

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
FATEC SANTO ANDRÉ  
TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA**

**MARDONIO PEREIRA DE ANDRADE**

**SISTEMA DE CARGA PARA BATERIAS ÍON LÍTIO EM VEÍCULOS  
COM TRAÇÃO ELÉTRICA**

Santo André

2014

A553s

ANDRADE, Mardonio Pereira de  
Sistema de carga para baterias Íon lítio em veículos com tração elétrica /  
Mardonio Pereira de Andrade. - Santo André, 2014. – 58 f: il.

Trabalho de conclusão de curso – FATEC - Santo André. Curso de  
Tecnologia em eletrônica automotiva, 2014.  
Orientador: Prof. Carlos Alberto Morioka

1. Automóveis 2. Veículos elétricos 3. Veículos híbridos 4.  
Sistema de carga I. Título

CDD: 629.2

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
FATEC SANTO ANDRÉ  
TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA**

**MARDONIO PEREIRA DE ANDRADE**

**SISTEMA DE CARGA PARA BATERIAS ÍON LÍTIO EM VEÍCULOS  
COM TRAÇÃO ELÉTRICA**

Santo André  
2014

Monografia apresentada ao curso de  
Tecnologia em Eletrônica Automotiva da  
FATEC Santo André, como requisito parcial  
para conclusão do curso em Tecnologia em  
Eletrônica Automotiva

Orientador: Prof. Carlos A. Morioka

Santo André

2014

*Faculdade de Tecnologia de Santo André*

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 1 DE julho DE 2014

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "SISTEMA DE CARGA PARA BATERIA ÍON-LÍTIO EM VEÍCULOS COM TRACÇÃO ELÉTRICA" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:


PROF. CARLOS ALBERTO MORIOKA 

---

MEMBROS:

PROF. FÁBIO DELATORE 

---

PROF. FERNANDO FARUP DALBO 

---

ALUNOS:

MARDONIO PEREIRA DE ANDRADE 

---

Dedico este trabalho à minha querida  
esposa, e familiares que me acompanharam  
com paciência ao longo de toda esta jornada

## RESUMO

Com a crescente preocupação com o meio ambiente e o constante avanço tecnológico tem-se buscado cada vez mais soluções para uma interação mais saudável entre o homem e o planeta. Desta forma os investimentos em sistemas automotivos elétricos são cada vez maiores. Estes investimentos e consequentemente os avanços tecnológicos obtidos são refletidos em todos os setores que englobam o sistema que compõe estes tipos de veículos: sistema de tração, motores, sistema acumuladores de carga – baterias em seus diversos tipos, células de combustível.

Este trabalho pretende descrever o desenvolvimento de um sistema carregador de baterias íon lítio. Em um primeiro momento será feita uma abordagem teórica sobre as baterias íon lítio e as formas de carregamento que são usadas, após isso adota-se uma estratégia para ser implementada no sistema. Discute-se a fundamentação teórica em seus diversos aspectos, formas de carregamento, e a metodologia empregada no projeto. Ao final são apresentados os resultados obtidos no projeto, conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

Palavras chaves: baterias, sistema de carga, veículos elétricos, veículos híbridos.

## **ABSTRACT**

With the growing concern about the environment and the constant technological advance has increasingly sought solutions for a healthier interaction between man and the planet. Thus investments in automotive electric systems are increasing. These investments and consequently technological advances are reflected in all the sectors that comprise the system that makes up these types of vehicle drive train, engine, battery charging system batteries in their various types of fuel cells.

This paper aims to describe the development of a lithium ion battery charger. At first there will be a theoretical approach to existing systems or is currently charging strategies that are used, after it sets up the strategy to be adopted. It discusses the theoretical aspects in its various forms of loading, and the methodology employed in the project. At the end the results are presented in the project, conclusions and suggestions for future work.

