



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMATICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso

Projeto e desenvolvimento de um sistema automático para estimar o tempo de vida do carregador de bateria SPIT 328

Glauber Roncally Pessoa de Almeida
MAT: 20211213

Orientadores

SPIT: Sr. Jean-Pierre Coste
INPG: Prof. Dr. Guy Dehay
UFCG: Prof. Dr. Raimundo S. Freire

Campina Grande, Setembro de 2008



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Índice

Introdução.....	2
Contexto do Projeto.....	4
Especificação.....	8
Projeto.....	11
Montagem.....	16
Teste e validação do sistema.....	20
Resultados do teste do carregador.....	26
Considerações Finais.....	27
Bibliografia.....	28

Introdução

O processo de projeto e desenvolvimento de um novo produto é constituído de várias etapas cada qual com sua importância e particularidade. Desde a fase de identificação das necessidades do cliente, passando pela especificação funcional e técnica do produto, até sua realização física e comercialização, de fato, existe um caminho muito longo. Devido às questões de responsabilidade técnica, principalmente, antes de um novo produto ser lançado no mercado, existe uma etapa de testes que pode ter uma duração até mesmo maior que o tempo destinado ao desenvolvimento do produto. As fases de testes mais importantes são, geralmente, as subseqüentes à criação dos protótipos que antecedem a fase de produção pré-série, embora ainda exista a realização de testes periódicos no produto final para controle de qualidade. A validação do produto verifica se as especificações do mesmo atendem as exigências do projeto e do cliente final.

O teste de fadiga conhecido como *life time test* é bastante comum na indústria de produtos eletrônicos para controle de qualidade. Mediante condições particulares de funcionamento, sejam mecânicas ou elétricas, consegue-se acelerar o envelhecimento dos componentes mecânicos ou eletrônicos do produto em teste podendo-se, neste caso, estimar o tempo de vida do produto em condições normais de uso.

No presente Trabalho de Conclusão de Curso, discutimos o projeto e desenvolvimento de um sistema para verificar o tempo de vida aproximado de um carregador de baterias do tipo lítio-íon e níquel, como proposta de solução alternativa aos equipamentos de custo elevado já existentes no mercado e inviáveis no momento para a empresa interessada.

Durante cinco meses de trabalho, realizamos pesquisa de mercado, escolha da tecnologia utilizada, projeto, desenvolvimento e validação do sistema proposto.

Contexto do Projeto

O sistema em desenvolvimento tem por objetivo principal medir o tempo de vida aproximado do carregador SPIT 328 (versões NiCd e Li-ion), embora seja também compatível com os outros carregadores para diferentes linhas de ferramentas SPIT. Assim, torna-se necessário conhecer como funciona o carregador a ser testado.

O carregador SPIT 328 apresenta como característica principal a carga rápida de baterias NiCd (25 a 30 minutos) e NiMH (50 minutos), conforme a resistência de codificação existente na bateria.

A arquitetura eletrônica deste carregador é baseada em um conversor CC/CC do tipo *flyback*. A carga é controlada por um único componente, o microcontrolador PIC16C505. Ele permite carregar uma bateria em modo “carga rápida” com corrente constante (em torno de 5A) com interrupções para verificar a tensão real da bateria, e depois passa para o modo “corrente de manutenção”, aplicando pulsos de corrente para compensar o efeito de autodescarga da bateria.

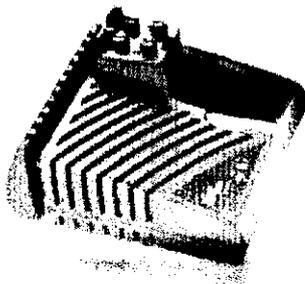
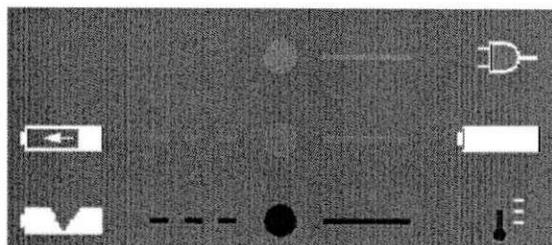


Figura 1: Carregador NiCd/MH SPIT 328

O método de detecção de fim de carga é baseado no pico de tensão da bateria, mas como medida de segurança, o carregador monitora a temperatura da bateria e limita o tempo total de carga. Para cada tipo de bateria (NiCd, NiMH ou Li-ion) existe um perfil de carga adaptado. Além disso, através de um LED bicolor, o estado atual do carregador é indicado, como por exemplo, fim de carga, bateria defeituosa ou sobretensão, como ilustrado na figura 2.



- LED amarelo constante: modo espera (*stand by*)
- LED verde piscando: em carga
- LED verde constante: bateria carregada e em modo de manutenção.
- LED vermelho constante: bateria defeituosa
- LED vermelho piscando: bateria muito quente ou muito fria.

Figura 2: Codificação do LED para identificação do estado do carregador

As principais características elétricas são resumidas na tabela seguinte:

Tabela 1: Especificação do carregador SPIT 328

Tensão de entrada	220 – 240 Vac 50/50Hz
Potência máxima de entrada	160 W
Tensão máxima de saída	38 V
Corrente máxima de saída	4,3 A
Tipos de baterias	18- 24 V NiCd (1700 e 2000 mAh)
	18 – 24 V NiMH (3000 mAh)
Sensor de temperatura	NTC 6,8kΩ@25°C

Na figura 3 é representada uma carga rápida típica de uma bateria do tipo NiCd. No decorrer da carga, a tensão aumenta continuamente até o momento em que a bateria está completamente carregada e a tensão atinge o máximo. No momento do início da sobre carga, a temperatura da bateria aumenta rapidamente e a tensão decresce. Este efeito de redução da tensão é detectado pelo carregador que passa ao modo de corrente de manutenção para compensar o efeito de autodescarga.

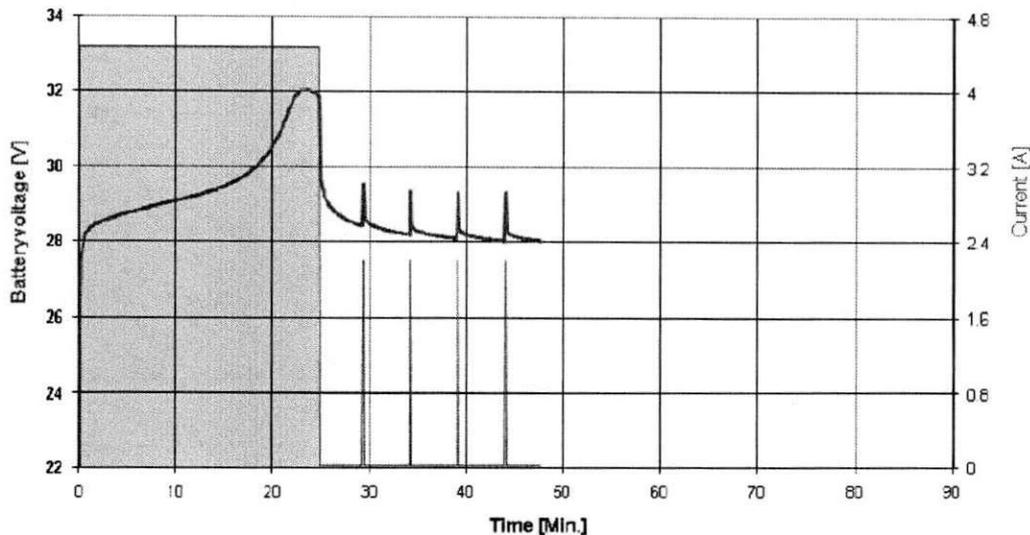


Figura 3: Carga típica de uma bateria Spit Light (NiCd)

As condições de início da carga são as seguintes:

- Temperatura da bateria: $+0^{\circ}\text{C}$ à $+50^{\circ}\text{C}$.
- Tensão da bateria:
 - $3 < V_b < 13 \text{ V}$ (carga com corrente de manutenção)
 - $V_b > 13 \text{ V}$ (carga com corrente constante de $4.3\text{A} \pm 5\%$)

As condições de detecção de fim de carga são:

- Delta V: -0.2 V
- Temperatura máxima da bateria: $+55^{\circ}\text{C}$

E as condições de fim de carga por razões de segurança:

- Tensão máxima permitida: 34 V
- Temporização da carga: 3 horas.

O processo de carregamento típico de uma bateria NiMH é mostrado na figura 4. Neste caso, a bateria aquece mais quando comparada à bateria NiCd. Para evitar a deterioração das células, o carregador reduz o valor da corrente de carga quando a temperatura da bateria atinge aproximadamente 40°C .

