////////// DESARME POR EM2 ////////////
    if(!EM2 && (APD_Flag || APS_Flag))
    {
        APD_Flag = 0;
        APS_Flag = 0;
        LED_DPEM2(1);
        LED_APD(0);
        LED_APS(0);
        RELE_CF(1);
        RELE_CP(0);
        Tempo_de_Funcionamento = 0;
    }

    //////////// SMI ////////////
    if(SMI && APD_Flag)//descer em baixa
    {
        RELE_CF(0);
        RELE_CP(1);
        SET_DRIVER(3);
        LED_APSI(1);
        Tempo_de_Funcionamento = Tempo_em_baixa+1;
    }
    if(SMI && APS_Flag)//subir em alta
    {
        RELE_CF(0);
        RELE_CP(1);
        SET_DRIVER(2);
        LED_APSI(1);
        Tempo_de_Funcionamento = Tempo_em_alta+1;
    }

    //////////// SMS ////////////
    if(SMS && APD_Flag)//descer em alta
    {
        RELE_CF(0);
        RELE_CP(1);
        SET_DRIVER(4);
    }

```

```

        LED_APSS(1);
        Tempo_de_Funcionamento = Tempo_em_alta+1;
    }
    if(SMS && APS_Flag)//subir em baixa
    {
        RELE_CF(0);
        RELE_CP(1);
        SET_DRIVER(1);
        LED_APSS(1);
        Tempo_de_Funcionamento = Tempo_em_baixa+1;
    }
    //////////// STOP ////////////
    if(Tempo_de_Funcionamento == 0)
    {
        RELE_CF(1);
        RELE_CP(0);
        SET_DRIVER(0);
        LED_APSI(0);
        LED_APSS(0);
    }
}
return 0;
}

/*****/

void SET_DRIVER(unsigned char sentido)
{
    switch(sentido)
    {
        case 0: break; //parado
        case 1: break; //subir em baixa
        case 2: break; //subir em alta
        case 3: break; //descer em baixa
        case 4: break; //descer em alta
        default: break;
    }
}

```

## APÊNDICE C – ROTINA DE *FIRMWARE* DA PLACA DE SINALIZAÇÃO

```

#include "hardware.h"
/*****/
unsigned char flag_up = 0;
unsigned char flag_down = 0;
unsigned char flag_x = 0;

int main ()

{
    //unsigned char count = 0;
    //_wdt_write(WDTO_1S);
    INIT_ports ();
    INIT_timer ();
    init_USART ();
    wdt_enable(WDTO_1S);
//    INIT_spi ();
    sei ();
    //put_IMAGE (1);
    PORTB = 0xFF;
    PORTC = 0xFF;
    while (1)
    {
/*        while (bit_is_clear(PIND, 2) && bit_is_set(PIND, 3) && bit_is_set(PIND,
6) && bit_is_set(PIND, 7))
            {
                //put_SETA_up ();
                put_SETA_up_orange ();
                wdt_reset();
            }
        while (bit_is_clear(PIND, 3) && bit_is_set(PIND, 2) && bit_is_set(PIND,
6) && bit_is_set(PIND, 7))
            {
                put_SETA_down ();
                // put_SETA_up_orange ();
                wdt_reset();
            }
        while (bit_is_clear(PIND, 3) && bit_is_clear(PIND, 2) &&
bit_is_set(PIND, 6) && bit_is_set(PIND, 7))
            {
                put_X ();
                wdt_reset();
            }
*/
        if(bit_is_clear(PIND, 2) && bit_is_set(PIND, 3) && flag_up != 1)
            {
                _delay_ms(100);
                _delay_ms(100);
            }
    }
}

```

```

    if(bit_is_clear(PIND, 2) && bit_is_set(PIND, 3))
    {
        flag_up = 1;
        flag_down = 0;
        flag_x = 0;
    }
}
if(bit_is_clear(PIND, 3) && bit_is_set(PIND, 2) && flag_down != 1)
{
    _delay_ms(100);
    _delay_ms(100);
    if(bit_is_clear(PIND, 3) && bit_is_set(PIND, 2))
    {
        flag_up = 0;
        flag_down = 1;
        flag_x = 0;
    }
}
if(bit_is_clear(PIND, 3) && bit_is_clear(PIND, 2) && flag_x != 1)
{
    _delay_ms(100);
    _delay_ms(100);
    if(bit_is_clear(PIND, 3) && bit_is_clear(PIND, 2))
    {
        flag_up = 0;
        flag_down = 0;
        flag_x = 1;
    }
}

if(flag_up)
{
    put_SETA_up_orange ();
}

if(flag_down)
{
    put_SETA_down ();
}

if(flag_x)
{
    put_X();
}

while (bit_is_clear(PIND, 6))
{
    put_testeG ();
    wdt_reset();
}

```

```
    }  
    while (bit_is_clear(PIND, 7))  
    {  
        put_testeR ();  
        wdt_reset();  
    }  
    wdt_reset();  
    PORTB = 0xFF;  
    PORTC = 0xFF;  
}  
return 0;  
}
```