Keywords: batteries, charging system, electric vehicles, hybrid vehicles,

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração conceitual de veículo elétrico geral, (extraído de: (Ehsani, et al., 2010)) .....	17
Figura 2 - Principais configurações para VEs em função da disposição do sistema de tração e fonte de energia, (extraído de: (Ehsani, et al., 2010) .....	18
Figura 3 - Frota versus desenvolvimento econômico – EUA, Japão, Alemanha e Coreia do Sul (Renato B., et al., 2010) .....	19
Figura 4 - Frota <i>versus</i> desenvolvimento econômico – Brasil, China, Índia e Coreia do Sul (M.F.M., et al., 2004).....	20
Figura 5: Evolução das baterias primárias, (Root, 2010) .....	31
Figura 6 - Evolução das baterias secundárias, (Root, 2010) .....	31
Figura 7 - Componentes básicos de uma célula eletroquímica (adaptado de: (Root, 2010)) .....	32
Figura 8 - Processo de carga e descarga de uma célula de íon lítio (adaptado de: (Root, 2010)) .....	34
Figura 9 - Carga por tensão constante, incluindo limite de corrente, com resposta da bateria de tensão e corrente, (extraído de: (Root, 2010)). .....	36
Figura 10 - Carga com corrente constante e resposta em tensão, (adaptado de: (Root, 2010)). .....	37
Figura 11 - Carga por CCCV com resposta em tensão e corrente (adaptado de: (Root, 2010)). .....	38
Figura 12 - Carga por pulsos de corrente, (adaptado de: (Tavares, 2009)). .....	39
Figura 13 - Carga corrente constante – <i>mult-step</i> .....	40
Figura 14 - Ciclos de vida de uma bateria íon lítio em função da tensão aplicada durante seu carregamento (adaptado de: (Speltino, 2010)) .....	41
Figura 15 - Estrutura do sistema de baterias (adaptado de: (M.F.M., et al., 2004)) .....	42
Figura 16 - Diagrama de blocos do sistema de carga de bateria íon lítio (Adaptado de: (M.F.M., et al., 2004)). .....	43
Figura 17 - Comportamento de carga de uma células de íon lítio, similar a utilizada .....	44
Figura 18 - Comportamento da tensão de carga em uma células de íon lítio .....	45

Figura 19 - Comportamento da corrente de carga em uma células de íon lítio.....	45
Figura 20 - LM35 em configuração básica de sensor de temperatura (+2°C à +150°C) ( <a href="http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf">http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf</a> - acessado: 07/09/13). Com circuito de condicionamento de sinal (extraído das aulas de Gerenciamento de motores).....	46
Figura 21 - Aduino Mega 2560 (extraído de: ( <a href="http://arduino.cc/en/main/arduinoboardmega2560">http://arduino.cc/en/main/arduinoboardmega2560</a> - acessado: 10/05/14)).....	47
Figura 22 - Circuito de condicionamento de sinais.....	48
Figura 23 - Sistema de balanceamento de células.....	50
Figura 24 - Sistema de chaveamento .....	51
Figura 25 - sistema totalmente montado .....	52
Figura 26 - Perfil da tensão durante a carga .....	52
Figura 27 - Perfil da corrente durante a carga.....	53
Figura 28 - Perfil de tensão e corrente .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre sistemas BMS (adaptado de: (energies, 2011)).....	25
Tabela 2 - Comparação entre algumas baterias encontradas no mercado – referência a uma célula AA, (Adaptado de: (Kester, et al.)).....	35
Tabela 3 - comparativo entre carga rápida e lenta para baterias íon lítio (adaptado de: (Kester, et al.)).....	38
Tabela 4 - Características do Hardware de controle .....	47

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1 - Relação de capacidade em um sistema SOC .....	26
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

VE(s) – Veículos elétricos

MCI – Motor de combustão interna

AC – Corrente alternada

DC – corrente continua

BMS – *battery management system* (sistema de gerenciamento da bateria)

SOH – *State of Health*

SOC – *State of Charge*

A/h – Ampére/hora

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	Breve histórico.....	15
1.2	Motivações .....	16
1.3	Objetivos .....	16
1.4	Metodologia.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1	Definição e configuração dos VEs .....	16
2.2	Os veículos eletricos no Brasil.....	19
2.3	Guia de especificações técnicas para baterias .....	21
2.3.1	Termos básicos.....	21
2.4	Sistema de Gerenciamento de Baterias (BMS) em veículos elétricos .....	24
2.4.1	O Sistema SOC ( <i>state of charger</i> ).....	26
2.4.2	O sistema SOH ( <i>State of Health</i> ) .....	27
2.4.3	O Sistema SOL ( <i>State of Life</i> ).....	28
2.4.4	O Sistema DOD ( <i>depth of discharge</i> ).....	28
2.5	Normas de referência .....	29
2.6	Baterias .....	30
2.6.1	Processo de conversão de energia .....	31
2.6.2	Baterias de íon lítio .....	32
2.6.3	Comparação entre baterias recarregáveis .....	34
2.6.4	Formas de carregamento .....	35
2.7	Desempenho e cuidados .....	40
3	METODOLOGIA DE TRABALHO.....	42

