

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

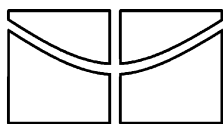
**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE
ÍNDICES DE CONTINUIDADE, NOS ASPECTOS DE
DURAÇÃO E FREQUÊNCIA, NA REDE ELÉTRICA DE
BAIXA TENSÃO.
(ETAPA DE IMPLEMENTAÇÃO)**

**MAURÍCIO TUTIDA IRYODA
PASCHOAL GUIDO JÚNIOR**

ORIENTADOR: MAURO MOURA SEVERINO

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO

BRASÍLIA / DF: JULHO/2005



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE
ÍNDICES DE CONTINUIDADE, NOS ASPECTOS DE
DURAÇÃO E FREQUÊNCIA, NA REDE ELÉTRICA DE
BAIXA TENSÃO.
(ETAPA DE IMPLEMENTAÇÃO)**

**MAURÍCIO TUTIDA IRYODA
PASCHOAL GUIDO JÚNIOR**

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO.

APROVADO POR:

**MAURO MOURA SEVERINO, Mestre, UnB
(ORIENTADOR)**

**RICARDO ZELENOVSKY, Docteur, UnB
(EXAMINADOR)**

**GEOVANY ARAÚJO BORGES, Docteur, UnB
(EXAMINADOR)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 6 DE JULHO DE 2005

FICHA CATALOGRÁFICA

IRYODA, MAURÍCIO TUTIDA

Estudo e Desenvolvimento de um Medidor de Continuidade, nos Aspectos de Duração e Frequência, na Rede Elétrica de Baixa Tensão (Etapa de Implementação) [Distrito Federal] 2005.
(ENE/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Elétrica, 2005).

Projeto Final de Graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

JÚNIOR, PASCHOAL GUIDO

Estudo e Desenvolvimento de um Medidor de Continuidade, nos Aspectos de Duração e Frequência, na Rede Elétrica de Baixa Tensão (Etapa de Implementação) [Distrito Federal] 2005.
(ENE/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Elétrica, 2005).

Projeto Final de Graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

IRYODA, MAURICIO TUTIDA (2005). Estudo e Desenvolvimento de um Medidor de Continuidade, nos Aspectos de Duração e Frequência, na Rede Elétrica de Baixa Tensão (Etapa de Implementação). (Projeto Final de Graduação), Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
JÚNIOR, PASCHOAL GUIDO (2005). Estudo e Desenvolvimento de um Medidor de Continuidade, nos Aspectos de Duração e Frequência, na Rede Elétrica de Baixa Tensão (Etapa de Implementação). (Projeto Final de Graduação), Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Maurício Tutida Iryoda, Paschoal Guido Júnior

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Estudo e Desenvolvimento de um Medidor de Continuidade, nos Aspectos de Duração e Frequência, na Rede Elétrica de Baixa Tensão (Etapa de Implementação).

GRAU/ANO: Bacharel/2005.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de graduação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Maurício Tutida Iryoda

Paschoal Guido Júnior

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaríamos de agradecer a Deus pela oportunidade de trabalho que nos foi oferecida. Sabemos o quanto esta obra significou no que diz respeito à aquisição de novos conhecimentos que certamente serão muito úteis para nossas vidas profissionais.

Em segundo lugar, nossos agradecimentos vão para os colegas Gabriel Costa, Gabriel Sartori, Marco Rafael e Otávio Henrique que tanto contribuíram para que este trabalho pudesse ser desenvolvido. Estes amigos ofereceram várias horas valiosas dos seus tempos para se dedicarem a nos auxiliarem sempre que foram solicitados. Pela grande demonstração de amizade e companheirismo, fica aqui registrado um imensurável “muito obrigado”.

Agradecimentos sinceros também são dados aos colegas André Garcia, Alexandre, Thiago Aguiar, Rodrigo Contini, Andrey Leonardo, Aguiar, Alberto Friedman, Alex, Alex Pires, Aniela Maria, Carlos, Demian Moura, Eduardo, Fernando, Gabriel Malta, Gustavo, Henrique Louzada, Jhonathan, João Gabriel, João Vitor, Lea Mendonça, Lucas Lira, Luciana, Maísa Netto, Milene Pereira, Nagao Kawano, Rafael Granja, Rodrigo Coelho, Saulo Rabelo.

Gostaríamos de agradecer também ao nosso orientador Mauro Moura e ao co-orientador Edvaldo Paniago por toda a atenção que nos foi dedicada e pelos conhecimentos e experiências que contribuíram muito para a obtenção dos resultados deste trabalho.

O autor Paschoal Guido Júnior agradece em especial aos seus pais Rose e Paschoal, sua irmã Anna Beatriz, sua namorada Ana Cristina e seus avós Waldyr e Lucinda por todos os incentivos, encorajamentos, e carinhos que foram prestados. Certamente os resultados positivos deste trabalho não teriam sido alcançados sem este apoio, que foi fundamental para a obtenção de êxito. Agradecimentos sinceros também vão para os amigos Flávio Alencar, Rodrigo Coelho e Maurício Tutida (parceiro na autoria desta obra). Estes companheiros representaram uma fonte gigantesca de motivação durante todo o trabalho e durante todo o curso de engenharia. Este espaço se torna pequeno para agradecer a estes amigos pelo tanto que eles representam como verdadeiros companheiros para a vida toda. Por fim, gostaria de agradecer enormemente a toda a minha família do DIJ (Departamento de Infância de Juventude) do Grupo Espírita Fraternidade. Eles se mostraram peças muito importantes para que eu pudesse manter sempre firme a garra e a determinação na minha empreitada. É com enorme emoção e carinho que eu os agradeço.

O autor Maurício Tutida Iryoda agradece em especial aos seus pais Augusto e Helena, seus irmãos Flávio e Natália. A compreensão, apoio e afeto da família refletiram-se na realização desta obra assim como no crescimento emocional do autor como pessoa. Por todos os momentos de dificuldades nos quais os amigos Andrey Leonardo, Thiago Aguiar e Paschoal Guido estiveram presentes incentivando e levantando o astral para tornar tais momentos menos aterrorizantes, eu vos agradeço. Dedico, então, esta obra a toda a família e amigos, os quais já digo por agora que vocês sempre estarão no meu coração. Não há palavras para demonstrar tamanha gratidão. Obrigado por tudo.

DEDICATÓRIA

Os autores dedicam este trabalho às suas respectivas famílias.

RESUMO

Este projeto foi desenvolvido com o intuito de criar um dispositivo capaz de medir e armazenar os índices de continuidade de energia elétrica em baixa tensão para atender as novas normas que entraram em vigor por determinação da ANEEL no Setor Elétrico brasileiro. O aparelho mede principalmente a frequência (FIC) e o tempo de duração (DIC) de falta de energia em um terminal individual (consumidor), tendo o consumidor e a Agência reguladora a possibilidade de aferir a qualidade da energia que está sendo fornecida pela concessionária.

Nesta obra encontram-se todas as etapas de desenvolvimento do circuito medidor / registrador de faltas de tensão. Informações bastante detalhadas estão contidas em 7 capítulos, que vão desde implementações em hardware, passando por circuitos de alimentação, processamento de sinais e recarregadores de baterias, até a utilização de linguagens de programação para aquisição de sinais, armazenamento e processamento de informações pelo microcontrolador e elaboração de interface gráfica para informação do usuário quanto à ocorrência de falhas na rede elétrica a ser monitorada.

Este projeto realiza uma integração bastante eficiente entre diversos campos de atuação da Engenharia Elétrica, já que consegue envolver normas e definições de sistemas elétricos de potência com dispositivos microeletrônicos e processamento digital de sinais através de desenvolvimento de softwares de controle e operação.

ABSTRACT

This project was developed with intention to create a device capable to measure and to store the indices of lack of electric energy of low tension, to take care of the new norms that had entered in vigor for determination of the ANEEL in the Brazilian Electric Sector. The device mainly measures the frequency and the time of duration of energy lack in an individual terminal (consuming), having the consumer and the regulating Agency the possibility to survey the quality of the energy that has being supplied from the concessionaire.

In this work we can find all the development of the circuit measurer / register of lack of energy. Very detailed informations are contained in 7 chapters, that treat since hardware implementations, passing by powering circuits, signal processing and battery chargers, to the utilization of programming languages for signal acquisition, storage and processing of information by the microcontroller and development of a graphic interface to give users information about occurrences of lacks in the monitored electrical power net.

This project realizes a very efficient integration between many actuation areas of Electrical Engineering, since it involves rules and definitions of power electrical systems with microelectronic devices and digital signal processing used on the development of control and operation softwares.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DISPOSIÇÕES RELATIVAS À CONTINUIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ÀS UNIDADES CONSUMIDORAS.....	5
2.1. INDICADORES DE CONTINUIDADE INDIVIDUAIS.....	5
2.1.1. Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora.....	6
2.1.2. Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora.....	6
2.1.3. Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora.....	7
2.2. NÍVEL CRÍTICO DE TENSÃO.....	7
3. DESCRIÇÃO FUNCIONAL E ESPECIFICAÇÕES.....	9
3.1. ESPECIFICAÇÕES EXIGIDAS.....	9
3.2. MODELO EM DIAGRAMA DE BLOCOS.....	10
3.3. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES POR BLOCO.....	13
3.3.1. Protetores Contra Surtos de Tensão.....	13
3.3.2. Circuito Regulador de Alimentação e Recarregador de Bateria.....	18
3.3.3. Regulador para alimentação em 3,3V.....	29
3.3.4. Condicionador do Sinal de Entrada.....	31
3.3.5. Microcontrolador.....	35
3.3.6. Comunicação Serial com o PC.....	38
42	
4. FABRICAÇÃO DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO.....	51
4.1. INTRODUÇÃO AO SOFTWARE PROTEL.....	51
4.2. DESENHO DE CIRCUITOS IMPRESSOS COM PROTEL SCHEMATICS.....	53
55	
4.3. DESENHO DE CIRCUITOS IMPRESSOS COM PROTEL PCB.....	55
4.4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROTEL.....	59
4.5. DIFICULDADES EM RELAÇÃO AO SOFTWARE PROTEL.....	63
4.6. INTRODUÇÃO AO CIRCUITO IMPRESSO.....	64
4.7. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	65
4.8. CLASSIFICAÇÃO DAS PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSOS.....	66
4.8.1. Quanto ao número de faces.....	66
4.8.2. Quanto ao tipo de material base (laminado).....	66
4.9. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	67
4.9.1. Processos de Acabamento.....	67
4.9.2. Acabamentos especiais.....	68
4.10. ESPESSURA DO LAMINADO DE COBRE.....	68
4.11. CORTE E FURAÇÃO.....	69
4.12. VISÃO GERAL.....	69
4.13. O PROCESSO DE CONFECCÃO CASEIRO.....	70
4.14. LAYOUT.....	71
4.15. PREPARAÇÃO DA PLACA.....	72
73	
4.16. TRANSFERÊNCIA DO LAYOUT PARA A PLACA.....	73
74	
75	
4.17. CORROSÃO.....	75
76	
76	
77	
77	

<u>77</u>	
<u>77</u>	
<u>4.18. DIFICULDADES EM RELAÇÃO AO PROCESSO CASEIRO.....</u>	<u>78</u>
<u>78</u>	
<u>79</u>	
<u>5. IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO NO MICROCONTROLADOR.....</u>	<u>80</u>
<u>5.1. CÓDIGO IMPLEMENTADO.....</u>	<u>80</u>
<u>5.2. DIFICULDADES ENCONTRADAS.....</u>	<u>86</u>
<u>6. RESULTADOS PRÁTICOS.....</u>	<u>88</u>
<u>7. SUGESTÕES.....</u>	<u>93</u>
<u>8. CONCLUSÃO.....</u>	<u>94</u>
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</u>	<u>96</u>
ANEXO I.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS ADAPTADO DO CIRCUITO MEDIDOR DE FALTAS.....	12
FIGURA 3.2 – SIMULAÇÃO DO CIRCUITO DE PROTEÇÃO.....	14
DIÂMETRO.....	15
10MM	15
NÚMERO DO MODELO.....	15
CNR-10D391K.....	15
TENSÃO MÁXIMA PERMITIDA.....	15
ACRMS (V).....	15
250	15
DC (V)	15
320	15
TENSÃO DO VARISTOR.....	15
(V)	15
390(351-429).....	15
TENSÃO DE RUPTURA (MAX).....	15
VC (V)	15
650	15
1P (A)	15
25	15
CORRENTE MÁXIMA DE PICO (80/20MS)(A).....	16
1 TIME	16
2500	16
2 TIME	16
1250	16
ENERGIA MÁXIMA.....	16
(JOULE).....	16
10/1000 MS.....	16
60,0	16
2MS	16
40,0	16
POTÊNCIA DISSIPADA.....	16
(W)	16
0,4	16

CAPACITÂNCIA TÍPICA (REFERÊNCIA).....	16
1KHZ (PF).....	16
430 16	
FIGURA 3.3 - VISTA SUPERIOR DA PLACA DO CIRCUITO DE PROTEÇÃO.	16
FIGURA 3.4 - VISTA INFERIOR DA PLACA DO CIRCUITO DE PROTEÇÃO.	17
FIGURA 3.5 - VISTA INFERIOR DA PLACA DE ALIMENTAÇÃO.....	18
FIGURA 3.6 - VISTA SUPERIOR DA PLACA DE ALIMENTAÇÃO.....	19
FIGURA 3.7 - CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO / RECARREGADOR DE BATERIA.....	20
FIGURA 3.8 - CIRCUITO INTEGRADO CARREGADOR DE BATERIA BQ2002GPN UTILIZADO NO PROJETO.....	23
FIGURA 3.9 - PINAGENS DO BQ2002G.....	24
FIGURA 3.10 - CONEXÃO DA REDE DO DIVISOR RESISTIVO NO BQ2002G.	25
FIGURA 3.11 - VISTA SUPERIOR DO REGULADOR DE TENSÃO TPS 76533 UTILIZADO NO PROJETO	29
FIGURA 3.12 - PINAGENS DO TPS76533.....	30
FIGURA 3.13 - ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO UTILIZADO JUNTO COM O REGULADOR TPS76533.....	31
FIGURA 3.14 - SIMULAÇÃO DO CIRCUITO RETIFICADOR DE TENSÃO...32	
FIGURA 3.15 - CIRCUITO DIVISOR DE TENSÃO.....	33
FIGURA 3.16 - FOTO DO MICROCONTROLADOR MSP430F149 UTILIZADO NO PROJETO.....	36
FIGURA 3.17 - CONVENÇÃO DE SINAIS EM UM CABO DB25.....	40
FIGURA 3.18 - ESPECIFICAÇÕES DOS NÍVEIS LÓGICOS DO RS-232.....	42
FIGURA 3.19 - CONECTOR DE 25 PINOS.....	44
FIGURA 3.20 - CONECTOR DE 9 PINOS FÊMEA.....	44
FIGURA 3.21 - CONECTOR DE 9 PINOS MACHO.....	45
FIGURA 3.22 - ESPECIFICAÇÃO DOS PINOS DE UM CONECTOR DE 9 PINOS MACHO.....	45
FIGURA 3.23 - APLICAÇÃO TÍPICA DE UM MODEM.....	46
FIGURA 4.1 APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE PROTEL.....	51
FIGURA 4.2 - ESQUEMÁTICO DE UM PROGRAMA DE DESENHO DE CIRCUITO IMPRESSO.....	52
FIGURA 4.3 - APRESENTAÇÃO DO SCHEMATICS DO SOFTWARE PROTEL.....	55

FIGURA 4.4 - APRESENTAÇÃO DE ALGUNS COMPONENTES BÁSICOS NO CIRCUITO IMPRESSO.....	56
FIGURA 4.5 - APRESENTAÇÃO DO CIRCUITO PRIMÁRIO DO EQUIPAMENTO PROPOSTO NO PCB DO PROTEL ANTES DO ROTEAMENTO.....	57
FIGURA 4.6 - FOOTPRINT DIP DE 14 PINOS.....	57
FIGURA 4.7 - APRESENTAÇÃO DO CIRCUITO PRIMÁRIO DO EQUIPAMENTO PROPOSTO NO PCB DO PROTEL FINALIZADO O ROTEAMENTO.....	59
FIGURA 4.8 - DETALHE DA CÓPIA DE UM LAYOUT QUALQUER NO PAPEL CONTACT.....	72
FIGURA 4.9 - PLACA DE FENOLITE ANTES DE SER LIMPADA.....	72
FIGURA 4.10 - PLACA DE FENOLITE LIMPA E PRONTA PARA A CONFECÇÃO DO CIRCUITO IMPRESSO.....	73
FIGURA 4.11 - UTILIZANDO O FERRO DE PASSAR PARA DESPRENDER A TINTA DA FOLHA DE REVISTA.....	74
FIGURA 4.12 - PLACA COM O CIRCUITO IMPRESSO LOGO APÓS RETIRAR O PAPEL CONTACT.....	75
FIGURA 4.13 - CORROSÃO DA PLACA DE FENOLITE.....	76
FIGURA 4.14 - MOVIMENTANDO A PLACA NO ÁCIDO PARA DIMINUIR O TEMPO DE CORROSÃO.....	76
FIGURA 4.15 - VERIFICAÇÃO DAS TRILHAS DO MSP.....	77
FIGURA 4.17 - VERIFICAÇÃO DOS TEST POINTS DO MSP.....	77
FIGURA 4.16 - VERIFICAÇÃO DAS TRILHAS DOS PINOS DO MSP.....	77
FIGURA 4.18 - VERIFICAÇÃO DAS TRILHAS DO MSP EM UM MICROSCÓPIO.....	77
FIGURA 4.19 - MICROSCÓPIO UTILIZADO PARA EVENTUAIS CORREÇÕES.....	78
FIGURA 4.20 - CORREÇÃO COM SOLDA DE UMA TRILHA DO MSP.....	79
FIGURA 5.1 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO DE AQUISIÇÃO.....	81
FIGURA 5.2 – ESTABILIZAÇÃO DOS SINAIS AMOSTRADOS.....	82
FIGURA 5.3 – DIAGRAMA DO FILTROS PASSA-BAIXAS DIGITAL.	83
FIGURA 5.4 – FORMA DE ONDA DO CRISTAL.....	84
FIGURA 5.5 – DETALHE DA FREQUÊNCIA DO CRISTAL.....	84
FIGURA 5.6 – DETERMINAÇÃO VISUAL DA FAIXA CONSIDERADA FALTA. 85	
FIGURA 6.1 – JANELA PRINCIPAL DO SOFTWARE LISTEN 32.....	88
FIGURA 6.2 – VISUALIZAÇÃO DA ATUALIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE DATA E HORA.....	89

FIGURA 6.3 – VISUALIZAÇÃO DA CONFIRMAÇÃO DE RECEBIMENTO DAS INFORMAÇÕES DE DATA E HORA PELO MSP.....	90
FIGURA 6.4 – VISUALIZAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DOS DADOS DA MEMÓRIA PARA O COMPUTADOR.....	91
FIGURA 6.5 – APRESENTAÇÃO DOS DADOS ENVIADOS.....	91
FIGURA 6.6 – VISUALIZAÇÃO DA MEMÓRIA RAM APAGADA.....	92
FIGURA I - EXPERIÊNCIAS DE VOLTA NO INSTITUTO NACIONAL FRANCÊS EM NOVEMBRO DE 1800 EM QUE NAPOLEÃO BONAPARTE ESTAVA PRESENTE.....	100
FIGURA II - ESQUEMÁTICO DA BATERIA CILÍNDRICA.....	106
FIGURA III - ESQUEMÁTICO DA BATERIA BUTTON.....	107
FIGURA IV - ESQUEMÁTICO DA BATERIA PRISMATIC.....	108
FIGURA V - ESQUEMÁTICO DA BATERIA POUCH.....	109
FIGURA VI - CARACTERÍSTICAS DE CARREGAMENTO DE UMA BATERIA DE NI-CD.....	114
FIGURA VII - COMPARAÇÃO ENTRE AS CURVAS DE CARGA DE BATERIAS DE NI-CD E NI-MH.....	115
FIGURA VIII - ESTÁGIOS DE CARGA DE UMA BATERIA DE LI-ION.....	116
FIGURA IX - CARACTERÍSTICAS DE CARREGAMENTO DE UMA BATERIA LEAD-ACID.....	119

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – FAIXA DE VALORES DE TENSÃO CONSIDERADAS CRÍTICAS.....	8
TABELA 3.2 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO VARISTOR UTILIZADO NO PROJETO.....	15
TABELA 3.2 – DIFERENÇA ENTRE OS CARREGADORES DE BATERIA....	26
TABELA 3.3 – DIFERENÇA ENTRE OS CARREGADORES DE BATERIA (CONT.1).....	26
TABELA 3.4 – DIFERENÇA ENTRE OS CARREGADORES DE BATERIA (CONT.2).....	27
TABELA 3.5 – DIFERENÇA ENTRE OS CARREGADORES DE BATERIA (CONT.3).....	27
TABELA 3.6 – DESCRIÇÃO DAS PINAGENS DO TPS76533.....	31
TABELA 3.7 - SINAIS DEFINIDOS NO PADRÃO RS-232.	43
TABELA 3.8 - CARACTERÍSTICAS DE MODELOS DIFERENTES DO MAX. [48] 48	
TABELA 3.9 - CARACTERÍSTICAS DE TIPOS DIFERENTES DO MAX3221.	49
TABELA 3.10 – DESCRIÇÃO DA PINAGEM DO AUTO-POWER.....	50
TABELA II - CARACTERÍSTICAS DAS BATERIAS COMUNS.....	105
TABELA III - EFEITOS DA TENSÃO DE CARGA EM PEQUENAS BATERIAS LEAD-ACID.....	120

LISTA DE ABREVIACÕES

Abreviação	Significado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CPU	Central Processing Unit
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DMIC	Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora
EMI	Electromagnetic Impulse
FIC	Freqüência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
LED	Light Emission Diode
MME	Ministério das Minas e Energia
RF	Rdio Freqüência
RMS	Root Mean square
RTC	Real Time Clock
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
TI	Texas Instruments
TL	Tensão de Leitura
TN	Tensão Nominal

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos o Brasil vem passando por uma transformação em seu modelo do sistema elétrico, devido ao novo modelo implementado pelo governo de privatizar o setor. Muitas empresas fizeram e ainda fazem investimentos no setor de energia elétrica, criando uma concorrência entre estas.

Com a implementação deste novo modelo, surgiu a necessidade de uma agência que regulasse o setor, além de definir os padrões básicos de geração, transmissão e distribuição. Junto com a evolução e modernização constante do sistema elétrico, bem como das melhorias e exigências do consumidor (seja ele uma indústria ou até mesmo uma simples residência), surgiu à necessidade de uma melhoria nos padrões de qualidade da energia entregue ao consumidor.

Então em dezembro de 1996, tendo em vista o atual modelo do Setor Elétrico, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), autarquia em regime especial vinculada ao *Ministério de Minas e Energia - MME*, foi criada tendo como atribuições: regular e fiscalizar a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização da energia elétrica, atendendo reclamações de agentes e consumidores com equilíbrio entre as partes e em benefício da sociedade; mediar os conflitos de interesses entre os agentes do setor elétrico e entre estes e os consumidores; conceder, permitir e autorizar instalações e serviços de energia; garantir tarifas justas; zelar pela qualidade do serviço; exigir investimentos; estimular a competição entre os operadores e assegurar a universalização dos serviços.

Essa preocupação quanto à melhoria na qualidade da energia elétrica entregue ao consumidor nasceu principalmente para atender a necessidade das médias e grandes indústrias, que não podem ter grandes variações na energia que as abastece devido à sensibilidade dos seus equipamentos, sob o risco de ter toda sua linha de produção ou operação paralisada, representando assim, prejuízo. Mas toda esta atenção quanto aos

padrões de qualidade de energia logo se expandiu até o pequeno consumidor, que pode ser uma residência ou um pequeno empresário.

No nível do consumidor final, as empresas fornecedoras de energia tiveram que adequar seus serviços à nova realidade do setor elétrico, tanto pela concorrência advinda da abertura de mercado quanto pela fiscalização do setor pela ANEEL. Regulamentações informando as faixas de valores aceitáveis frente aos valores nominais de operação da rede foram criadas.

Essas regulamentações estão relacionadas com as definições do termo “Qualidade da Energia Elétrica” que envolve qualquer desvio que possa ocorrer na magnitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica. Esta designação também se aplica às interrupções de natureza permanente ou transitória que afetam o desempenho da transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica.

Dentre os parâmetros de medida da qualidade de energia, as interrupções de natureza permanente ou transitória devem ser avaliadas com atenção, pois estas significam o desligamento completo da carga do terminal consumidor.

Tendo em vista estas interrupções no fornecimento de energia, em janeiro de 2000, a ANEEL definiu padrões e indicadores relativos à continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras através da Resolução nº 24. Estes indicadores foram divididos em coletivos e individuais. Para se determinar estes indicadores, houve a necessidade de equipar a rede elétrica com medidores da quantidade de interrupções. Porém, estes aparelhos são caros e estão restritos ao uso em barramentos gerais da rede elétrica, sendo capaz apenas os indicadores coletivos. [1]

Assim, surgiu a proposta do presente projeto, como sugestão do aluno de mestrado, Engº Edvaldo Paniago, e do Orientador, Prof. Mauro Moura Severino, de se desenvolver um medidor de faltas na rede elétrica de baixa tensão, para que os indicadores individuais fossem determinados, atendendo assim a resolução nº 24 da ANEEL. Este aparelho deve ser confiável e viavelmente comerciável, fornecendo assim

ao consumidor uma forma de aferir a qualidade da energia que está recebendo e podendo o consumidor recorrer de um eventual prejuízo advindo da falta de energia elétrica. [1]

O desenvolvimento deste trabalho baseia-se na parte de implementação, montagem de um protótipo e acréscimo de funções a serem executadas por um microcontrolador, consiste no objetivo desta monografia e foi desenvolvida ao longo do primeiro semestre de 2005 pelos alunos de engenharia elétrica da Universidade de Brasília (UnB) Mauricio Tutida Iryoda e Paschoal Guido Júnior.

O texto está estruturado em 8 capítulos. O Capítulo 1 consiste na presente Introdução, onde é apresentado o panorama atual do Setor Elétrico com a ANEEL como agência reguladora, a motivação para o desenvolvimento do trabalho e uma breve descrição sobre a que o mesmo se destina. O Capítulo 2 apresenta uma descrição e colocação das regulamentações da ANEEL quanto às interrupções e níveis de tensão na rede de baixa tensão. No Capítulo 3 são desenvolvidas as especificações do projeto, sua modelagem em diagrama de blocos, a descrição detalhada de cada bloco e são apresentadas as partes realmente implementadas, contendo também algumas teorias referentes aos itens que foram incorporados ao projeto no decorrer das pesquisas desta segunda etapa. O Capítulo 4 trata da confecção de todo o hardware utilizado no projeto. É feita uma apresentação do software de desenvolvimento de circuitos impressos e a descrição das etapas de fabricação das placas. O Capítulo 5 é dedicado à descrição dos algoritmos, em linguagem C, elaborados nesta etapa de implementação. Serão explicadas as máquinas de estados envolvidas no processo, juntamente com algumas sugestões de aprimoramentos futuros. Os resultados práticos obtidos com o funcionamento do equipamento estão apresentados no Capítulo 6. Serão vistas figuras referentes a formas de ondas geradas por certas partes do aparelho e telas com resultados conseguidos através das programações. Reservou-se o Capítulo 7 para apresentar algumas sugestões que podem ser incluídas em pesquisas futuras para que se possa dar continuidade ao projeto. Por fim, no Capítulo 8, foi incluída a conclusão do trabalho. Lá encontram-se as considerações finais juntamente com a declaração das experiências e ganhos adquiridos por parte de cada um dos pesquisadores envolvidos neste trabalho. Ao longo dos capítulos são feitas também algumas declarações a respeito das dificuldades encontradas

durante as etapas de desenvolvimento dos trabalhos e algumas sugestões de melhorias que poderiam ser feitas por futuros pesquisadores que se dispuserem a dar continuidade a este projeto, lembrando que tais sugestões estão agrupadas também no Capítulo 7. No Anexo I está contido um material bastante rico relacionado a baterias. Toda a pesquisa realizada nesta área está mostrada nesta seção, juntamente com as justificativas dos acumuladores que foram utilizados na implementação do projeto.

2. DISPOSIÇÕES RELATIVAS À CONTINUIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ÀS UNIDADES CONSUMIDORAS.

A idéia do desenvolvimento de um medidor de continuidade da rede elétrica de baixa tensão surgiu a partir da Resolução nº. 24, de 27 de janeiro de 2000, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que estabeleceu disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras. [1]

No artigo 1º foram estabelecidas as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica, nos seus aspectos de duração e frequência, a serem observadas pelas concessionárias e permissionárias de serviço público de energia elétrica às unidades consumidoras. [1]

E no artigo 2º ficou determinado que a continuidade da distribuição de energia elétrica deverá ser supervisionada, avaliada e controlada por meio de indicadores coletivos que expressem os valores vinculados a conjuntos de unidades consumidoras, bem como indicadores individuais associados a cada unidade consumidora. [1]

Dos indicadores apresentados, os individuais são os que serão o alvo de nosso desenvolvimento, por isso eles serão detalhados a seguir.

2.1. INDICADORES DE CONTINUIDADE INDIVIDUAIS

São representações quantificáveis do desempenho de um sistema elétrico, utilizadas para a mensuração da continuidade apurada e análise comparativa com os padrões estabelecidos por consumidor.

Estes indicadores deverão ser apurados e informados os valores mensais, trimestrais e anual referentes ao último ano civil, bem como os valores mensais e trimestrais disponíveis do ano em curso.

A seguir serão descritos os indicadores que são alvos de análise do projeto corrente.

2.1.1. Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

É o Intervalo de tempo que, no período de observação, em cada unidade consumidora ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica. Este indicador é conhecido como DIC e o seu cálculo é dado por:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

Onde,

- i = Índice de interrupções da unidade consumidora, no período de apuração, variando de 1 a n;
- n = Número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;
- t(i) = Tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada, no período de apuração; e

O DIC deve ser expresso em horas e centésimos de hora.

O indicador determinado pela expressão acima deve se enquadrar dentro de uma faixa de valores determinada pela ANEEL, para que a rede elétrica medida se enquadre dentro dos padrões de normalidade. A faixa de valores na qual o DIC deve se encontrar está presente na Resolução nº 24.

2.1.2. Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

É Número de interrupções ocorridas, no período de observação, em cada unidade consumidora. Este indicador é conhecido como FIC. A expressão para o seu cálculo é:

$$FIC = n \quad (2)$$

Onde,

n = Número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;

O indicador determinado pela expressão acima deve se enquadrar dentro de uma faixa de valores determinada pela ANEEL, para que a rede elétrica medida se enquadre dentro dos padrões de normalidade. A faixa de valores na qual o FIC deve se encontrar está presente na Resolução nº 24.

2.1.3. Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora

É o Tempo máximo de interrupção contínua, da distribuição de energia elétrica, para uma unidade consumidora qualquer. Sua determinação é dada por:

$$DMIC = t(i) \max \quad (3)$$

Onde,

$t(i)_{\max}$ = Valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora considerada, expresso em horas e centésimos de horas.

O indicador determinado pela expressão acima deve se enquadrar dentro de uma faixa de valores determinada pela ANEEL, para que a rede elétrica medida se enquadre dentro dos padrões de normalidade. A faixa de valores na qual o DMIC deve se encontrar está presente na Resolução nº 24.

2.2. NÍVEL CRÍTICO DE TENSÃO

Para a determinação dos indicadores de continuidade, foi necessário encontrar a tensão mínima na rede de baixa tensão para que fosse considerada uma falta. Estes valores foram encontrados na Resolução nº. 676, de 16 de dezembro de 2003, que trata das disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente. Cabe ressaltar ainda que esta resolução é uma atualização da Resolução nº. 505, de 26 de novembro de 2001, quanto às faixas de valores dos níveis de tensão [2][3].

Os valores de tensões críticas para a determinação do nível mínimo de tensão para que seja computada a falta estão presentes na tabela a seguir:

Tabela 2.1 – Faixa de valores de tensão consideradas críticas.

TENSÕES NOMINAIS PADRONIZADAS				
Tensão Nominal (TN)		Faixa de Valores Adequados das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Precários das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de Valores Críticos das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)
Ligação	Volts			
Trifásica	(220) / (127)	(201 ≤ TL ≤ 231) / (116 ≤ TL ≤ 133)	(189 ≤ TL < 201 ou 231 < TL ≤ 233) / (109 ≤ TL < 116 ou 133 < TL ≤ 140)	(TL < 189 ou TL > 233) / (TL < 109 ou TL > 140)
	(380) / (220)	(348 ≤ TL ≤ 396) / (201 ≤ TL ≤ 229)	(327 ≤ TL < 348 ou 396 < TL ≤ 403) / (189 ≤ TL < 201 ou 229 < TL ≤ 233)	(TL < 327 ou TL > 403) / (TL < 189 ou TL > 233)
Monofásica	(254) / (127)	(232 ≤ TL ≤ 264) / (116 ≤ TL ≤ 132)	(220 ≤ TL < 232 ou 264 < TL ≤ 269) / (109 ≤ TL < 116 ou 132 < TL ≤ 140)	(TL < 220 ou TL > 269) / (TL < 109 ou TL > 140)
	(440) / (220)	(402 ≤ TL ≤ 458) / (201 ≤ TL ≤ 229)	(380 ≤ TL < 402 ou 458 < TL ≤ 466) / (189 ≤ TL < 201 ou 229 < TL ≤ 233)	(TL < 380 ou TL > 466) / (TL < 189 ou TL > 233)

No presente projeto, a tensão de leitura considerada crítica foi determinada para a tensão eficaz de 220 V, ou seja, o valor crítico a ser considerado é de 189 V.