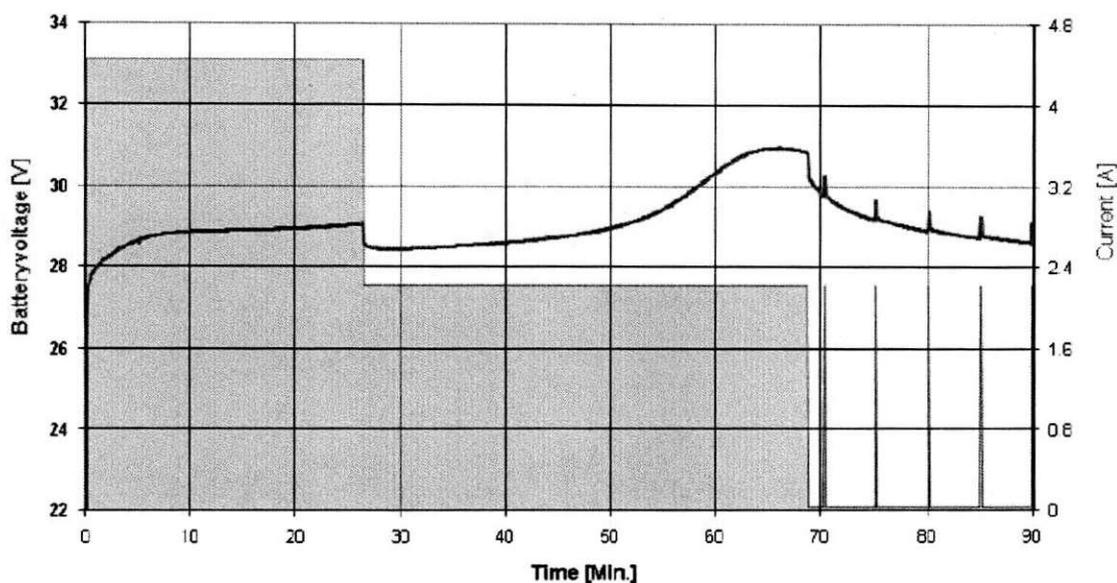


Figura 4: Carga típica de uma bateria Spit Power+

As condições de início da carga são:

- Temperatura da bateria: +0°C à +50°C.
- Tensão da bateria:
 - $3\text{ V} < V_b < 13\text{ V}$ (carga com corrente de manutenção)
 - $V_b > 13\text{ V}$ (carga com corrente constante de $4,3\text{ A} \pm 5\%$ @ +0°C à +40°C e $2,2\text{ A} \pm 5\%$ @ +40°C à +55°C).

As condições de detecção de fim de carga são as mesmas usadas para NiCd e as condições de segurança são:

- Tensão maximal permitida: 34 V
- Temporização da carga: 4 horas.

Especificação

Várias soluções foram estudadas, com diferentes arquiteturas e níveis de complexidade. Naturalmente, o desenvolvimento deste tipo de sistema é tão complexo quanto o nível de funcionalidades desejado. No início da pesquisa, encontrei bastante dificuldade no momento da descrição das necessidades para elaboração do *cahier des charges*, pois em princípio não havia um consenso na equipe para determinação das funcionalidades desejadas.

Apos discussões com o responsável técnico do laboratório, nos concluímos que o interesse principal seria a busca de uma solução para realização de um teste de fadiga (*endurance*), seja através de ciclos consecutivos ou de forma contínua, mas que ao final do teste fornecesse o tempo decorrido, pois esta seria a informação mais importante. Estas considerações limitaram as funcionalidades do sistema, simplificando o projeto.

Basicamente, o sistema a ser desenvolvido deve suportar as condições de funcionamento do carregador SPIT 328. Contudo, antes de determinar as especificações mais detalhadas do sistema de teste, avaliaram-se as possibilidades de solução para o mesmo.

Solução 1: Sistema de Simulação de Bateria

Um sistema de teste automático ou um simulador de bateria pode ser usado para realização dos testes desejados. Esta solução, entretanto, não é muito comum na faixa de tensão e corrente dos carregadores a serem avaliados. Por se tratar, normalmente, de um sistema que comporta várias funcionalidades e inúmeras opções é bastante caro. Além do mais, para garantir a compatibilidade com o carregador 328, é necessário acrescentar ao sistema um emulador do termistor utilizado para medir a temperatura da bateria e a resistência de identificação do tipo de bateria.

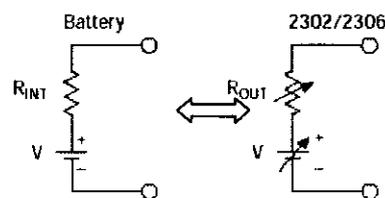
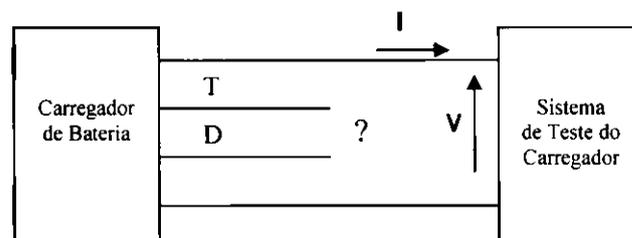
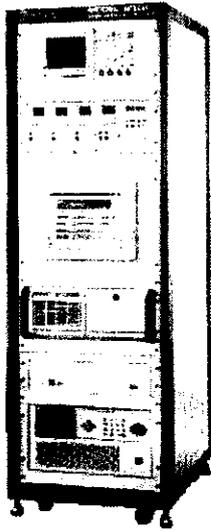
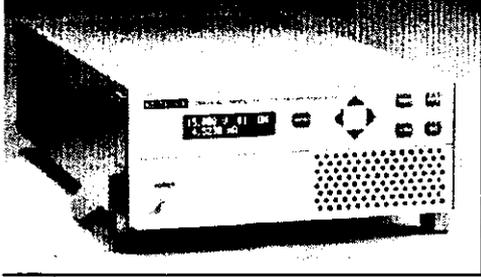


Figura 5: Simulador de bateria



A seguir, apresentamos alguns exemplos de equipamento deste tipo existente no mercado.

<p>Battery Charger Auto Test System 8500B Chroma</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Testa até três carregadores simultaneamente; • Detecção da luz do LED de indicação; • Programa de teste editado pelo usuário; • Relatório de testes estatístico; • Regulação de tensão e corrente; • Teste de potência de entrada e eficiência; • Teste de curto circuito;
<p>Battery simulator 2302 Keithley</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Resposta ultra rápida para transitórios de corrente de carga; • Otimizado para o desenvolvimento e teste de aparelhos alimentados por bateria; • Absorve até 3 A de corrente • Tensão de Saída: 0 – 15V

Solução 2: Carga eletrônica DC programável

Uma carga eletrônica programável do tipo DC pode ser configurada para emular o comportamento de uma bateria durante o processo de carga da mesma. Esta é uma solução geral e razoavelmente de baixo custo que pode ser adaptada para testar fontes de tensão, baterias e carregadores.

Para as tecnologias NiCd/MH, a carga eletrônica deve funcionar no modo de tensão constante (CV) durante todo o processo de carga onde se define o comportamento $V(t)$ de acordo com o modelo da bateria conforme figura 6. Para baterias do tipo lítio-íon, além deste modo de operação, num segundo momento do processo de carga, é necessário mudar para o modo de corrente constante (CC) onde se define o comportamento $I(t)$ de acordo com o modelo da bateria como ilustrado na figura 7. Este princípio de emulação do comportamento da bateria é apresentado no esquema seguinte.

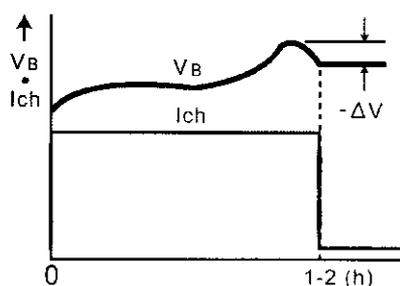
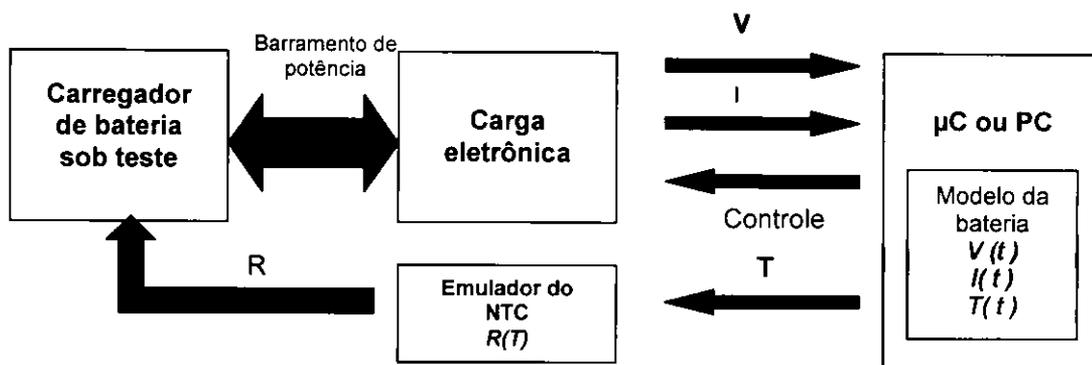


Figura 6: Bateria NiCd/MH (carregador no modo CC e carga eletrônica no modo CV)

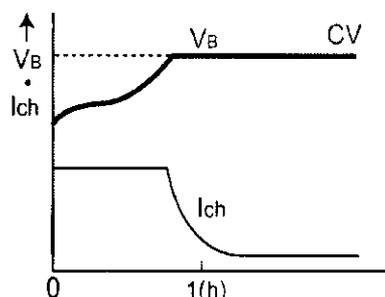


Figura 7: Bateria Li-íon (carregador no modo CC/CV e carga eletrônica no modo CV/CC)

Solução 3: Fonte de alimentação programável

Usando uma fonte de alimentação programável que trabalhe nos quatro quadrantes, pode-se carregar e descarregar uma bateria. Assim, para realizar os testes no carregador, esta fonte de alimentação deve funcionar como um sorvedouro de energia (operação no segundo ou quarto quadrante). Contudo, se for necessário avaliar um teste de descarga de bateria, esta fonte deveria funcionar como fonte de energia (operação no primeiro ou terceiro quadrante).