3.1	A bateria utilizada e a configuração de sua ligação .....	42
3.2	O sistema de controle.....	43
3.3	Método de carga para baterias íon lítio.....	43
3.3.1	Sistema de proteção contra curto-circuito e inversão de polaridade .....	45
3.3.2	Monitoramento de temperatura .....	45
3.3.3	Sistema de monitoramento e controle de Corrente .....	46
3.3.4	Sistema Supervisório e de Controle .....	46
3.3.5	Sistema de balanceamento de células .....	48
3.3.6	Sistema de chaveamento.....	51
4	RESULTADOS.....	52
5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	55
7	APÊNDICES .....	57
	Apêndice 1: painel frontal do <i>Labview</i> .....	57
	Apêndice 2: Diagrama de Blocos do <i>Labview</i> .....	58

## 1 INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento dos motores de combustão interna e em especial dos automóveis é uma das maiores conquistas da tecnologia moderna. Tanto quanto qualquer outra foi o desenvolvimento na indústria automobilística. Empregando milhares de pessoas e satisfazendo muitas das necessidades de mobilidade na vida cotidiana, no entanto a grande quantidade de veículos utilizados em todo mundo trouxe uma série de problemas para o ambiente e seres humanos. A poluição do ar, aquecimento global, rápido esgotamento dos recursos petrolíferos; são agora problemas de interesse geral (Ehsani, et al., 2010).

Nas últimas décadas as atividades de pesquisa e desenvolvimento relacionadas a transportes tem buscado sistemas que aliem alta eficiência, segurança e não agridam o meio ambiente, logo os Veículos Elétricos (VEs) têm sido normalmente propostos para substituir os veículos atuais.

Os veículos elétricos (VEs) têm muitas vantagens sobre veículos com Motores de Combustão Interna (MCI), tais como ausência de emissões, alta eficiência, independência do petróleo e um funcionamento silencioso e suave, mas ainda se deparam com um grande limitador de sua existência, que é o sistema que armazena a energia necessária para a alimentação dos motores elétricos – as baterias, que já se desenvolveram bastante, seja no aparecimento de novas tecnologias, quanto na melhoria de sistemas mais antigos. Mesmo assim não consegue-se ainda, aliar custo e eficiência energética (Ehsani, et al., 2010).

Em face a este dilema, alguns sistemas de carga adquiriram algumas características, de não só carregar o sistema com o veículo estático, mas em movimento também, por exemplo com a regeneração da energia da frenagem sendo utilizada na carga das baterias.

Este trabalho abordará os sistemas de carga para baterias íon lítio em VEs, os conceitos e características a eles associados, sendo em um primeiro momento feito uma abordagem sobre os VEs e a concepção das baterias íon lítio, em seguida propõe-se a montar um sistema de carga para estas baterias sendo utilizadas em VEs, embasado na bibliografia apresentada.

## 1.1 Breve histórico

No início do século o carro elétrico com baterias recarregáveis parecia ter um grande futuro. No salão do automóvel do ano de 1900 o número de automóveis com essa tecnologia concorria praticamente em igualdade com os movidos a gasolina ou vapor, com isso muitos acreditavam que esse tipo de tecnologia iria progredir de forma própria definindo seus espaços. No entanto cerca de 20 anos mais tarde os veículos elétricos estavam comercialmente acabados pelos veículos movido a gasolina (Goldemberg, et al., 2005).

No entanto a ideia de veículos elétricos é bem mais antiga. Vejamos alguns pontos evolutivos:

- 1770-1920: Máquinas a vapor;
- 1834: Primeiros projetos com veículos elétricos;
- 1859: Perfuração dos primeiros poços de petróleo, conseqüentemente início da produção de gasolina;
- 1895-1910: Boa parte da frota do período era composta por veículos elétricos;
- 1910-1925: Grande entusiasmo com os veículos elétricos, mas mesmo assim perdia a corrida frente os veículos a gasolina;
- 1926-1966: Neste período pouco se fez, foi considerado como uma tecnologia sem força, frente os motores à combustão interna;
- 1967-1972: Neste período em função da grande preocupação com a poluição retomou-se as ideias dos carros elétricos;
- 1973-1980: A crise do petróleo trouxe ainda mais esperança para a retomada dos carros elétricos;
- 1980-1993: Neste período medidas mais efetivas frente a redução de emissões de poluentes, e significativos avanços tecnológicos impulsionaram a retomada dos projetos em veículos elétricos;
- 1998: Surgimento dos primeiros carros híbridos, e constantes investimentos na área. Hoje, considera-se os veículos elétricos e híbridos como sendo a alternativa mais eficiente em função dos seus diversos pontos positivos em relação a os veículos que puramente usam combustíveis fósseis, que causam sérios problemas ambientais, e a saúde dos seres vivos, além de dependerem