3. DESCRIÇÃO FUNCIONAL E ESPECIFICAÇÕES

O protótipo desenvolvido nesta etapa de implementação do projeto está munido de dois códigos computacionais (um de aquisição e armazenamento de dados e outro para geração da interface gráfica e processamento das informações) que, integrados com a parte física do equipamento (hardware) são capazes de detectar a ocorrência de uma falta de energia na rede elétrica de baixa tensão, armazenar as informações de tempo de início e fim da falta, calcular o tempo de duração de cada interrupção e estimar os índices DIC, FIC e DMIC, conforme foram definidos previamente. A detecção das faltas é feita pelo constante monitoramento da tensão da rede elétrica em uma das fases, sendo que o valor de tensão a ser monitorado é o valor eficaz verdadeiro de tensão, mais conhecido como “True-RMS”. Cabe informar que a idéia original era construir um equipamento capaz de monitorar as três fases simultaneamente. Entretanto, por tratar-se de um primeiro protótipo, resolveu-se canalizar as energias para o desenvolvimento eficiente de um equipamento monofásico, ficando aqui lançada a sugestão de migração do aparelho para aplicações trifásicas em um momento posterior.

3.1. ESPECIFICAÇÕES EXIGIDAS

Conforme havia sido determinado na primeira fase desta obra, apresentada em fevereiro de 2005 pelo atual Engenheiro Gabriel Costa da Silva, algumas especificações quanto ao funcionamento do medidor tiveram que ser levadas em consideração para a correta operação do equipamento, atendendo, portanto, às regulamentações da ANEEL. Tais especificações estão listadas a seguir:

- Calcular o valor de tensão eficaz verdadeiro;
- Armazenar a quantidade de interrupções, o horário de início e fim da interrupção de energia elétrica, bem como a data com dia, mês e ano;
- Ser capaz de detectar a “falta de fase” como interrupção;

- Possuir proteção contra sobretensões e curto-circuito interno;
- Possuir isolamento entre a entrada e o controle;
- Possuir indicação visual de fusível queimado;
- Possuir relógio/calendário em tempo real que identifica anos bissextos;
- Possibilitar a verificação da data e horário atuais;
- Possibilitar ajuste no relógio/calendário de tempo real;
- Manter a data e horário na ausência de tensão;
- Possibilitar mudança do relógio para “horário de verão” e vice-versa;
- Apresentar baixo consumo de energia;
- Monitorar interrupções de até 5 dias consecutivos;
 - Possibilitar comunicação via porta serial para a obtenção dos indicadores, bem como para a alteração dos seus limites.

3.2. MODELO EM DIAGRAMA DE BLOCOS

Tendo em vista as especificações que foram determinadas, o próximo passo foi a elaboração dos blocos componentes principais do medidor de falta e a ligação que cada um deles tem entre si. Tomou-se como base o diagrama de blocos previsto na primeira fase desta obra, mas com algumas modificações.

Foram especificados 6 blocos principais para a elaboração do medidor de falta:

- ***Protetores contra surtos de tensão***: bloco responsável pela segurança do funcionamento do equipamento, já que este está ligado à rede elétrica que apresenta flutuações no nível de tensão e podendo eventualmente estar

exposto a sobretensões elevadas, devido a descargas elétricas atmosféricas na rede;

- ***Circuito Regulador de Alimentação e Carregador de Bateria:*** etapa responsável pela conversão do sinal de tensão alternado de 220Volts para um sinal de tensão DC de 5Volts que alimentará os circuitos da Placa de Processamento. Este circuito constitui sozinho toda a Placa de Alimentação e é também responsável por manter sempre em plena carga as baterias recarregáveis a ele acopladas, baterias estas cuja função é alimentar a Placa de Processamento durante a ocorrência de uma falta de energia;
- ***Regulador para alimentação em 3,3V:*** é constituído por um circuito responsável pela alimentação direta do microcontrolador e do bloco de comunicação serial com o PC. Como estes dois conjuntos são alimentados com 3,3Volts, tornou-se necessária a existência de mais esta etapa de regulação, que foi convenientemente instalada na placa de processamento;
- ***Condicionador do Sinal de Entrada:*** parte responsável pelo rebaixamento do valor de pico e retificação do sinal a ser monitorado para que possa ser injetado no microcontrolador de forma segura e eficiente;
- ***Microcontrolador:*** é o “cérebro” do medidor de faltas e também a parte mais importante. Tem a função de amostrar o sinal de tensão, calcular o valor de tensão “True-RMS”, comparar o valor de tensão “True RMS” com o valor de referência para falta, armazenar dados de data e hora em sua memória interna e estabelecer a conexão entre o medidor e o dispositivo de requisição de dados externo (Computador).
- ***Comunicação Serial com o PC:*** após o estudo e análise do funcionamento do microcontrolador, constatou-se que era impossível realizar a comunicação direta deste dispositivo com o computador devido a incompatibilidades entre os níveis de tensão de cada aparelho. Para isso, incorporou-se ao circuito um

bloco responsável pela adequação e sincronização das informações trocadas entre ambos.

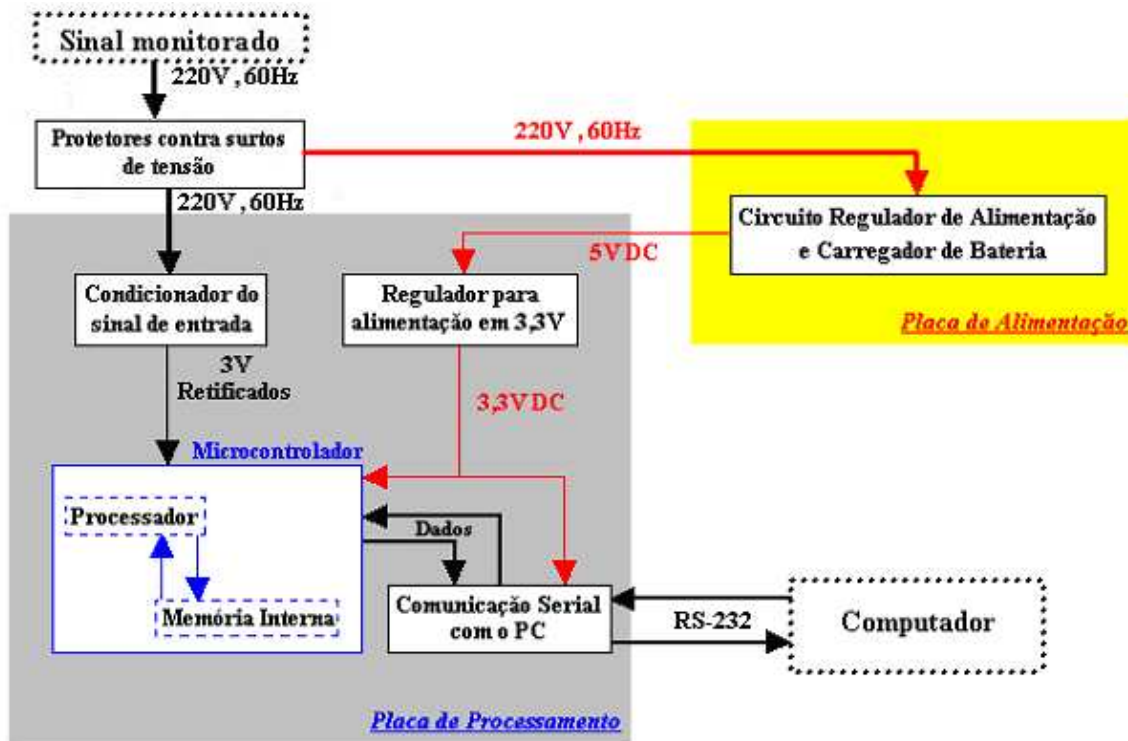


Figura 3.1 – Diagrama de Blocos Adaptado do Circuito Medidor de Faltas.

Realizando um comparativo entre o diagrama de blocos acima exposto e o diagrama contido na primeira etapa desta obra, pode-se perceber que foi retirado o bloco *Calendário / Relógio de tempo real*. Isto se justifica, pois após a realização de estudos e testes com módulos de RTC, concluiu-se que seria mais viável implementar um relógio/calendário através de programação direta no microcontrolador, já que assim ocuparia menos espaço em hardware e o código não afetaria significativamente o tempo de processamento do microcontrolador. Após ter sido feita a programação do relógio/calendário concluiu-se que a precisão deste código se mostrou bastante eficaz, não apresentando atrasos com relação ao tempo real.

A seguir, serão apresentados todos os estudos e testes realizados a respeito de cada bloco envolvido no processo acima. Como na primeira fase desta obra foi realizado um estudo minucioso de cada componente que poderia ser utilizado na implementação,

não será realizada agora uma análise comparativa entre elementos possíveis de serem empregados, salvo aqueles que não haviam sido pesquisados, restringindo o trabalho apenas às justificativas dos dispositivos que realmente foram usados.

3.3. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES POR BLOCO

3.3.1. Protetores Contra Surtos de Tensão

Todo circuito destinado a realizar operações em rede de energia elétrica necessita de componentes que o protejam contra possíveis surtos de tensão, corrente e ruídos que venham a aparecer. Caso esses distúrbios venham a atingir a parte mais sensível do equipamento (no caso o microcontrolador), as consequências podem ser catastróficas.

Surtos de tensão (spikes) ou transientes são o aumento súbito de tensão, gerados pelo retorno da energia após um desligamento geral, ou por descargas atmosféricas (raios).

Distúrbios, ruídos ou impurezas, induzidas ou irradiadas são provenientes de interferências eletromagnéticas (EMI) ou rádio frequências (RF), constantemente ocasionados pela conexão de equipamentos na rede elétrica, tais como motores, reatores de lâmpadas, fontes chaveadas, relés, etc... e os de origem natural como os causados por raios.

Antes de podermos definir como será a configuração do nosso circuito de proteção, precisamos classificar o nosso equipamento quanto ao seu Grau de Exposição e Nível de Proteção:

Graus de Exposição

1. **Exposição extrema** - Caracteriza-se pela alta probabilidade de descargas atmosféricas próximas a instalações. Ex.: estações emissoras de rádio, TV e telecomunicações em montanhas.
2. **Exposição elevada** - Onde o risco é reduzido devido à localização, apesar de sujeito ao efeito de indução da descarga atmosférica.

3. **Exposição média** - Onde a instalação está salvaguardada da ação direta da descarga atmosférica, com cabeamento interior a 100m.
4. **Exposição mínima** - Pequena instalação salvaguardada da ação direta da descarga atmosférica, com cabos no comprimento inferior a 20m.

Níveis de Proteção

1. **Primário** - Proteção contra altas descargas, utilizando "sparks", centelhadores, disjuntores, etc..., objetivando o corte e desvio para o aterramento.
2. **Secundário** - Proteção para surtos utilizando componentes em cascata, menos resistentes que na proteção primária, porém mais sensíveis e rápidos, como: varistores, centelhadores a gás, diodos, diactors, com o mesmo objetivo de corte e desvio para o aterramento.
3. **Terciário** - Proteção para surtos utilizando de componentes em cascata, altamente sensíveis e rápidos, como: varistores, transzorb, diodos, diactors, PTCs, com o objetivo de corte sem uso do aterramento.

Tendo em vista as classificações apresentadas acima e considerando a realidade do funcionamento do circuito medidor de falta de tensão, podemos classificá-lo com nível de proteção terciário.

Tendo como base as pesquisas e as sugestões relacionadas ao circuito de proteção, optou-se por utilizar a configuração mostrada no circuito a seguir:

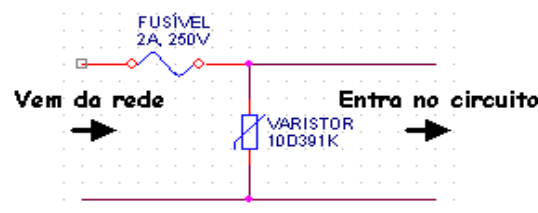


Figura 3.2 – Simulação do circuito de proteção.

Pode-se observar que existe um fusível em série com o circuito, seguido por um varistor em paralelo.

O funcionamento do fusível baseia-se no princípio segundo o qual uma corrente que passa por um condutor gera calor proporcional ao quadrado de sua intensidade. Quando a corrente atinge a intensidade máxima tolerável, o calor gerado não se dissipa com rapidez suficiente, derretendo o filamento e interrompendo o circuito.

O varistor é um dispositivo de proteção de surtos que é diretamente conectado à entrada de corrente alternada (AC). Ao ocorrer um surto de tensão, a resistência do varistor rapidamente diminui, criando momentaneamente um caminho paralelo para a sobre tensão, salvando assim os componentes mais sensíveis do equipamento. Devido ao fato deste caminho paralelo criar um curto-circuito, o varistor e o fusível de linha estão sujeitos a serem danificados ou enfraquecidos no processo [24].

O fusível utilizado foi um de 250V com corrente máxima de 2A. Entretanto, essas dimensões são perfeitamente discutíveis, podendo este componente ser substituído a qualquer momento por outro com especificações mais adequadas.

Considerando os parâmetros de proteção requisitados pelo circuito, pudemos determinar as especificações do varistor, mostradas abaixo [26]:

Faixa de temperatura de operação: -40 a 85°C

Faixa de temperatura de guarda: -40 a 125°C

Tabela 3.2 - Especificações técnicas do varistor utilizado no projeto.

Diâmetro	10mm	
Número do Modelo	CNR-10D391K	
Tensão Máxima Permitida	Acrms (V)	250
	DC (V)	320
Tensão do Varistor	(V)	390(351-429)
Tensão de Ruptura (Max)	Vc (V)	650
	1P (A)	25

Corrente Máxima de Pico (80/20μs)(A)	1 Time	2500
	2 Time	1250
Energia Máxima (Joule)	10/1000 μs	60,0
	2ms	40,0
Potência Dissipada	(W)	0,4
Capacitância Típica (Referência)	1KHz (Pf)	430

Para aumentar a confiabilidade do circuito de proteção empregado no projeto, utilizou-se um dispositivo chamado “filtro de linha” cuja função é justamente proteger circuitos eletrônicos contra sobretensões da rede elétrica. Ele contém um varistor em paralelo, um led para avisar a energização do circuito, um diodo em paralelo com o led para aumentar o nível de proteção e um resistor limitador da corrente que passa pelo led e pelo diodo. Para garantir que o varistor utilizado estava em perfeitas condições, optou-se por substituir o componente original por um novo de mesmas características. Adicionalmente, para manter a fidelidade ao circuito simulado anteriormente, foi incluído o fusível de linha em série ao circuito do filtro, conforme é mostrado nas fotos a seguir:

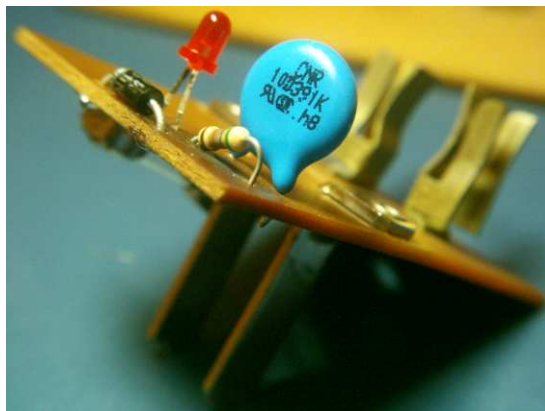


Figura 3.3 - Vista superior da placa do circuito de proteção.

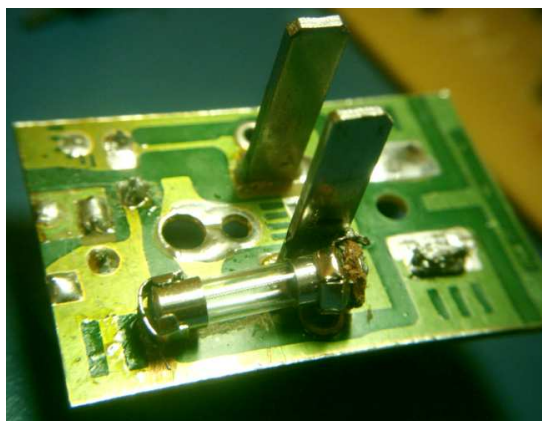


Figura 3.4 - Vista inferior da placa do circuito de proteção.

Outra opção bastante razoável seria a utilização de um equipamento de proteção associado a um bom aterramento realizado na instalação.

De acordo com a NBR5419/93:

*“Para assegurar a dispersão da corrente de descarga atmosférica na terra sem causar sobretensões perigosas, o arranjo e as dimensões do sistema de aterramento são mais importantes que o próprio valor da resistência de aterramento. Entretanto, recomenda-se uma resistência da ordem de **10 Ω** como forma de reduzir os gradientes de potencial no solo e a probabilidade de centelhamento perigoso”.*

O sistema de aterramento é de fundamental importância para o sistema de proteção. Um baixo valor de resistência aumenta a eficiência do sistema de proteção. Deve-se lembrar que deverão ser utilizadas quantas hastes forem necessárias para se conseguir um terra eficiente.

A NBR 5419/93 define como sistema de proteção interno o “*Conjunto de dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga atmosférica dentro do volume à proteger*”. Neste caso, o protetor atua drenando para o terra os surtos de tensões ou correntes induzidos, transitórios ou permanentes (sobretensões ou sobrecargas no sistema de distribuição).

Para um bom dimensionamento do sistema de proteção, é necessário levar em

consideração alguns dados:

- Na ocorrência de RAIIO ou sobretensão acidental, o protetor atuará eliminando todo o excesso de tensão através do aterramento, evitando danos aos equipamentos protegidos no circuito;
- Pode ser utilizada a malha de aterramento já existente, devendo ser observada a resistência máxima de 10Ω . Uma resistência superior a 10Ω diminuirá a vida útil do protetor;
- Após a ocorrência da sobretensão, o protetor retorna a condição de stand-by, sem a necessidade de ação externa;
- Ao final da vida útil o protetor entrará em curto-circuito com o aterramento, conforme especificado em normas internacionais;
- A sua vida útil está diretamente relacionada ao valor da corrente de pico aplicada sobre ele, e da qualidade do sistema de aterramento.

Alguns exemplos e sugestões de equipamentos de proteção indicados a determinados tipos de aparelhos podem ser encontrados no link correspondente à referência bibliográfica [30] desta obra.

3.3.2. Circuito Regulador de Alimentação e Recarregador de Bateria

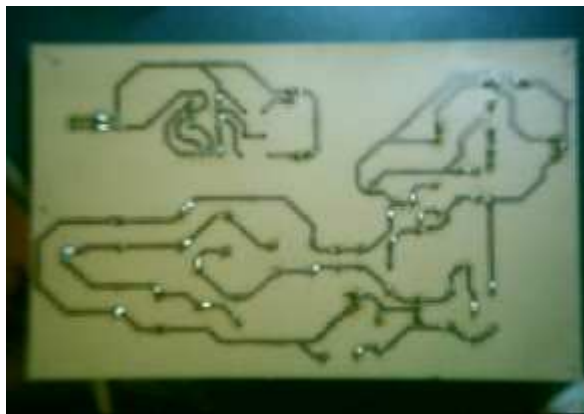


Figura 3.5 - Vista inferior da placa de alimentação.



Figura 3.6 - Vista superior da placa de alimentação.

Observando a arquitetura sugerida ao projeto, rapidamente percebemos a presença de elementos ativos no sistema que requerem alimentação particular tais como o dispositivo de comunicação serial, o microcontrolador e a bateria recarregável que suprirá a alimentação dos dois primeiros no momento em que ocorrer a falta de tensão. Assim sendo, é necessária a presença de um circuito capaz de alimentar tais dispositivos com uma tensão CC adequada.

Duas opções foram analisadas e implementadas na Placa de Alimentação:

A primeira consiste em um circuito conforme foi pesquisado e sugerido na primeira etapa desta obra. Apresenta uma parte de rebaixamento da tensão seguida por um retificador de onda completa, uma parte de regulação primária, recarregador de baterias e parte secundária de regulação de tensão. Utiliza componentes discretos e apresenta excelentes resultados.

A segunda opção é representada por um circuito recarregador de baterias constituído por um CI específico para este fim e que deverá ser utilizado juntamente com o primeiro circuito mencionado no local do recarregador de baterias original. A grande vantagem em utilizar esta opção é que se consegue um carregamento “inteligente” da bateria, já que o CI detecta o nível de carga em que ela se encontra e aplica uma corrente adequada correspondente ao carregamento ou à manutenção da carga existente, opção esta conseguida manualmente no circuito sugerido primeiramente. Assim, garante-se que será obtido um carregamento total da bateria sem a supervisão humana constante.

3.3.2.1. Alimentador / recarregador de Baterias com componentes discretos

O circuito implementado na placa de alimentação referente à primeira opção está representado na figura a seguir:

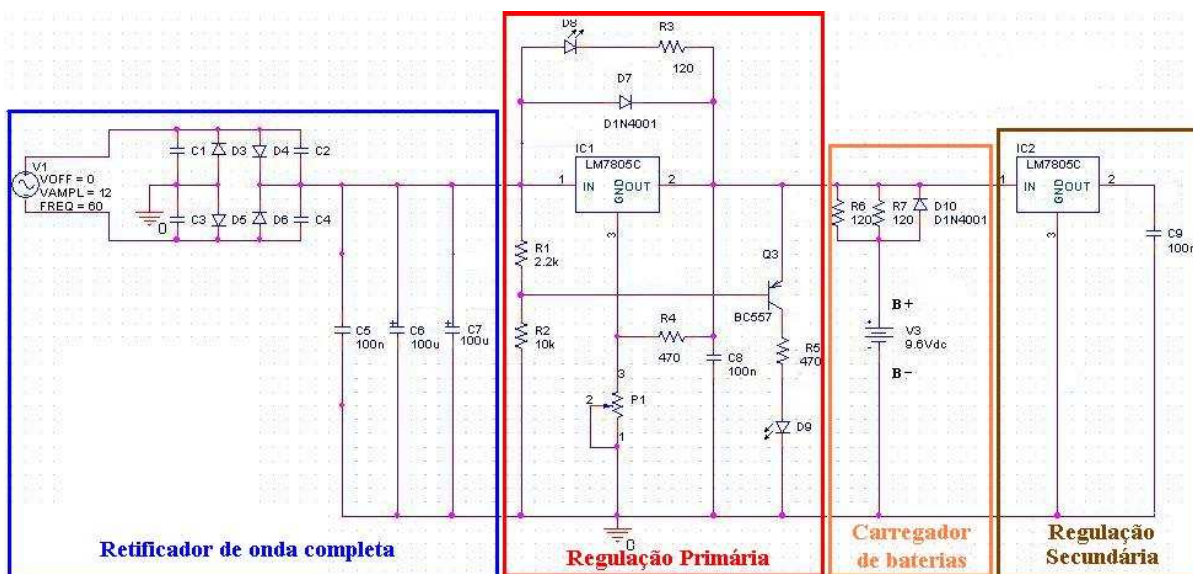


Figura 3.7 - Circuito de alimentação / recarregador de bateria.

O esquema do circuito é um pouco mais complexo do que costumamos ver em uma fonte de alimentação padrão e isso é devido ao fato de, além da alimentação da montagem ter de assegurar a permanência desta última, mesmo no caso de corte da tensão da rede. Isso explica a existência dos diodos LED de apresentação visual (D8 e D9); o primeiro, de cor amarela, indica a presença da tensão da rede, e o segundo, de cor vermelha, indica que a alimentação da montagem é proporcionada por uma bateria.

No primeiro caso, a tensão do regulador IC1 é superior à disponível na sua saída, o que produz a iluminação do diodo amarelo. Quando a tensão à entrada do regulador for de uns 12V, a tensão no ponto de união de R1 e R2 será de uns 10V e então Q1 não conduz, pelo que D9 se apagará. No caso de desaparecer a tensão da rede, Q1 conduzirá e D9 ilumina-se. De tudo isso se deduz que a tensão mínima de alimentação tem de ser ao menos de 12Volts de corrente contínua. Como na entrada de alimentação ao circuito há um retificador do tipo ponte, não há polaridade na tensão V1 que vem do transformador.

Durante o semi-ciclo positivo, conduzirão os diodos D4 e D5, e durante o semi-ciclo negativo, conduzirão o D3 e D6. Vale mencionar que, utilizando-se um transformador de 220V para 16V na entrada espera-se obter um resultado ainda melhor, principalmente no que diz respeito ao carregamento das baterias. Entretanto, deve-se tomar cuidado para não danificar alguns capacitores eletrolíticos que se encontram no circuito, já que estes são projetados para funcionar com tensão máxima de 16V. Assim, se for adotada a opção de substituir o transformador original, que é de 220V para 12V, deve-se substituir também tais capacitores por outros mais adequados ao novo nível de tensão.

O acumulador preferido para se utilizar como fonte de energia caso a tensão da rede deixe de existir é a montagem de 8 elementos de níquel-cádmio de 1,2 Volts e de uns 1.200mA-hora cada um. Outra possibilidade é a de instalar 6 pilhas não recarregáveis de 1,5 Volts cada uma, mas neste caso é preciso retirar os resistores R6 e R7. É muito importante retirar estes resistores se forem conectadas ao circuito pilhas não recarregáveis, sobre tudo se forem alcalinas, pois existe perigo de explosão. A utilização das recarregáveis é o mais recomendável, já que pode se manter na sua carga ótima pelo circuito de recarregamento, o que resulta impossível de conseguir no caso das pilhas que se auto descarregam com lentidão. Neste último caso, é conveniente verificar periodicamente seu estado, para evitar que estejam com baixa carga precisamente no dia em que se corta a rede, o que é muito provável que ocorra de acordo com o estabelecido pela lei de Murphy. No caso de decidir instalar as 6 pilhas de 1,5 Volts, o potenciômetro P1 deverá ser ajustado de forma que a saída do regulador IC1 proporcione uma tensão de uns 9 Volts. Com os resistores R6 e R7 retirados, o diodo D10 impedirá que chegue tensão às pilhas, mas na ausência da rede, o diodo conduzirá, proporcionando assim a tensão de alimentação ao circuito.

Se forem instaladas baterias recarregáveis, é preciso prestar atenção à capacidade das células instaladas para ajustar sua carga. Como elas deverão estar permanentemente conectadas ao circuito, é preciso que sejam mantidas sempre à plena carga. Esta carga contínua das células deve estar ao redor de $0,01 \times C$, onde C é a capacidade das células, pelo que, se escolhermos umas células de 1,2 Ampères ($C=1200\text{mA}$), uma boa corrente de manutenção pode estar situada em uns 12 miliampères (1% da capacidade). Se as

células estiverem totalmente descarregadas, nestas condições de carga demorarão um pouco mais de 140 horas a serem carregadas, mas com isso asseguramos que não se avariarão pela sobrecarga à qual vão estar expostas. As células deverão estar carregadas antes de realizar o ajuste de P1. Para ajustar a corrente de carga, conectaremos o terminal negativo do pacote das baterias ao terminal B-, selecionaremos no multímetro uma medida de corrente de 200 mA, colocaremos suas pontas entre o terminal B+ e o positivo do pacote e ajustaremos P1 até conseguirmos aproximadamente uma corrente de carga de $0,1 \times C$ (10% da capacidade) durante 14 horas (120 miliampéres se as células forem de 1.200 mA). À medida que as baterias forem sendo carregadas, será preciso ir ajustando P1 quantas vezes forem necessárias para manter a corrente de carga. Se não conseguirmos obter uma corrente de carga de $0,1 \times C$, será preciso prolongar o tempo de modo que este seja inversamente proporcional à corrente de carga que estamos mantendo. Assim, manteremos sempre a igualdade:

$$\text{Tempo de carga} = 14 \times 0,1 \times C / \text{Corrente de carga} \quad (4)$$

Quando as baterias estiverem carregadas, ajustaremos P1 para que a corrente de manutenção seja de $0,01 \times C$ (uns 12mA para baterias de 1.200mA).

Temos que dizer que o circuito pode funcionar perfeitamente sem baterias. Neste caso, não tem muita importância a tensão de saída de IC1. Pode-se ajustar P1 para que proporcione uma tensão superior a 10Volts.

Chamará a atenção a presença de outro regulador de tensão, o circuito IC2. Este é precisamente o regulador que proporciona os 5 Volts aos circuitos da placa de processamento. Na ausência de tensão de rede, a tensão das pilhas ou das baterias é a que chega à sua entrada, proporcionando os 5 Volts de alimentação que sempre estarão presentes na sua saída. Vale ressaltar que, devido às especificações técnicas de funcionamento deste componente (LM7805), para que se obtenha sempre a tensão nominal no seu terminal de saída (5 Volts), a tensão de entrada deve estar na faixa de valores que vai de 7 Volts a 20 Volts. Testes realizados mostraram que, aplicando tensões de entrada entre 7 e 8 Volts, valores enquadrados na faixa recomendada pelo datasheet do regulador, não se obteve o valor nominal na saída, justificando-se assim a necessidade de

serem utilizados 8 elementos de níquel-cádmio de 1,2 Volts cada ou 6 pilhas não recarregáveis de 1,5 Volts cada uma como fonte secundária de alimentação. De fato, utilizando-se uma bateria de Ni-Cd de 9V, obteve-se 4,98V na saída, valor que se mostrou inalterado quando se fez o chaveamento da alimentação da bateria com a da rede elétrica.

3.3.2.2. Recarregador de Baterias com Circuito Integrado Específico



Figura 3.8 - Circuito Integrado Carregador de Bateria bq2002GPN utilizado no projeto.

O Circuito Integrado *Fast-Charge* BQ2002G é um controlador CMOS de carregador de baterias de baixo consumo que fornecem um carregamento de confiança para ambas aplicações de baterias de NiCd ou NiMH. Um controle de corrente limitada ou corrente constante permite ao BQ2002G ser uma base de custo-benefício de um sistema carregador integrado. O BQ2002E/G integra um *fast-charge* a um *top-off* opcional e um controle de um *pulsed-trickle* em um simples CI para carregar uma bateria ou mais baterias de NiCd ou de NiMH.

O *fast-charge* é determinado por qualquer uma das variáveis abaixo:

- Detecção de pico de tensão ou Peak Voltage Detection (PVD);
- Variação negativa de tensão ou Negative Delta Voltage ($-\Delta V$);
- Tensão máxima;

- Temperatura máxima;
- Tempo máximo.

Outra característica que pode ser ressaltada é a utilização de seu sistema de consumo de energia reduzido caso o BQ2002G seja colocado no modo Low-standby-power.

Uma figura com as devidas pinagens é mostrada abaixo, e em seguida o significado de cada pino:

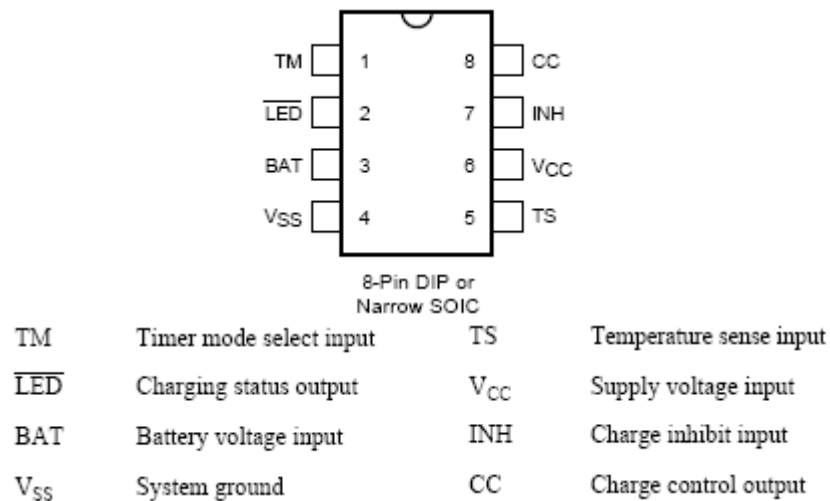


Figura 3.9 - Pinagens do BQ2002G.

Para um maior esclarecimento sobre a utilização de cada uma dessas funções, será mostrado um breve comentário sobre os pinos em questão:

- TM: uma entrada de três níveis que controla os parâmetros para o tempo de segurança do *fast-charge*, *pulse-trickle* e o tempo de *hold-off* da tensão;
- LED: saída que indica a situação de carregamento;
- BAT: entrada da tensão da bateria. A entrada a este pino é criada por uma rede de divisor de alta impedância entre os terminais positivos e negativos da bateria;

- Ts: entrada para um termistor externo de monitoramento da temperatura da bateria;
- Vcc: tensão de 5 Volts de alimentação do componente, com uma faixa de aceitação de +/-20%;
- INH: quando em estado lógico alto, o INH suspende o progresso do *fast-charge*. Quando retorna ao estado lógico baixo, o CI resume a operação do ponto que inicialmente foi suspenso;
- CC: saída usada como controle da corrente de carregamento da bateria. Mudando CC para uma alta impedância (Z) permite fluir a corrente de carregamento. Já para uma baixa impedância, inibe a corrente de carregamento. CC é modulado para fornecer um *top-off*, se ativado, e um *pulse trickle*.