A forma de operação para emular o comportamento da bateria é a mesma que para uma carga eletrônica, adicionando-se a possibilidade de emular a característica de descarga de uma bateria permitindo a realização de teste de funções de descarga comuns em carregadores inteligentes.

As fontes de alimentação bipolares são normalmente caras quando comparadas às demais. Dessa forma, como o carregador alvo do projeto não dispõe de uma função de descarga de bateria, não é viável utilizar uma fonte de alimentação programável nesta aplicação em particular.

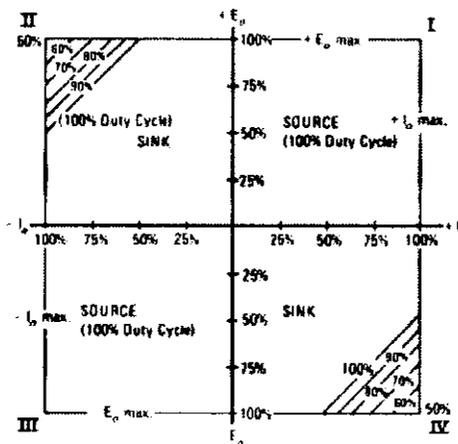


Figura 8: Característica de funcionamento da fonte de alimentação bipolar que trabalha em quatro quadrantes

Projeto

O princípio de escolha da tecnologia a ser usada foi baseado nos seguintes requisitos:

- I. Garantir a modularidade e integridade do sistema;
- II. Utilizar soluções mais padrões possíveis;
- III. Reduzir ao máximo a existência de placas eletrônicas específicas;

Após uma pesquisa junto aos fornecedores de aparelhos elétricos deste tipo, verificou-se que os sistemas padrões comportam funcionalidades completas e são muito caros. Como o objetivo da empresa, neste momento, é apenas uma validação interna e não uma certificação oficial, a aquisição de um aparelho de tal magnitude pode representar custos desnecessários. Neste caso, para evitar a aquisição de um aparelho que seja sobre dimensionado para a necessidade da empresa, tentou-se delimitar as características do sistema de teste, da seguinte maneira:

- O sistema deve fornecer a duração total do teste;
- A condição de parada do teste ocorre quando a corrente fornecida pelo carregador ultrapassar uma faixa de tolerância especificada;
- Teste com tensão constante, mas regulável é suficiente;

- Não é possível utilizar um sistema de aquisição de dados nem um computador dedicado ao sistema;

Assim, baseado nestas limitações, optamos por avaliar duas soluções possíveis:

a) Teste de tempo de vida utilizando um sistema à relé

Idéia: Relé temporizado regulável com função mono-estável simétrica para alternar a conexão entre duas baterias, carregador e carga passiva (resistência). O carregador está sempre em funcionamento com uma das baterias. A corrente de descarga não é constante em 10 A.

Estimação de custo: 350 € (R\$ 870,00)

Desvantagens:

- O tempo de vida das baterias é inferior ao do carregador a ser testado, sendo necessário o monitoramento periódico das mesmas para eventuais substituições, o que pode comprometer a validade do teste;
- Estima-se que para cada 400 ciclos do carregador (aproximadamente 500 horas de funcionamento) sejam necessárias um total de no mínimo 4 baterias;
- Não há um sistema de proteção para monitorar o comportamento do carregador em teste, que após determinado número de ciclos pode apresentar um comportamento inesperado.
- É necessário monitorar a temperatura das baterias que irão aquecer excessivamente;
- É necessário utilizar circuitos para proteção de sobrecarga e sobre descarga das baterias;

Vantagens:

- Simplicidade de concepção;
- Custo inicial.

b) Emulação da bateria usando uma carga eletrônica programável

Idéia: Utilizando uma carga eletrônica programável, pode-se simular a variação de tensão durante o processo de carga de uma bateria de forma a debitar energia do carregador em teste. Teste de fadiga a tensão constante durante certo tempo com a possibilidade de pausa para resfriamento do carregador. A caracterização do carregador também é possível utilizando testes de seqüência de tensão/corrente para verificar o perfil de carga.

Estimação de custo: 1000,00 a 2500,00 € (R\$ 2500,00 a 6250,00).

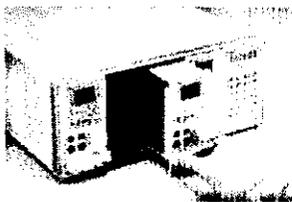
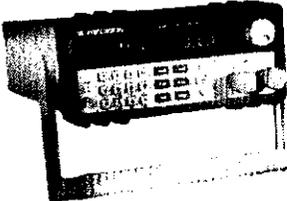
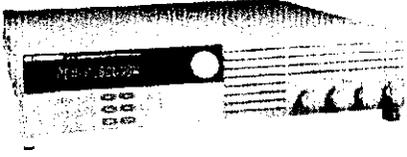
Desvantagens:

- Custo inicial;

Vantagens:

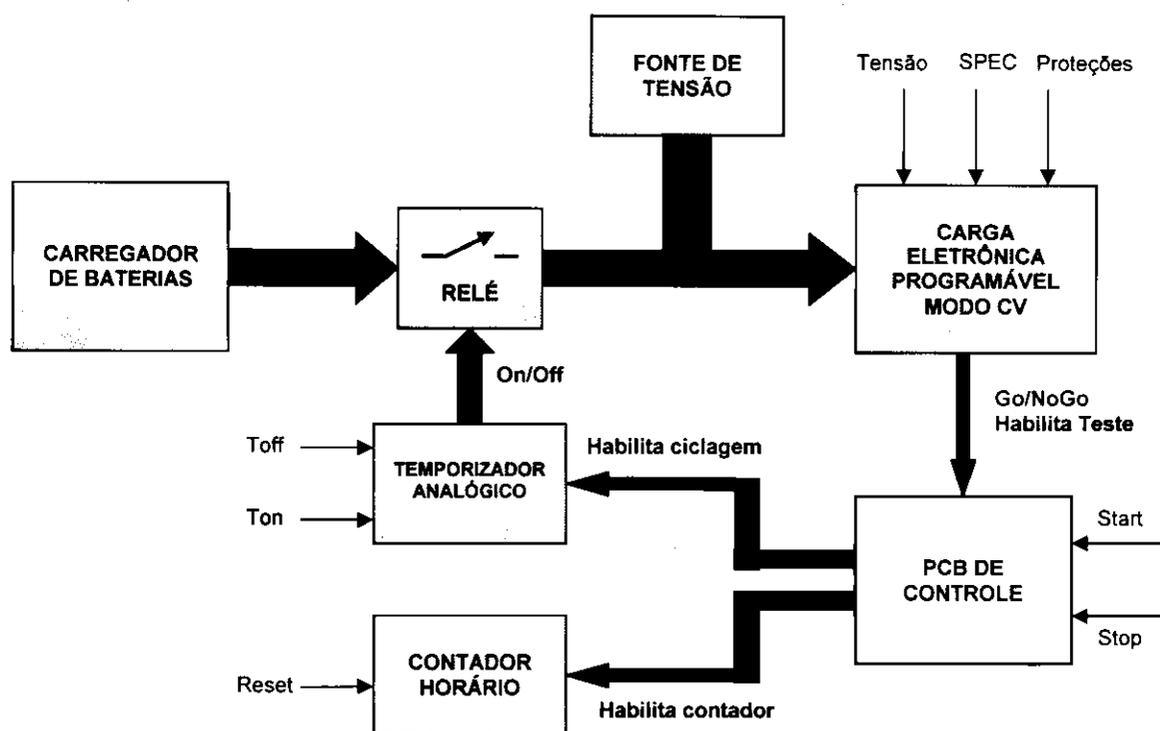
- Flexibilidade e segurança;
- Possibilidade adicional de testar baterias;
- Simplicidade de manutenção e *upgrade*;
- Solução padrão;

Realizou-se uma pesquisa no mercado profissional para verificar os tipos de cargas eletrônicas disponíveis e então poder avaliar a viabilidade de utilização desta segunda arquitetura proposta. O quadro seguinte resume as características das principais cargas eletrônicas estudadas:

Chroma 6310 2500 € (chassi + 1 modulo 300 W)		<ul style="list-style-type: none">• Modular: 100 – 1200 W.• Modos CC/CV/CR• Teste até 8 unidades simultaneamente• Soft panel fornecido (para uso com PC)• Função de teste de bateria• Interface GPIB• Possibilidade de teste GO/NOGO em loop
BK 8500 1000 €		<ul style="list-style-type: none">• 300 W (120 V – 30 A)• Modos CV/CC/CW/CR• Interfaces USB/RS232• Soft panel fornecido (para uso com PC)• Função de teste de bateria (descarga até 10A)• Não ha teste GO/NOGO em loop
BK8510 2000 €		<ul style="list-style-type: none">• 600 W (120 V- 120 A)• Modos CV/CC/CW/CR• Interfaces USB/RS232• Soft panel fornecido• Função de teste de bateria (descarga até 20A)• Não ha teste GO/NOGO em loop

Ao fim desta pesquisa, solicitamos um empréstimo da carga Chroma com o objetivo de verificar as funcionalidades informadas no respectivo *datasheet*, assim como avaliar a compatibilidade de funcionamento com o carregador alvo. Concluiu-se que, de fato, esta carga eletrônica é a mais adaptada às necessidades do projeto. Conseqüentemente a esta

escolha, partiu-se para a definição da arquitetura do sistema que é mostrada no esquema seguinte.