do petróleo que está se tornando cada vez mais raro (Goldemberg, et al., 2005).

## **1.2 Motivações**

Motivações para este trabalho vieram em função dos vários desafios proporcionados por essa área da indústria automobilística, que englobam vários segmentos da eletrônica, por se tratar de um assunto bastante antigo, porém, encontrando poucas publicações, sobre tudo no idioma português e da possibilidade de conhecer os conceitos envolvidos nesta tecnologia.

## **1.3 Objetivos**

Este trabalho tem por objetivos inicialmente estudar os sistemas de carga para baterias íon lítio em veículos elétricos, sendo em um primeiro momento feito uma abordagem sobre os VEs e as baterias empregadas, em seguida será focado nos sistemas de carga para a bateria.

## **1.4 Metodologia**

A metodologia aplicada a este trabalho se embasará em pesquisas bibliográficas em materiais que abordem a temática dos veículos elétricos bem como seus respectivos sistemas de carga para baterias.

Inicialmente serão abordadas as características sobre as diversas concepções dos VEs e baterias íon lítio e posteriormente será feito um estudo sobre as formas de carga para a mesma, sendo construído um carregador que englobe as técnicas estudadas. Ao final, apresentaremos todas as vantagens e desvantagens bem como sugestões para melhorias para projetos futuros.

# **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## **2.1 Definição e configuração dos VEs**

Os VEs essencialmente eram construídos com um motor elétrico e baterias no lugar de um motor de combustão interna e um tanque de combustível, respectivamente. Estes sistemas geravam alguns inconvenientes como: elevado peso e baixo desempenho (Ehsani, et al., 2010).

Atualmente este conceito derivou para sistemas mais elaborados e específicos

para comportar uma estrutura elétrica, como visto na Figura 1.