A tensão e a temperatura da bateria são monitoradas para valores permitidos máximos. A tensão presente na entrada da bateria, BAT, deveria representar um potencial de uma única célula para a bateria em carregamento. Uma relação do divisor resistivo deve ser respeitado pela seguinte fórmula:

$$\frac{RB1}{RB2} = N - 1 \quad (5)$$

É recomendada esta relação para manter a tensão da bateria entre uma faixa válida de valores, onde N é o número de células, RB1 o resistor conectado ao terminal positivo da bateria e RB2 o resistor conectado ao terminal negativo, assim como mostrado na figura a seguir:

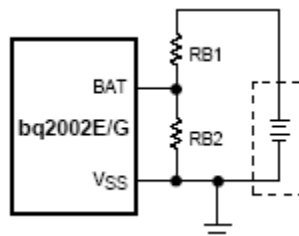


Figura 3.10 - Conexão da rede do divisor resistivo no BQ2002G.

Devemos lembrar também que na rede do divisor resistivo, a impedância deve estar entre $200k\Omega$ e $1M\Omega$. Entretanto, não se colocaram os resistores em questão na placa de circuito impresso, pois, como não se utilizou tal circuito carregador de baterias nesta etapa do projeto, preferiu-se deixar a critério dos futuros pesquisadores o dimensionamento de tais componentes. Mesmo não tendo sido utilizado, o circuito contendo o CI bq2002G foi previsto e desenhado na placa de alimentação. Isto serve como uma sugestão de aprimoramento futuro do aparelho.

Foi feita uma pesquisa sobre os modelos encontrados de carregadores de bateria e as tabelas abaixo mostram algumas diferenças entre eles:

Tabela 3.2 – Diferença entre os carregadores de bateria.

Modelo	Lead Acid	Li - Ion	Li - Polymer	NiCd	NiMH	# Células em Série
BQ2000		Sim	Sim	Sim	Sim	Múltiplo
BQ2002G				Sim	Sim	Múltiplo
BQ2002T				Sim	Sim	Múltiplo
BQ2003				Sim	Sim	Múltiplo
BQ2004H				Sim	Sim	Múltiplo
BQ2005				Sim	Sim	Múltiplo
BQ2031	Sim					Múltiplo
BQ2054		Sim	Sim			Múltiplo

Tabela 3.3 – Diferença entre os carregadores de bateria (cont.1).

Modelo	Método primário de terminação do carregamento	Timer para um carregamento Seguro	Monitoramento da Temperatura
BQ2000	Corrente Mínima, PVD	Sim	Sim
BQ2002G	(-)dV , PVD	Sim	Sim
BQ2002T	dT/dt	Sim	Sim
BQ2003	(-)dV, dT/dt	Sim	Sim

BQ2004H	(-)dV, dT/dt, PVD	Sim	Sim
BQ2005	(-)dV, dT/dt	Sim	Sim
BQ2031	(-)d2V, Tensão Máxima, Corrente Mínima	Sim	Sim
BQ2054	Corrente Mínima	Sim	Sim

Tabela 3.4 – Diferença entre os carregadores de bateria (cont.2).

Tabela 3.5 – Diferença entre os carregadores de bateria (cont.3).

Modelo	Corrente de Carregamento (max) (A)	Saída do Estado de Carregamento	Topologia de Controle	Frequência de Comutação (kHz)
BQ2000	>2	1	Modo de Comutação	500
BQ2002G	>2	1	Corrente Limitada	
BQ2002T	>2	1	Corrente Limitada	
BQ2003	>2	2	Modo de Comutação	300
BQ2004H	>2	2	Modo de Comutação	300
BQ2005	>2	4	Modo de Comutação	300
BQ2031	>2	3	Modo de Comutação	100
BQ2054	>2	3	Modo de Comutação	100

Modelo	Pinagem	Preço Aproximado 1KU (US\$)	Descrição
BQ2000	8PDIP, 8SOIC, 8TSSOP	1.7	CI de Gerência de Carregamento de Baterias de Múltiplas Químicas com Detecção de Terminação pela Tensão de Pico
BQ2002G	8PDIP, 8SOIC	1.05	CI de Gerência de Carregamento de Baterias de NiCd/NiMH com Detecção de Terminação pela Tensão de Pico e dV negativo
BQ2002T	8PDIP, 8SOIC	1.05	CI de Gerência de Carregamento de Baterias de NiCd/NiMH com Terminação por dT/dt
BQ2003	16PDIP, 16SOIC	2.2	CI de Gerência de Carregamento de Baterias de NiCd/NiMH com Terminação por dT/dt e dV negativo
BQ2004H	16PDIP, 16SOIC	2.2	CI de Carregamento de Baterias de NiCd/NiMH com Terminação por dV negativo, Detecção de tensão de Pico e dT/dt
BQ2005	20SOIC	2.2	CI de Carregamento de Baterias de NiCd/NiMH para Carregamento Sequencial de Packs duplos de Baterias
BQ2031	16PDIP, 16SOIC	2.8	CI de Carregamento de Baterias Lead-Acid com um Algoritmo de Carregamento Escolhido pelo Usuário
BQ2054	16PDIP, 16SOIC	2.3	CI de Carregamento de Baterias de Li-Ion

A escolha deste CI controlador de carregador de baterias foi basicamente pelo seu preço, já que o equipamento proposto tem como objetivo medir parâmetros de qualidade de energia de consumidores de pequeno porte, que poderia ser uma residência ou um pequeno empresário. Para minimizar ao máximo a questão de custo do aparelho, buscamos utilizar componentes sempre os mais baratos possível.

Outro item foi a possibilidade de carregarmos baterias de NiCd, já que esta foi a nossa escolha do tipo de bateria. Entretanto, para definir o tipo de acumulador de carga recarregável a ser utilizado no projeto, foi realizado um estudo bastante aprofundado sobre as características e o funcionamento de vários tipos de baterias recarregáveis. Tal pesquisa e os critérios de escolha encontram-se no Anexo I desta obra.

3.3.3. Regulador para alimentação em 3,3V



Figura 3.11 - Vista superior do regulador de tensão TPS 76533 utilizado no projeto

É verdade que a tensão proveniente da placa de alimentação chega à placa de processamento regulada em 5V. Entretanto, o microcontrolador MSP430F149 é alimentado por uma tensão de 3,3V, necessitando portanto, de uma etapa de regulação adicional. O CI MAX3221 responsável pela comunicação do microcontrolador com o PC até poderia ser alimentado em 5V, mas por uma questão de padronização, optou-se por alimentá-lo com 3,3V DC também.

Uma alternativa analisada foi a utilização de divisores de tensão resistivos para reduzir a tensão de 5V para 3,3V. Entretanto, como resistores não apresentam uma confiabilidade muito grande quanto aos seus reais valores de resistência, seria difícil garantir que na saída haveria exatamente a tensão desejada. Outro fator determinante para o descarte desta idéia foi o fato de não se ter um controle eficiente da corrente que estaria fluindo pelo divisor resistivo, podendo acabar por comprometer a vida útil dos circuitos integrados a ele conectados.

O regulador de tensão TPS76533 foi projetado para ter uma corrente de operação muito reduzida e ser estável com a utilização de um capacitor de 4,7uF. Esta combinação resulta uma alta performance a um custo razoável.

Possui transistores PMOS que operam como resistores ativos, funcionando como dispositivos limitadores de tensão e definindo uma corrente de operação em torno de 35 uA independente da carga existente na saída. Essas características representam uma

grande vantagem para a vida útil de sistemas alimentados por baterias, o que se aplica perfeitamente à nossa situação. Sua tensão de saída permanece sempre constante em 3,3V quando alimentado com 5V, com uma tolerância de 3%, o que é perfeitamente aceitável.

Uma pergunta poderia surgir: Por que então não se utilizou o TPS76533 diretamente na placa de alimentação no lugar do último regulador LM7805 de 5V? A resposta é simples. Não há como se garantir uma tensão constante antes do último regulador LM7805, mas sabe-se que ela se encontra dentro da faixa de operação indicada para este dispositivo (7V – 20V). Entretanto, segundo informações obtidas no datasheet do TPS76533, a faixa de tensão de entrada recomendada varia de 4,3V até 10V. Como logo antes do segundo regulador de 5V da placa de alimentação encontra-se o terminal responsável pelo recarregamento da bateria, conclui-se que a tensão neste ponto sempre será de, no mínimo 10V, podendo extrapolar facilmente este valor. Isto certamente representaria um problema caso o regulador de 3,3V estivesse diretamente submetido a esta tensão. Entretanto, como sugestão de aprimoramentos futuros do aparelho, poderia ser realizado um estudo para que fosse possível utilizar diretamente o regulador de 3,3v no lugar do de 5V, reduzindo assim as dimensões do circuito final.

A seguir está mostrada a pinagem do CI TPS76533 e o circuito que foi implementado no projeto para a obtenção da tensão regulada desejada:

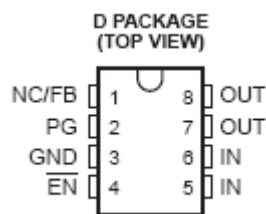


Figura 3.12 - Pinagens do TPS76533.

Tabela 3.6 – Descrição das pinagens do TPS76533.

Terminal Functions – SOIC Package			
TERMINAL NAME	NO.	I/O	DESCRIPTION
EN	4	I	Enable input
FB/NC	1	I	Feedback input voltage for adjustable device (no connect for fixed options)
GND	3		Regulator ground
IN	5	I	Input voltage
IN	6	I	Input voltage
OUT	7	O	Regulated output voltage
OUT	8	O	Regulated output voltage
PG	2	O	PG output

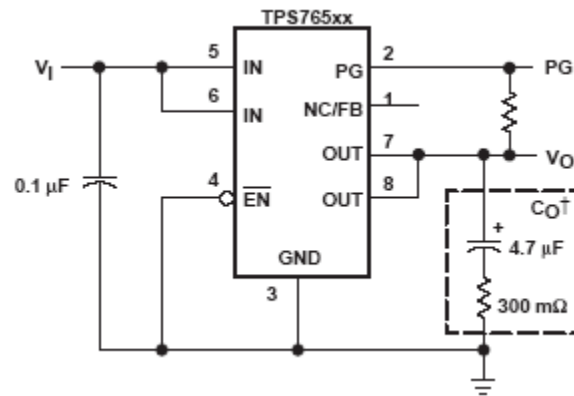


Figura 3.13 - Esquemático do circuito utilizado junto com o regulador TPS76533

Observa-se no esquemático acima um bloco com linhas tracejadas. Como todo regulador de baixa tensão de saída, o TPS76533 necessita de um capacitor conectado entre o pino OUT e o terra para estabilização. A menor capacitância recomendada é de 4,7 μ F e o resistor em série equivalente deve estar entre 300m Ω e 20 Ω . Capacitores com valores maiores que 4,7 μ F são aceitáveis desde que a resistência em série seja menor que 20 Ω . Assim, garante-se que o circuito funcionará conforme desejado. De fato, foi utilizado um capacitor eletrolítico de 4,7 μ F e um resistor de carbono de 15 Ω e obteve-se uma tensão regulada em 3,31V.

3.3.4. Condicionador do Sinal de Entrada

Essa etapa do circuito é uma das principais, responsável pela forma que o sinal vai adquirir para poder ser inserido na etapa de processamento. Sem realizar essa adequação

seria impossível analisar uma senóide com 220V de tensão RMS em um dispositivo digital tão delicado como um microcontrolador, que trabalha com tensão máxima de entrada de 3,3V e com valores de corrente na ordem de *mili* ou até mesmo *micro* ampére. Assim sendo, o objetivo nesta etapa é transformar o sinal “cru” que chega pela rede elétrica em um sinal adequado, que seja interpretável pelo microcontrolador.

3.3.4.1. Redução e Retificação do Valor da Tensão

A princípio, precisa-se reduzir o nível de tensão que chega da rede para níveis mais razoáveis de se trabalhar. Para isso foi utilizado um transformador monofásico que rebaixa a tensão de 220V para 9V. Este dispositivo apresenta três saídas, onde se consegue obter até 18V. A idéia de utilizar transformador veio devido ao fato deste equipamento refletir fielmente todo o comportamento oscilatório do sinal de tensão que chega a seus terminais de entrada.

Após o sinal ter passado pelo trafo e estar com amplitude reduzida, conforme foi sugerido na etapa de pesquisa desta obra, necessitou-se utilizar um circuito capaz de fazer a retificação completa do sinal. Entretanto, uma nova alternativa foi testada e apresentou excelentes resultados. Esta nova opção está mostrada no circuito a seguir:

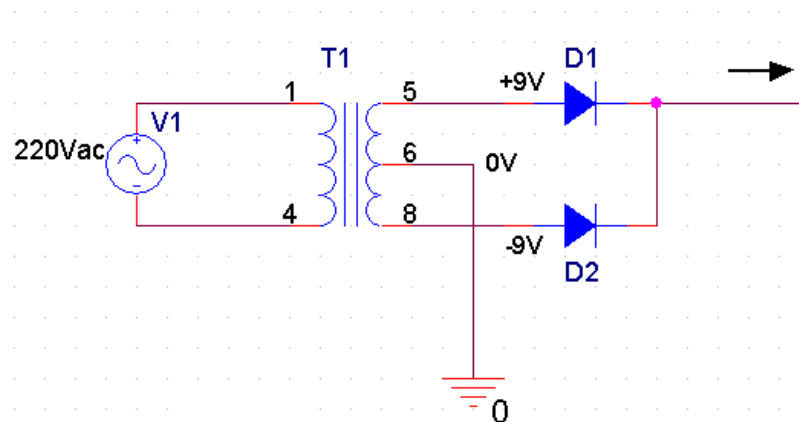


Figura 3.14 - Simulação do circuito retificador de tensão

Na verdade esta configuração é uma variante da tradicional ponte de diodos. Observa-se que o transformador possui três saídas, sendo que, quando conectamos a saída central ao terra, Conseguimos obter um sinal alternado de 18 V. Quando a senóide

encontra-se no seu semi-ciclo positivo, observa-se que somente o diodo D1 estará conduzindo, permitindo que os valores positivos de tensão sejam transferidos para a saída do circuito. Entretanto, quando o sinal senoidal estiver em seu semi-ciclo negativo, somente o diodo D2 entrará em condução, fazendo aparecer uma nova sequência de valores de tensão positivos na saída do circuito. Por fim, ter-se-á uma onda completamente retificada na saída do circuito com valor de 9V RMS.

Conforme foi amplamente pesquisado na primeira etapa desta obra, após o sinal ter sido retificado, este deveria ser injetado em um acoplador óptico para, em seguida, ser encaminhado ao microcontrolador para análise. Entretanto, não se obteve resultados muito satisfatórios na utilização do acoplador óptico. Muito provavelmente este dispositivo não estava sendo utilizado da melhor forma pelos pesquisadores do projeto. Assim, para dedicar mais tempo às outras partes do circuito que se mostravam mais importantes, optou-se por utilizar um divisor resistivo que adequasse o sinal retificado à tensão máxima permitida na entrada do microcontrolador. Houve também uma preocupação com o valor de corrente que estaria sendo fornecido ao circuito de processamento. Assim, não se podia escolher resistores com valores muito pequenos. O circuito divisor de tensão está mostrado a seguir:

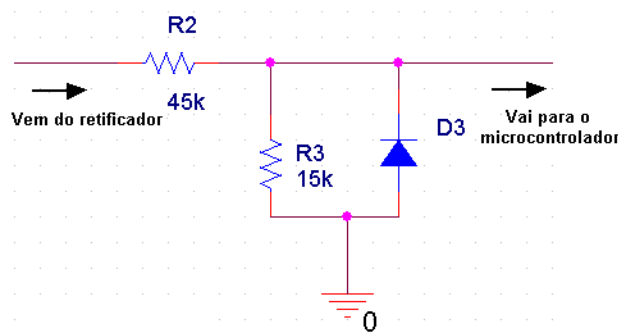


Figura 3.15 - Circuito divisor de tensão

Considerando que a tensão de 18Vac foi retificada por um retificador de onda completa e apresenta agora uma onda com valores somente positivos de 9Vac RMS (12,73Vac de pico), precisou-se dimensionar os resistores R3 e R2 de modo a obter-se 3V de queda sobre R3, que é a tensão de entrada do sinal no MSP. Optou-se por escolher um

valor máximo de 3V e não 3,3V, que é o limite aceitado pelo microcontrolador, para termos uma margem de segurança um pouco maior, já que, considerando que 3V no MSP correspondem a $220 \times 1,4142 = 311,13V$, que é a tensão de pico da rede elétrica, cada 0,1V no MSP equivale a 10,37V na rede elétrica, nos dando portanto, uma faixa de segurança de cerca de 31V.

O cálculo dos resistores foi feito da seguinte maneira:

$$V_{R3} = V \cdot \left(\frac{R3}{R3 + R2} \right) \quad (6)$$

Onde:

$$\begin{aligned} V_{R3} &= 3V \\ V &= 12,73V \\ R3 &= 15\Omega \end{aligned}$$

Isso nos deu um valor de R2 próximo a 45k Ω .

Nota-se também no circuito divisor de tensão a presença de um diodo em paralelo com R3. Este componente tem a única função de garantir que não será injetado nenhum valor de tensão negativo no microcontrolador, já que, caso o sinal apresente alguma falha na retificação e haja alguma corrente de sinal oposto ao esperado, esta será drenada para o terra por este diodo. Processo análogo foi estudado para o caso de ocorrer alguma sobretensão. Pensou-se em adicionar outro diodo entre a trilha que conduz o sinal de entrada e a trilha de alimentação em 3,3V que vem da saída do regulador. Isso faria as corrente de sobretensão serem drenadas para o fio de alimentação, salvando a entrada de sinal do MSP. Entretanto, com este procedimento, haveria a possibilidade de se queimarem os CIs alimentados por aquela trilha, já que seriam submetidos a tensões superiores à nominal de funcionamento. Assim, esta idéia também foi abolida do projeto.

3.3.5. Microcontrolador

3.3.5.1. Introdução ao Microcontrolador

Cada vez mais existem produtos que incorporam um microcontrolador. Ele está presente em nosso trabalho, casa e em nossa vida em geral. Podemos encontrá-los controlando o funcionamento de teclados, rádios, microondas, televisores, calculadoras. Uma aplicação típica seria a de implementar vários microcontroladores para controlarem pequenas partes de um sistema. Estes pequenos controladores comunicar-se-iam entre si e com um processador central para compartilhar informações e coordenar suas ações, assim como ocorre com qualquer computador. Enfim, como se pode notar há uma vasta área de atuação destes dispositivos.

O aparecimento do microcontrolador está diretamente ligado ao microprocessador, já que se pode dizer que o microprocessador é uma peça das várias do quebra-cabeça do microcontrolador. Para que um microprocessador possa ser usado, outros componentes devem-lhe ser adicionados, tais como memória e componentes para receber e enviar dados. Por outro lado, o microcontrolador foi projetado para ter tudo num só, uma vez que os periféricos necessários já estão contidos nele. Assim, pode-se poupar tempo e espaço na construção dos dispositivos.

3.3.5.2. Características do Microcontrolador MSP430F149

O MSP430F149 fabricado pela TEXAS INSTRUMENTS está dentro de uma família constituída por microcontroladores de consumo de potência ultra baixo. Ele praticamente consome uma corrente menor que 400 μA no modo operacional ativo numa frequência de 1 MHz com tipicamente 3 Volts no sistema. Em menos de 6 microssegundos, o sistema pode voltar do modo *standby* com uma corrente menor que 2 μA para o modo de operação de sincronização plena. Com esta configuração é possível para o usuário projetar com um mínimo consumo de corrente e com uma rápida resposta de tempo para o *wake-up* do sistema, sendo possível um máximo tempo de vida da bateria [9].

Toda a parte da memória e periféricos é endereçada em um único espaço, o que se pode considerar como uma arquitetura de Von-Neumann. Esta arquitetura permitiu obter um processamento poderoso e flexível, já que se utiliza de uma estrutura altamente ortogonal e avançado sistema de sincronismo.



Figura 3.16 - Foto do microcontrolador MSP430F149 utilizado no projeto

Uma outra vantagem que se pode mencionar é o tamanho da memória Flash para o armazenamento apropriado dos dados requeridos pelo projeto e um grande número de periféricos para implementações futuras a serem realizadas.

Algumas características do microcontrolador MSP430F14X estão descritas abaixo[10]:

- *Modo Ativo: 280 μ A a 1 MHz, 2.2V;*
- *Modo de Espera: 1.6 μ A;*
- *Modo Desligado (Retenção da RAM): 0.1 μ A;*
- *Cinco Modos para Economia de Energia;*
- *Religamento de um Modo de Espera em menos de 6 μ s;*
- *Arquitetura RISC de 16-Bit, 125-ns de Tempo de Ciclo de Instrução;*

- *Conversor A/D de 12-Bit A/D com característica de Referência Interna, Sample-and-Hold e Autoscan;*
- *Timer B de 16-Bit com sete registradores Capture/Compare-With-Shadow;*
- *Timer A de 16-Bit com três registradores Capture/Compare;*
- *Comparador no Chip;*
- *Programação Serial Integrada, sem a necessidade de se ter uma tensão externa para a programação, Código de Proteção Programável pela Security Fuse;*
- *Interface de Comunicação Serial (USART), funcionando como Interface Assíncrona UART ou Síncrona SPI;*
- *Duas USARTs (USART0, USART1);*
- *Memória FLASH de 60KB+256B, RAM de 2KB;*
- *Sete Modos de endereços de fonte;*
- *Quatro Modos de endereços de destino;*
- *Somente 27 Instruções do Núcleo;*
- *Sem limites de nível de interrupções ou Subrotinas;*
- *Um grande arquivo de registro;*
- *Capacidade de execução de Ram;*
- *Eficiente Processamento de tabela;*
- *Rápida conversão de hexa para decimal;*
- *Conversor A/D de 12 bit integrado;*

- *Comparador preciso integrado;*
- *Múltiplos timers e capacidade de PWM;*
- *Conversor de inclinação A/D;*
- *USART(s) integrado;*
- *Watchdog Timer;*
- *Múltiplos I/O com capacidade de interrupção extensiva;*
- *Oscilador programável integrado;*
- *Oscilador de cristal de 32-kHz;*
- *Oscilador de cristal de 450kHz a 8MHz (dispositivos selecionados);*
- *Masked ROM;*
- *OTP (in-system programmable);*
- *Flash (in-system programmable);*
- *EPROM (UV-erasable, in-system programmable);*
- *Faixa de temperatura de operação entre -40° a $+85^{\circ}$ C;*
- *Espaço de endereçamento de até 64K;*

3.3.6. Comunicação Serial com o PC

3.3.6.1. Introdução ao RS232

RS é uma abreviação de “*Recommended Standard*”. Ela relata uma padronização de uma interface comum para comunicação de dados entre equipamentos, criada no início dos anos 60, por um comitê conhecido atualmente como “*Electronic Industries Association*” (EIA). Naquele tempo, a comunicação de dados compreendia a troca de

dados digitais entre um computador central (*mainframe*) e terminais de computador remotos, ou entre dois terminais sem o envolvimento do computador. Estes dispositivos poderiam ser conectados através de linha telefônica, e conseqüentemente necessitavam um modem em cada lado para fazer a decodificação dos sinais. Dessas idéias nasceu o padrão RS232. Ele especifica as tensões, temporizações e funções dos sinais, um protocolo para troca de informações, e as conexões mecânicas.

Embora tenha sofrido poucas alterações, muitos fabricantes adotaram diversas soluções mais simplificadas que tornaram impossível a simplificação da padronização proposta. As maiores dificuldades encontradas pelos usuários na utilização da interface RS232 incluem pelo menos um dos seguintes fatores:

- A ausência ou conexão errada de sinais de controle, resultam em estouro do buffer (“overflow”) ou travamento da comunicação;
- Função incorreta de comunicação para o cabo em uso, resultam em inversão das linhas de Transmissão e Recepção, bem como a inversão de uma ou mais linhas de controle (“*handshaking*”).

Felizmente, os drivers utilizados são bastante tolerantes aos abusos cometidos, e os CIs normalmente sobrevivem.

3.3.6.2. Definição de Sinais

Se a norma EIA232 completa for implementada, o equipamento que faz o processamento dos sinais é chamado DTE (*Data Terminal Equipment* – usualmente um computador ou terminal). O equipamento que faz a conexão (normalmente uma interface com a linha telefônica) é denominado de DCE (*Data Circuit-terminating Equipment* – usualmente um modem). Diversos sinais são necessários para conexões onde o dispositivo DCE é um modem, e eles são utilizados apenas quando o protocolo de software os emprega. Para dispositivos DCE que não são modem, ou quando dois dispositivos DTE são conectados diretamente, poucos sinais são necessários.

Os sinais de temporização de transmissão e recepção são utilizados somente quando o protocolo de transmissão utilizado for síncrono. Para protocolos assíncronos, padrão 8 bits, os sinais de temporização externos são desnecessários.

Os nomes dos sinais que implicam em uma direção. Como “*Transmit Data*” e “*Receive Data*”, são nomeados do ponto de vista dos dispositivos DTE. Se a norma EIA232 for seguida a risca, estes sinais terão o mesmo nome e o mesmo número de pino do lado do DCE. Infelizmente, isto não é feito na prática pela maioria dos engenheiros, provavelmente porque em alguns casos torna-se difícil definir quem é o DTE e quem é o DCE. A figura a seguir apresenta a convenção utilizada para os sinais mais comuns, considerando-se um cabo DB25.

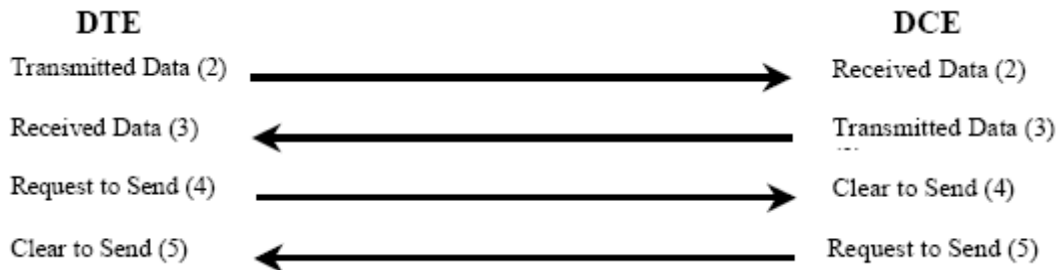


Figura 3.17 - Convenção de sinais em um cabo DB25.

- *Transmitted Data* (TD): um de dois sinais de dados separados. Esse sinal é gerado pelo DTE e recebido pelo DCE;
- *Received Data* (RD): o segundo dos dois sinais de dados separados. Esse sinal é gerado pelo DCE e recebido pelo DTE;
- *Request to Send* (RTS): quando o sistema terminal (DTE) está pronto para transmitir dados ao sistema periférico (DCE), RTS posto em *ON*. Em sistemas simplex e duplex, essa condição mantém o DCE em modo de recepção e desabilita o modo de transmissão. A condição *OFF* mantém o DCE em modo de transmissão. Depois que o RTS foi confirmado, o DCE deverá confirmar o CTS antes que a comunicação comece;

- *Clear to Send* (CTS): CTS é usado em conjunto com o RTS para fornecer o “*handshaking*” entre o DTE e o DCE. Depois que o DCE verificar uma confirmação do RTS, ele põe o CTS em *ON* quando estiver pronto para começar a comunicação;
- *Data Set Ready* (DSR): Esse sinal é posto em *ON* pelo DCE para indicar que está conectado à linha de telecomunicação;
- *Data Carrier Detect* (DCD): Esse sinal é posto em *ON* quando o DCE está recebendo um sinal de um DCE remoto no qual encontra seu critério de sinal apropriado.
- *Data Terminal Ready* (DTR): DTR indica a prontidão do DTE. Esse sinal é posto em *ON* pelo DTE quando está pronto para transmitir ou receber dados do DCE. DTR deve estar sempre em *ON* antes que o DCE possa confirmar o DSR.

3.3.6.3. Características

Características Elétricas

Esta seção das características elétricas do padrão RS-232 incluem especificações nos níveis de tensão, taxa de mudança do nível do sinal e impedância da linha.

O padrão original RS-232 foi definido em 1962. Como usava-se a lógica TTL nesta época, não seria uma surpresa que o padrão não se utilizava de 5 volts e terra como níveis lógicos. Ao invés, um nível alto para a saída do driver é definido como sendo +5 a +15 volts e o nível baixo para a saída do driver como sendo -5 a -15 volts. O nível lógico do receiver foi definido para fornecer uma margem de ruído de 2 volts. Logo, o nível alto para o receiver passaria a ser entre +3 e +15 volts e o nível baixo de -3 a -15 volts. A figura 3.18 ilustra o nível lógico definido pelo padrão RS-232. É necessário notar que, para a comunicação RS-232, o nível lógico alto (de -3 a -15 volts) é caracterizado pela lógica 1, e historicamente referido como “marking”. Similarmente, o nível lógico baixo (de +3 a +15 volts) é então relacionado à lógica 0 e é referido como “spacing”.

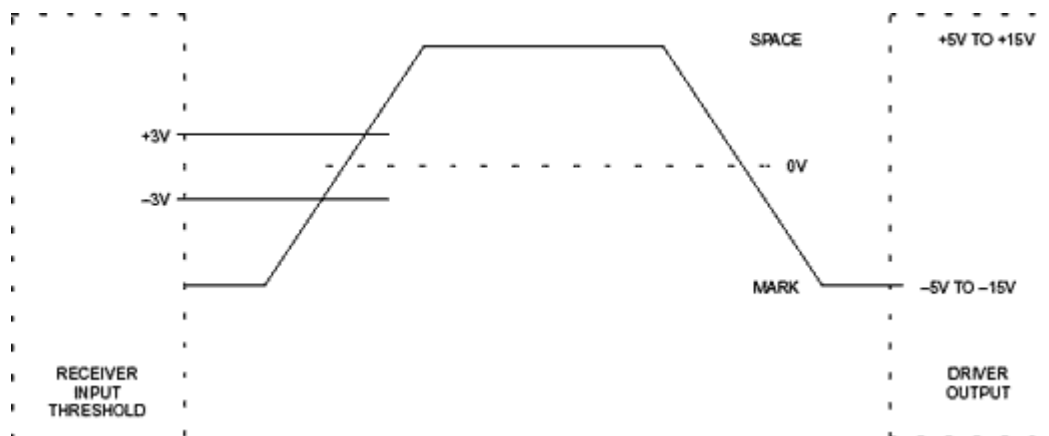


Figura 3.18 - Especificações dos níveis lógicos do RS-232.

O padrão RS-232 também limita o máximo *slew rate* na saída do driver. Esse limite foi incluído para ajudar a reduzir o cruzamento entre sinais adjacentes, “*cross talk*”. Quanto menor o tempo de subida e descida, menor a chance de se ocorrer o *cross talk*. Com isso em mente, o *slew rate* máximo permitido é de 30 V/ms. Adicionalmente, a taxa de transferência de dados máxima de 20 kbits/segundo foi definida pelo padrão RS-232. Também com o propósito de se reduzir as chances de ocorrerem *cross talk*.

A impedância da interface entre o driver e o receiver foi definida. A carga vista pelo driver é especificado para ser entre 3kΩ a 7kΩ. Para o padrão RS-232 original, o cabo entre o driver e o receiver foi especificado para ser no máximo de 15 metros de comprimento. Essa parte do padrão foi trocada na revisão “D” (EIA/TIA-232-D). Ao invés de se especificar o comprimento máximo do cabo, uma máxima carga capacitiva de 2500 pF foi especificada na qual é claramente muito mais adequada. O comprimento máximo do cabo é determinado pela capacitância por unidade de comprimento no qual é fornecido pelas especificações no cabo.

Características Funcionais

Já que o RS-232 é um padrão completo, está incluído mais do que somente especificações nas características elétricas. O segundo aspecto de operação que é abordado pelo padrão corresponde à funcionalidade característica da interface. Isso essencialmente quer dizer que o RS-232 definiu a função dos diferentes sinais que são usados na interface. Esses sinais são divididos em quatro diferentes categorias: *common*,

data, control e timing. A tabela 3.7 ilustra os sinais definidos pelo padrão RS-232. O padrão fornece abundantes sinais de controle e suporta canais de comunicação primário e secundário. Felizmente poucos aplicativos necessitam de todos os sinais definidos, como não é o caso.

Tabela 3.7 - Sinais definidos no padrão RS-232.