Com esta escolha, a confiabilidade e a segurança do sistema são otimizados, uma vez que o sistema comporta todas as proteções disponíveis na carga eletrônica contra sobre tensão, sobre corrente e sobreaquecimento do aparelho. A decisão de parada do teste é baseada na função *Go/NoGo* já disponível na carga eletrônica Chroma. Esta função consiste em verificar periodicamente se a corrente de entrada está na faixa especificada nas opções de configuração do aparelho, e informar o resultado do teste a partir de sinais de controle disponíveis em nível TTL. O sistema eletrônico verifica se o sinal enviado pela carga eletrônica é válido e aciona o relé e o contador horário. A fonte de tensão auxiliar é necessária sempre que o carregador em teste interrompe o fornecimento de corrente à bateria para medir a tensão de circuito aberto da mesma, exatamente como ocorre no funcionamento do carregador 328. Isto se faz necessário, pois se deve sempre assegurar (para todos os níveis de tensão de funcionamento) um nível de corrente mínimo a ser fornecido à carga eletrônica que seja suficiente para que a mesma regule a tensão nos seus terminais quando no modo tensão constante.

A seguir cada bloco apresentado anteriormente é comentado em por menores:

Carga Eletrônica Programável: Trata-se da carga eletrônica Chroma 6310 dispondo apenas de um módulo de 200 W. Nesta aplicação, utiliza-se apenas o modo de funcionamento tensão constante (CV mode), onde é possível escolher o valor de tensão regulável, a faixa de especificação da corrente para execução do teste Go/NoGo e os níveis de proteção como corrente máxima, tensão máxima, etc. Quando a função SPEC é habilitada, este aparelho verifica, periodicamente, o valor da corrente nos seus bornes de entrada e se o valor medido está fora da faixa especificada, a saída lógica Go/NoGo associada ao canal utilizado vai para nível lógico baixo. Caso contrário, permanece em nível lógico alto.

Fonte de tensão (0 a 36VDC x 1 A): Esta fonte de tensão é necessária para manter o nível mínimo de corrente fornecido a carga eletrônica, mas suficiente para a regulação de tensão. A utilização desta fonte é indispensável no caso em que o carregador a ser testado interrompe, periodicamente, o fornecimento de corrente à bateria, como é o caso do carregador 328, para fim de medição de tensão circuito aberto. O valor da tensão desta fonte auxiliar deve ser ajustado em valor o mais próximo possível (1 V acima, por exemplo) do valor de tensão escolhido para o teste, ou seja, do valor de tensão regulado pela carga eletrônica.

PCB de controle: Em função dos sinais de controle enviados pela carga eletrônica (go/nogo e enable) este circuito comanda a abertura e fechamento do relé e a contagem do tempo de execução do teste. Quando o teste SPEC está habilitado (na carga eletrônica e no banco de teste), se a corrente do carregador ultrapassa a faixa especificada durante mais de 4 segundos, o teste é interrompido: a carga eletrônica é desconectada e para o contador horário.

Contador Horário: Corresponde ao contador de tempo autônomo H7ET da Omron. O circuito de controle comanda o seu funcionamento utilizando as entradas de tensão transistorizadas. A utilização de bateria, neste contador, evita a perda de informação relativa à duração do teste no caso de uma falta de energia no sistema.

Temporizador Analógico: é o temporizador H3DS-F da Omron. Trabalha no modo oscilador mono-estável assimétrico com regulação independente dos tempos ON e OFF do ciclo de trabalho. Quando habilitado pelo circuito de controle, este relé temporizado comanda o relé de potência, que por sua vez, conecta e desconecta o carregador à carga eletrônica programável.

Relé de potência: Dimensionado para suportar até 12 A de corrente contínua com 4 contatos de dois pólos cada, este relé de potência da série 56 da Finder permite a conexão dos quatro contatos do carregador em teste (+, -, T e D) com a carga eletrônica.

Montagem

O circuito de controle que aciona o relé e o contador horário é basicamente constituído por um regulador de tensão, um circuito flip-flop e um comparador de tensão. O diagrama esquemático é fornecido em anexo. A figura 11 seguinte apresenta a placa de circuito impresso projetada e montada com as respectivas indicações:

1. Circuito regulador de tensão 5VDC.
2. Circuito flip-flop para comandar o contador e o relé
3. Circuito comparador de tensão para decisão de parada do teste;
4. Transistores que comandam o relé e o contador;
5. Circuito de proteção da fonte auxiliar;
6. Conector do contador (J8);
7. Conector do temporizador (J11);
8. Conector do Switch1(J1).
9. Conector do relé de potência (J17).
10. Conector da fonte de alimentação (J15).
11. Conector do LED D6;
12. Conector do NTC (J13);
13. Conector do switch 3 (J5);
14. Conector da fonte auxiliar (J16);
15. Conector da carga eletrônica e dos potenciômetros (J3);
16. Conector do push-button STOP (SW2);
17. Conector do push-button START (SW1);
18. Conector do LED vermelho (D5);
19. Conector do switch 2 (J14).

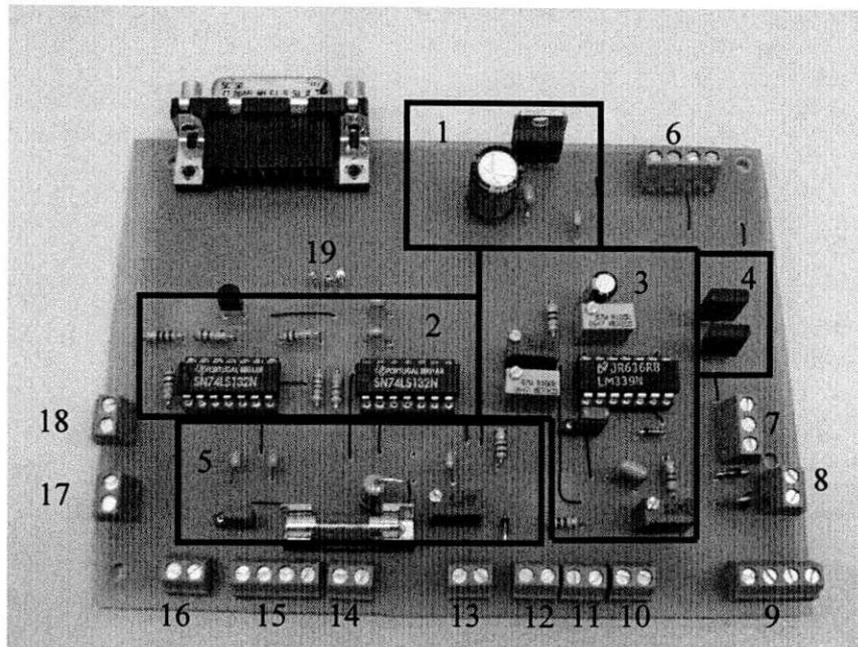


Figura 9: Placa de circuito impresso do sistema de controle

As figuras 10 e 11 apresentam a montagem do placa de circuito impresso, dos conectores e cabos numa caixa metálica padrão adaptada para esta aplicação.



Figura 10: Montagem do aparelho

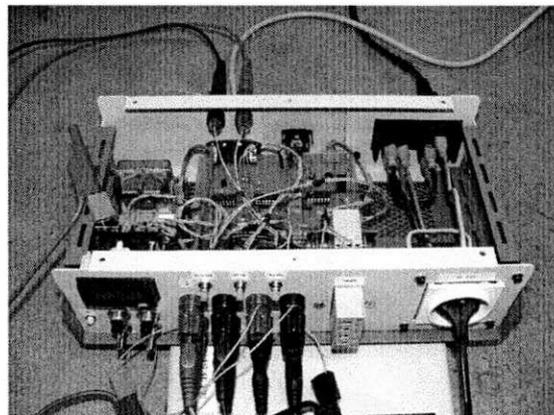


Figura 11: Montagem do aparelho

As figuras 12 e 13 apresentam o sistema completamente montado com as indicações de interruptores e conectores que segue:

1. POWER: Interruptor ON/OFF do sistema de teste de carregador. Ele corta a alimentação do circuito eletrônico.
2. SPEC: Interruptor que habilita o teste de especificação SPEC (verificação das especificações de corrente do carregador durante o teste de *endurance*). Quando no estado ON, a saída Go/NoGo da carga eletrônica é lida, caso contrário apenas as entradas manuais START e STOP são consideradas para comandar o relé de potência.