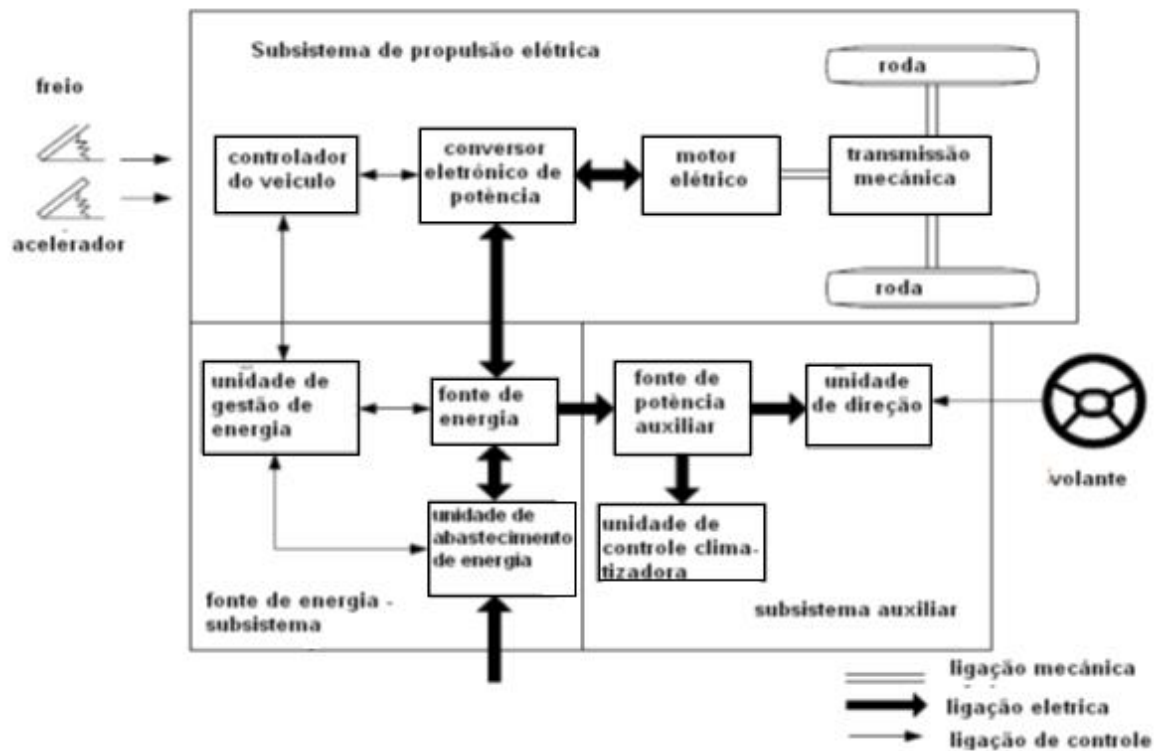


Figura 1 - Ilustração conceitual de veículo elétrico geral, (extraído de: (Ehsani, et al., 2010))

Esse sistema consiste em três partes principais; subsistema de propulsão elétrica, fonte de energia e subsistema auxiliar, e dentro destas as suas respectivas unidades.

Em função da posição dos pedais a unidade controladora do veículo fornece os sinais adequados a unidade conversora de potência que realiza o controle de fluxo de corrente elétrica entre o motor e a fonte de energia. Durante o processo de frenagem ocorre a carga do sistema de baterias através de um processo de regeneração de energia, as unidades de gestão e abastecimento de energia, são responsáveis pelo controle de usabilidade, carga e regeneração de energia. A fonte de potência auxiliar é responsável por fornecer a energia em diferentes níveis de tensão para os subsistemas, tais como sistemas de ar condicionado e direção (Ehsani, et al., 2010).

Há uma variedade de configurações possíveis para VEs, em função da variação nas características de propulsão elétrica e da fonte de energia, como ilustrado na Figura 2.

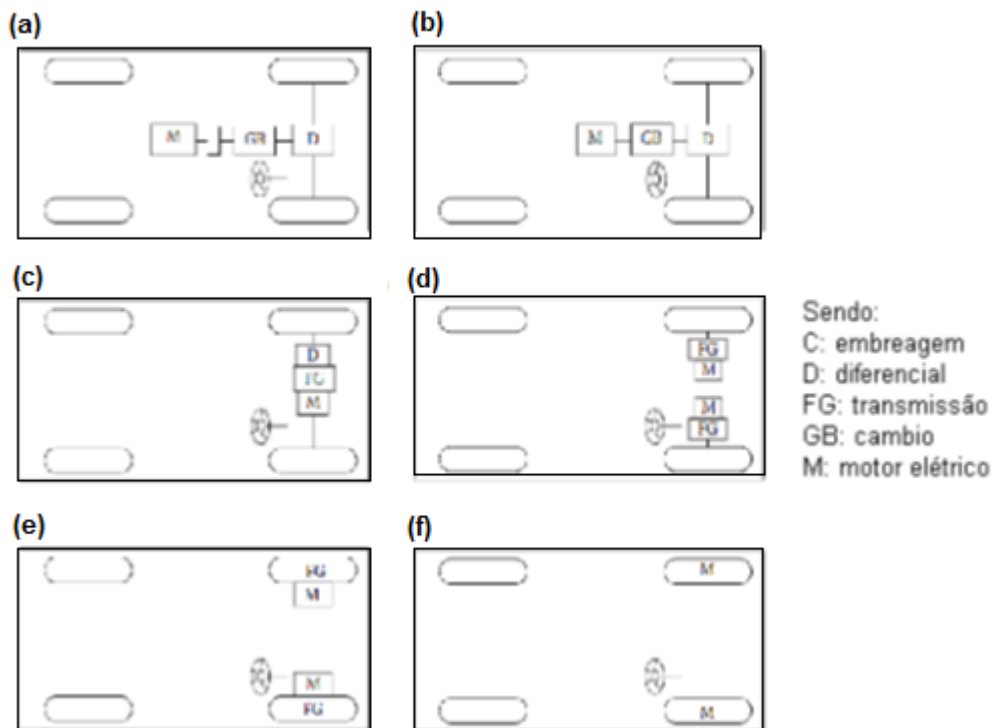


Figura 2 - Principais configurações para VEs em função da disposição do sistema de tração e fonte de energia, (extraído de: (Ehsani, et al., 2010))