Mnemônico do Circuito	Nome do Circuito	Direção do Circuito	Tipo de Circuito
AB	Common Signal	—	Comum
BA	Transmitted Data (TD)	Para o DCE	Dados
BB	Received Data (RD)	Vindo do DCE	
	Request to Send (RTS)		
CA	Clear to Send (CTS)	Para o DCE	
CB	DCE Ready (DSR)	Vindo do DCE	
CC	DTE Ready (DTR)	Vindo do DCE	
CD	Ring Indicator (RI)	Para o DCE	
CE	Received Line Signal Detector (DCD)	Vindo do DCE	
CF	Signal Quality Detector	Vindo do DCE	
CG	Data Signal Rate Detector from DTE	Vindo do DCE	Controle
CH		Para o DCE	
CI	Data Signal Rate Detector from DCE	Vindo do DCE	
CJ		Para o DCE	
RL	Ready for Receiving	Para o DCE	
LL	Remote Loopback	Para o DCE	
TM	Local Loopback	Vindo do DCE	
	Test Mode		
DA	Transmitter Signal Element Timing from DTE	Para o DCE	
	Transmitter Signal Element Timing from DCE	Vindo do DCE	Timing
DB		Vindo do DCE	
DD	Receiver Signal Element Timing From DCE	Vindo do DCE	
SBA	Secondary Transmitted Data	Para o DCE	Data
SBB	Secondary Received Data	Vindo do DCE	
SCA	Secondary Request to Send	Para o DCE	Control
SCB	Secondary Clear to Send	Vindo do DCE	
SCF	Secondary Received Line Signal Detector	Vindo do DCE	

Características de Interface Mecânicas

A terceira área abordada pelo RS-232 engloba a interface mecânica. Em particular, o RS-232 especifica um conector de 25 pinos. Esse é um conector de tamanho mínimo que pode acomodar todos os sinais definidos nas características funcionais do padrão. As atribuições desses pinos podem ser mostradas na figura 3.19.

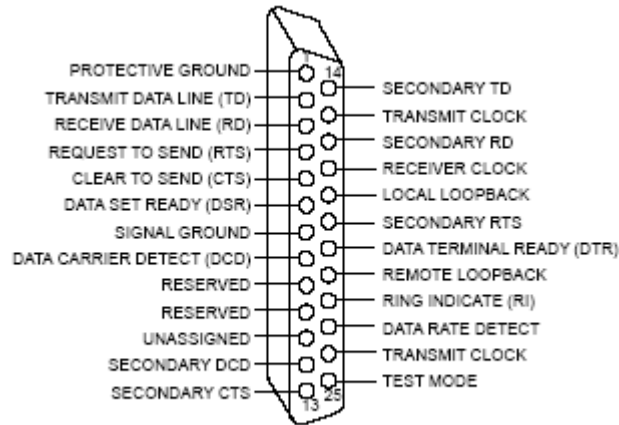


Figura 3.19 - Conector de 25 pinos.

Apesar do RS-232 especificar um conector de 25 pinos, é de se notar que geralmente este conector não é o utilizado. Isso é devido ao fato da maioria das aplicações não necessitarem todos os sinais definidos. Este é o caso do projeto em questão, já que está sendo usado um conector de 9 posições, o DB9, ilustrado na figura 3.20. Este conector fornece os meios de transmissão e recepção de sinais necessários para pequenas aplicações.

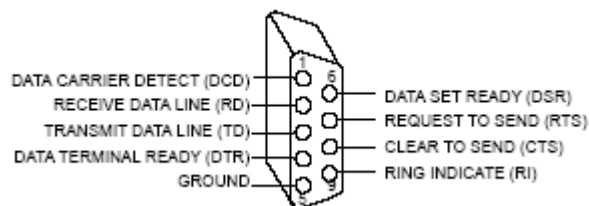


Figura 3.20 - Conector de 9 pinos fêmea.



Figura 3.21 - Conector de 9 pinos macho.

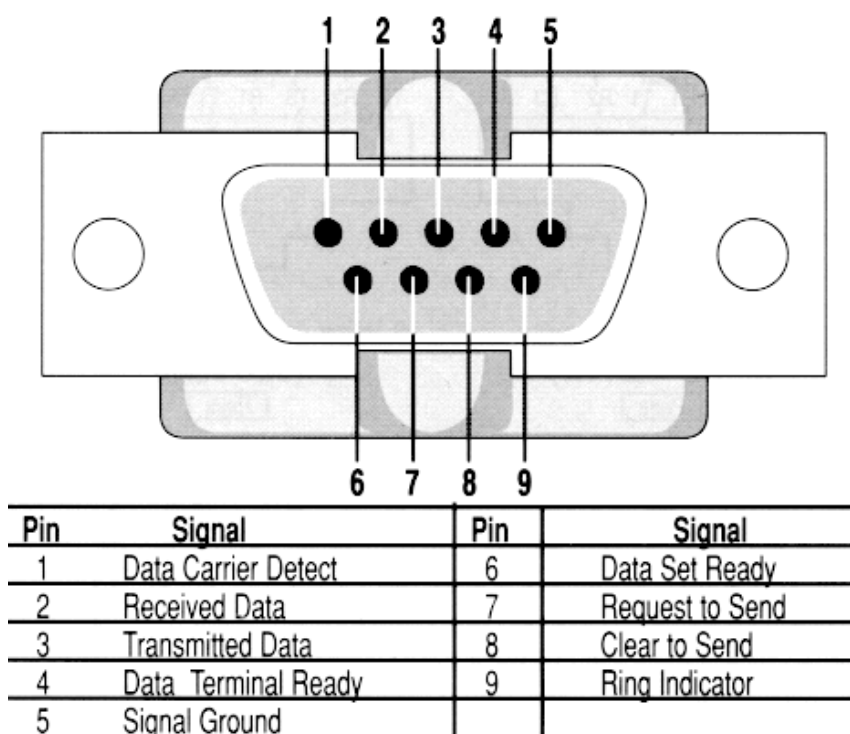


Figura 3.22 - Especificação dos pinos de um conector de 9 pinos macho.

3.3.6.1. Conversores de Nível TTL – RS232

A maioria dos sistemas projetados hoje não se opera usando níveis de tensão RS-232. Já que este é o caso, a conversão de nível é necessária para executar uma comunicação RS-232. A conversão de nível é executada por um CI RS-232 especial. Este CI tem tipicamente uma linha de drivers que gera os níveis de tensão requeridos por RS-232 e uma linha de receivers que pode receber níveis de tensão RS-232 sem ser danificada. Esta linha de drivers e receivers inverte tipicamente o sinal também, já que a lógica 1 é representada por um nível de baixa tensão para uma comunicação RS-232 e a

lógica 0 é representada do mesmo modo por um nível lógico elevado. A figura 3.23 ilustra a função RS-232 de uma linha driver/receiver em uma aplicação típica do modem. Neste exemplo particular, os sinais necessários para uma comunicação de série são gerados e recebidos por um Universal ASynchronous Receiver/Transmitter (UART). A linha de driver/receiver do CI RS-232 executa a tradução de nível necessária entre o CMOS/TTL e a interface RS-232.

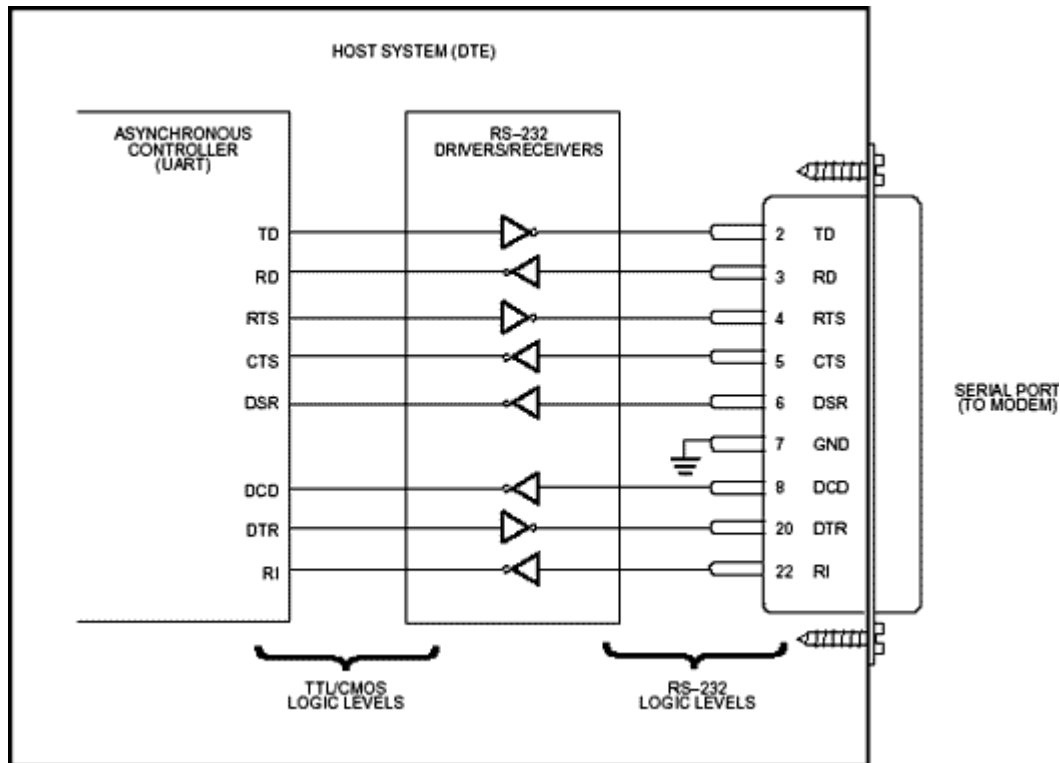


Figura 3.23 - Aplicação típica de um modem.

Um CI que está sendo largamente utilizado é o MAX232 (da Maxim). Ele inclui um circuito de “charge pump” capaz de gerar tensões de +10 volts e –10 volts a partir de uma fonte de alimentação simples de +5 volts, bastando para isso alguns capacitores externos. Este CI também tem 2 receivers e 2 drivers no mesmo encapsulamento. Nos casos onde serão implementados somente as linhas de transmissão e de recepção de dados, não seria necessário 2 chips e fontes de alimentação extras.

3.3.6.2. Escolha do MAX3221CDBR

Dentre vários modelos diferentes existentes na Texas Instruments, foi escolhido o MAX3221. Basicamente, os motivos para tal escolha foram os seguintes:

- Menor preço;
- Um driver e receiver por CI;
- Tensão de fornecimento de 3.3 volts.

Em uma primeira análise, a quantidade de apenas um driver e um receiver por CI para o circuito do equipamento de medição da qualidade de energia seria suficiente.

A tensão de fornecimento de 3.3 Volts foi essencial para

Como o foco do equipamento é o de consumidores domésticos, a questão do custo exige um grande peso na definição e escolha dos componentes a serem utilizados. O MAX3221 foi o CI que apresentou as melhores características, como se pode notar na tabela 3.8:

Tabela 3.8 - Características de modelos diferentes do MAX. [48]

Modelo	Drivers Por CI	Receivers Por CI	ESD HBM (kV)	Tensão de Aliment ação (V)	ICC (max) (mA)	RS- 232	Aliment ação simples	Pinagem/Pacote	Preço Approx. 1KU (US\$)	Descrição
MAX3221	1	1	15	3.3, 5	1	Sim	Sim	16SSOP, 16TSSOP	0.58	3-V a 5.5-V Canal Simples RS-232 Line Driver/Receiver
MAX3222	2	2		3.3, 5	1	Sim	Sim	20SOIC, 20SSOP, 20TSSOP	0.89	3-V a 5.5-V Canal Múltiplo RS-232 Line Driver/Receiver
MAX3223	2	2	15	3.3, 5	1	Sim	Sim	20SOIC, 20SSOP, 20TSSOP	1.26	3-V a 5.5-V Canal Múltiplo RS-232 Line Driver/Receiver
MAX3232	2	2	15	3.3, 5	1	Sim	Sim	16SOIC, 16SSOP, 16TSSOP	0.74	3-V a 5.5-V Canal Múltiplo RS-232 Line Driver/Receiver
MAX3238	5	3	15	3.3, 5	2	Sim	Sim	28SSOP, 28TSSOP	1.13	3-V a 5.5-V Canal Múltiplo RS-232 Line Driver/Receiver
MAX3238-Q1	5	3		3.3, 5	2	Sim	Sim	28SSOP, 28TSSOP	1.42	Catálogo Automotivo 3-V a 5.5-V Canal Múltiplo RS- 232 Line Driver/Receiver
MAX3243	3	5	15	3.3, 5	1	Sim	Sim	28SOIC, 28SSOP, 28TSSOP	0.99	3-V a 5.5-V Canal Múltiplo RS-232 Line Driver/Receiver com Proteção de +/-15kV ESD (HBM)
MAX3243E	3	5	15	3.3, 5	1	Sim	Sim	28SOIC, 28SSOP, 28TSSOP, 32QFN	1.44	3-V to 5.5-V Canal Múltiplo RS-232 Line Driver/Receiver com proteção de +/-15kV ESD (HBM)

Definido então o CI a ser utilizado, a preocupação passa a ser em relação aos vários tipos diferentes do MAX3221.

Tendo em vista o tipo de pinagem e pacote, tem-se que o espaçamento entre as pinagens é maior no tipo DW (1,27 mm de espaço entre os pinos adjacentes). Isto irá influenciar no processo de soldagem na placa, facilitando assim o trabalho.

A faixa de temperatura de operação mais ampla é a de -40 a 85°C. Porém, acreditou-se que esta temperatura não fosse de grande influência no projeto, já que um motivo de preocupação em relação a ela poderia ser somente a temperatura de pico. É de se imaginar que o equipamento estará sujeito a uma relativamente alta temperatura, considerando-se que este estaria exposto de alguma forma ao sol.

Como podemos notar na tabela 3.9, a diferença entre alguns modelos baseia-se somente na entrega do produto, em tubos com 25 e outros em uma régua com 200. Como foram pedidas somente amostras grátis, esta diferença não foi levada em consideração.

Logo, definiu-se o tipo MAX3221CDBR, já que este foi considerado o de melhor custo benefício, tendo em vista as necessidades no circuito do equipamento em questão.

Tabela 3.9 - Características de tipos diferentes do MAX3221.

Dispositivo	Temperatura	Preço (\$US)	Tipo de Pacote / Pinagens	Quantidade Padrão
MAX3221CDB	0 to 70	0.58	SSOP (DB) / 16	80
MAX3221CDBE4	0 to 70	0.58	SSOP (DB) / 16	80
MAX3221CDBR	0 to 70	0.58	SSOP (DB) / 16	2000
MAX3221CDBRG4	0 to 70	0.99	SSOP (DB) / 16	2000
MAX3221CPW	0 to 70	0.58	TSSOP (PW) / 16	90
MAX3221CPWE4	0 to 70	0.58	TSSOP (PW) / 16	90
MAX3221CPWR	0 to 70	0.58	TSSOP (PW) / 16	2000
MAX3221CPWRE4	0 to 70	0.58	TSSOP (PW) / 16	2000
MAX3221IDB	-40 to 85	1.08	SSOP (DB) / 16	80
MAX3221IDBE4	-40 to 85	1.08	SSOP (DB) / 16	80
MAX3221IDBR	-40 to 85	1.08	SSOP (DB) / 16	2000
MAX3221IDBRE4	-40 to 85	1.08	SSOP (DB) / 16	2000
MAX3221IPW	-40 to 85	1.08	TSSOP (PW) / 16	90
MAX3221IPWG4	-40 to 85	1.19	TSSOP (PW) / 16	90
MAX3221IPWR	-40 to 85	1.08	TSSOP (PW) / 16	2000
MAX3221IPWRG4	-40 to 85	1.19	TSSOP (PW) / 16	2000

3.3.6.1. Empecilho em relação ao MAX3221

No desenvolver do projeto, mais especificamente nas últimas semanas, um problema na saída serial foi detectado. Ao testar o código da parte de comunicação e interface gráfica, a saída serial apresentou ou níveis zero de tensão ou apenas ruídos. Duas possibilidades foram discutidas em relação a esse problema, um mau funcionamento do MSP, da saída serial, do cabo serial ou do MAX3221.

Primeiramente conferiu-se a confiabilidade do MSP ao produzir um sinal de dados que seria transferido do MSP pelo MAX3221 ao computador. Felizmente a saída do MSP apresentou-se perfeitamente coerente, visto o sinal no osciloscópio com seus referidos start bit e demais seqüências estipuladas.

Pensou-se, então, na possibilidade do erro estar relacionado ao MAX3221. Todas as ligações nele estavam aparentemente corretas, visto a montagem do circuito no datasheet do próprio. Após várias análises, pôde-se perceber um pequeno detalhe passado despercebido. A função de Autopower foi ignorada no início do desenvolvimento do circuito de processamento, pois o equipamento seria apenas um protótipo e isto influenciaria somente na questão de economia de energia.

Um equívoco, já que o MAX3221 não teria seu funcionamento correto pelo fato das entradas dos pinos 12 e 16 (FORCEON e FORCEOFF) estarem em flutuações.

Para a correção, deve-se conectar o pino 12 ao terra e o pino 16 ao Vcc.

Tabela 3.10 – Descrição da pinagem do auto-power.

INPUTS				OUTPUT DOUT	DRIVER STATUS
DIN	FORCEON	FORCEOFF	VALID RIN RS-232 LEVEL		
X	X	L	X	Z	Powered off
L	H	H	X	H	Normal operation with auto-powerdown disabled
H	H	H	X	L	
L	L	H	Yes	H	Normal operation with auto-powerdown enabled
H	L	H	Yes	L	
L	L	H	No	Z	Powered off by auto-powerdown feature
H	L	H	No	Z	

H = high level, L = low level, X = irrelevant, Z = high impedance

4. FABRICAÇÃO DAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

4.1. INTRODUÇÃO AO SOFTWARE PROTEL

O uso de computadores como ferramenta de suporte a projeto é muito importante em Engenharia Eletrônica. Dentre as inúmeras áreas onde o uso de técnicas de projeto baseado em computador é disseminado destacam-se o desenho de diagramas esquemáticos de circuitos eletrônicos e o de circuitos impressos. O pacote de *software Protel* é muito usado e representa uma nova classe de software, que permite realizar com plataforma *Windows* e PC tarefas que só podiam ser feitas com estações de trabalho, apresentando assim uma ótima relação custo-benefício. Existem outros pacotes, alguns a um custo menor e outros com interface mais amigável. No entanto, o uso de todos eles é bastante semelhante e o aprendizado de um permite o uso de outros sistemas. Abaixo, podemos visualizar o programa em execução:

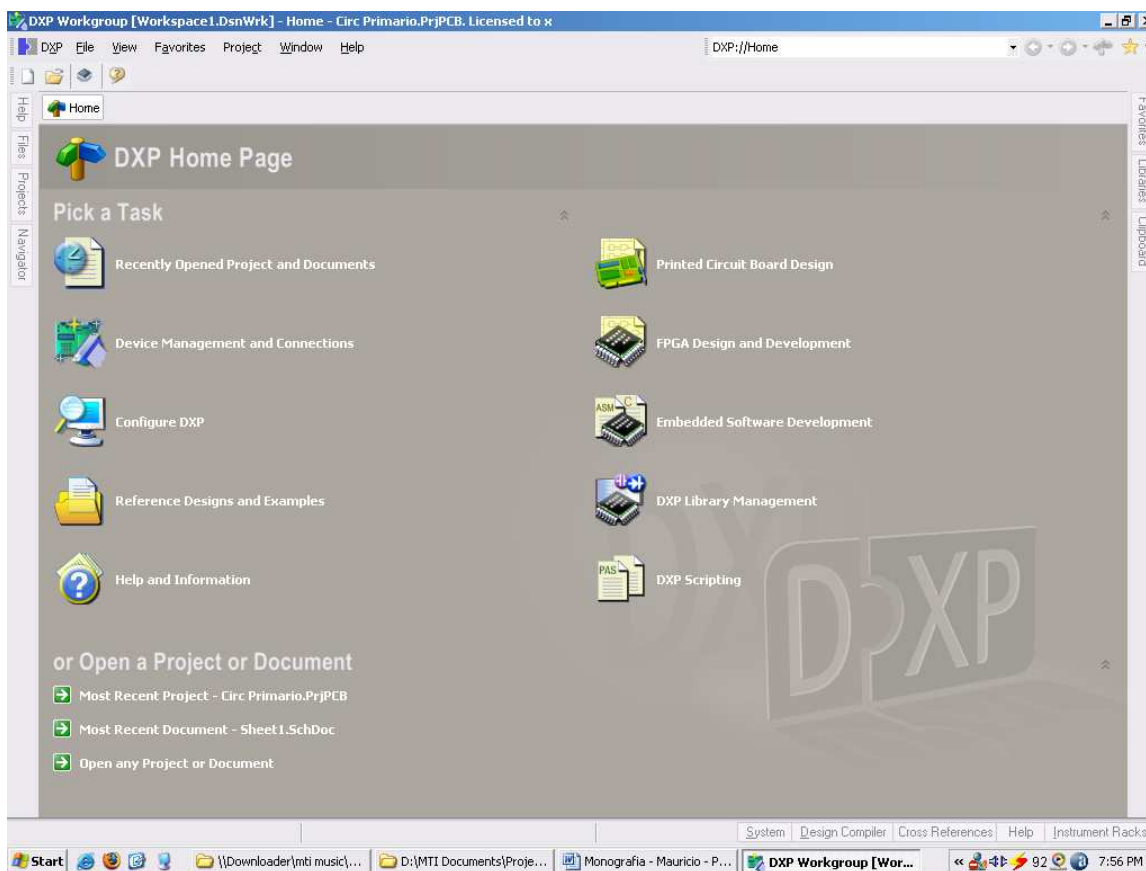


Figura 4.1 Apresentação do software PROTEL.

Estes pacotes de software são compostos de vários programas. O mais comum é o capturador de esquemáticos. Este programa permite, como diz o nome, o desenho de um circuito sob forma esquemática. Para isto, são usadas bibliotecas de componentes mais comuns e um editor de bibliotecas para inserção de componentes nestas bibliotecas para uso posterior. Para os circuitos pretendidos neste equipamento de medição de falta de energia elétrica, foi necessária a criação de alguns componentes não presentes na biblioteca original do Protel.

A partir destes diagramas esquemáticos, pode ser gerado um arquivo de conexões, chamado de NETLIST, que é usado por outros programas, como, por exemplo, o programa de desenho de circuitos impressos, como mostrado no esquema abaixo.

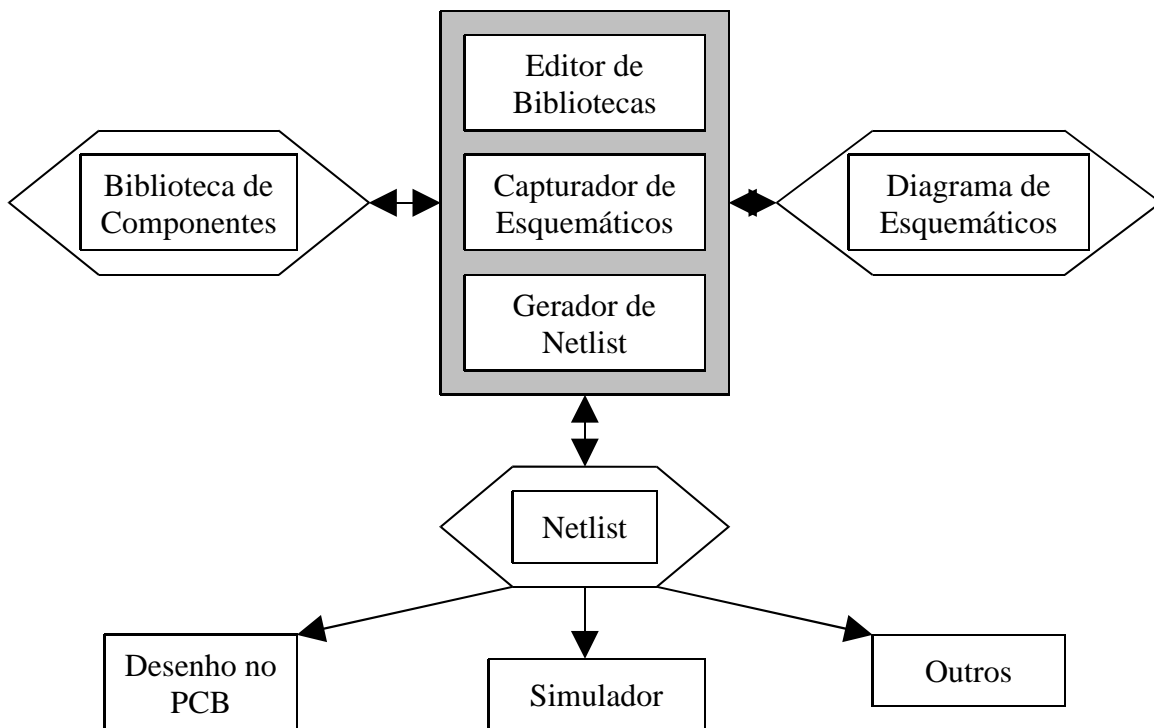


Figura 4.2 - Esquemático de um programa de desenho de circuito impresso.

No caso do *Schematics* da Protel, como no caso dos softwares mais modernos, os módulos de Capturador de esquemáticos, Editor de bibliotecas e Gerador de *NETLIST* estão todos num único programa. Em softwares mais antigos, estas funções eram

realizadas por programas isolados. De maneira semelhante, alguns softwares possibilitam opções de *Backannotation*, ou seja, modificações feitas quando da geração do circuito impresso, sejam refletidas no esquemático.

4.2. DESENHO DE CIRCUITOS IMPRESSOS COM PROTEL SCHEMATICS

Um desenho esquemático representa um circuito eletro-eletrônico por meio de símbolos, que representam seus componentes e as conexões existentes entre eles. Num diagrama esquemático, os símbolos usados, seu posicionamento na folha de desenho, e os caminhos de interconexão não tem necessariamente, nem deve ter relação com o circuito real. Para o caso de uma implementação usando circuitos impressos, usa-se, por exemplo, o programa PCB, para fazer o posicionamento dos componentes físicos e o roteamento das conexões.

As conexões podem ser indicadas por linhas ligando os terminais ou através de etiquetas (labels) atribuindo-se o mesmo label a diferentes terminais. Isto é feito, por exemplo, no caso das conexões dos terminais Vcc (do mesmo modo, o terminal GND) de componentes digitais, que estão todos interconectados entre si através do mesmo label. Isto acontece de maneira implícita, pois estes terminais geralmente não são mostrados. Para se evitar mostrar todas as interconexões, com perda de clareza do desenho, usa-se o recurso de se agrupar sinais semelhantes em barramentos (bus). As interconexões são então indicadas conectando-se os terminais ao barramento, especificando-se o nome do sinal em questão.

Os parâmetros correspondentes a um símbolo no diagrama esquemático podem ser modificados clicando-se duas vezes sobre ele. Surge então uma janela que permite a especificação de vários parâmetros, sendo que um dos mais importantes o *Footprint*, ou seja, a forma do circuito impresso necessária para a inserção deste componente. Este fator é extremamente importante para a geração adequada do circuito impresso como será visto adiante.

O nome da biblioteca ativa pode ser visto no painel *Panel* (cujas exibição é controlada pelo comando *View/Panel*). A ativação de uma outra biblioteca dentre uma lista de bibliotecas acessíveis é feita clicando-se sobre a seta a direita do nome. Outras bibliotecas podem ser incluídas na ou removidas da lista de bibliotecas acessíveis em um desenho clicando-se sobre o botão *Add/Remove* imediatamente abaixo do nome da biblioteca ativa. Na janela que surge pode-se escolher quais as bibliotecas serão acessíveis ao usuário. O subdiretório *library* contém várias bibliotecas e uma descrição sucinta de conteúdo de uma biblioteca aparece no campo *Description*.

Para a inclusão de elementos que não constem de uma biblioteca já existente, é necessária a inserção deste elemento em uma biblioteca já existente (a inserção nas bibliotecas fornecidas pela Protel não é recomendável) ou em uma nova biblioteca.

Para se abrir uma biblioteca existente com o comando *File/Open*, deve-se escolher o editor *SchLib* na janela de abertura de arquivos e então abrir a biblioteca desejada. Para uma nova biblioteca, basta escolher a opção *SchLib* na janela que aparece depois de se escolher o opção *File/New*.

Para se trabalhar com o editor de bibliotecas deve-se ter em mente a distinção entre componente (*component*) e porta lógica (*part*). Um componente é um dispositivo físico que pode conter uma ou mais portas lógicas. Por exemplo, o componente 74LS00 contém 4 portas (*parts*) NAND. Geralmente cada porta tem uma atribuição de pinos, e com como descrito anteriormente pode-se escolher qual a porta que se está usando manualmente, ou fazer a distribuição de portas dentro de componentes de maneira automática.

Inicialmente, devem aparecer várias janelas, exatamente como deixadas pelo último usuário a usá-lo. Se estiver sendo iniciado um novo desenho (ou projeto), é recomendável fechar todas as janelas com o comando *File/Close Project*, e então com o comando *File/New* abre-se um arquivo em branco para que não haja nenhum problema de inserção de arquivos em projetos diferentes. Este arquivo pode ser de vários tipos como, por exemplo: Texto (*Text*), Esquemático (*SchDoc*) ou Biblioteca (*Schlib*). Quando se é

perguntado qual o tipo desejado, deve-se escolher o esquemático (Sch). De uma maneira geral, o formato da janela do *Schematics* é mostrado abaixo.

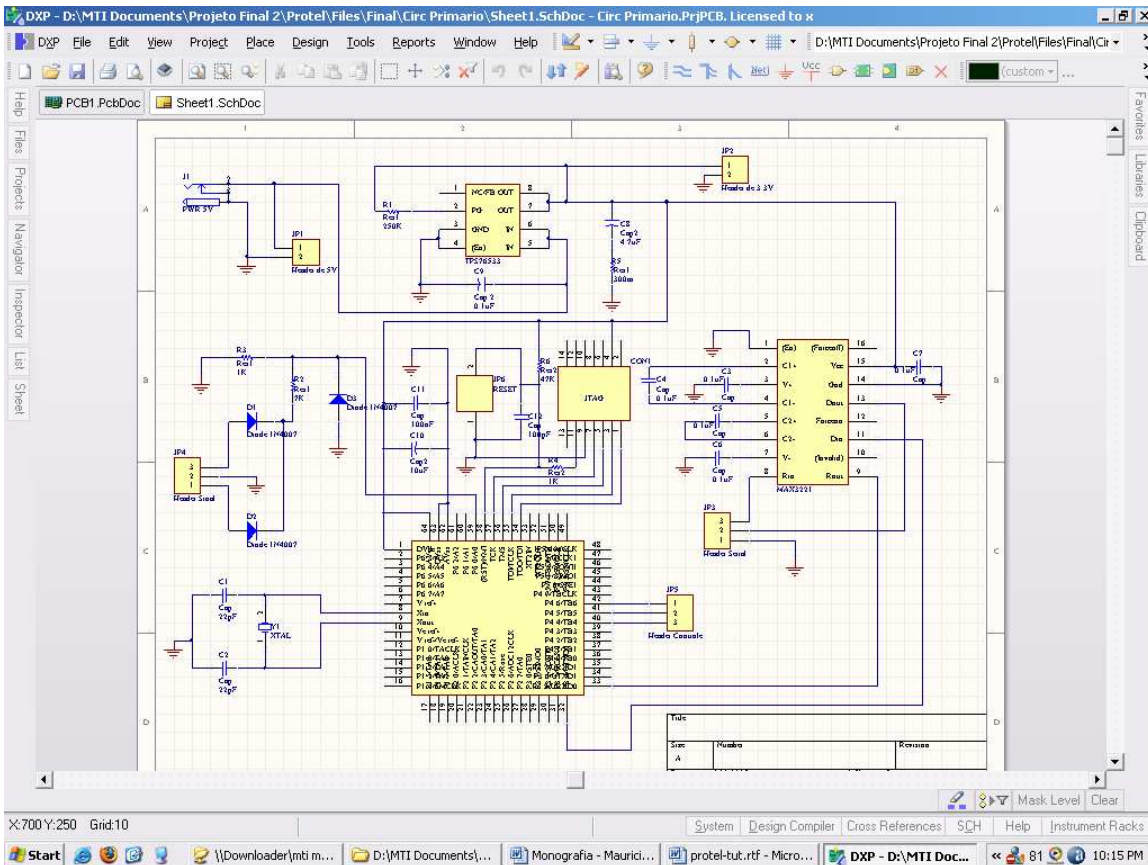


Figura 4.3 - Apresentação do Schematics do software Protel.

4.3. DESENHO DE CIRCUITOS IMPRESSOS COM PROTEL PCB

Um programa de desenho de circuitos impressos se baseia em dois elementos: os *pads* e as trilhas (*tracks*). Os *pads* correspondem aos pinos do circuito. No caso de dispositivos SMD não é necessária a furação e existem várias formas e dimensões. Por uma questão de comodidade de uso, estes *pads* são agrupados em *footprints* ou componentes típicos.