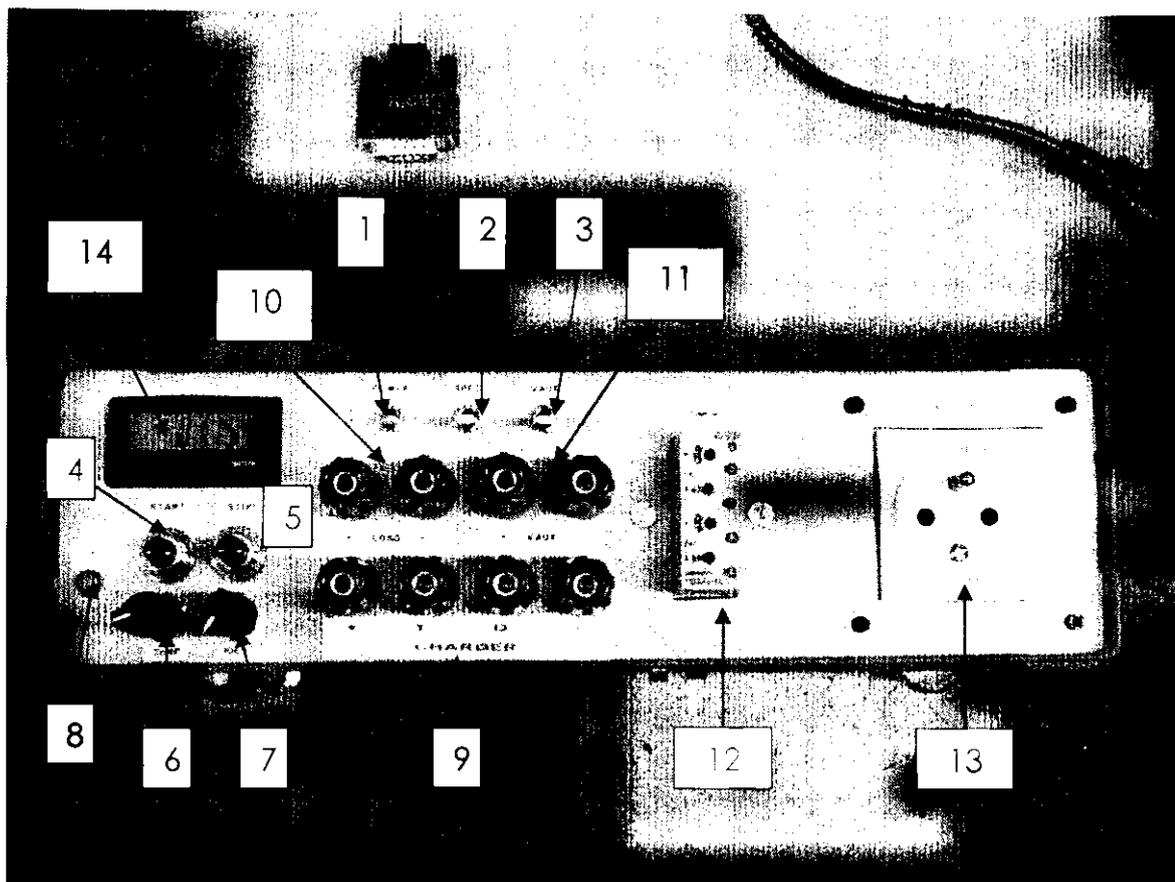


Figura 12: Indicação dos interruptores e conectores do painel frontal

3. VAUX: Interruptor para conectar a fonte de tensão auxiliar em paralelo com a carga eletrônica. No momento do teste de curto-circuito do carregador, esta fonte não deve ser utilizada.
4. START: Interruptor que habilita os sinais de controle para iniciar o teste (temporizador e contador de tempo).
5. STOP: Interruptor para finalizar o teste em qualquer momento. Quando acionado, o carregador é desconectado da carga eletrônica.
6. TEMP: Potenciômetro de 100 k para emular manualmente a variação de resistência do NTC da bateria.
7. IDENT: Potenciômetro de 1M utilizado como resistência de codificação do tipo de bateria (NiCd = 470ohms, NiMH = 0).
8. ON: LED verde que identifica o funcionamento do sistema. Quando o teste chega ao fim este LED é apagado.
9. CHARGER: Conector do tipo banana para ligação do carregador em teste. Terminais: positivo (+), negativo (-), identificação (D) e temperatura (T).

10. LOAD: Conector do tipo banana para ligação da carga eletrônica. Terminais positivo (+) e negativo (-).
11. VAUX: Conector do tipo banana para ligação da fonte de tensão auxiliar. Terminais: positivo (+) e negativo (-).
12. TIMER: Temporizador analógico que comanda o relé de potência. Os tempos ON e OFF são ajustados utilizando os botões graduados de escala de temporização. Quando o LED está verde os contatos do relé estão abertos e quando laranja, os contatos estão fechados.
13. AC OUT: Tomada elétrica para conexão do carregador em teste.
14. CONTADOR: Contador horário à pilha com botão de reset.
15. AC IN: Tomada para conexão à rede elétrica local. Dispõe de um interruptor ON/OFF e de um fusível para proteção do carregador (0,8A x 230V).
16. 24 VDC: Conector do tipo banana para ligação da fonte de tensão CC (24VDC x 1A).
17. GONOGO PORT: Conector DB-25 para ligação à carga eletrônica.

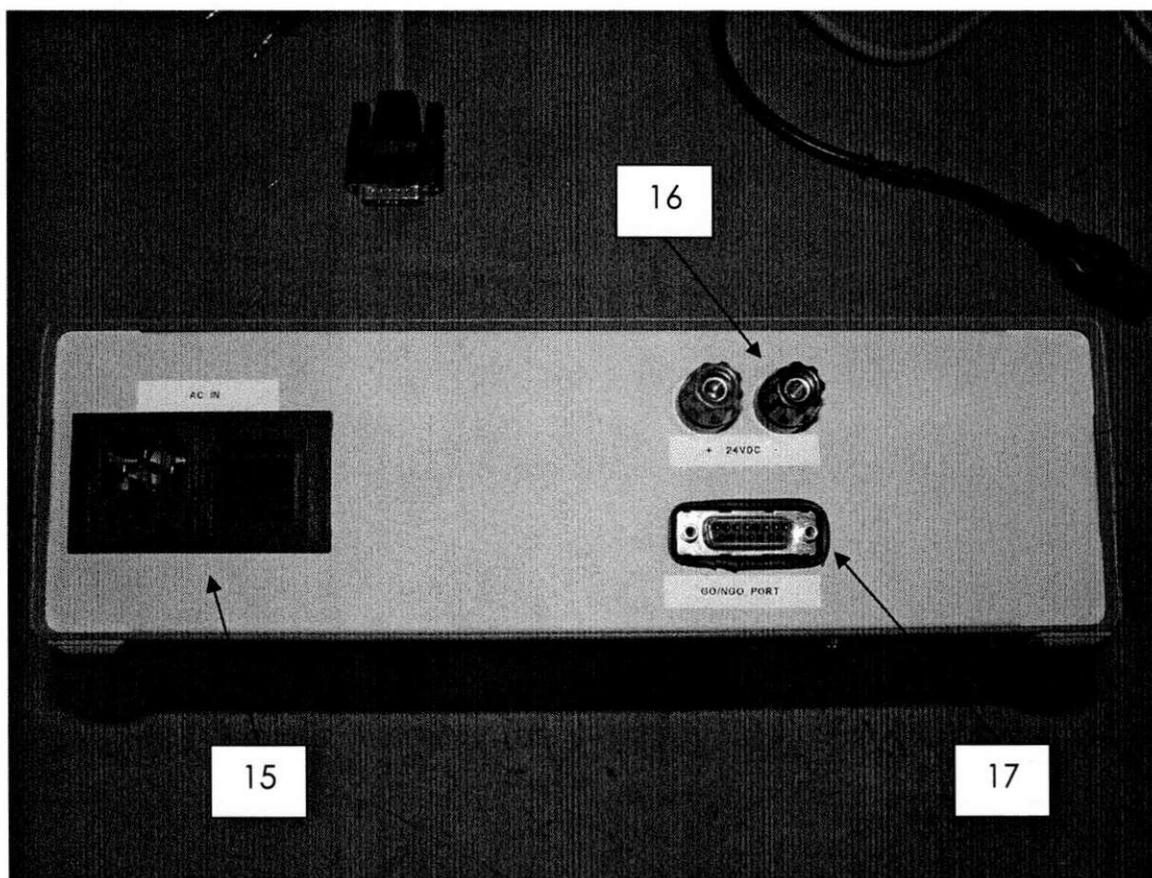


Figura 13: Indicação dos conectores do painel traseiro

Teste e validação do sistema

Para realizar os testes e validar o sistema completo, utilizou-se um sistema de aquisição de dados para verificar os principais sinais de controle e avaliar os eventuais problemas ocorridos durante um determinado período de execução do teste do carregador, conforme apresentado na figura 14.

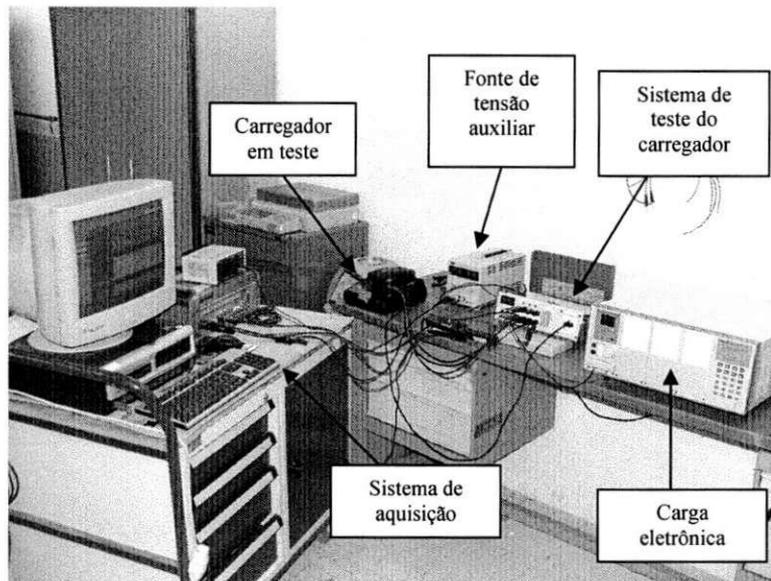


Figura 14: validação do sistema de teste do carregador de baterias

A interrupção do fornecimento de corrente do carregador ocorre quando o mesmo mede a tensão de circuito aberto da bateria que está em carga e verifica a condição de carga completa ($\Delta V = -0.2 \text{ V}$ no caso de bateria do tipo NiCd ou $\Delta V = 0$ no caso de NiMH). Isto quer dizer que, se a carga eletrônica não regula bem o valor de tensão neste momento, o carregador pode detectar uma falsa condição de fim de carga devido às oscilações de tensão, interrompendo o fornecimento de corrente à carga eletrônica. Neste caso, o sistema detecta uma corrente inferior ao mínimo especificado e o teste é finalizado precocemente. As possíveis razões deste problema foram avaliadas, como segue:

- 1) Existência de ondulação de tensão na carga eletrônica superior ao limiar de detecção de fim de carga (ΔV) do carregador. Origem: transitórios de tensão, oscilação da tensão de alimentação dos circuitos, ruído.
- 2) O nível de corrente fornecido pela fonte de tensão auxiliar não é suficiente para que a carga eletrônica mantenha a regulação de tensão. Em algum momento, a tensão reduz e o carregador interrompe o processo de carga.

3) Ruído nos sinais de controle do sistema devido à interferência eletromagnética.

Para verificar qual o motivo pelo qual o sistema apresenta interrupções no teste de forma precoce, foram realizados testes de *endurance* com a função SPEC desabilitada. Dessa forma, o funcionamento do sistema não é interrompido em decorrência da realização do teste de especificações. Assim, a partir da leitura dos sinais de controle pode-se verificar qual o exato momento em que o carregador para e retorna ao funcionamento normal. A figura 15 apresenta o resultado de uma aquisição de dados a 2Hz para um teste com 6 horas de duração, onde se pode verificar que ocorreram três interrupções devido à falsa detecção da condição de carga completa.

Com o objetivo de avaliar o problema, verificaram-se os transitórios de tensão produzidos pela carga eletrônica e o nível de oscilação de tensão no momento mais crítico, que é exatamente na janela de interrupção da corrente do carregador. Na figura 17, são apresentadas as curvas de corrente e tensão do carregador e o sinal de controle Go/NoGo durante a janela de interrupção do carregador. Utilizou-se uma frequência de aquisição de 10kHz, $V_{aux} = 25,5V$ e $V_{load} = 24V$. Para este caso, a corrente do carregador permanece em torno de **4,3A** com ondulação de aproximadamente **100mA**. Em consequência, tem-se ondulação na tensão da carga eletrônica em torno de **300mV**. Depois da interrupção da corrente do carregador, a tensão decai a quase **10V** e após o tempo de resposta da carga eletrônica de **56ms**, a tensão é estabilizada em **24V** apresentando uma pequena oscilação próxima de **25mV**. Em princípio, pode parecer preocupante o fato de haver uma ondulação na tensão maior que a condição de detecção de carga completa ($\Delta V = -0,2V$). Contudo, o carregador mede a tensão nos seus terminais apenas durante a janela de interrupção de corrente, e neste momento, após o tempo de resposta da carga eletrônica, tem-se uma regulação de tensão adequada. O problema consiste em não haver garantia de que a resposta da carga eletrônica seja suficientemente rápida para evitar que o carregador meça a tensão durante este transitório. Em seguida, o carregador fornece o valor normal de corrente e a tensão na carga atinge quase **35V** e depois estabiliza novamente em **24V** após regulação.

Verificou-se também que para a faixa de corrente e tensão avaliada, aumentar o valor da corrente fornecida pela fonte de tensão auxiliar não reduz os transitórios de tensão existentes. Em consequência a estas investigações, percebeu-se que estes transitórios podem ser a causa das interrupções de funcionamento do carregador, sendo necessário, portanto, avaliar esta influência.

Depois de uma campanha exaustiva de testes e aquisição de dados, concluiu-se que a ondulação de tensão fora da janela de interrupção é tão acentuada quanto o valor da tensão

escolhido para regulação, dependendo assim, da boa regulação de corrente do carregador. Na janela de interrupção, onde não ha corrente do carregador, a ondulação de tensão é inversamente proporcional a diferença de tensão entre a fonte auxiliar, mantida fixa em **25,5V**, e a tensão escolhida para a regulação da carga eletrônica. O efeito transitório pode ser reduzido quando se utiliza um valor de tensão da fonte auxiliar o mais próximo possível do valor de tensão regulada pela carga eletrônica.

Aplicando uma rampa discreta de tensão no carregador, utilizando a carga eletrônica programável, pode-se observar o comportamento transitório em diferentes níveis de tensão. Na figura 19 verifica-se que para uma variação de **4V** na tensão aplicada ao carregador, tem-se um transitório de corrente de aproximadamente **3,96A** de pico a pico. Na figura 20 tem-se o instante no qual o carregador mede a tensão após a mudança do valor da tensão da carga eletrônica. Neste caso, observa-se que a carga eletrônica responde mais rapidamente (**15 ms**) apos interrupção do carregador, pois a tensão a ser regulada é mais próxima da tensão da fonte auxiliar.

Ao final dos testes, concluiu-se que se deve ajustar a tensão da fonte auxiliar em um valor o mais próximo possível do valor de tensão a ser regulado pela carga eletrônica. Obedecendo a este critério, eliminamos os problemas de ondulação de tensão que provocavam as interrupções do teste de forma precoce. Para concluir a etapa de validação do sistema, realizamos um teste com o carregador Spit 328 durante aproximadamente 7 dias (168 horas) de funcionamento contínuo sem paradas indesejáveis.

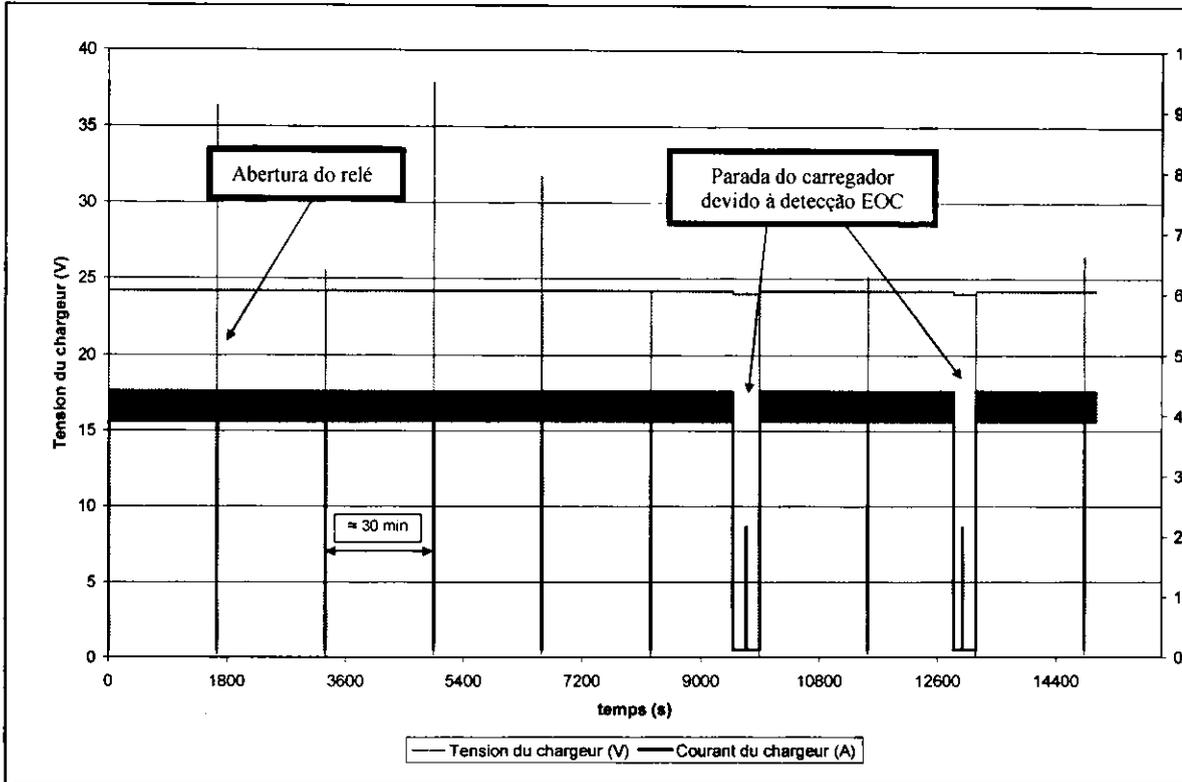


Figura 15 : Teste de *endurance* SPEC OFF (Ton = 30 minutes, Toff = 4s, Vaux = 25,5, Vload = 24V)