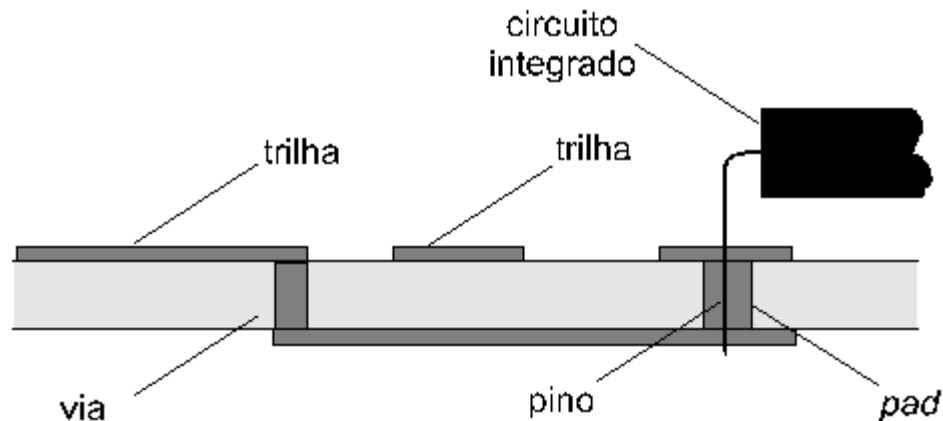


Figura 4.4 - Apresentação de alguns componentes básicos no circuito impresso.

O desenho do PCB é feito em camadas. Existem as camadas superior e inferior e até 14 camadas internas para sinais e até 4 camadas internas para alimentação. Além dessas, as serigrafias são também tratadas como camadas (*Top Overlay*, *Bottom Overlay*). E do mesmo modo, o guia de furações (*Drill Guide*), as camadas mecânicas (até 4) e a camada de proibições (*KeepOut Layer*) e máscaras de solda também são tratadas como camadas.

O programa PCB apresenta uma janela do tipo mostrado abaixo, onde se pode ver a barra de *menu*, a barra de ferramenta, a janela de desenho e a barra de status. Uma explicação sobre a função de cada botão da barra de ferramentas aparece na barra de status, quando se para o cursor em cima do botão. A janela de desenho mostra um circuito ainda sob a forma de ninho de rato (*ratnest*), antes de ser feito o roteamento.

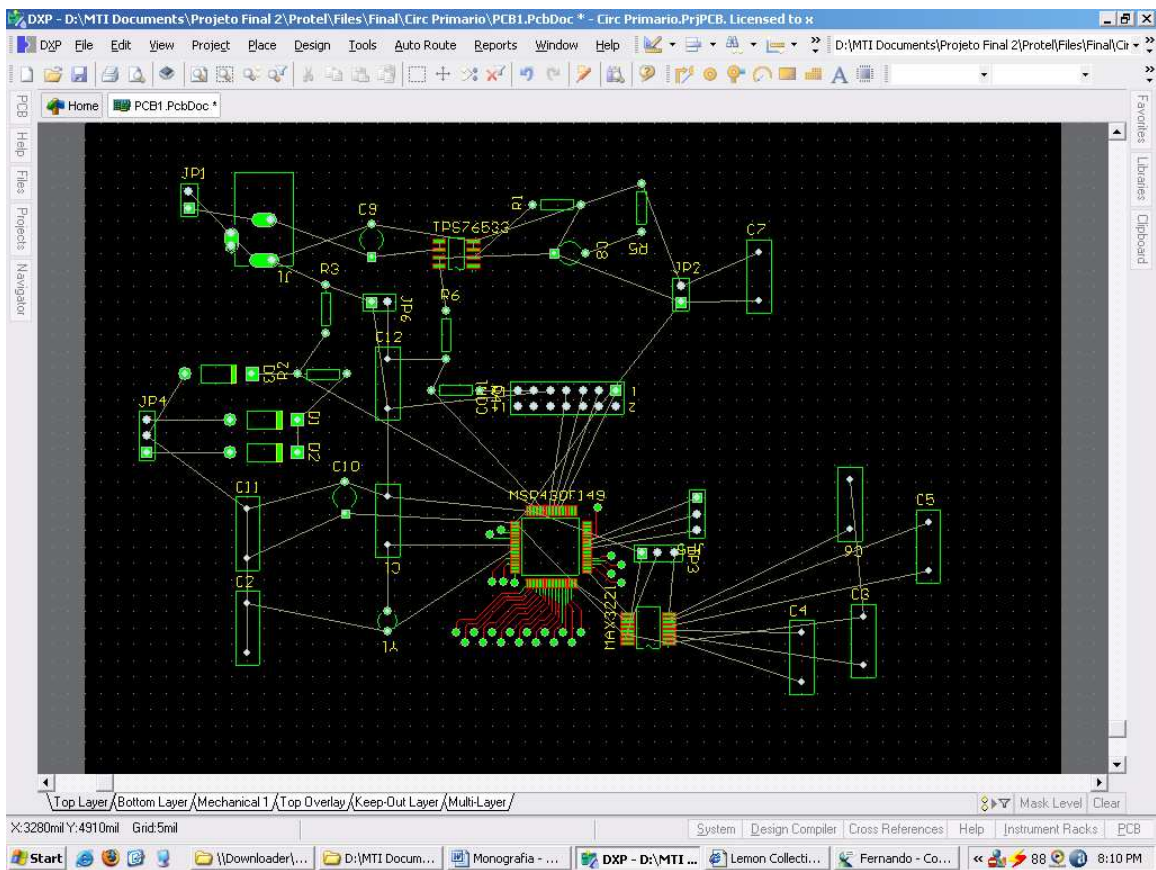


Figura 4.5 - Apresentação do circuito primário do equipamento proposto no PCB do Protel antes do roteamento.

Geralmente a unidade usada nestes programas é o mil, ou seja, um milésimo de polegada. Isto porque a separação entre pinos e as dimensões de circuitos integrados são geralmente múltiplos desta unidade. Por exemplo, um circuito integrado de 14 pinos tipo DIP tem a seguinte *footprint*:

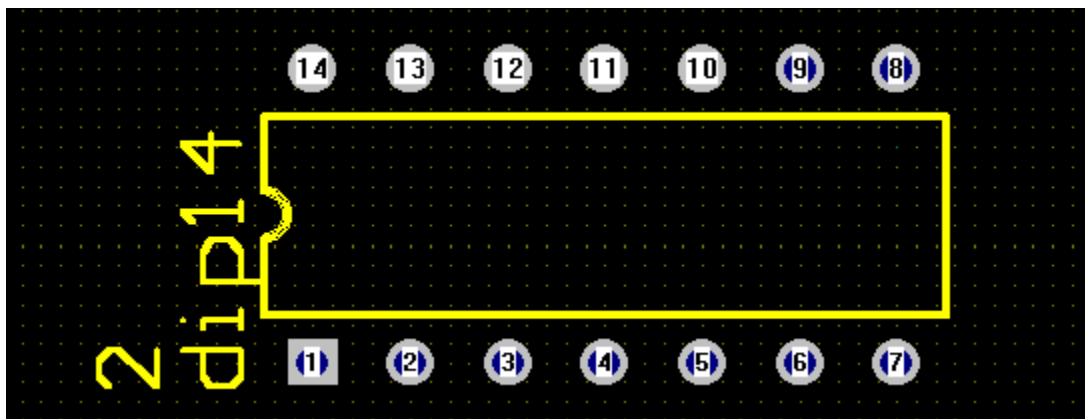


Figura 4.6 - Footprint DIP de 14 pinos.

No caso, tem-se 14 *pads*, um para cada pino, com furação através de toda a placa. A distância entre pinos é 100 mil e a separação é de 300 mil entre as duas fileiras.

O posicionamento dos componentes pode ser feito manualmente, sendo que este é um processo iterativo, de tentativa e erro até se alcançar uma configuração adequada.

O roteamento pode ser feito manualmente com o comando *Place/Interactive Routing* ou automaticamente com o comando *AutoRoute*. Também é um processo iterativo, de tentativa e erros até que se consiga rotear todas as conexões.

O roteamento é feito em diversas passagens, com diversos métodos (algoritmos). Isto pode ser configurado com o comando *AutoRoute Setup*. No caso de não se conseguir rotear todos, pode-se tentar manualmente, ou então alterar-se o posicionamento dos componentes para se ter mais espaços para as trilhas e finalmente, usar mais camadas.

No projeto do equipamento, foi utilizado o processo de auto-roteamento somente para se ter uma idéia da configuração final. Apesar de muita valia o comando de se obter o roteamento automático, recomenda-se fazê-lo manualmente seguindo-se o *Schematics* do arquivo do PCB em questão. Algumas sugestões seriam a de se iniciar pela entrada do sinal e finalizar o roteamento através das alimentações Vcc e do GND.

Depois de finalizado o roteamento, o circuito se apresenta da seguinte forma:

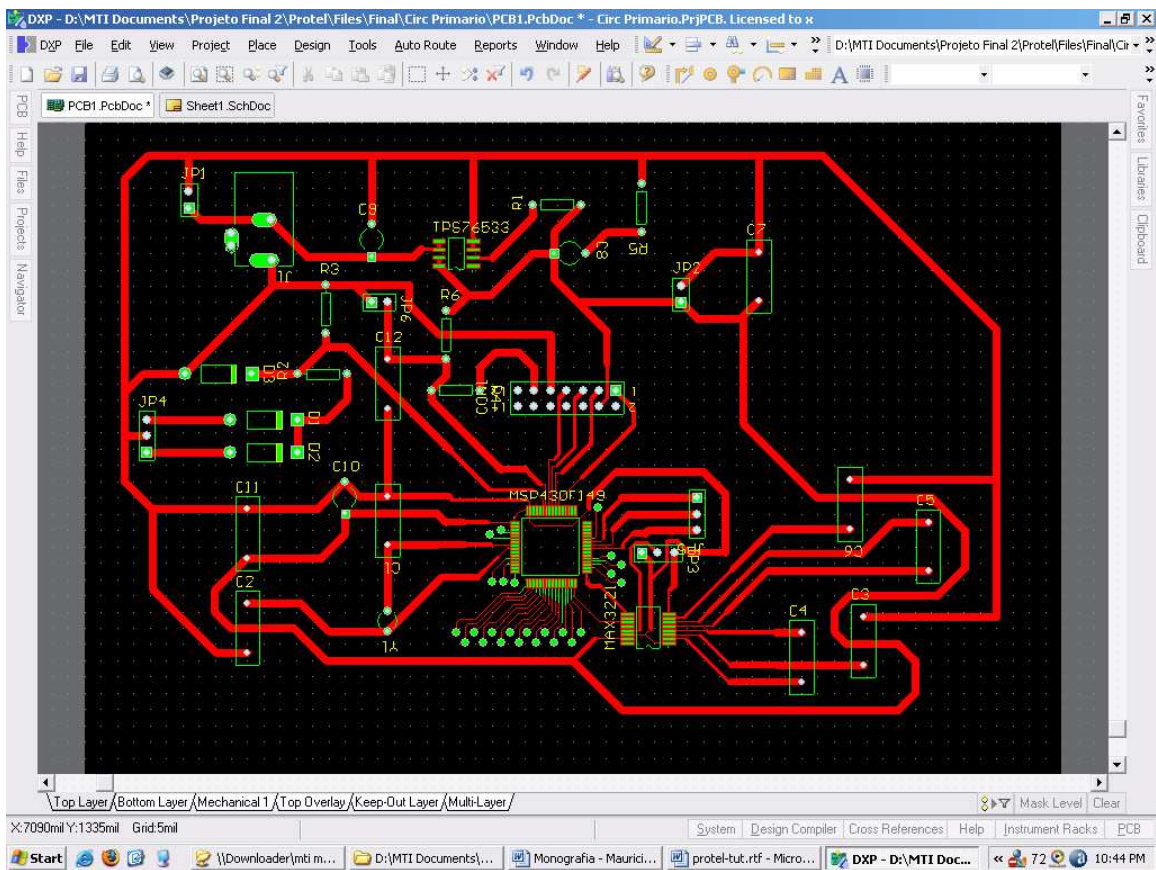


Figura 4.7 - Apresentação do circuito primário do equipamento proposto no PCB do Protel finalizado o roteamento.

4.4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROTEL

A ALTIUM INC. vem sempre sendo pioneira no mercado de tecnologia EDA ("*electronic design automation*").

Assim, ela definiu o futuro deste segmento com a primeira interface de desenho para placa de circuito impresso em ambiente *Windows*, e com ferramentas totalmente integradas, capacitando todas as fases de um projeto com mais produtividade, eficiência e facilidade, com a menor relação custo/benefício possível.

Alguns recursos do Protel serão listados abaixo:

Captura de Esquemáticos:

- Ferramentas avançadas de gerenciamento hierárquico de projetos;

- Biblioteca multiusuário com 60.000 componentes;
- Suporta vários formatos de imagem;
- Verificação de desenhos;
- Sincronização SCH-PCB e PCB-SCH;
- Auto-junção;
- Undo e Redo multinível;
- Geração de arquivos BOM;
- Alta qualidade de saída com suporte às fontes do Windows;
- Referência cruzada com outros documentos (PCB, relatórios, tabelas);
- Interface direta com AutoCAD (DXF e DWG);
- Tamanho máximo de projeto "64 x 64";
- Formato de saída em EDIF;
- Numeração automática de componentes;
- Lista de identificação e comparação de NETs;
- Edição direta de textos;
- Seleção de pinos;
- Número ilimitado de folhas por projeto.

Autoroteador:

- Roteamento diretamente da janela do editor de PCB;
- Algoritmo "*shape-based*" complexo;

- Seis direções não ortogonais de roteamento;
- Rápido, com 100% de autorroteamento;
- Geração automática de pontos de teste;
- Seleção interativa dos algoritmos de roteamento (*memory, fan out, pattern, push & shove, rip up & retry, track spacing e testpoint addition*);
- Pré-roteamento manual de algumas ligações com opção de segurança;
- Integração com sistemas SPECCTRA;
- Até 2.000 componentes;
- Até 5.000 pinos/components;
- Até 10.000 NETs;
- Até 16.000 conexões;
- Rotinas poderosas de classificação, densidade e acabamento para eliminar trabalho extra.

Editor de PCB:

- Máximo tamanho de placa em "100 x 100";
- Máxima resolução de 0,001 mil linear e 0,001° ângulo de rotação;
- Tamanho de PAD variável de 0,001 mil a 99.999 mils;
- Suporta até 74 camadas (32 x sinal, 16 x mecânica, 16 x plano interno, 2 x máscara de solda, 2 x *silkscreen*, 2 x máscara de pasta/adesivo, 2 x furação, 1 x multisinal e 1 x reserva);
- NETs podem ser designados para múltiplos planos internos;
- Suporta todos os formatos de saída CAM e opções PCB;

- Possibilidade de criar rotinas e relatórios de testes para *pads* e vias;
- Reconexão durante o movimento de componentes;
- Análise de conexões com código de cores;
- DRC definível;
- Suporta componentes SMD;
- Suporta várias interfaces de saída.

Simulação e Análise de Circuitos:

- Integrada à captura de esquemáticos;
- Simulação mixed-mode analógica/digital baseada em SPICE3f5/XSPICE (*AC small signal, operating point, transient, parameter sweep, temperature sweep, DC/AC sweep, impedance sweep, fourier series, Monte Carlo, worst case, transfer function, noise*);
- Digital SimCode;
- Fontes de alimentação complexas;
- Extensa biblioteca de componentes
- Visualização integrada de formas de onda como um osciloscópio;
- Visualização simultânea de esquemático/simulação;
- Visualização simultânea de duas formas de onda diferentes;
- Ferramentas de escala, controle e medição;
- Total suporte aos processos matemáticos de formas de onda;
- "Caixa preta" com funções matemáticas.

Visualização 3D:

- Inclui um sofisticado sistema que permite visualizar placas em 3D, antes de qualquer processo de fabricação. Este poderoso recurso reúne técnicas de modelamento que mostra automaticamente os resultados, sem a necessidade de definir qualquer informação adicional sobre os componentes;
- Pode-se reproduzir placas com ou sem componentes, selecionando algum item específico em "*highlight*" (*pad*, ilha, trilha, furo, texto, componente).

O Protel não é simplesmente um software de desenho para desenvolvimento de placas de circuito impresso, é uma ferramenta completa com controle total dos documentos e da sua equipe de trabalho. O centro desta ferramenta é o *DESIGN EXPLORER*, que integra três novas tecnologias de software: *SmartDOC*, *SmartTEAM* e *SmartTOOL*.

- *SmartDOC*: Solução que oferece completa integração e organização dos documentos, gerenciando a entrada e a saída de projetos.
- *SmartTEAM*: Solução para projetos que envolvem vários profissionais, sem que nenhum deles acesse o sistema do outro, compartilhando o mesmo banco de dados de desenho.
- *SmartTOOL*: Solução para integrar totalmente os softwares de captura de esquemas, editor de PCB e roteamento sem gerar listas manuais de importar/exportar.

4.5. DIFICULDADES EM RELAÇÃO AO SOFTWARE PROTEL

Assim como qualquer outro software presente no mercado, a familiarização não se dá de imediato. No decorrer da utilização do software Protel, foram encontradas algumas dificuldades que serão ressaltadas a seguir.

O roteamento dos circuitos foi um dos pontos mais crítico, sendo este necessário ser feito manualmente e analisando cada caminho da trilha através do *Schematics*. Apesar

do software Protel já possuir um comando para a criação automática do roteamento, percebeu-se certo limite para o remanejo das trilhas. Várias vezes utilizaram-se este comando de forma não satisfatória, já que na grande maioria o software não foi capaz de rotear com um tamanho da trilha de 50 mil, mas somente mudando-se para 5 mil. Como a confecção foi feita de forma totalmente caseira, um tamanho de 5 mil das trilhas seria inviável.

Em relação à aquisição de *footprints* adequados ao projeto, houve certas dúvidas para se encontrar e definir o *footprint* certo para o CI do MSP430F149, para o MAX3221 e o TPS76533. Isto se deve ao fato de não conter na biblioteca original do Protel estes *footprints*, o que foi, portanto necessária uma busca deles através da página oficial do Protel.

Um outro problema ocorrido foi na criação das bibliotecas não existentes dos componentes citados no parágrafo anterior. Houve grande dificuldade quando passado do *Schematics* para o PCB, já que os CI's não apareciam e várias conexões não se efetivavam. Foram necessários alguns dias para que finalmente encontrássemos o real problema. A falha estava na colocação dos pinos dos CI's quando na criação da biblioteca deles. A descrição dos pinos deveria vir dentro da “caixa do CI” e não do lado externo. A numeração sim é feita externamente. Esta simples troca de nomenclatura e descrição foi objeto de um valioso tempo desperdiçado, o que motivou a registrá-lo neste documento.

4.6. INTRODUÇÃO AO CIRCUITO IMPRESSO

Circuito Impresso, como o próprio nome diz, consiste na técnica de, por processos industriais e/ou artesanais, imprimir um desenho contendo ligações elétricas (circuito) entre os componentes num determinado circuito eletrônico sob uma chapa de material resistente recoberta por uma fina camada de cobre.

Na sua forma básica uma placa de circuito impresso é construída com um lado cobreado em cima de um substrato isolante (fenolite ou fibra de vidro). As conexões entre os componentes são feitas do lado do cobre através de caminhos condutores

(traçado condutor) no cobre. As conexões terminam nos pontos de conexão com os componentes, os quais denominam de ilhas (ou Pads), os quais normalmente possuem furos onde são inseridos os terminais dos componentes.

A grande vantagem da placa de circuito impresso é que ela pode ser duplicada quantas vezes forem necessárias, permitindo uma produção em larga escala.

Inicialmente, os primeiros equipamentos eletrônicos eram montados em barras de terminais, nos quais eram soldados os componentes e fios para termos as devidas conexões elétricas. Com a criação da técnica de circuitos impressos, em 1957, os equipamentos puderam ter seus tamanhos reduzidos, bem como aumentada sua escala de produção, graças às facilidades em se poder reproduzir as placas.

Os primeiros circuitos impressos utilizavam uma chapa de material fenólico (papelão impregnado com uma resina) e possuíam em uma das faces uma fina camada de cobre. O circuito era impresso por processo serigráfico e o excesso de cobre era retirado por processo químico (corrosão).

Atualmente, consegue-se fabricar circuitos impressos com múltiplas camadas de cobre (tanto externas como internas) e utilizam-se diversos materiais como base, como o fenolite, a fibra de vidro e até alguns compostos cerâmicos.

4.7. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Existem basicamente dois processos de fabricação de placas de circuito impresso: o processo aditivo e o subtrativo.

- *Processo Subtrativo:* é o processo mais antigo e ainda o mais utilizado para fabricação de placas de circuito impresso. Utiliza-se uma chapa (material base) recoberta por uma fina camada de cobre em uma ou em ambas as faces, sob as quais se transfere uma imagem do circuito, seja por processo serigráfico ou por laminação de filmes, e através de corrosão química, retira-se o cobre em excesso. Este processo pode ser utilizado

inclusive para fabricações caseiras de placas. Este processo foi o escolhido para a fabricação do circuito impresso do equipamento;

- *Processo Aditivo*: este processo parte de uma chapa do material base limpa (sem cobre em sua superfície) e, por processos de deposição através de químicos, deposita-se o cobre, formando os condutores e ilhas. Tem-se uma economia no uso do cobre (material com custo elevado) e conseqüente redução nos valores finais dos produtos. Utilizado principalmente para circuitos impressos de larga escala, como placas de computadores, televisores, etc.

4.8. CLASSIFICAÇÃO DAS PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSOS

4.8.1. Quanto ao número de faces

De acordo com o número de camadas de cobre existentes sob o material base, podemos dizer que um circuito impresso é:

- *Face Simples*: Possui cobre em apenas uma das faces;
- *Dupla-Face*: ambas as faces do material possui cobre;
- *Multi-Camadas ou Multi-Layer*: circuito em que possui cobre tanto nas faces externas como internamente. Consegue-se produzir circuitos impressos multicamadas utilizando-se uma técnica em que 2 ou mais placas do tipo dupla-face são prensadas, de forma a ter um único laminado no final. Entre as placas é aplicada uma resina (ou cola) para separar os circuitos eletricamente e mantê-los unidos mecanicamente.

4.8.2. Quanto ao tipo de material base (laminado)

Podemos ter vários tipos de laminados. Os mais comuns são:

- *Fenolite*: constituído de papelão impregnado com uma resina fenólica (de onde surgiu seu nome). Possui boa rigidez e isolamento elétrica. Utilizado

somente em placas do tipo face-simples. Possui boa estampabilidade, servindo como base para fabricação de placas em larga escala e com baixo custo. Como pontos negativos, podemos colocar as alterações de suas propriedades elétricas com a umidade, podendo afetar circuitos impressos mais críticos (ex.: circuitos de rádio-frequência);

- *Fibra de Vidro:* constituído de um laminado de fibra de vidro, podendo ter uma ou ambas as faces com cobre. Possui boa rigidez e ótima isolamento elétrica. Utilizado em circuitos impressos profissionais e para fabricação de placas de face-simples, dupla-face e multi-layer. Não possui boa estampabilidade. Consegue-se produzir circuitos de alta densidade de trilhas, devido as suas características;
- *Composite:* Trata-se de uma mistura de resina fenólica com a fibra de vidro. Possui melhor estampabilidade que a fibra. Trata-se de um intermediário entre os dois tipos expostos. Utilizado apenas em placas de dupla-face;
- *Cerâmicos:* utilizados em placas de rádio-frequência e outros circuitos críticos em que o material base influencia no circuito, atuando como dielétrico entre as camadas, e podendo alterar o funcionamento do mesmo.

4.9. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

4.9.1. Processos de Acabamento

Todas as placas de circuito impresso precisam passar por um processo de acabamento, no qual se protege o cobre de sua oxidação natural e melhoram-se as propriedades de soldabilidade da mesma. Os acabamentos mais comuns são:

- *Verniz sobre cobre:* neste tipo de acabamento, aplica-se uma fina camada de verniz especial sobre a placa, cobrindo-a inteira. Este verniz possui uma característica que não impede a soldagem dos componentes, mas protege o cobre de oxidação. É utilizado principalmente em placas protótipo e circuitos amadores e em placas do tipo face-simples.

- *Estanho Chumbo-Refundido*: aplica-se uma fina camada de estanho-chumbo sobre todo o cobre, através de refusão, e depois uma camada de verniz em que ficam expostas apenas as ilhas e contatos elétricos da placa. O verniz utilizado normalmente possui uma cor esverdeada.
- *Hot Air Leveling (HAL)*: por um processo especial, aplica-se estanho-chumbo apenas nas ilhas e contatos elétricos, deixando o restante do traçado condutor apenas em cobre. Depois, é aplicada uma camada de verniz em que se recobre toda a superfície da placa, deixando expostas ilhas/contatos elétricos. É um excelente processo de acabamento e garante uma excelente qualidade final na placa.

4.9.2. Acabamentos especiais

Alguns circuitos exigem acabamentos diferenciados em partes do mesmo. São eles:

- *Douração*: utilizado principalmente em placas que utilizam contatos de borda (a borda da placa funciona como sistema de conexão, como nas placas de computadores). Aplica-se uma fina camada de ouro, que devido as suas propriedades elétricas, garante um ótimo contato.
- *Carbono*: utiliza-se principalmente em contatos de teclas feitos na própria superfície da placa. Muitos teclados utilizam esta técnica.

4.10. ESPESSURA DO LAMINADO DE COBRE

Devido aos diferentes usos das placas de circuitos impressos, desde circuitos de potência e placas apenas com circuitos lógicos, utilizam-se laminados com espessuras diferentes de cobre. A camada de cobre é medida em “microns” e os tipos utilizados são: 0,17um, 0,35um (padrão) e 0,70um. É comum utilizar-se o termo *onça* para definir as espessuras, sendo neste caso: 1/2 onça, 1 onça e 2 onças respectivamente.

Além da camada de cobre, varia-se também a espessura do material base. Normalmente os laminados de cobre possuem espessura de 1,6mm, mas podem-se encontrar laminados com espessuras maiores ou menores.

4.11. CORTE E FURAÇÃO

Uma das partes que mais diferencia o acabamento de uma placa é a furação e o corte. Temos basicamente 3 processos para furação: furação manual, furação por controle numérico (CNC), e por estampo.

Hoje, o processo mais utilizado é o de furação CNC, por possuir ótima precisão e facilidade de modificação em caso de alterações na placa.

Além da furação, existe o corte final da placa, o qual pode ser: guilhotinado, fresado ou estampado. Além disto, podem-se ter as placas montadas em painel, utilizando-se uma técnica de vincagem para facilitar a divisão das placas.

4.12. VISÃO GERAL

A concepção de uma placa de circuito impresso (PCI) parte de dois pontos principais: o projeto mecânico e o projeto elétrico.

O projeto mecânico leva em consideração detalhes estéticos e funcionais, tais como LEDs que deverão aparecer externamente ao gabinete, posição de chaves e botões, localização de componentes críticos, como transistores e resistores de potência, e componentes que possam deformar a placa em função do seu peso, como transformadores.

Geralmente, a geometria da placa está limitada também às dimensões do gabinete onde ela será acondicionada, e não são raras as situações onde é necessário dimensionar o projeto elétrico em um espaço muito crítico. Porém, vale ressaltar que restrições excessivamente rígidas quanto ao espaço disponível para o circuito eletrônico levam as situações onde é necessário diminuir a largura/espacamento de trilhas, ou até aumentar o

número de camadas de cobre, aumentando desnecessariamente o custo de fabricação da placa.

O projeto elétrico é o que define uma funcionalidade para a placa de circuito impresso. Devem ser levadas algumas considerações básicas no projeto elétrico visando possível redução no custo de fabricação da placa, bem como melhorar a qualidade final do equipamento.

Sempre que possível, é melhor dimensionar os componentes de potência adequadamente. Superdimensionar estes componentes pode acarretar em aumento da área ocupada por eles, sem falar no custo do próprio componente, o que em muitas vezes é maior. Dependendo do tipo de equipamento, é essencial prever dissipadores de calor para componentes que aquecem muito.

Quando o número de placas/mês for elevado, é justificável pensar em formas de automatizar ao máximo a montagem de placas. Nestes casos, utilizam-se componentes de montagem em superfície (SMD), os quais permitem a montagem por equipamentos de inserção automática.

Para equipamentos que possuam várias versões, é aconselhável o projeto de placas que permitam sub-equipação, ou seja, a mesma placa pode ser utilizada em versões de equipamento diferentes, bastando suprimir/acrescentar componentes que sejam diferentes em ambas as versões.

4.13. O PROCESSO DE CONFECÇÃO CASEIRO

Nesta seção será mostrado passo-a-passo como fazer uma placa de circuito impresso de qualidade gastando-se pouco dinheiro e com equipamentos de fácil acesso. Abaixo, está uma lista de alguns materiais para a confecção do circuito impresso:

- Uma placa de circuito impresso virgem;
- O layout da placa de circuito impresso em uma impressora Laser bem legível em preto e branco impresso numa folha de revista tipo Veja, Exame, Caras;

- Um pouco de solução de percloroeto de ferro;
- Furador de placas de circuito impresso;
- Caneta de retroprojctor de ponta fina;
- Um ferro de passar roupa;
- Pedacos de lã de aço;
- Um estilete ou faca bem afiada.

4.14. LAYOUT

O layout da placa deve estar impresso na cor preta em uma folha de revista Exame ou alguma outra com o mesmo tipo de material. No caso de se estar usando o programa Protel, para a correta impressão do circuito, é necessário ativar a opção de espelhamento (*mirror*) no menu de impressão, caso contrário o circuito será impresso totalmente invertido.

Dois tipos diferentes de papel foram testados para a confecção da placa. Utilizando a folha que se prende ao papel contact e uma folha da revista Caras. No caso do papel contact, retira-se o plástico utilizado para encapar livros e assim imprimi-se na folha restante. Existe um lado que é mais liso e outro mais poroso, sendo que a face que deverá ser impressa deve ser a face mais lisa, pois assim a tinta se desprenderá com maior facilidade depois.

Uma dica para uma impressão sem qualquer tipo de problema é configurar a qualidade para uma máxima resolução. Além disso, é adequado prender o pedaço do papel contact (ou folha de revista) a uma folha A4 comum com durex para evitar eventuais situações na qual o papel, por ser muito liso, acaba por ficar engasgado na impressora.

No caso do papel de revista, é aconselhável escolher folhas nas quais estejam brancas ou as menos preenchidas com cores escuras possível.

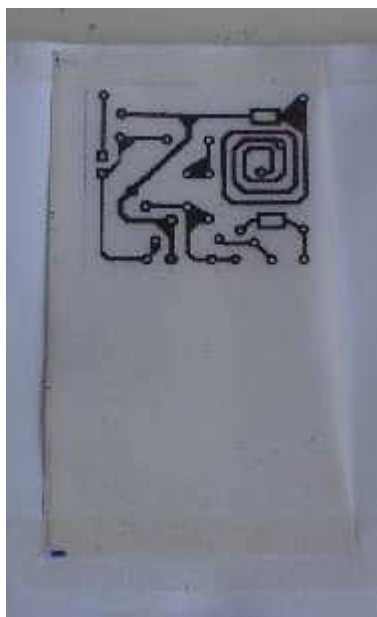


Figura 4.8 - Detalhe da cópia de um Layout qualquer no papel contact.

4.15. PREPARAÇÃO DA PLACA

Com o layout impresso, há a necessidade de se preparar a placa de fenolite. Corta-se então a placa virgem do tamanho necessário para o projeto. Em seguida, para que não haja problemas na corrosão, utiliza-se um pequeno pedaço de lã de aço para limpar a superfície de cobre da sujeira, oxidação e gordura.



Figura 4.9 - Placa de fenolite antes de ser limpada.



Figura 4.10 - Placa de fenolite limpa e pronta para a confecção do circuito impresso.

Posiciona-se então, o papel com a face impressa sobre a placa já cortada no tamanho exato.

4.16. TRANSFERÊNCIA DO LAYOUT PARA A PLACA

Esta é uma das etapas mais críticas do processo, a transferência da tinta do papel contact para a placa. Usa-se um ferro de passar roupas ajustado em mais ou menos 200 °C. Será preciso uma superfície bem lisa para que não haja problemas. O ideal seria uma borracha de silicone especial, sendo que infelizmente é muito cara e como o objetivo é fazer com o menor custo possível, uma madeira bem plana e lixada está adequada.

Sobre a placa com o lado de cobre para cima de modo que ela cubra totalmente o layout e o lado do papel impresso virado para baixo, pressiona-se o ferro de passar já aquecido. Passe o papel pressionando-o por uns 7 minutos e, de vez em quando, jogue algumas gotas de água por cima do papel.



Figura 4.11 - Utilizando o ferro de passar para desprender a tinta da folha de revista.

Logo após este processo, a placa ainda quente deve ser mergulhada em água corrente para que se esfrie e facilite o retirar do papel sem que a tinta continue impregnada no mesmo. É aconselhável retirar o papel cuidadosamente e sempre em um sentido diagonal em relação às trilhas.

O maior problema é quando as trilhas se soltam ou ficam muito falhas. Caso as trilhas não forem excessivamente pequenas (no caso das ligações nos pinos do MSP), é necessário se utilizar de uma caneta de retroprojektor com ponta fina para corrigir os erros das trilhas.