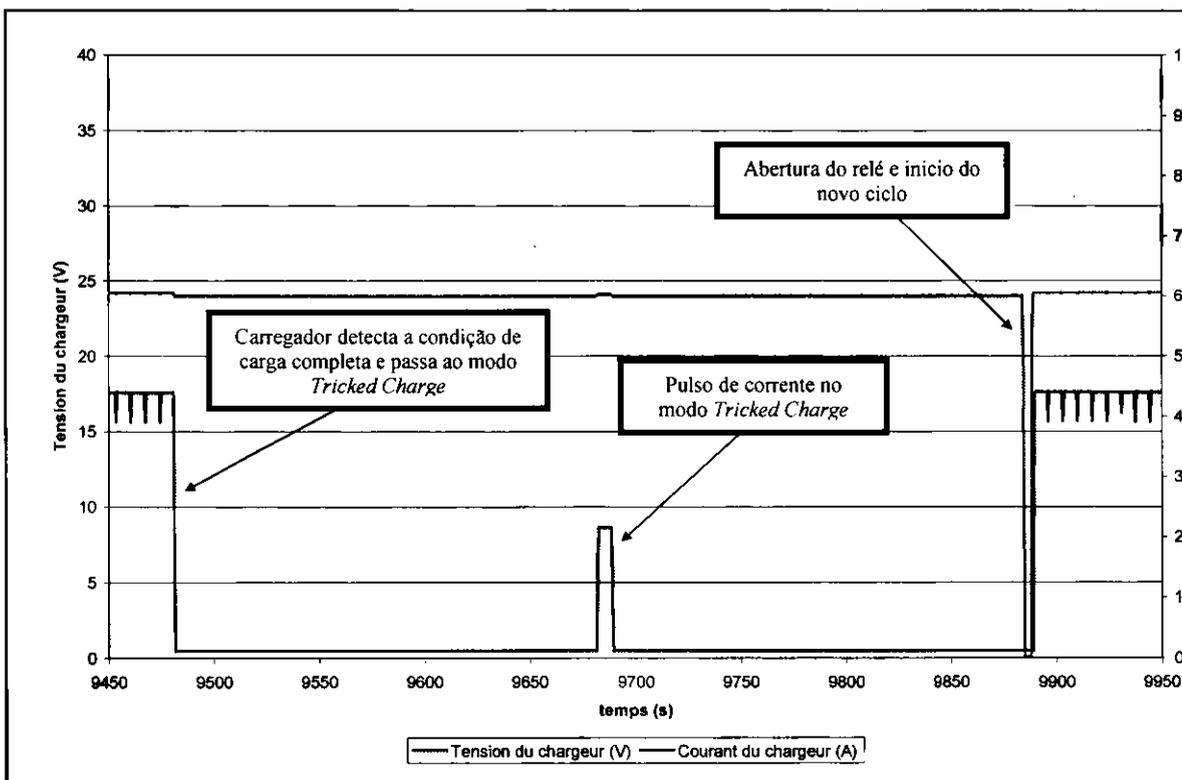


Figura 16: Teste de *endurance* SPEC OFF. Parada do carregador devido à detecção de EOC

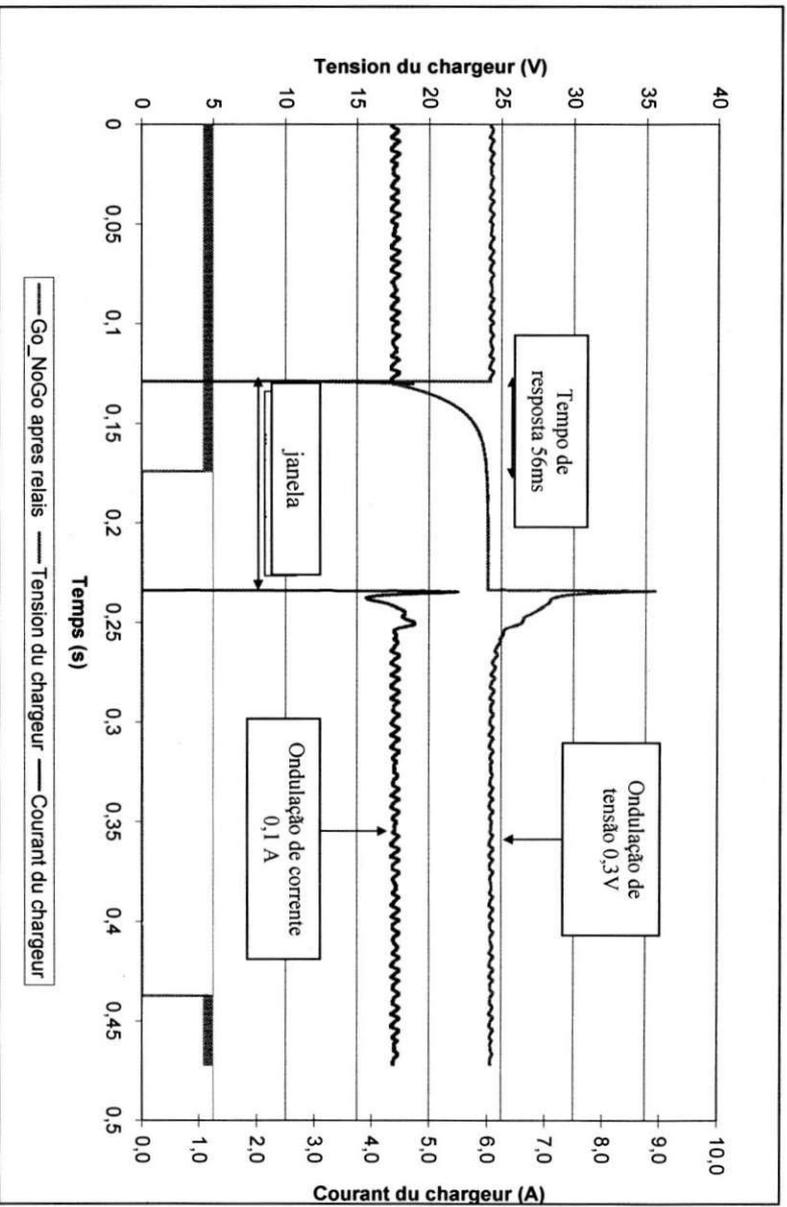


Figura 17: Transi rio de tens o e corrente do carregador

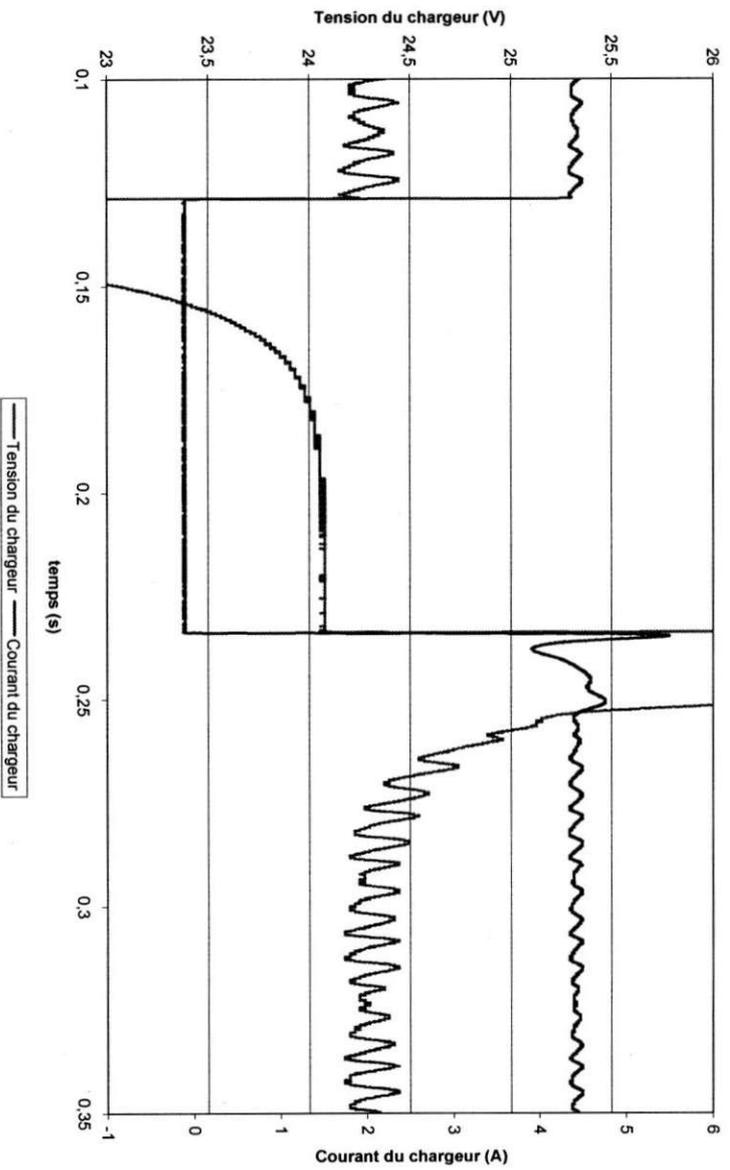


Figura 18: Detalhe da ondula o de tens o do carregador durante a interrup o de corrente

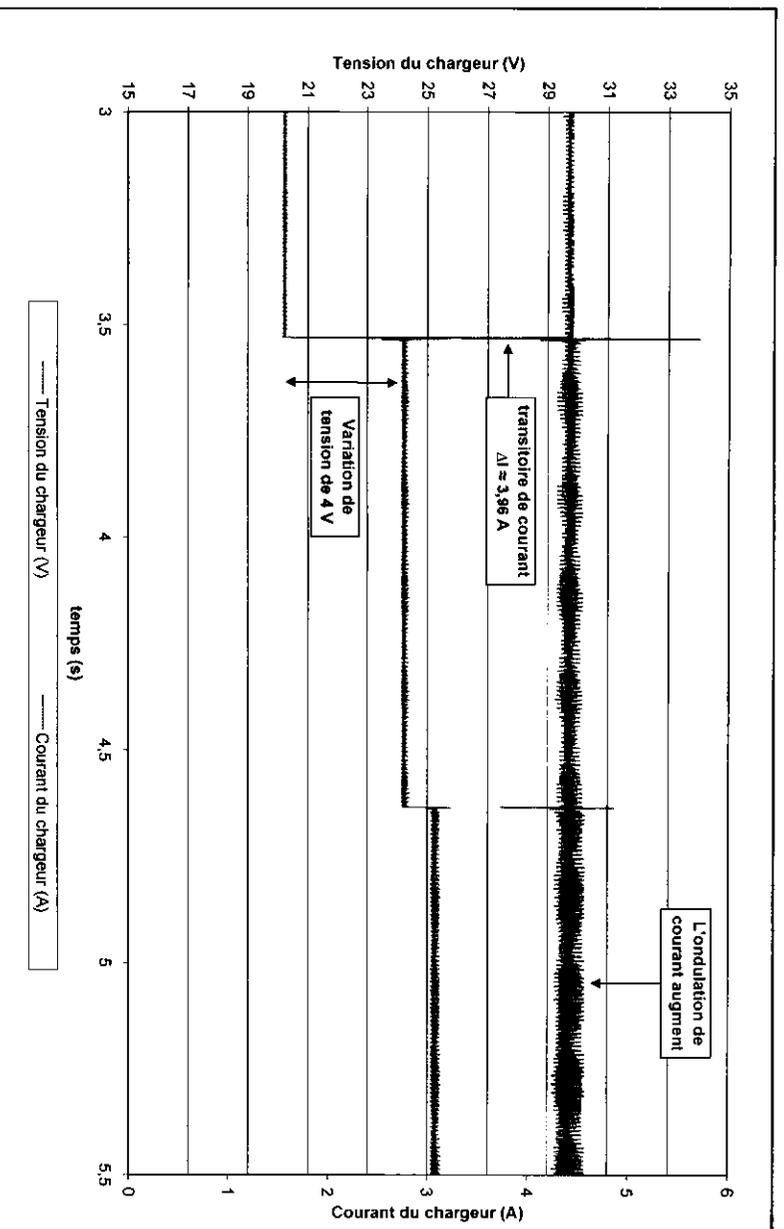


Figura 19: Transitório de tensão e corrente do carregador (degrau de tensão: 15, 16, 20, 24 e 25V ; dt=1s)

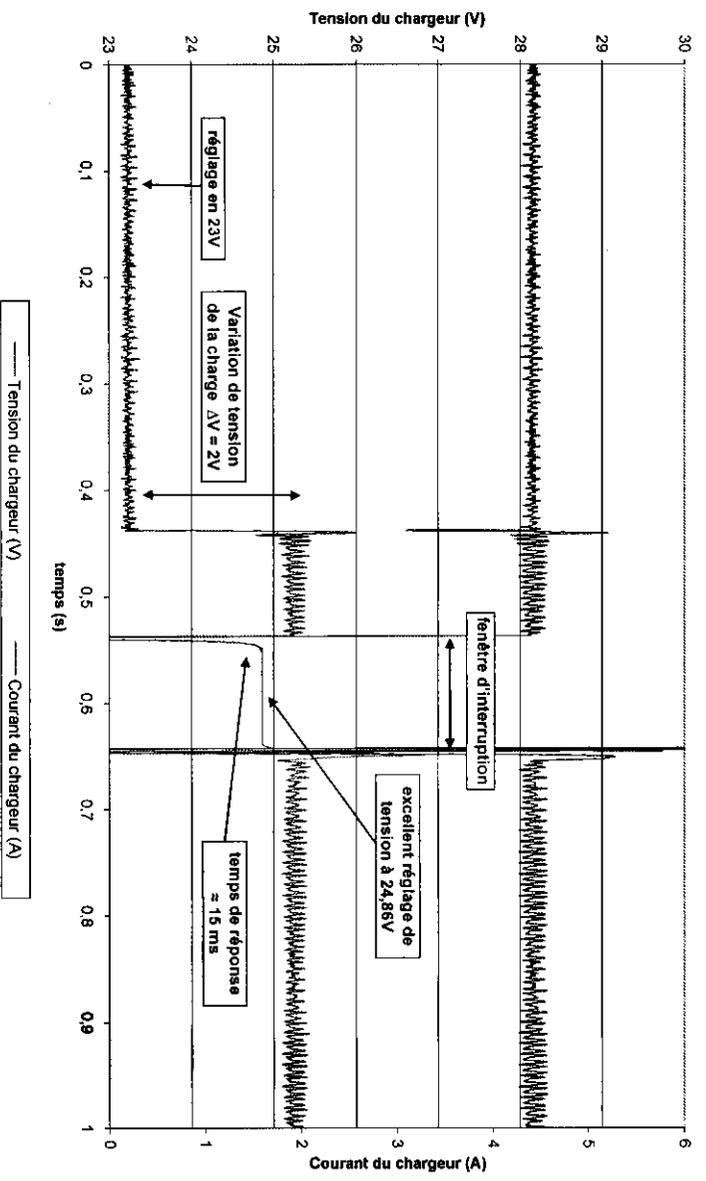


Figura 20: Transitório de tensão e corrente do carregador. A interrupção do carregador ocorre apos mudança da tensão da carga eletrônica.

Resultados do teste do carregador

A figura 21 seguinte apresenta a montagem completa realizada para verificação do tempo de vida do carregador SPIT 328. Foram obtidos, até o momento, um pouco mais de 450 horas (2 semanas e meia) de funcionamento em condição de potência máxima (114 W) sem nenhum problema, ou seja, a corrente fornecida pelo carregador permaneceu na faixa especificada de $4,1A \pm 10\%$. Estima-se uma duração mínima de 1000 horas de funcionamento para este carregador.

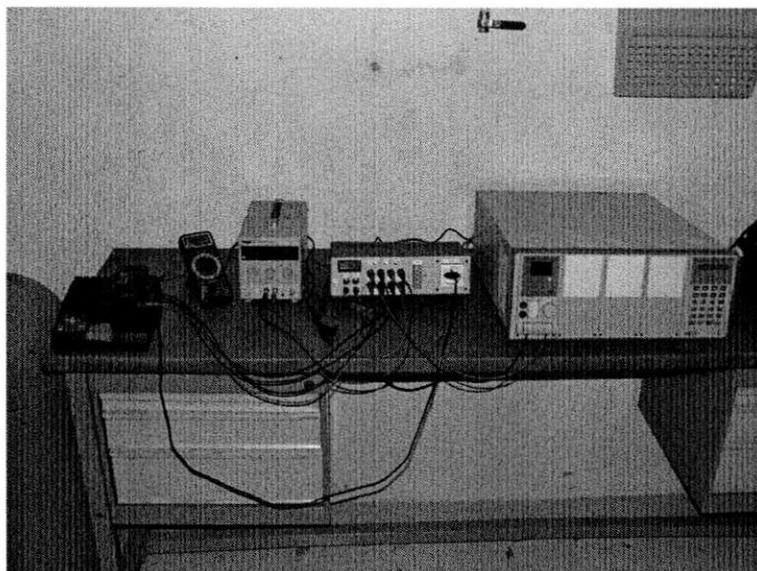


Figura 21: Teste do tempo de vida do carregador SPIT 328

Tabela 2: Teste de *endurance* do carregador SPIT 328

V_{carga}	$I_{\text{carregador}}$	$P_{\text{dissipada}}$	Tempo de teste
28 V	4,1A	114 W	450 horas

Considerações Finais

O trabalho realizado foi extremamente importante para fornecer uma estimativa do tempo de funcionamento do carregador avaliado, gerando informações que darão suporte à empresa nas discussões com os fornecedores e clientes.

Desde a identificação das necessidades do teste de fadiga até a escolha das soluções e contacto com fornecedores, todas as etapas mostraram-se de grande relevância para que o funcionamento do sistema de teste do carregador atendesse às expectativas da empresa.

O sistema desenvolvido apresentou, até o momento, resultados satisfatórios de desempenho seguindo as exigências solicitadas como característica modular, confiabilidade e custo. Por exemplo, para o carregador SPIT 328, atingiu-se até momento 450 horas de funcionamento ininterruptas.

Durante a realização deste projeto, tanto os conhecimentos técnicos de eletrônica analógica e digital foram postos em prática, como também as habilidades de gerenciamento de projeto, no que diz respeito à elaboração de planejamento de atividades, análise de custos e tomada de decisões.

Bibliografia

Base de dados dos ensaios do Laboratório de Ferramentas Elétricas SPIT.

Battery Reference Book, Third edition, Newnes, T. R. Crompton.

Engineering Handbook: Cadnica® Sealed Type Nickel-Cadmium Batteries. SANYO Electric Co., Ltd.

Engineering Handbook. Twicell™ Sealed Type Nickel-Metal Hybride Batteries. SANYO Electric Co., Ltd.

Overview of Lithium Ion batteries. April 2006. Manual do fabricante Panasonic.

Site Internet: <http://www.batteryuniversity.com>

Sony recommendations. February, 2006. Energy Business Group, Core Component Business Unit, Sony Corporation.