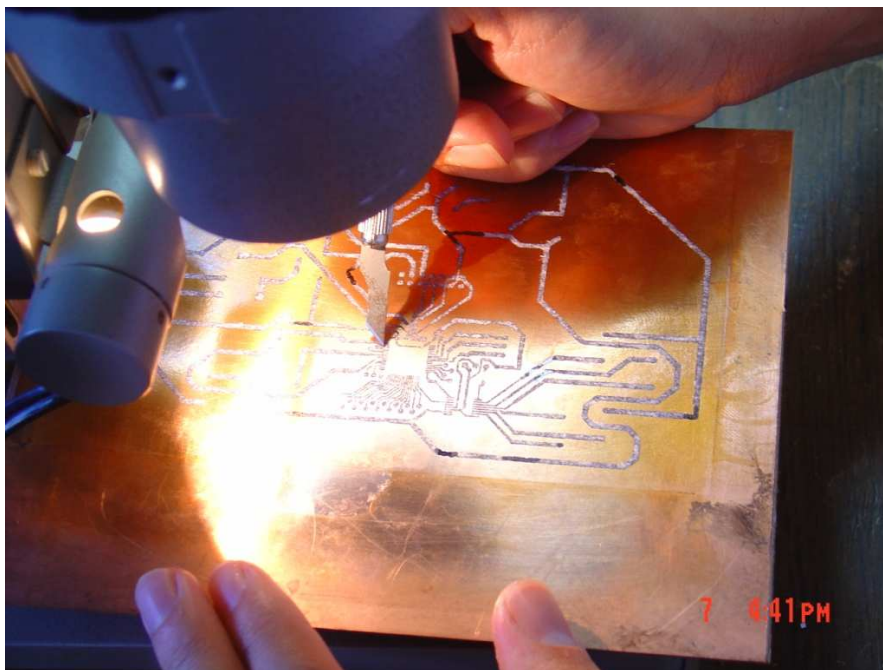


Figura 4.12 - Placa com o circuito impresso logo após retirar o papel contact.

Neste caso, foi utilizado um microscópio com iluminação para uma adequada inspeção nas trilhas do MSP.

Após a verificação da continuidade correta das trilhas, a placa estará pronta para a corrosão.

4.17. CORROSÃO

Depois que as trilhas do lado de cobre da placa estiverem devidamente marcadas é hora de corroer o cobre que não será útil. Prepara-se uma solução de percloreto de ferro para mergulhar a placa mantendo-a submersa e movimentando-a (com um pedaço de madeira) por aproximadamente 15 minutos. Este tempo pode variar dependendo da reutilização da solução, já que o ácido fica mais fraco com o passar do tempo.



Figura 4.13 - Corrosão da placa de fenolite.



Figura 4.14 - Movimentando a placa no ácido para diminuir o tempo de corrosão.

Após a corrosão, é aconselhável lavar bem a placa e então, passar a lã de aço para retirar a tinta da impressora. Qualquer curto-circuito entre trilhas ou ilhas é só usar um estilete para cortar o excesso de cobre.

Recomenda-se manusear um multímetro para fazer testes de continuidade para se ter a certeza da correta ligação entre os componentes. Caso contrário, isso somente irá dificultar a solução de problemas depois que os componentes já estiverem soldados.

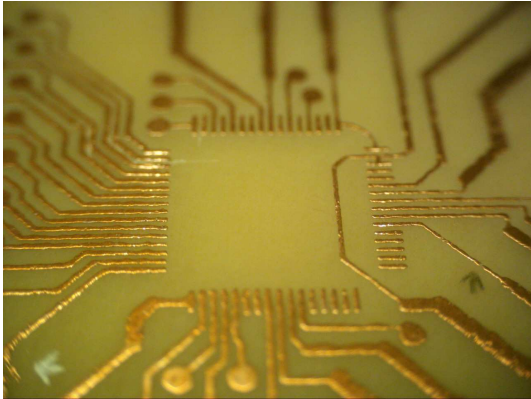


Figura 4.15 - Verificação das trilhas do MSP.

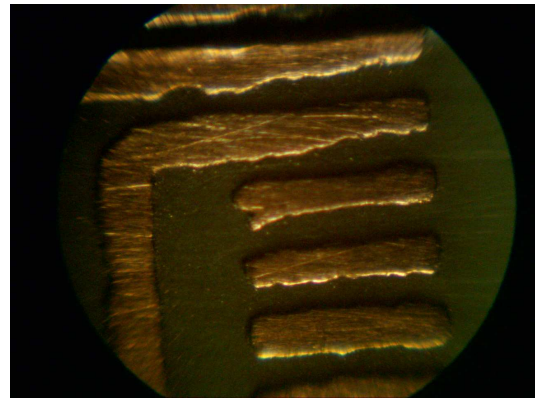


Figura 4.18 - Verificação das trilhas do MSP em um microscópio.

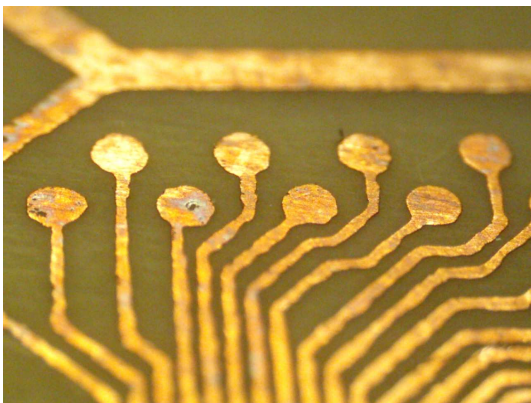


FIGURA 4.17 - VERIFICAÇÃO DOS TEST POINTS DO MSP.

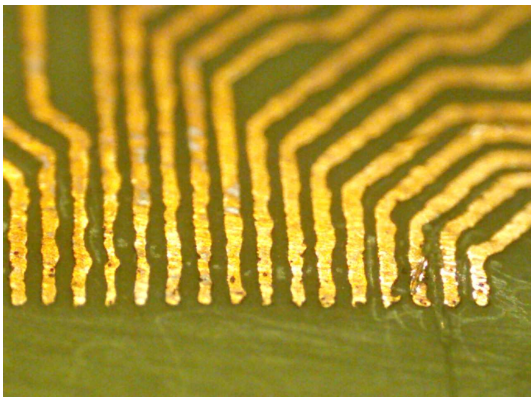


FIGURA 4.16 - VERIFICAÇÃO DAS TRILHAS DOS PINOS DO MSP.

Depois que a placa estiver seca e limpa, só resta furá-la. Este processo não se mostrou efetivo com o uso de uma furadeira convencional, já que a placa de fenolite não é muito resistente e acabou por rachá-la. Somente com uma furadeira PCI manual foi possível esta tarefa.

4.18. DIFICULDADES EM RELAÇÃO AO PROCESSO CASEIRO

A primeira dificuldade encontrada pelo grupo certamente foi o fato da indisponibilidade de uma impressora a Laser, o que custou um valioso tempo no decorrer do semestre.

Outra questão foi em relação ao processo em si. Diferentes modos de confecção de circuito impresso foram testados numerosas vezes. O método apesar de apresentar uma despesa econômica mínima, se mostrou um tanto ineficiente e cansativo, já que para a obtenção de uma placa a qual atendesse um requisito mínimo de qualidade, foram gastos vários dias com resultados decepcionantes. Estes problemas são freqüentes por causa das trilhas de tamanho muito pequeno na pinagem do MSP.

Como eram muito freqüentes as falhas na transferência do layout para a placa, utilizou-se um microscópio, uma pinça e solda para a correção desses erros.



Figura 4.19 - Microscópio utilizado para eventuais correções.

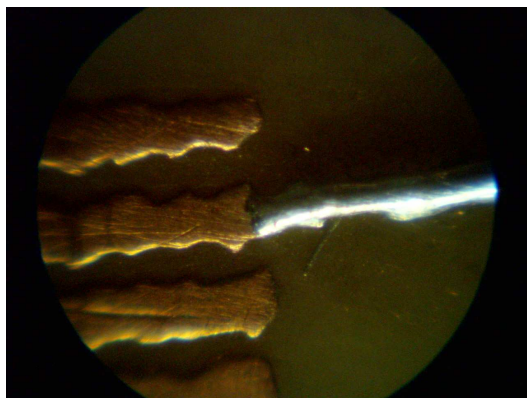


Figura 4.20 - Correção com solda de uma trilha do MSP.

Houve também a tentativa de se fazer a placa de circuito impresso na máquina instalada na sala de Linhas e Fitas no SG-11 na Universidade de Brasília. Após alguns dias de espera na fila, foi constatado que a máquina não era capaz de confeccionar tal placa. A broca presente na máquina para o desenho das trilhas não era suficientemente fina para os pinos do MSP.

5. IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO NO MICROCONTROLADOR

5.1. CÓDIGO IMPLEMENTADO

Basicamente, pretendeu-se gerar uma codificação, em linguagem C, com o objetivo de configurar o microcontrolador, para que este realizasse as funções desejadas.

No código implementado, utilizou-se o seguinte método para a percepção do abaixamento do sinal a valores considerados inadequados pela ANEEL. Ao invés de se calcular o valor RMS real da rede, utilizou-se um filtro passa-baixas em tempo real para que pudesse ser comparado o valor do filtro a uma faixa de valores de referência pré-definida correspondente à tensão 189 Volts RMS.

O programa principal no plano de fundo é composto por uma função de inicialização e, então, um loop infinito para monitorar a tensão e a parte serial.

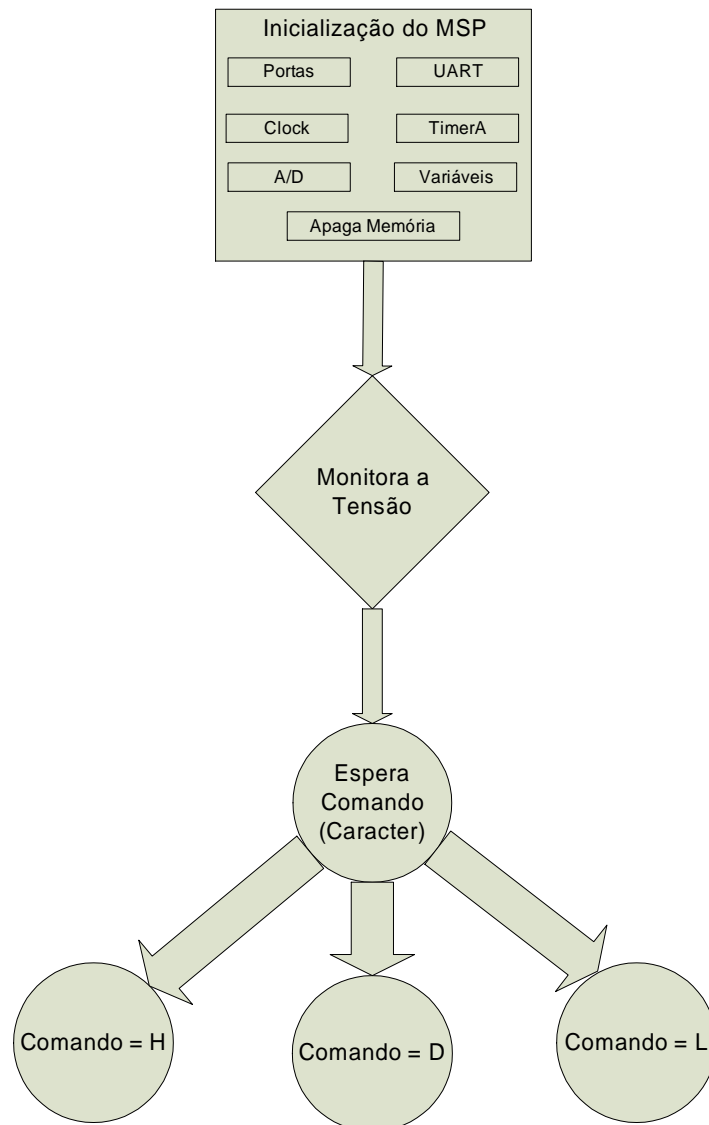


Figura 5.1 – Diagrama de blocos do funcionamento do algoritmo de aquisição.

Neste primeiro momento, o código se encarrega de inicializar as portas de transmissão (UTXD0), de recepção (URXD0), do conversor A/D (AD0) e dos pinos de saída. Em seguida, tem-se a inicialização do Clock e das variáveis, incluindo a indicação do rms para um valor de 4789, o qual é necessário pelo fato do MSP somente estabilizar o valor após algum tempo, como visto na figura abaixo.

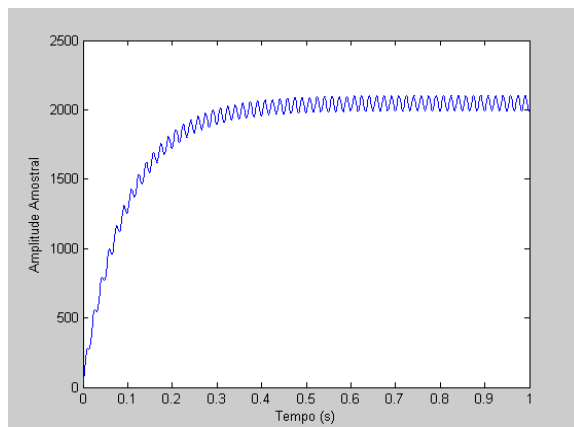


Figura 5.2 – Estabilização dos sinais amostrados.

Para o cálculo da média entre as amostras, utilizou-se uma técnica para contornar o problema relacionado ao *overflow* da variável do MSP, a qual é de 16 bits, ou seja, ela não poderá extrapolar o valor de 32768. As amostras serão feitas por pontos de 0 a 4096, o equivalente a 12 bits do conversor A/D. O problema do *overflow* foi verificado e a chance de acontecer é muito alta pelo fato de serem somados vários pontos elevados. Logo, o resultado certamente excederia os 16 bits da variável.

A idéia foi a de utilizar-se um filtro passa-baixas. Para que não houvesse o *overflow*, uma primeira amostra é multiplicada por um valor muito baixo (0,05) e assim somada a um valor anterior multiplicada por um outro valor muito alto (0,95). Tomando-se por base este procedimento, tem-se que o valor nunca excederá os 32768, isso porque ao proceder-se com estas multiplicações e somas, o resultado irá oscilar até um valor, valor este que irá ser comparado ao RMS. Para uma melhor visualização, foi montado o esquema abaixo:

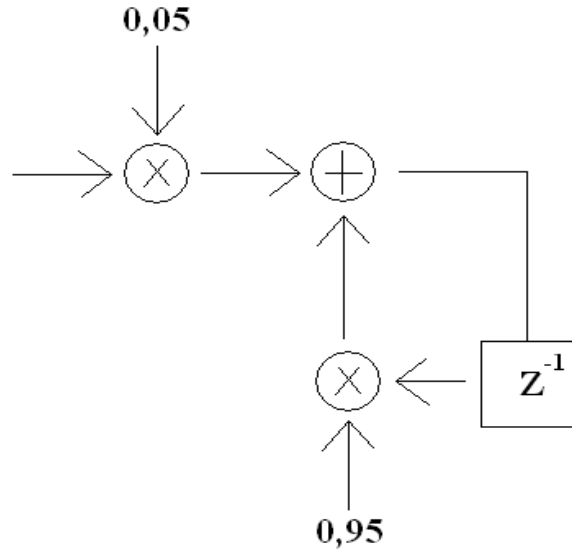


Figura 5.3 – Diagrama do filtros passa-baixas digital.

Era necessário que o sinal de entrada fosse amostrado e digitalizado. Para tanto, foi criado, logo no início do código, um comando para definir uma frequência de amostragem que fosse capaz de representar fielmente o sinal analógico de forma digital. Foi, então, configurado o conversor Analógico/Digital, no qual se seleciona a função de A/D da porta (P6) e esta ainda como entrada. A configuração do TIMERA para se controlar a taxa de amostragem também é feita nesta etapa.

Estabeleceu-se como frequência de amostragem o valor de 8 kHz. Tal grandeza foi dimensionada tendo em vista futuros aperfeiçoamentos que poderão ser feitos no código do processador. Como uma proposta para próximos estudos deste projeto, pode-se realizar uma análise de harmônicos presentes na rede elétrica. Uma análise até o sétimo harmônico já nos daria bastante base para estudos. Assim sendo, considerando que tal harmônico apresente a frequência de 420Hz, pela taxa de amostragem de Nyquist, deveriam existir no mínimo 840 amostras por segundo para que o sinal digitalizado pudesse ser recuperado posteriormente. Para ter-se uma margem de erro altamente segura, foi definida uma taxa de amostragem de 8000 amostras por segundo, já que o cristal utilizado de 8 MHz permitiu tal feito. Pode-se notar sua frequência pelas figuras a seguir:

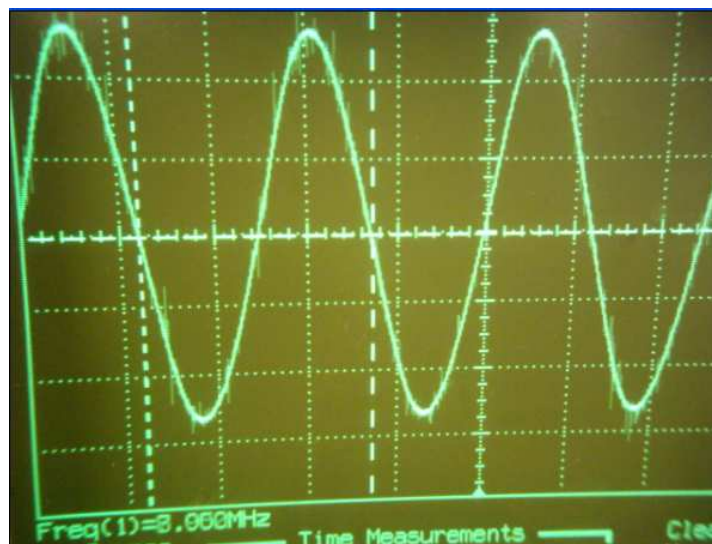


Figura 5.4 – Forma de onda do cristal.



Figura 5.5 – Detalhe da frequência do cristal.

Tendo a taxa de amostragem definida, precisava-se definir o valor de referência para que o microcontrolador pudesse realizar as comparações entre os valores amostrados de tensão e a referência estipulada, podendo assim detectar as faltas. Como a variação da tensão de entrada estava entre 5028 e 4550, tem-se a tensão média correspondente aos 220 volts como sendo 4789. Fazendo-se uma simples regra de três, a tensão considerada como falta (189 Volts) seria correspondente a 4209. E, já que há uma variação no sinal de entrada, definiu-se o valor de 3731 para o LIMAR_INF (limiar inferior considerada falta

de energia) e 4687 para o LIM_IAR_SUP (limiar superior considerada tensão adequada). Ou seja, o valor considerado crítico com uma margem de 478 (o tamanho aproximado da variação do sinal de entrada).

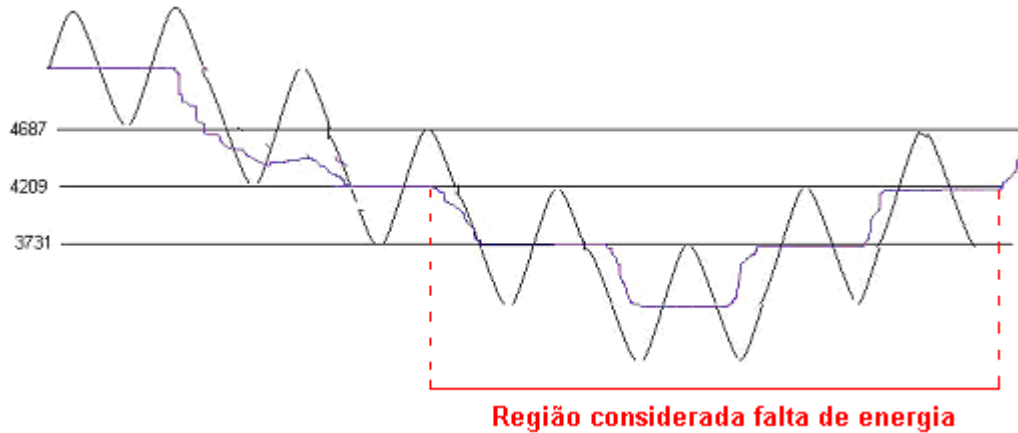


Figura 5.6 – Determinação visual da faixa considerada falta.

Em seguida, foi habilitada a função a qual se encarrega de monitorar a tensão. Aqui serão feitas as comparações com o valor de referência definido anteriormente e, então, serão gravados 7 dados na memória RAM. Estes dados estão relacionados ao carácter de início ou fim da falta, ano, mês, dia, hora, minuto e segundo.

Além do monitoramento da tensão, há ainda a função designada por SerialRx, a qual está responsável pela comunicação serial entre o computador e o MSP. Esta comunicação se dá pela espera de um comando recebido pelo MSP. Três comandos são possíveis:

- “H”: Atualização do relógio/calendário do MSP;
- “D”: Transmissão de todos os dados ocupados na memória RAM do MSP para o computador pelo cabo DB9;
- “L”: Limpa a memória RAM do MSP caso o usuário já tenha descarregado todos os dados para o software de seu computador.

5.2. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Infelizmente nem tudo saiu como era previsto. Alguns empecilhos relacionados ao armazenamento de dados na memória Flash e à interface gráfica impediram que se obtivesse pleno sucesso com relação à programação.

Desejava-se inicialmente gravar os dados indicativos de faltas, na memória Flash do microcontrolador. Essa opção foi adotada pois esta memória tem a capacidade de manter qualquer informação registradas em si mesmo após ter sido retirada a alimentação do dispositivo. Isto representaria uma segurança a mais contra possíveis falhas no hardware, já que todos os registros de faltas estariam a salvo nesta memória. Entretanto, não se tinha habilidade suficiente por parte dos autores para implementar uma função no MSP capaz de programar esta atividade. Utilizaram-se instruções contidas no User's Guide do microcontrolador, mas assim mesmo a rotina para se gravar dados na Flash não funcionou. Assim sendo, resolveu-se fazer uso de um “plano B”.

Como, teoricamente, o aparelho medidor de faltas de energia permanecerá todo o tempo sendo alimentado, hora pela própria rede elétrica, hora pela bateria, resolveu-se implementar uma rotina para registrar informações na própria memória RAM do MSP, já que esta rotina se mostrava mais viável de ser elaborada. Quanto ao fato de se armazenarem dados na memória RAM, sabe-se perfeitamente que, quando se interrompe a alimentação do dispositivo, esta memória automaticamente se apaga, aparecendo vazia logo após a realimentação. Mas, como pretende-se nunca interromper o fornecimento de energia para alimentar o MSP, este problema não se torna relevante para o desenvolvimento do protótipo. Para uma versão futura mais elaborada do projeto, este item deverá ser reconsiderado, já que a memória Flash indubitavelmente seria a melhor opção para se guardarem os registros de faltas.

Quanto à programação da interface gráfica, utilizou-se o compilador C++ Builder5. Esta interface deveria ter quatro funções básicas: Informar os dados referentes a data e hora para atualização do calendário programado no MSP; requisitar os dados registrados na memória do microcontrolador; apagar os registros da memória para futuros armazenamentos e realizar os cálculos das durações das faltas para se determinar os

índices FIC, DIC e DMIC. O problema encontrado foi quando se forneciam as informações de data e hora ao microcontrolador. Quando se apertava um botão específico, a interface fornecia o ano, mês, dia, hora, minutos e segundos correspondentes ao próprio relógio do computador. Entretanto, quando esta ação era executada, o MSP reconhecia valores completamente diferentes daqueles informados. Infelizmente não foi possível solucionar este problema a tempo. Uma solução encontrada para contornar o problema foi utilizar outro software para fornecer as informações desejadas à placa de processamento. Utilizou-se o Listen 32, que é um aplicativo específico para realização de comunicação serial entre o PC e aparelhos externos. Entretanto, é necessário que as informações sejam fornecidas manualmente, reduzindo um pouco a precisão dos horários que por ventura se deseje informar.

Como já foi mencionado em capítulos anteriores, vários contratempos referentes ao funcionamento do hardware contribuíram para o atraso no andamento do projeto. Isto também limitou bastante o tempo disponível para que se pudesse programar, testar e debugar eficientemente os códigos de funcionamento do equipamento. Por esta razão, não foi possível fazer com que a interface gráfica adquirisse os dados da memória nem calculasse os índices desejados. Entretanto, pelo software Listen 32 foi possível observar o correto funcionamento do código de aquisição de dados, mostrando, de forma não muito trivial, todas as ocorrências de faltas e a duração de cada uma delas. Isto mostra que boa parte do objetivo final foi atingida, já que a obtenção destas informações, mesmo que de maneira precária, custou muitas horas de pesquisa e intenso raciocínio.

6. RESULTADOS PRÁTICOS

Utilizou-se da assistência de um software chamado Listen32 para os testes mostrados a seguir para a transmissão dos dados. Uma figura com uma apresentação deste, está mostrada a seguir:

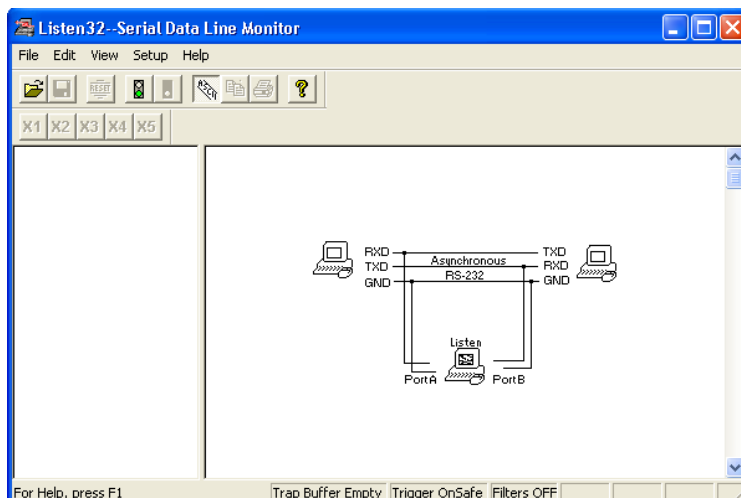


Figura 6.1 – Janela principal do software Listen 32.

Primeiramente, têm-se o teste para o comando de atualização do horário/calendário. Com a opção “Transmit String” do software, pôde-se enviar o comando “H” (72 em binário). Em seguida, transmite-se os valores relativos à atualização nesta ordem: mês, dia, horas, minutos e segundos atuais, como pode-se observar na figura 6.2, notando-se a correspondência com o relógio da barra do Windows.

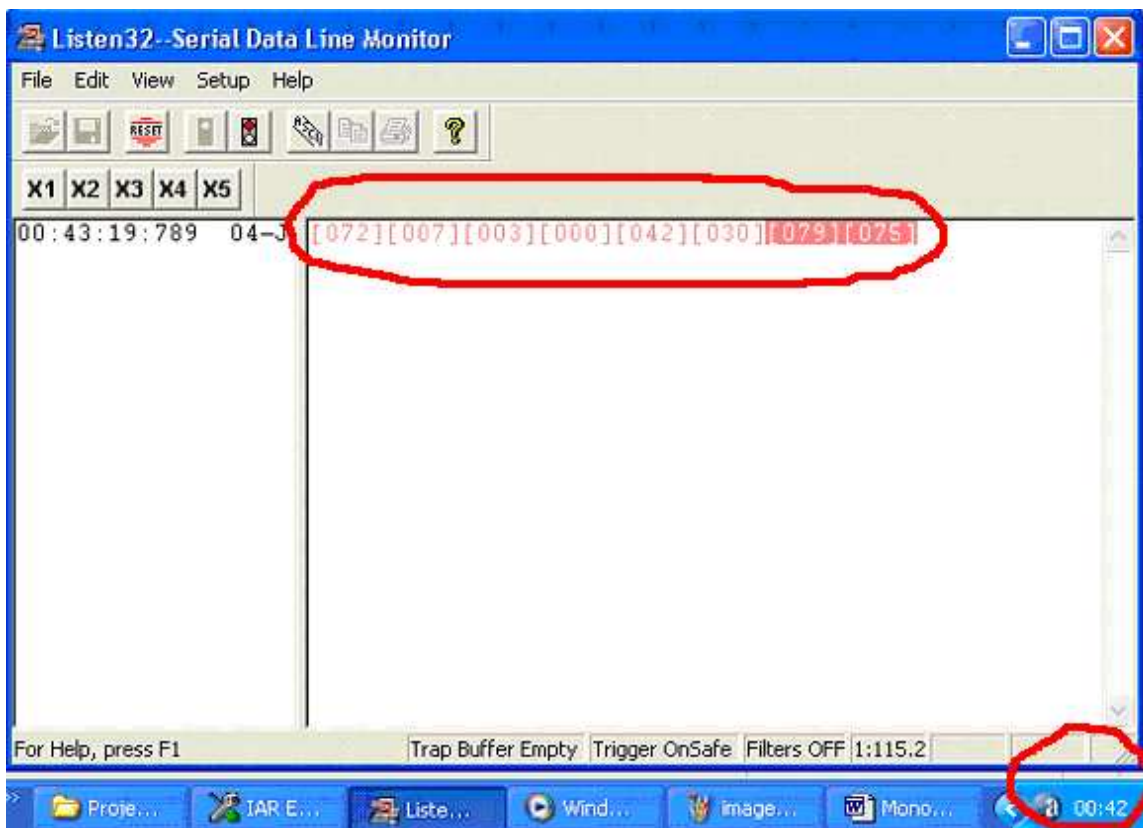


Figura 6.2 – Visualização da atualização das informações de data e hora.

Para que haja uma confirmação de que o MSP realmente tenha recebido os valores corretamente, foi implementado um retorno para o computador da palavra “OK”. Foi habilitada o item “SHOW ASCII” para visualizarmos esta confirmação.

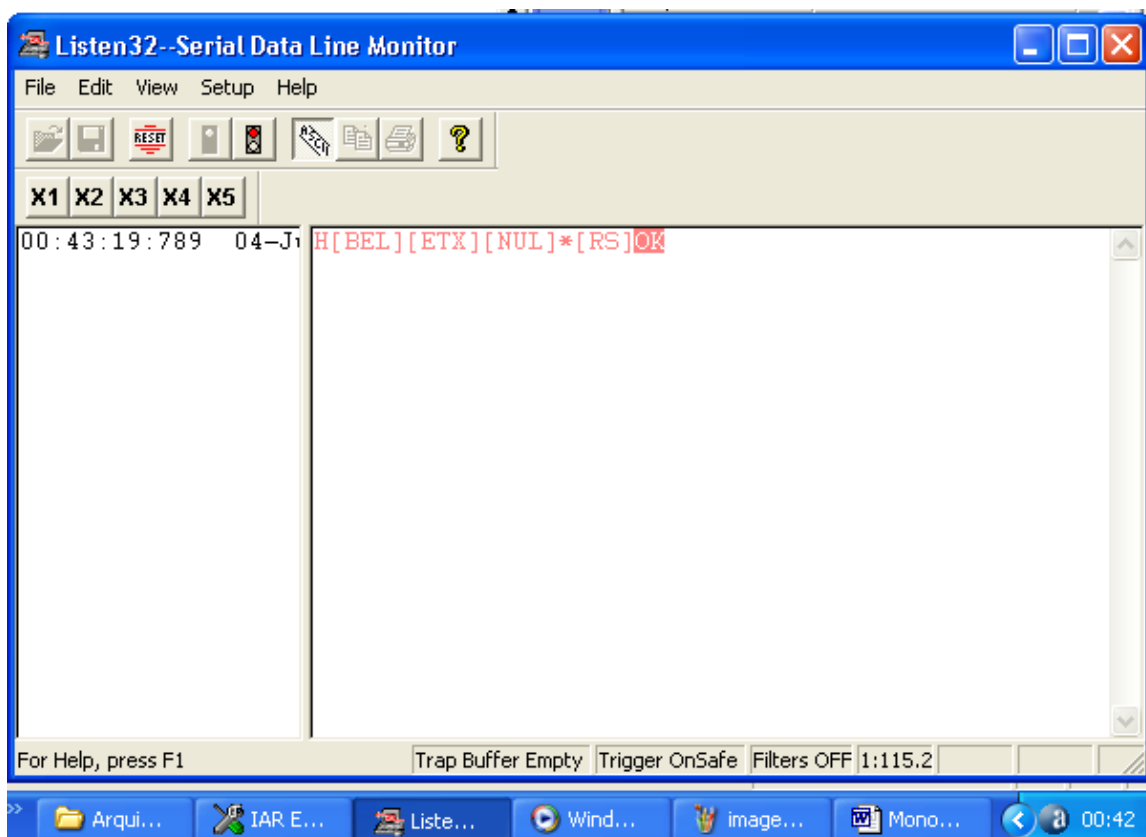


Figura 6.3 – Visualização da confirmação de recebimento das informações de data e hora pelo MSP.

Para o comando “D”, responsável pela transmissão dos dados gravados na memória RAM para o computador, obteve-se um pleno sucesso como pode ser observado na janela de aquisição de strings pelo Listen32 na figura 6.4.

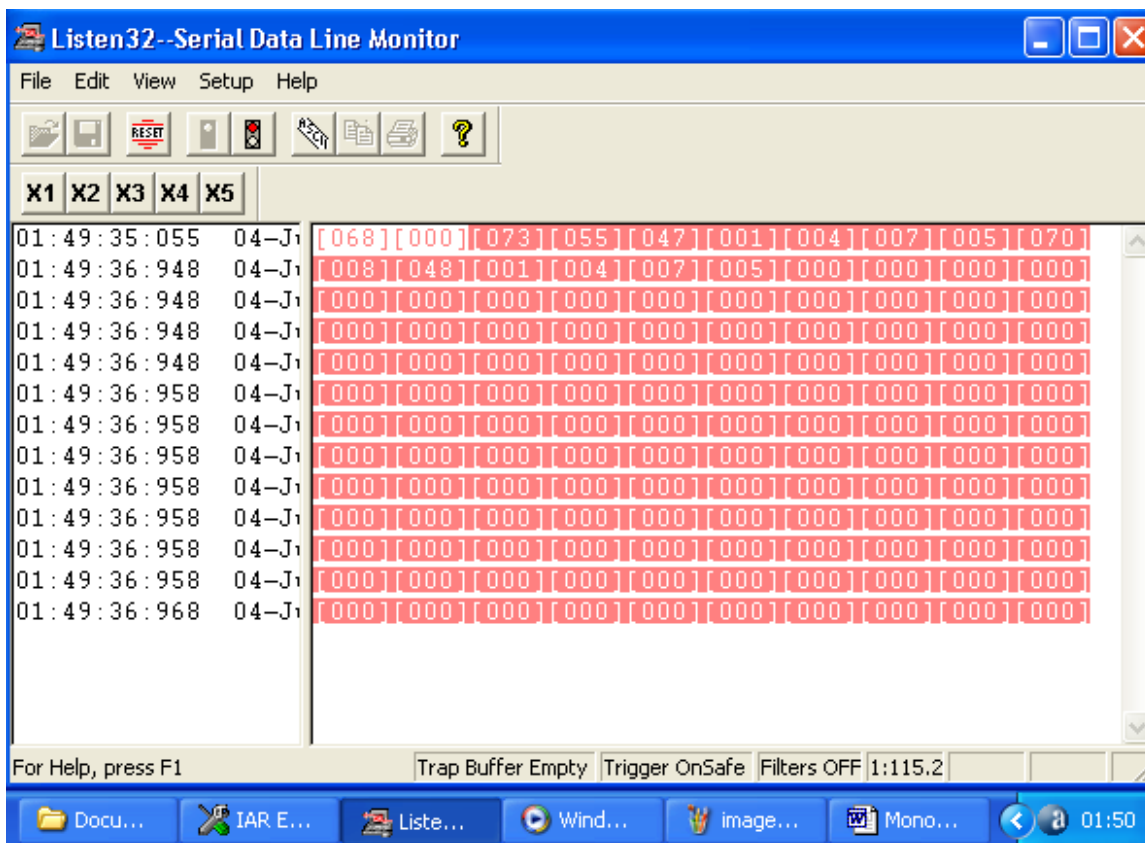


Figura 6.4 – Visualização da transferência dos dados da memória para o computador.

Explicando os resultados da figura 6.4, temos que os dois primeiros dados são os de comando, ou seja, a transferência de “D” e em seguida “000” para a confirmação da opção desejada. Já os outros dados destacados por uma cor diferente, estão organizados da seguinte forma:

F/I	Segundos	Minutos	Horas	Dia	Mes	Ano
-----	----------	---------	-------	-----	-----	-----

Figura 6.5 – Apresentação dos dados enviados.

São 7 dados de informação basicamente que configuram um pacote. Um primeiro para a indicação de início ou fim da falta e os restantes estão relacionados ao relógio/calendário. Uma observação a ser feita é a de que não foi implementada no código a mudança do ano. Sabe-se que eles são mandados todos de uma só vez, os 128 bytes reservados para as faltas. Faz-se então que para a ocorrência de uma duração de

falta completa, tem-se a ocupação de 14 bytes na variável na memória RAM. Como esta variável foi definida como sendo de 128 bytes, é possível o armazenamento de 9 faltas completas.

Logo, no exemplo da figura 6.4 tem-se um início da falta (o número binário 73 equivale a letra “I” na tabela ASCII) ocorrido exatamente, na ordem do pacote, no segundo 55 , minuto 47, hora 01, dia 04, mês 07 e ano 05. Em seguida tem-se a configuração do fim da falta, indicada pelo número 70 (letra “F” na tabela ASCII), ocorrida no segundo 08, minuto 48, hora 01, dia 04, mês 07 e ano 05.

O comando para apagar a memória RAM é bem simples e como observa-se na figura 6.6, temos a presença do comando “L” (mostrado pela numeração 076 em binário) seguido pela confirmação “000” (NULL, pela tabela ASCII). Também foi utilizado o comando “D” para visualizar a confirmação de que a memória RAM realmente tenha sido apagada.

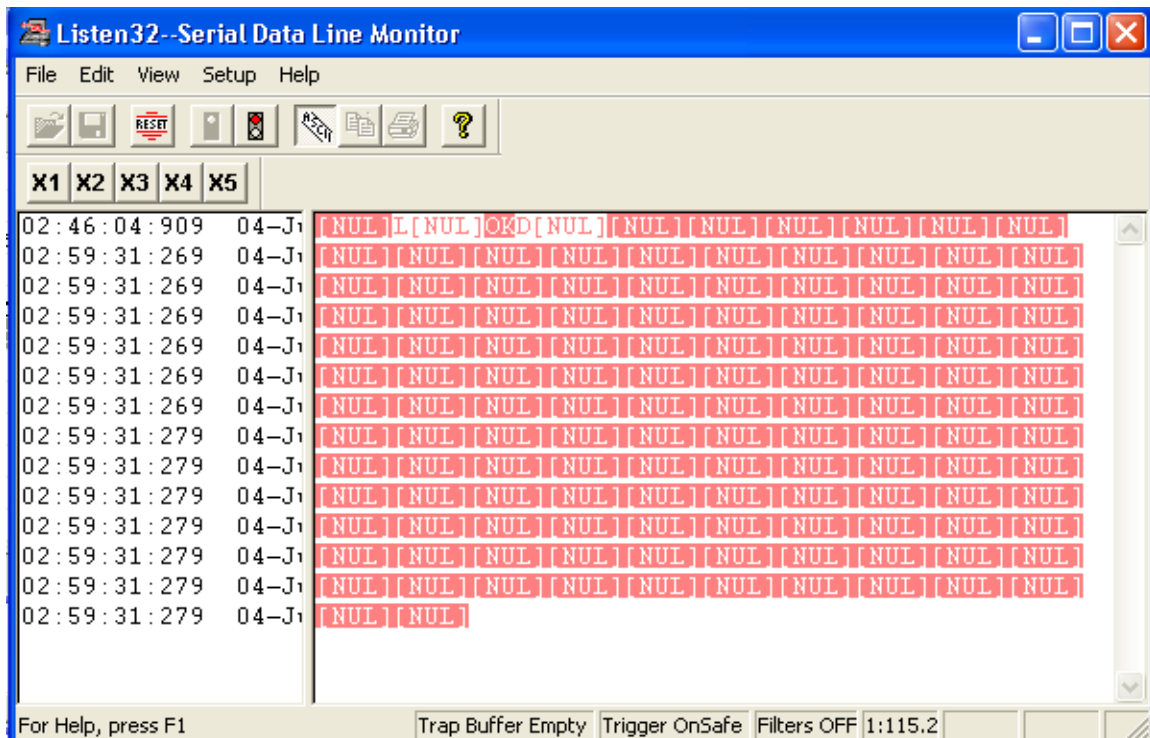


Figura 6.6 – Visualização da memória RAM apagada.

7. SUGESTÕES

Conforme pode-se perceber a partir das informações referentes ao que se obteve durante todo o período de trabalho, vários aperfeiçoamentos ainda podem ser desenvolvidos até que se atinja um equipamento ao nível comercial desejado. Assim, visando indicar rumos para os trabalhos futuros, criou-se uma seção desta monografia para evidenciar alguns pontos que foram julgados importantes para serem explorados mais adiante. Tais sugestões estão mostradas a seguir:

- Utilizar o CI BQ2002G para realizar um carregamento inteligente das baterias de alimentação do circuito;
- Substituir os componentes atuais por SMDs, visando reduzir as dimensões do equipamento;
- Implementar a gravação dos dados de faltas em memória FLASH externa;
- Comunicação com o PC via USB ou RF;
- Adaptar o circuito para ser capaz de monitorar a rede trifásica;
- Criação de uma interface gráfica capaz de processar os dados provenientes do circuito e emitir relatórios impressos para um melhor controle por parte do usuário;
- Análise de harmônicos, sub-tensão e sobre-tensão;
- Aperfeiçoamento do Código.

8. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um medidor de faltas na rede de baixa tensão foi elaborado para atender à recente regulamentação nº 24 da ANEEL. Este é um projeto que veio atender às recentes preocupações com a qualidade da energia elétrica que se está recebendo, pois o pequeno consumidor, principalmente, não desfruta de condições para aferir a qualidade da energia que está sendo fornecida a ele.

Trata-se de um aparelho que, por não utilizar componentes muito caros, sua aquisição tende a tornar-se bastante viável para os consumidores de classe média se produzido em escala. Como até hoje não se tem notícias de outro aparelho medidor de faltas de tensão a nível residencial deste tipo, este protótipo torna-se pioneiro no ramo, representando, portanto, uma oportunidade promissora para a criação de um equipamento comercializável que tem muitas chances de ser bem aceito no mercado. Entretanto, deve-se lembrar que a conquista deste projeto, por hora, foi de apenas um protótipo, não se podendo ter garantias de perfeito funcionamento durante todos os testes aos quais ele possa ser submetido. Estudos de aperfeiçoamento ainda devem ser realizados antes de se obter uma versão definitiva do aparelho, mas os autores deste trabalho afirmam que uma parte bastante árdua, que foi partir do zero e chegar ao protótipo em questão, já foi superada.

Do ponto de vista acadêmico, ambos os autores reconhecem a enorme contribuição que este projeto forneceu ao engrandecimento dos conhecimentos e experiências que certamente não seriam obtidos somente com teorias. Foram aplicados na prática diversos tópicos estudados ao longo de todo o curso de Engenharia Elétrica, no que diz respeito principalmente à eletrônica, processamento digital de sinais, circuitos elétricos e sistemas elétricos de potência. Oportunidades como esta de integração entre vários campos de atuação da engenharia são raras e, certamente, esta será de fundamental importância para a vida profissional de cada um dos dois novos engenheiros que trabalharam neste projeto. Mais uma vez, cabe agradecer ao orientador Mauro Moura

Severino e ao co-orientador Edvaldo Paniago pela oportunidade única que nos foi dada para que pudéssemos mostrar nossas capacidades de criação e resolução de problemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL] - *Resolução nº 24* , de 27 de janeiro de 2000, Republicada no D.O de 13.03.2003, seção 1, p. 54, v. 140, n. 50, com alterações, conforme determinação do art.2º da RES ANEEL 075 de 13.02.2003.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL] - *Resolução nº 676* , de 16 de dezembro de 2003, Retificado no D.O de 24.12.2003, seção 1, p. 165, v. 140, n. 250.

[3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL] - *Resolução nº 505* , de 26 de novembro de 2001.

[4] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA [ANEEL] - *Resolução nº 456* , de 29 de novembro de 2000.

[5] SEDRA A. S. ; KENNETH S. C. , *Microeletrônica*. 4.ed. São Paulo, Makron Books, 2000.

[6] SEN P. C. , *Principles of Electric Machines and Power Electronics* , 2.ed. , John Wiley & Sons , 1997.

[7]

[8] OPPENHEIM, A. V. , SCHAFER R. W. , *Discrete-Time Signal Processing*, 2nd ed. , Prentice Hall, 1998.

[9] MSP 430x1xxx Family – *User’s Guide*, Texas Instruments, Texas, U.S., 2004

[10] MSP 430x14xx – *Data sheet*, Texas Instruments, Texas, U.S., 2004

[11]

<http://www.mikroelektronika.co.yu/portuguese/product/books/picbook/capitulo1.htm>
consultado no dia 20/01/2005.

[12] PIC16F87X – *Data sheet*, Microchip, Texas, U.S., 2004.

[13] ZELENOVSKY, R , *Apostila de Microcontroladores MCS-51*, Universidade de Brasília, 1992.

[14] Nagy, Chris, *Embedded Systems Design using the TI MSP 430 Series*, United States, 2003.

[15] Revista Saber Eletrônica - *Acopladores e Chaves Ópticas*, nº 380, setembro de 2004.

- [16] Fairchild Semiconductor – *4N25 Data sheet*, U.S. , 2001.
- [17] <http://www.mourente.com.br/Curso-2H.htm> , acessado em 05 de janeiro de 2005.
- [18] <http://www.ultracad.com/rms.pdf> , acessado em 25 de novembro de 2004.
- [19] <http://www.gaw.ru/pdf/TI/app/msp430/slaa061.pdf> , acessado em 04 de janeiro de 2005.
- [20] http://www.studior.com.br/aes_prms.pdf, acessado em 25 de novembro de 2004.
- [21] <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica7/funciona/fusiveis.htm>, acessado em 05 de setembro de 2004.
- [22] <http://www.labramo.com.br/protetor.htm>, acessado em 05 de setembro de 2004.
- [23] <http://www.labramo.com.br/quest1.htm>, acessado em 05 de setembro de 2004.
- [24] <http://www.gallawa.com/microtech/varistor.html>, acessado em 07 de setembro de 2004.
- [25] <http://www.tecwaybr.com/prod03.htm>, acessado em 07 de setembro de 2004.
- [26] <http://www.tecwaybr.com/varistor%2010mm.htm>, acessado em 07 de setembro de 2004.
- [27] http://www.para-aviation.ca/Doc/Transorb_power_supply_surge_protection.pdf , acessado em 08 de outubro de 2004.
- [28] <http://www.elematti.com.br/Intelli-Storm.htm>, acessado em 17 de outubro de 2004.
- [29] <http://www.parallax.com/dl/docs/books/edu/baad.pdf>, acessado em 13 de setembro de 2004.
- [30] <http://www.elematti.com.br/Intelli-Storm.htm#Aplicação>
- [31] *The Design Source for Engineers and Managers Worldwide*, <http://www.edn.com/>, acessado em 25 de Abril de 2005.
- [32] *Las Baterias Li-Ion*, <http://www.imagendv.com/midp/midp-ds.pdf>, acessado em 26 de Abril de 2005.
- [33] *Guia para Prueba de Baterias*, http://www.megger.com/common/documents/Battery_AG_es_v01.pdf, acessado em 26 de Abril de 2005.
- [34] *The Li-Polymer battery*, <http://www.buchman.ca/Article6-Page1.asp>, acessado em 26 de Abril de 2005.

- [35] *Li-Ion Batteries Reach For Higher Performance*, <http://www.elecdesign.com/Articles/ArticleID/1628/1628.html>, acessado em 26 de Abril de 2005.
- [36] *Charge Methods for Nickel Metal Hydride Batteries*, http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic_NiMH_Charge_Methods.pdf, acessado em 26 de Abril de 2005.
- [37] *Métodos de Carga de Baterías*, <http://www.rcnoticias.com/Tecnicas/BateriasMetodos.htm>, acessado em 26 de Abril de 2005.
- [38] *Proper Charge Methods*, <http://www.allegromicro.com/techpub2/cadex/index12.htm>, acessado em 03 de Maio de 2005.
- [39] *High Self Discharge*, <http://www.allegromicro.com/techpub2/cadex/index321>, acessado em 03 de Maio de 2005.
- [40] *How to design battery packs*, <http://www.powerstream.com/BPD.htm>, acessado em 03 de Maio de 2005.
- [41] *Nanotecnologias y Materiales*, <http://www.ceramicaycristal.com.ar/P17/Ciencia.htm>, acessado em 24 de Maio de 2005.
- [42] *RS232 Data Interface*, <http://www.arcelect.com/rs232.htm>, acessado em 24 de Maio de 2005.
- [43] *Introduction to Serial Communications*, http://www.taltech.com/TALtech_web/resources/intro-sc.html, acessado em 24 de Maio de 2005.
- [44] *Conhecendo os carregadores*, <http://mbtenergia.com.br/conh.carreg.htm>, acessado em 10 de Junho de 2005.
- [45] *Circuito Impresso*, http://geocities.yahoo.com.br/alexrobotica/eletronic_robotica_circ_impresso.html, acessado em 10 de Junho de 2005.
- [46] *RS232 Data Interface*, <http://www.arcelect.com/rs232.htm>, acessado em 10 de Junho de 2005.
- [47] *Fundamentals of RS-232 Serial Communications*, http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/83, acessado em 10 de Junho de 2005.
- [48] *Texas Instruments*, <http://www.ti.com>, acessado em 10 de Maio de 2005.

ANEXO I

Introdução às Baterias

Uma das mais importantes descobertas nos últimos 400 anos foi a eletricidade. Você pode perguntar, "tem a eletricidade estado ao nosso redor por muito tempo?" A resposta é "sim", e talvez por muito mais tempo. Surpreendentemente, a eletricidade tornou-se útil à humanidade somente em 1800.

Os métodos conhecidos de gerar a eletricidade eram criando uma carga estática. Alessandro Volta (1745-1827) inventou a chamada "electric pistol" por qual um fio elétrico foi colocado em um frasco cheio de gás metano. Emitindo uma faísca elétrica através do fio, o frasco explodiria.

Volta pensou então em usar esta invenção para fornecer comunicações de longas distâncias. Um fio do ferro suportado por pólos de madeira devia ser amarrado desde Como até Milão na Itália. Na extremidade da recepção, o fio terminaria em um frasco cheio de gás de metano. No comando, uma faísca elétrica é emitida pelo fio que faria com que uma detonação sinalizasse um evento codificado. Esta ligação de comunicação nunca foi construída.

O estágio seguinte para a geração de eletricidade era com a eletrólise. Volta descobriu em 1800 que um fluxo contínuo de força elétrica era possível ao usar determinados líquidos como condutores para promover uma reação química entre metais. Volta descobriu mais a frente que a tensão aumentaria quando as pilhas voltaicas eram empilhadas. Isto conduziu à invenção da bateria. Da disponibilidade de uma bateria, as experiências não eram mais limitadas a uma exposição breve das faíscas que duraram uma fração de um segundo. Um fluxo de corrente elétrica aparentemente infinito estava agora disponível.

Em meados de 1800, a França se aproximava de grandes avanços científicos e suas novas idéias foram recebidas de braços abertos para dar suporte à agenda política. Pelo convite, Volta dirigiu-se ao Instituto da França em uma série de escritos em que Napoleão Bonaparte estava presente. Napoleão mesmo ajudou com as experiências,

derretendo um fio de aço, descarregando uma “electric pistol” e decompondo a água em seus elementos.



Figura I - Experiências de Volta no Instituto Nacional Francês em novembro de 1800 em que Napoleão Bonaparte estava presente.

Em 1802, o Dr. William Cruickshank projetou a primeira bateria elétrica capaz de ser produzida em larga escala. Cruickshank remanejou folhas quadradas de cobre soldadas em suas extremidades, misturadas com folhas de zinco de igual tamanho. Estas folhas foram colocadas em uma caixa de madeira retangular longa que fosse selada com cimento. Os sulcos na caixa prenderam as placas do metal em posição. A caixa foi preenchida com um eletrólito de salmoura.

Novas descobertas foram feitas quando o senhor Humphry Davy instalou a maior bateria elétrica e a mais poderosa na Instituição Real de Londres. Ele conectou a bateria aos eletrodos de carvão de lenha e produziu a primeira luz elétrica. As testemunhas relataram que sua lâmpada de arco voltáico produziu o mais brilhante arco de luz já visto.

Todas as baterias neste tempo eram pilhas preliminares, significando que não poderiam ser recarregadas. Em 1859, o físico francês Gaston Planté inventou a primeira bateria recarregável. Esta bateria secundária era baseada no “Lead Acid”, uma química que ainda hoje seria usada.

Tabela I - Histórico do desenvolvimento das baterias

History of Battery Development		
1600	Gilbert (England)	Establishment of electrochemistry study
1791	Galvani (Italy)	Discovery of 'animal electricity'
1800	Volta (Italy)	Invention of the voltaic cell
1802	Cruikshank (England)	First electric battery capable of mass production
1820	Ampère (France)	Electricity through magnetism
1833	Faraday (England)	Announcement of Faraday's Law
1836	Daniell (England)	Invention of the Daniell cell
1859	Planté (France)	Invention of the lead acid battery
1868	Leclanché (France)	Invention of the Leclanché cell
1888	Gassner (USA)	Completion of the dry cell
1899	Jungner (Sweden)	Invention of the nickel-cadmium battery
1901	Edison (USA)	Invention of the nickel-iron battery
1932	Shlecht & Ackermann (Germany)	Invention of the sintered pole plate
1947	Neumann (France)	Successfully sealing the nickel-cadmium battery
Mid 1960	Union Carbide (USA)	Development of primary alkaline battery
Mid 1970		Development of valve regulated lead acid battery
1990		Commercialization nickel-metal hydride battery
1992	Kordesch (Canada)	Commercialization reusable alkaline battery
1999		Commercialization lithium-ion polymer
2002		Limited production of proton exchange membrane (PEM) fuel cell

O terceiro, e de maior importância, método de gerar a eletricidade foi descoberto relativamente tarde - eletricidade através do magnetismo. Em 1820, André-Marie Ampère (1775-1836) observou que os fios que carregam uma corrente elétrica eram atraídos às vezes uma à outra, enquanto que em outras vezes repeliu. Em 1831, Michael Faraday (1791-1867) demonstrou como um disco de cobre era capaz de fornecer um fluxo constante de eletricidade quando envolvido por um forte campo magnético. Faraday e sua equipe de pesquisa tiveram sucesso em gerar uma força elétrica infinita enquanto que o movimento entre uma bobina e um ímã continuasse.

Em 1899, Waldmar Jungner da Suécia inventou a bateria de “nickel-cadmium”. Em 1947, Neumann obteve sucesso ao selar completamente a pilha. Estes avanços conduziram à bateria de “nickel-cadmium” (Ni-Cd) modernamente selada no uso hoje.

A pesquisa do sistema de “nickel-metal-hydride” (NiMH) começou em meados de 1970, mas as ligas de metal hidrido eram instáveis no ambiente da pilha. Novas ligas de hidrido foram desenvolvidas na década de 80, que melhoraram sua estabilidade. A bateria NiMH tornou-se comercialmente disponível na década de 90.

As primeiras baterias preliminares de lítio apareceram em 1970. Tentativas de se desenvolver baterias recarregáveis de lítio foram seguidas pela década de 80, mas falharam devido aos problemas de segurança. Por causa da instabilidade inerente do metal de lítio, especialmente durante a recarga, a pesquisa se deslocou a uma bateria não metálica de lítio utilizando-se íons de lítio (Li-ion). Embora sua densidade de energia fosse menor do que a do NiMH, a bateria de Li-ion era segura, desde que determinadas precauções são adotadas ao carregar e ao se descarregar. Em 1991, a Sony Corporation comercializou a primeira bateria de Li-ion.

Características Gerais das Baterias Recarregáveis

Uma determinada bateria pode ser projetada para um tamanho pequeno e uma longa duração, mas este bloco terá uma vida limitada de ciclo. Uma outra bateria pode ser construída para durabilidade, mas será grande e volumosa. Um terceiro bloco pode ter uma elevada densidade de energia e uma longa durabilidade, mas esta versão será demasiadamente cara para o consumidor.

Os fabricantes de baterias estão cientes das necessidades do cliente e oferecem conjuntos de baterias que melhor se aplicam às demandas dos clientes. A indústria de telefone móvel é um exemplo desta adaptação inteligente. Nela, o tamanho pequeno e a densidade de energia elevada reinam em favor da longevidade. O tempo de serviço (funcionamento) curto não é um grande problema, já que o dispositivo é substituído frequentemente antes que a bateria esteja desgastada.

Examinando vários projetos de bateria, começando com “nickel-metal-hydride”. O NiMH cilíndrico para um uso comercial oferece uma média faixa de densidade de energia de aproximadamente 80Wh/kg e possui aproximadamente 400 ciclos. O “prismatic NiMH” compromete a área de densidade de energia e a quantidade de ciclos. Esta bateria é classificada moderadamente em 60Wh/kg e oferece 300 ciclos. Uma bateria altamente durável de NiMH para uso industrial é empacotada em pilhas cilíndricas fornecendo modestos 70Wh/kg modesto, durando aproximadamente 1000 ciclos.

Similarmente, as baterias de Li-ion podem ser produzidas com várias densidades de energia diferentes. Submeter mais energia em uma pilha compromete a segurança. Enquanto as baterias comerciais de lítio-ion são seguras, o “super-high capacity lithium-ion” para aplicações de defesa, por razões de segurança, não está aprovado ainda para o público em geral.

Abaixo está um sumário de força e das limitações dos sistemas de bateria populares de hoje. Alguns importantes atributos são características da carga, vida de serviço, exigências de manutenção, self-discharge e custos operacionais.

- *Nickel – cadmium*: tem a densidade de energia moderada. É usado onde a longevidade da vida, a elevada taxa de descarga e a faixa estendida de temperatura são importantes. As aplicações principais são rádios e equipamento biomédico. Estas baterias contêm metais tóxicos.
- *Nickel – Metal –Hidride*: tem uma densidade de uma energia mais elevada comparada à de “*nickel-cadmium*” à custa do reduzido ciclo de vida. Não há nenhum metal tóxico. As aplicações incluem telefones móveis e computadores *laptop*.
- *Lead – Acid*: o mais econômico para aplicações de maior poder onde o peso é de pouco interesse. *Lead-acid* é a escolha preferida para equipamentos de hospital, cadeira de rodas motorizadas, luz de emergência e sistemas *UPS*.

- *Lithium – Íon*: o sistema de bateria que mais rapidamente cresce. Oferece uma alta densidade de energia e um baixo peso. Um circuito de proteção é necessário para limitar a tensão e a corrente para questões de segurança. As aplicações incluem *notebooks* e telefones celulares.
- *Lithium-ion-polymer*: muito similar ao Li-ion. Este sistema permite a construção com uma geometria mais fina e um simples empacotamento à custa de um encarecimento por watt/horas. As aplicações principais são telefones celulares.
- *Reusable Alkaline*: seu limitado ciclo de vida e baixa corrente de carga são compensadas pela longa vida útil, fazendo desta bateria ideal para dispositivos de entretenimento portáteis e lanternas elétricas.

A tabela II mostra as características das baterias comuns.

Tabela II - Características das baterias comuns.

	Nickel-cadmium	Nickel-metal-hydride	Lead-acid	Lithium-ion	Lithium-ion-polymer	Reusable alkaline
Gravimetric Energy Density (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130	80 (initial)
Internal Resistance (includes peripheral circuits) in mΩ	100 to 200 ¹ 6V pack	200 to 300 ¹ 6V pack	<100 ¹ 12V pack	150 to 250 ¹ 7.2V pack	200 to 300 ¹ 7.2V pack	200 to 2000 ¹ 6V pack
Cycle Life (to 80% of initial capacity)	1500 ²	300 to 500 ^{2,3}	200 to 300 ²	300 to 500 ³	300 to 500	50 ³ (to 50% capacity)
Fast Charge Time	1h typical	2 to 4h	8 to 16h	2 to 4h	2 to 4h	2 to 3h
Overcharge Tolerance	moderate	low	high	very low	low	moderate
Self-discharge / Month (room temperature)	20% ⁴	30% ⁴	5%	10% ⁵	~10% ⁵	0.3%
Cell Voltage (nominal)	1.25V ⁶	1.25V ⁶	2V	3.6V	3.6V	1.5V
Load Current peak best result	20C 1C	5C 0.5C or lower	5C ⁷ 0.2C	>2C 1C or lower	>2C 1C or lower	0.5C 0.2C or lower
Operating Temperature ⁸ (discharge only)	-40 to 60°C	-20 to 60°C	-20 to 60°C	-20 to 60°C	0 to 60°C	0 to 65°C
Maintenance Requirement	30 to 60 days	60 to 90 days	3 to 6 months ⁹	not required	not required	not required
Typical Battery Cost ¹⁰ (US\$, reference only)	\$50 (7.2V)	\$60 (7.2V)	\$25 (6V)	\$100 (7.2V)	\$100 (7.2V)	\$5 (9V)
Cost per Cycle (US\$) ¹¹	\$0.04	\$0.12	\$0.10	\$0.14	\$0.29	\$0.10-0.50
Commercial use since	1950	1990	1970	1991	1999	1992
Toxicity	Highly toxic, harmful to environment	Relatively low toxicity, should be recycled	Toxic lead and acids, harmful to environment	Low toxicity, can be disposed in small quantities	Low toxicity, can be disposed in small quantities	Low toxicity, may contain mercury

Podemos notar que a bateria de nickel-cadmium tem o menor tempo de recarga, entrega a maior corrente de carga e oferece o mais baixo custo por ciclo total, porém ele necessita de uma regular manutenção.

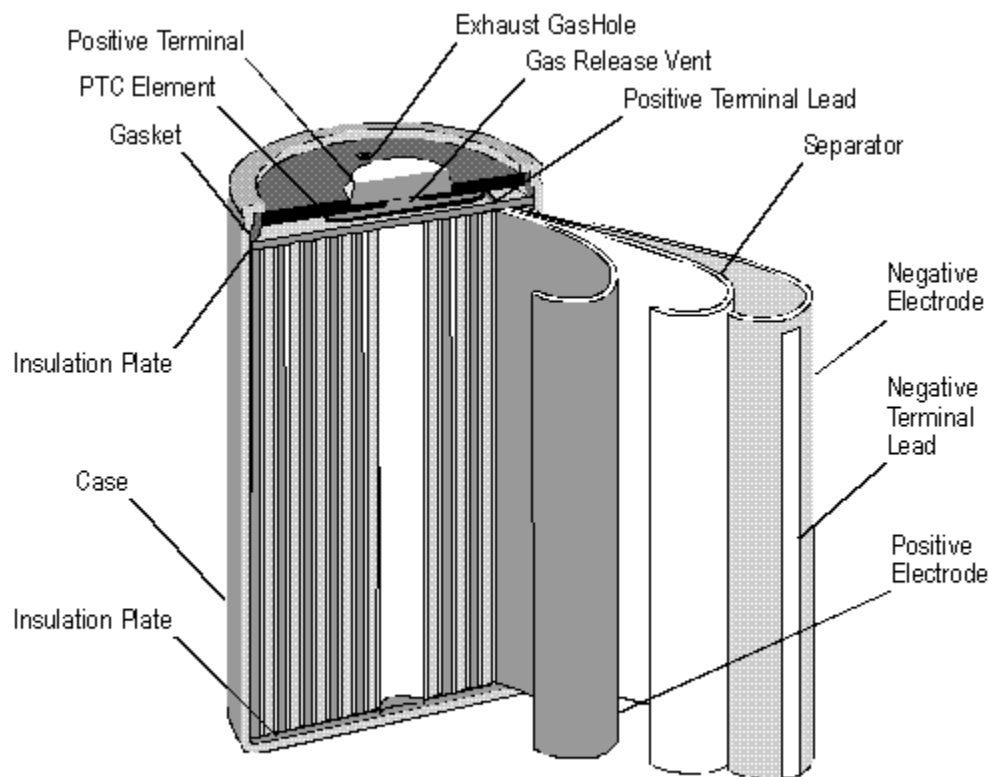
Packs de bateria – uma análise de sistemas antigos e novos

Em meados de 1700 e 1800, células de bateria foram encapsuladas em grandes frascos de vidro. Mais tarde, baterias multi-células foram desenvolvidas usando recipientes de madeira tratados com um material para vedar a célula, impedindo o escape do eletrólito. Com a necessidade de se obter pilhas portáteis, a célula cilíndrica foi desenvolvida. As pilhas cilíndricas seladas tornaram-se comuns após a Segunda Guerra Mundial. Com a continuidade para a diminuição do tamanho das células, foi

desenvolvido um projeto mais compacto da pilha e nos anos de 1980 a pilha “button” apareceu. Em 1990, a pilha “prismatic” foi desenvolvida, que foi seguida pela moderna pilha “pouch”. Será analisada agora a força e a limitação de sistema de pack.

As células cilíndricas

A pilha cilíndrica continua a ser o pack mais utilizado. É de fácil manufatura, oferece uma elevada densidade de energia e ainda fornece uma boa estabilidade mecânica. O cilindro tem a habilidade de suportar pressões internas elevadas. As aplicações típicas são as comunicações sem fio, computadores móveis, instrumentos biomédicos e aplicações que não exigem um tamanho pequeno.



Design courtesy of Panasonic

Figura II - Esquemático da bateria cilíndrica.

A maioria dos sistemas de níquel-cádmio vêm em pilhas cilíndricas. Outras baterias químicas também empregam o projeto cilíndrico. Os 18650 estão entre as pilhas mais populares de lítio-íon (18" denota o diâmetro e 650" o comprimento em milímetros).

As pilhas cilíndricas são equipadas com um mecanismo de ventilação para liberar a pressão sob condições extremas tais como sobrecarga excessiva. As pilhas baseadas em níquel podem sustentar uma pressão de aproximadamente 13,5 bar ou 200 libras por polegada quadrada (psi). A ventilação ocorre entre 10-13,5 bar ou 150-200 libras por polegada quadrada.

O inconveniente da pilha cilíndrica é sua pobre utilização do espaço. Por causa do tamanho fixo da pilha, um pack de bateria deve ser projetado em torno somente dos tamanhos de pilha disponíveis no mercado.

As células Button

A pilha button foi desenvolvida para reduzir o tamanho dos packs e para melhorar o empilhamento. Pilhas não-recarregáveis são encontradas nos relógios e em backups de memória.

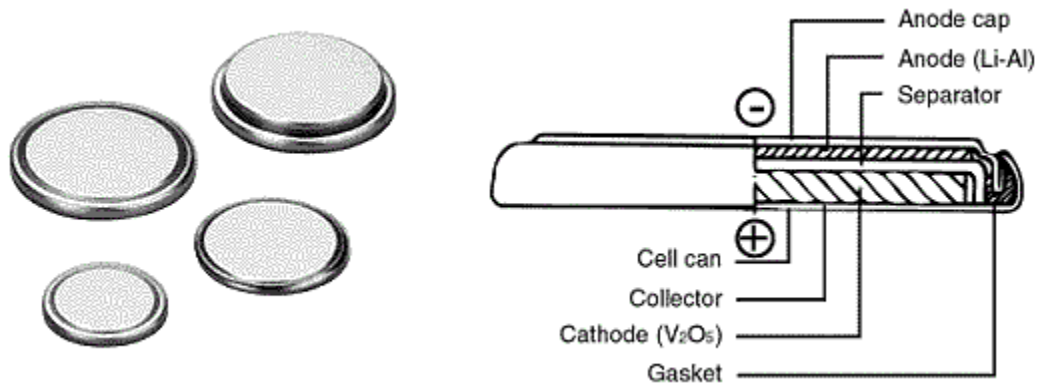


Figura III - Esquemático da bateria button.

As pilhas recarregáveis button na maior parte são de níquel e encontradas em alguns telefones sem fio mais antigos, em dispositivos biomédicos e em instrumentos

industriais. Embora barato para se manufaturar, o principal inconveniente é o tempo de carga de aproximadamente 10 a 16 horas. Novos projetos reivindicam capacidade de recarga mais rápida. As pilhas button não possuem nenhum respiradouro de segurança.

As células prismatic

A pilha prismatic foi desenvolvida em 1990 em resposta à demanda do consumidor para uma geometria mais fina. As pilhas prismatic são geralmente reservadas às famílias de bateria de lítio. A versão de polímero é exclusivamente prismatic.

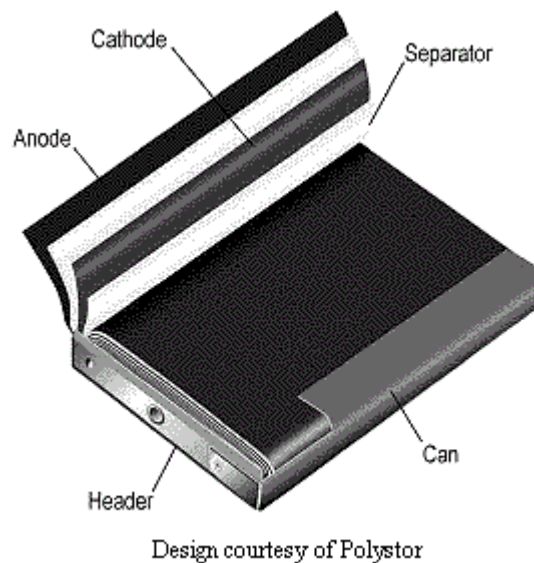


Figura IV - Esquemático da bateria prismatic.

A pilha prismatic vem em vários tamanhos com capacidade de 400mAh a 2000mAh. Não existe nenhum tamanho de pilha padrão, entretanto, as pilhas prismatic são feitas customizadas para telefones celulares.

As desvantagens da pilha prismatic estão nas densidades ligeiramente mais baixas de energia e custos mais elevados de manufatura do que a pilha cilíndrica. Além disso, a pilha prismatic não fornece a mesma estabilidade mecânica apreciada pela pilha cilíndrica. E ainda as pilhas prismatic não têm nenhum sistema de ventilação.

As células pouch

A introdução da pilha pouch em 1995 trouxe um avanço profundo nos projetos de pilha. O conceito da pilha pouch nos permite dimensionar ao tamanho exato da pilha. Faz um uso mais eficiente do espaço disponível e consegue uma eficiência de 90 a 95 por cento, a mais elevada porcentagem entre os packs de bateria. Por causa da sua ausência de encapsulamento de metal, o pack de pouch é mais leve. A aplicação principal está em aparelhos celulares. Nenhuma pilha pouch padrão existe, cada fabricante possui uma configuração especial para cada aplicação.

A pilha pouch é usada exclusivamente em lítio. O custo de manufatura é ainda mais elevado do que o sistema convencional e sua confiabilidade não foi inteiramente provado. Além disso, a densidade de energia e a corrente de carga são ligeiramente mais baixas.



Photo courtesy of Cadex Electronics

Figura V - Esquemático da bateria pouch.

Uma desvantagem crítica com a pilha pouch é o inchamento que ocorre quando gases são gerados durante o carregamento ou o descarregamento. Alguns fabricantes de bateria insistem que as pilhas não geram gás se carregadas corretamente.

A pilha pouch é altamente sensível à torção. A pressão também deve ser evitada. A carcaça protetora deve ser projetada para proteger a pilha do stress mecânico.

Carregando Baterias

Um carregador de bateria é um aparelho eletrônico que transforma a corrente alternada CA da rede ou de um gerador em corrente contínua CC de tensão e amperagem adequadas para carregar baterias.

A intensidade nominal da corrente de carga deve ser compatível com a [capacidade](#) da bateria (ou do banco de baterias) que se deseja carregar. Uma corrente baixa demais não conseguirá carregar em tempo razoável; uma corrente alta demais será "rejeitada" pela bateria.

Dependendo do tipo de bateria a ser utilizada, vários fatores influenciarão na maneira de como a bateria será carregada.

Carregando Baterias de Níquel

A confiabilidade e a longevidade de uma bateria articulam-se, a uma grande extensão, na qualidade do carregador. Os carregadores de bateria são freqüentemente analisados a uma baixa prioridade, especialmente para produtos de consumidores comerciais.

Uma bateria deveria estar sempre fria durante o carregamento porque as altas temperaturas encurtam a vida da bateria. Algum aumento de temperatura com baterias de níquel não pode ser evitado. O tempo durante que a temperatura da bateria está elevado deve ser encurtado o máximo possível. O aumento da temperatura ocorre na segunda metade do ciclo de carga. A bateria deve ser refrigerada à temperatura ambiente quando estiver no estado de “trickle-charge”. Se a temperatura permanecer acima da temperatura ambiente após algumas horas em “ready mode”, provavelmente o carregador está sendo executado incorretamente. Neste caso, por segurança é indicada a remoção da bateria quando pronto. O cuidado aplica-se especialmente à bateria nickel-metal-hydride porque esta não possui uma boa absorção de sobrecarga.

Todas as pilhas de Ni-CD têm uma resistência interna, o que significa que mesmo que um pack esteja totalmente cheio, lentamente irá perdendo a carga mesmo ela não

sendo usada. A taxa de descarga da pilha quando não usada é baixa, mas já é o suficiente para uma preocupação em longo prazo.

O chamado Trickle Charge é simplesmente um modo de carregamento em uma taxa igual à taxa de descarregamento enquanto o pack não está sendo usado. Isto manterá o pack de bateria em uma condição inteiramente carregada. Existem várias unidades no mercado atualmente que se utilizam do Trickle Charge e todos funcionam muito bem. Algumas das unidades mais caras descarregarão o pack de baterias e então comutá-lo-ão automaticamente ao Trickle Charge quando em Full Charge.

Os carregadores de níquel podem ser agrupados em três categorias:

- *Slow Charger* – conhecido também por “*overnight charger*”. O carregador lento aplica uma carga fixa de aproximadamente $0.1C^*$ enquanto a bateria está conectada. O tempo de carga é de 14 a 16 horas. Os carregadores lentos são encontrados em telefones sem fio, em tocadores de CD portáteis e em outros bens de consumo.
- *Quick Charger* – também conhecido como “*rapid charger*”. Este carregador funciona como um de média escala em termos de tempo e preço de carregamento. O tempo de carga é de 3 a 6 horas. O carregador comuta a bateria ao modo de *Trickle-Charge* quando pronto. Estes carregadores são usados frequentemente em telefones celulares, *laptops* e *camcorders*.
- *Fast Charger* - projetado para a bateria de níquel. Este carregador carrega um *pack* em aproximadamente uma hora. É preferido por causa da reduzida formação cristalina (efeito memória). Uma exata detecção de carregamento completo é importante. Quando completos, o carregador comuta para o modo *topping* e depois então para o modo *trickle charge*. São usados para dispositivos industriais tais como rádios *two-way* e dispositivos médicos.

Durante a corrente de carga constante, a bateria se carrega a 70 por cento em aproximadamente cinco horas, os 30 por cento restantes são completados pelo topping charge. O topping charge dura mais cinco horas e é essencial para o bem estar da bateria.

Podemos fazer uma comparação análoga do topping charge como sendo um descanso depois de uma grande refeição antes de recomeçar o trabalho. Caso a bateria não estiver completamente saturada, o SLA perderá eventualmente sua habilidade de aceitar uma carga cheia e o desempenho da bateria ficará reduzido.

A corrente de carga e de descarga de uma bateria é medida utilizando-se a unidade C. A maioria das baterias portáteis são medidas em 1C. Isto significa que uma bateria de 1000mAh forneceria 1000mA em uma hora e descarregado na taxa de 1C. A mesma bateria descarregada em 0.5C forneceria 500mA por duas horas. Em 2C, a bateria de 1000mAh entregaria 2000mA por 30 minutos. Geralmente, 1C é uma referência a uma descarga de uma hora; um 0.5C seria uma referência de duas horas, e um 0.1C uma descarga de 10 horas. A capacidade de uma bateria é medida geralmente com um analisador de bateria. Se a leitura da capacidade do analisador for indicada na porcentagem da avaliação nominal, 100% será a porcentagem mostrada se uma bateria de 1000mAh puder fornecer esta corrente por uma hora. Se a bateria durar somente 30 minutos antes da interrupção, 50% é indicado. Uma bateria nova fornece às vezes uma capacidade de mais de 100%.

Ao se descarregar uma bateria com um analisador de bateria que permita o ajuste da unidade C diferente da descarga, uma leitura de uma capacidade mais elevada é observada se a bateria for descarregada em uma faixa de C mais baixa e versa vice. Descarregando a bateria de 1000mAh em 2C, ou 2000mA, o analisador é instruído para fornecer a capacidade cheia em 30 minutos. Teoricamente, a leitura da capacidade deveria ser a mesma da de uma descarga mais lenta, desde que uma quantidade idêntica de energia fosse utilizada, somente por um breve período. Devido às perdas de energia internas e à queda de tensão, a leitura da capacidade pode ser abaixada a 95%. Descarregando a mesma bateria em 0.5C, ou 500mA em duas horas pode-se aumentar a capacidade em aproximadamente 105%. A discrepância nas leituras da capacidade com unidades C diferentes é relacionada à resistência interna da bateria.

Uma bateria que não tem um bom desempenho em uma taxa de descarga de 1C é a bateria portátil e selada de lead-acid. Para se obter uma razoável boa leitura da

capacidade, os fabricantes avaliam geralmente estas baterias em 0.05C ou em uma descarga de 20 horas. Mesmo nesta lenta taxa de descarga, uma capacidade de 100% é dificilmente alcançada. Para se compensar as diferentes leituras em várias correntes de descarga, os fabricantes oferecem um offset de capacidade. Aplicar o offset para corrigir a leitura da capacidade não melhora o desempenho da bateria, isto ajusta meramente o cálculo da capacidade se descarregado em uma faixa de C mais elevada ou mais baixa do que o especificado.

Baterias novas de níquel devem ser carregadas em modo trickle charge por 24 horas antes do uso. O modo de trickle charge traz todas as pilhas ao um nível igual de carga porque cada pilha se auto-descarrega (self-discharge) em uma taxa diferente.

O self-discharge é um fenômeno natural de um sistema químico. Similarmente a uma mola sob tensão, uma bateria quer retornar a um estado de descanso ou voltar a um estado de menor energia. O self-discharge não é uma falha de fabricação por si só, embora pobres práticas de fabricação e um uso impróprio podem acelerar este fenômeno.

O self-discharge de uma pilha normal é induzido pela geração espontânea do oxigênio no eletrodo positivo, uma atividade que se intensifica em temperaturas mais altas. A quantidade de self-discharge difere de cada sistema e projeto de pilha, e alguns fabricantes são mais eficientes do que outros em mantê-lo mais baixo. O self-discharge é não linear e está mais presente após o carregamento quando a bateria está com a capacidade cheia (full charge). As baterias de alto desempenho com uma área de superfície realçada do eletrodo e um eletrólito supercondutor estão sujeitas a um self-discharge mais elevado do que baterias de baixo desempenho.

A maioria das pilhas recarregáveis é equipada com um respiradouro de segurança para liberar a pressão adicional se sobrecarregadas. O respiradouro de segurança em uma pilha de níquel abre entre 10 a 13 bar (150 a 200 psi). Com um respiradouro, nenhum dano ocorre após exalar. Um pó branco que acumula na abertura do respiradouro indica atividades de ventilação.

Carregando Baterias de Níquel Cadmium

A eficiência total da carga de Ni-Cd é aproximadamente 90% se utilizado o modo Fast Charger a 1C. No modo Slow Charger a uma carga de 0,1C, a eficiência cai a 70% e o tempo de carga é de 14 horas ou mais.

Nos 70% inicial de carga, a aceitação de carga de uma bateria Ni-Cd saudável realiza-se perto de 100%. A bateria permanece fria porque toda a energia é absorvida. Uma corrente diversas vezes maior que o fator C pode ser aplicada sem acúmulo de calor. Os carregadores ultra-fast usam este fenômeno ao carregar uma bateria ao nível de 70% em minutos. Após estes 70%, a bateria perde gradualmente a habilidade de aceitar carga. Há então o aumento da pressão e da temperatura. A figura VI ilustra a relação da tensão, da pressão e da temperatura da pilha de Ni-Cd enquanto está sendo carregada.

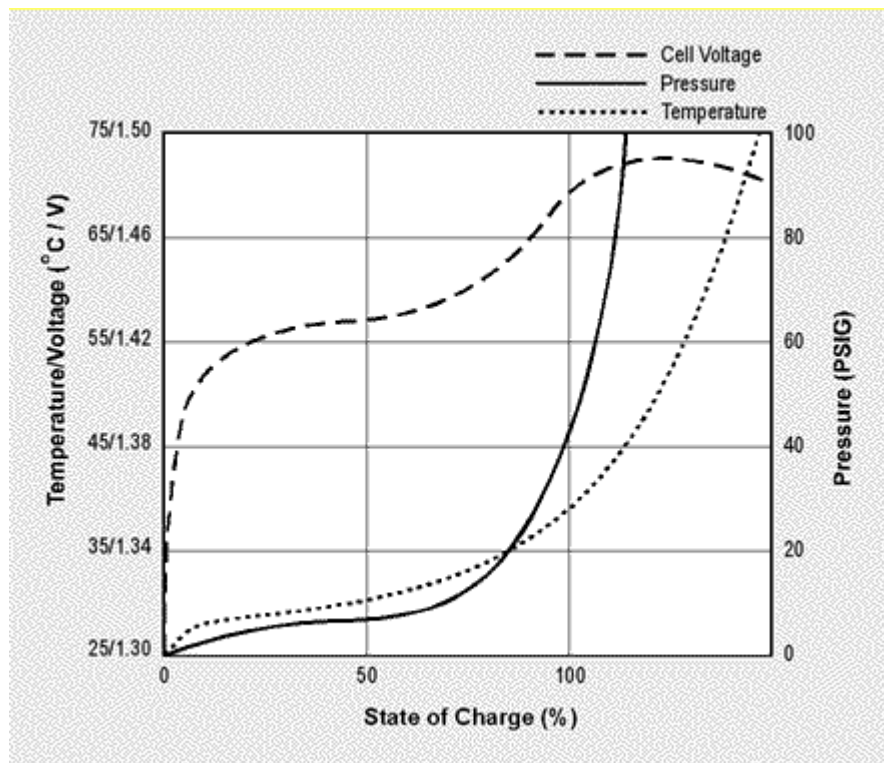


Figura VI - Características de carregamento de uma bateria de Ni-Cd.

As baterias Ni-Cd de capacidade super alta tendem a se aquecer mais do que a versão padrão em modo Fast-Charge. Isto é em parte, devido a um maior valor da resistência interna da pilha. Para controlar o aumento excessivo da temperatura e obter

tempos de carregamento pequeno, carregadores mais modernos aplicam uma elevada corrente no começo e então ele cai diminuindo a intensidade para que haja um equilíbrio com a aceitação de carga.

A detecção de “full charge” ou carga cheia é baseada em uma combinação da queda de tensão (delta V negativo), aumento da taxa de temperatura (dT/dt), temperatura absoluta e temporizadores de time-out. O carregador utiliza o que quer que venha a acontecer primeiro para considerar o término do Fast-Charge.

O Trickle-Charge recomendado está para a bateria de Ni-Cd está entre 0,05C e 0,1C. Por causa do efeito memória e da compatibilidade com o Ni-MH, o Trickle-charge é ajustado o mais baixo possível.

A curva de carga da bateria Ni-Cd pode ser vista na figura VII, onde é mostrada uma comparação com a de Ni-MH:

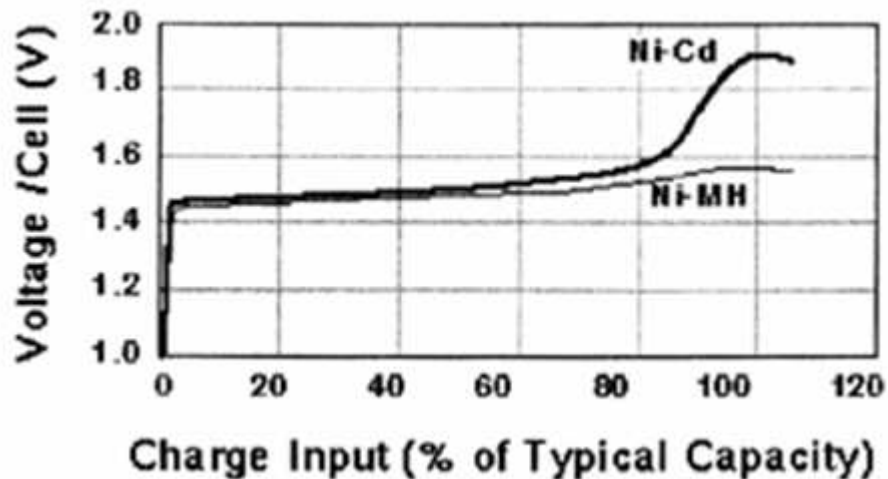


Figura VII - Comparação entre as curvas de carga de baterias de Ni-Cd e Ni-MH.

Como se pode observar na figura acima, existe uma grande diferença entre os valores de pico dos dois tipos de baterias. Isto faz com que a bateria de Ni-Cd seja “mais fácil de se carregar”, já que se pode detectar mais facilmente os níveis das correntes de carregamento, ao passo que para as baterias de Ni-Mh esta detecção se torna menos

trivial. Isto nos diz que é necessário haver um carregador inteligente para este tipo de bateria, podendo fazer uso de carregadores mais rústicos para baterias de Ni-Cd.

Carregando Baterias de *Lithium-ion*

Há somente um único procedimento para se carregar baterias de lítio. Os carregadores chamados “miracle chargers” que garantem restaurar e prolongar as baterias não existem no ramo das baterias de lítio. Os fabricantes de pilhas de lítio-íon têm manuais muito restritos nos procedimentos de carga e os packs devem ser carregados por uma técnica típica de carga de cada fabricante.

A maioria das pilhas é carregada a 4,20 volts com uma tolerância de +/- 0,05V/pilha. Carregá-la somente a 4,10V reduz a capacidade em 10% mas fornece uma vida útil mais longa. Pilhas mais novas são capazes de fornecerem uma boa contagem de ciclo a uma carga de 4,20 volts por pilha. A figura VIII mostra o gráfico da tensão e corrente enquanto a pilha de lítio-íon passa através dos estágios de carga.

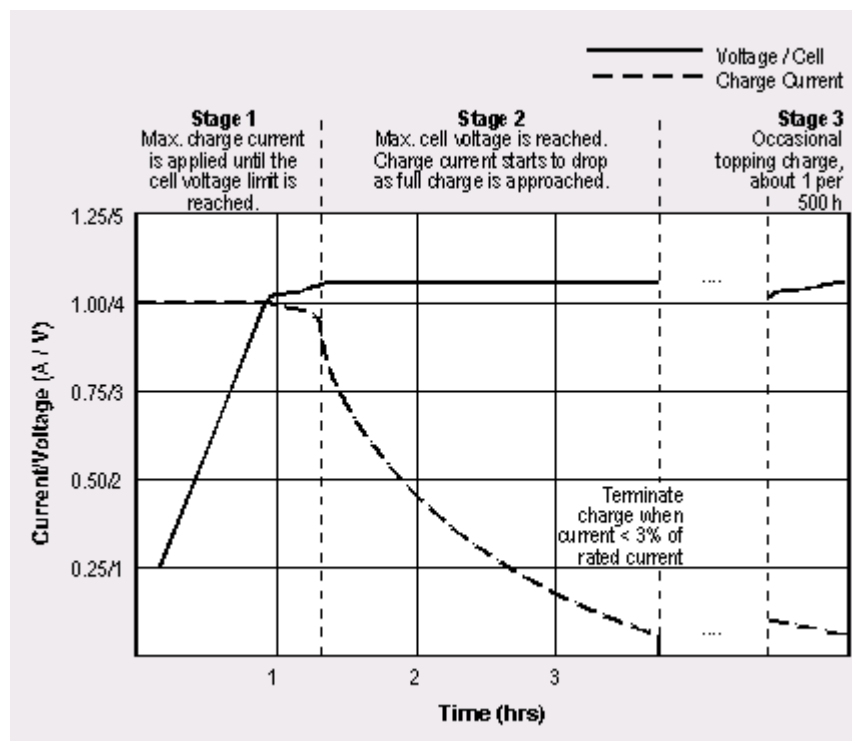


Figura VIII - Estágios de carga de uma bateria de Li-ion.

O tempo de carga da maioria dos carregadores é de aproximadamente 3 horas. As baterias menores usadas para telefones celulares podem ser carregadas em 1C. A maior pilha, 18650, usada para laptops deve ser carregada em mais ou menos 0,8C. A eficiência de carga é 99,9% e a bateria permanece fria durante a carga. A carga cheia é alcançada depois que o ponto inicial da tensão foi alcançado e a corrente baixou a 3% da medida.

Aumentar a corrente de carga não irá encurtar muito o tempo de carga. Embora o pico de tensão seja alcançado mais rapidamente com a corrente de carga mais elevada, o topping charge demorará mais.

Alguns carregadores afirmam obterem um fast-charge da bateria de lítio-íon em uma hora ou menos. Tais carregadores eliminam o estágio 2 e vão diretamente ao “ready mode” uma vez que a tensão é alcançada logo na extremidade do estágio 1. O nível de carga neste momento é de aproximadamente 70%. Tipicamente o topping charge demora duas vezes mais que a carga inicial.

Nenhum trickle charge é aplicado porque o lítio-íon é incapaz de absorver sobrecarga. Uma carga contínua de trickle acima de 4,05V/pilha pode nos trazer à anormalidades no lítio metálico, o que poderia conduzir à instabilidades e comprometer a segurança. Ao invés disso, um breve topping charge é fornecido para compensar seu pequeno auto-descarregamento e seu consumo do circuito de proteção. Dependendo da bateria, um charge topping deverá ser repetido uma vez a cada 20 dias.

É de esperar muita atenção para se evitar a sobrecarga e a sobredescarga. Os packs comerciais de Li-ion contêm circuitos de proteção que limitam a tensão de carga em 4,30V/pilha. Um detector de temperatura desconecta a carga se a temperatura da pilha se aproximar de 90°C (194°F), e um interruptor de pressão mecânico em muitas pilhas interrompe permanentemente o trajeto da corrente se um ponto seguro de pressão for excedido.

Uma extrema baixa tensão também ser evitada. O circuito de segurança está projetado para cortar a corrente se a bateria for descarregada inadvertidamente abaixo de 2,50V/pilha. Nesta tensão, a maioria dos circuitos considera a bateria como não mais

utilizável e uma recarga em um carregador comum não é possível. Há diversas proteções para impedir a descarga excessiva. O equipamento protege a bateria desligando-a quando a pilha atinge 2,7 a 3,0V/pilha. Os fabricantes de bateria entregam as baterias com uma carga de 40% para permitir algum auto-descarregamento durante o armazenamento. Baterias mais modernas contêm uma característica chamada de “wake-up” na qual o circuito de proteção deixa fluir corrente somente depois que a bateria for ativada com uma breve carga. Isto permite um armazenamento mais prolongado.

Peritos em baterias concordam que carregar baterias de lítio-íon é mais simples e mais direto do que os baseados em níquel. Além das estreitas tolerâncias da tensão, o circuito de carga pode ser projetado com poucas variáveis a serem consideradas. A detecção de full charge aplicando limites da tensão e observando as saturações da corrente é mais simples do que analisar muitas variáveis complexas, que a de nickel-metal-hydride produz. As correntes de carga são menos críticas e podem variar. Uma corrente baixa permite ainda a detecção de full charge apropriada. A bateria simplesmente demora mais para carregar. A ausência do topping charge e do trickle charge ajuda também na simplificação do carregador. Melhor de tudo, não há nenhum efeito memória.

O processo de carga de um lítio-íon-polímero é similar ao de lítio-íon. Estas baterias usam um eletrólito em gel para melhorar a condutividade. Na maioria dos casos, o lítio-íon e o lítio-íon-polímero compartilham do mesmo carregador.

Carregando Baterias *Lead-Acid*

O algoritmo de carga para as baterias lead-acid é similar ao de lítio-íon. O tempo de carga de uma bateria lead-acid selada é de 12 a 16 horas (até 36 horas para baterias de maiores capacidades). Com o uso de correntes de carga mais elevadas e métodos de carga de multi-estágios, o tempo de carga pode ser reduzido para 10 horas ou menos. As baterias lead-acid não podem ser inteiramente carregadas tão rapidamente quanto os sistemas de níquel ou de lítio.

Pode-se ter um tempo cinco vezes maior aproximadamente para se recarregar uma bateria lead-acid a um mesmo nível do que descarregar. Em baterias de níquel, esta proporção é de 1:1, e aproximadamente 1:2 nas de lítio-íon.

Um carregador de multi-estágios primeiramente aplica uma carga de corrente constante, aumentando a tensão da pilha para um nível tal de tensão (estágio 1 na figura 3.19). O estágio 1 dura aproximadamente 5 horas e a bateria é carregada a 70%. Durante o topping charge no estágio 2 que se segue, a corrente de carga é reduzida gradualmente enquanto a pilha está sendo saturada. O topping charge dura mais outras 5 horas e é essencialmente para o bem estar da bateria. Se omitido, a bateria eventualmente perderia sua habilidade de aceitar uma carga cheia. O estágio 3 é o responsável para se compensar o self-discharge.

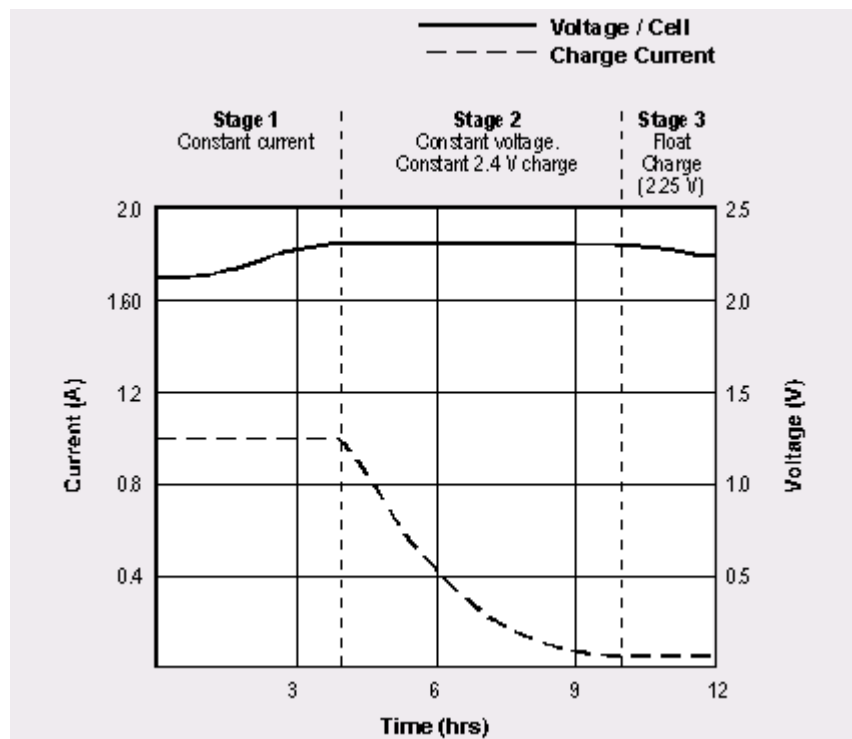


Figura IX - Características de carregamento de uma bateria Lead-acid.

Os corretos ajustes dos limites da tensão são críticos e as faixas variam de 2,30V a 2,45V. Ajustar o limite da tensão é um compromisso. De um lado, a bateria quer ser carregada inteiramente para obter sua capacidade máxima. Num outro lado, em uma

condição de contínua sobre-saturação, entretanto, causaria a corrosão da grade na placa positiva. O que também provoca o vazamento de gases, que resulta na perda do eletrólito.

Os limites de tensão se deslocam de acordo com a temperatura. Temperaturas mais elevadas requerem tensões ligeiramente mais baixas e vice-versa. Os carregadores que são expostos à grandes flutuações de temperatura devem ser equipados com sensores de temperatura para ajustar a tensão de carga para um carregamento ótimo. A tabela III compara as vantagens e as limitações de vários ajustes de pico de tensão.

Tabela III - Efeitos da tensão de carga em pequenas baterias Lead-Acid.

Limites de Tensão	2,30V a 2,35V/pilha	2,40V a 2,45V/pilha
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Máxima vida útil; • A bateria permanece fria durante a carga; • A temperatura ambiente de carga pode ultrapassar os 30° C (86° F). 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de carga mais rápido; • Leituras de capacidade consistentes.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de carga devagar; • Leituras de capacidade podem ser inconsistentes e decair a cada ciclo; • É necessária a aplicação de um <i>topping charge</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não é usual o carregamento em áreas com elevadas temperaturas ambientes; • Uma bateria quente pode falhar em alcançar o limite de tensão, causando uma severa sobrecarga; • Sujeita à corrosão.

A bateria não pode remanescer na tensão de pico por um tempo demasiadamente longo, o tempo máximo permitido é de 48 horas. Ao alcançar a carga cheia, a tensão deve ser abaixada para manter a bateria entre 2,25 e 2,27V/pilha.

Baterias de carro e baterias VRLA (valve-regulated-lead-acid) são tipicamente carregadas entre 2,26 e 2,36V/pilha. Em 2,37V, a maioria das baterias lead-acid começam a vaziar gases, causando a perda do eletrólito e de possíveis aumentos da temperatura. As exceções são as pequenas baterias ácidas seladas (SLA), as quais podem ser carregadas em 2,50V/pilha sem efeitos colaterais adversos.

O envelhecimento afeta cada pilha diferentemente. Já que as pilhas são conectadas em série, controlar individualmente as tensões da pilha durante a carga é virtualmente impossível. Mesmo se a tensão total correta é aplicada, uma pilha mais fraca gerará seu próprio nível de tensão e intensificará ainda mais esta circunstância.

Escolha da Bateria

Entre as baterias recarregáveis, a de NiCd permanece como a escolha mais popular para equipamentos de emergência médicas e rádios. Atualmente, há um deslocamento para baterias com densidades de energia mais elevadas e a utilização de materiais metálicos menos tóxicos. Porém esta química alternativa não poderá sempre combinar a durabilidade superior e o baixo custo das de NiCd.

Algumas limitações analisadas sobre as baterias de NiCd serão mostradas abaixo:

- Relativa baixa densidade de energia;
- Efeito memória;
- Ambientalmente hostil, já que contem metais tóxicos. Alguns países têm restrição sobre seu uso;
- Relativo alto *self-discharge*.

A escolha de qual bateria a ser utilizada neste projeto foi baseada nas seguintes vantagens:

- Carregamento simples e rápido, mesmo após um armazenamento prolongado;
- Alto número de ciclos de carregamento/descarregamento – caso houver uma correta manutenção, a bateria de NiCd fornece mais de 1000 ciclos de carga/descarga;
- Bom desempenho de carga – NiCd possibilita recarregamento a baixas temperaturas;

- Longa vida útil – é possível um armazenamento de 5 anos;
- Simples armazenamento e transporte – a maioria das companhias aéreas aceitam o NiCd sem qualquer condição especial;
- Bom desempenho a baixas temperaturas;
- O preço é fixado economicamente – a bateria de NiCd possui o custo mais baixo em termos de custo por ciclo;
- Fácil disponibilidade em uma grande variedade de tamanhos e opções de performance, sendo que a maioria das baterias de NiCd são cilíndricas.

Um ponto forte na escolha da bateria de NiCd com certeza a ser destacado é em relação ao seu preço de mercado, já que foi o único tipo de bateria economicamente viável ao projeto em questão.