Na Figura 2 (a), temos um motor elétrico substituindo um motor de combustão interna (MCI), com embreagem, câmbio e diferencial. Na Figura 2 (b), vemos uma configuração que permite a redução do tamanho e peso, pois utiliza câmbio fixo, não necessitando de embreagem. Na Figura 2 (c), o sistema é semelhante a o anterior, porém mais reduzido e com integração do sistema de transmissão e diferencial. Na Figura 2 (d), o diferencial é substituído por dois motores de tração que acionam a roda do seu respectivo lado. A Figura 2 (e), ilustra como simplificar mais ainda o sistema, o motor de tração pode ser colocado dentro da roda, com acionamento individual. Finalmente na Figura 2 (f), há dois motores elétricos separados, conectados diretamente a cada roda (Ehsani, et al., 2010).

## 2.2 Os veículos elétricos no Brasil

É possível afirmar que o crescimento, ao longo do tempo, da frota de automóveis em um país está diretamente relacionado ao seu nível de desenvolvimento econômico. Pesquisas mostram que o padrão de crescimento ocorrido entre 1960 e 2002 em países como EUA, Alemanha e Japão, também pode ser observado na China, Índia, Brasil e Coreia do Sul. A relação entre o tamanho da frota nacional e o nível de desenvolvimento, medido pelo PIB dos países, apresenta uma curva em S, indicando que (Renato B., et al., 2010):

- a) a frota nacional cresce lentamente quando o país se encontra em níveis relativamente baixos de desenvolvimento;
- b) o crescimento da frota se acelera na medida em que a renda nacional aumenta; e
- c) a frota atinge um nível de saturação quando o país chega a graus 219 mais elevados de desenvolvimento.

A Figura 3 mostra a relação tamanho da frota *versus* o desenvolvimento econômico nos EUA, no Japão, na Alemanha e na Coreia do Sul.

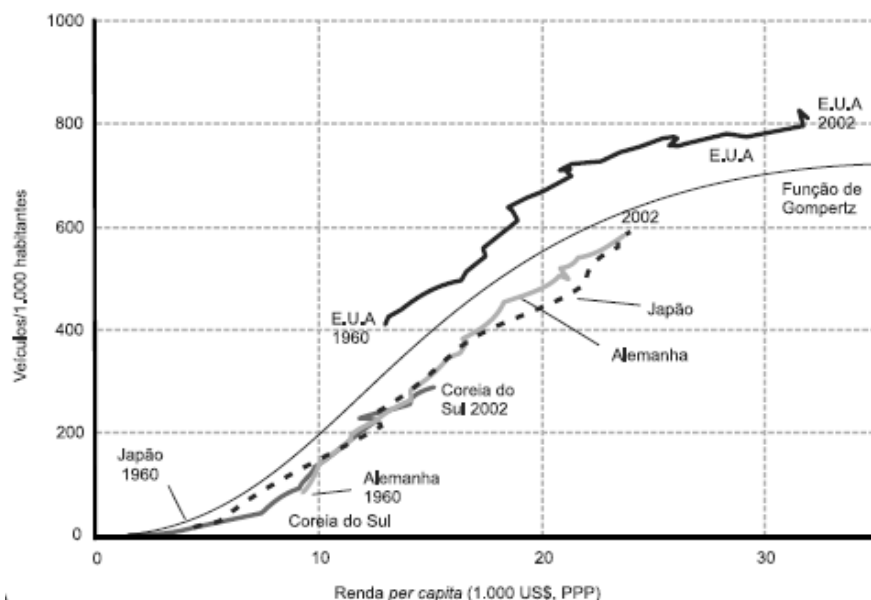


Figura 3 - Frota versus desenvolvimento econômico – EUA, Japão, Alemanha e Coreia do Sul (Renato B., et al., 2010)

De acordo com uma projeção para o Brasil considerando a renda *per capita* de US\$ 15.900 e uma população de 222 milhões de habitantes, em 2030, a frota nacional

seria a quinta maior do mundo, atingindo 83,7 milhões de automóveis, e ficando atrás apenas de China (390 milhões), EUA (314 milhões), Índia (156 milhões) e Japão (86,6 milhões). Isso representaria um crescimento da ordem de 127% em 20 anos, uma vez que a frota atual é de cerca de 36,9 milhões de automóveis. A Figura 4 mostra a relação frota *versus* desenvolvimento econômico em Brasil, China, Índia e Coreia do Sul, em escala logarítmica (Renato B., et al., 2010).

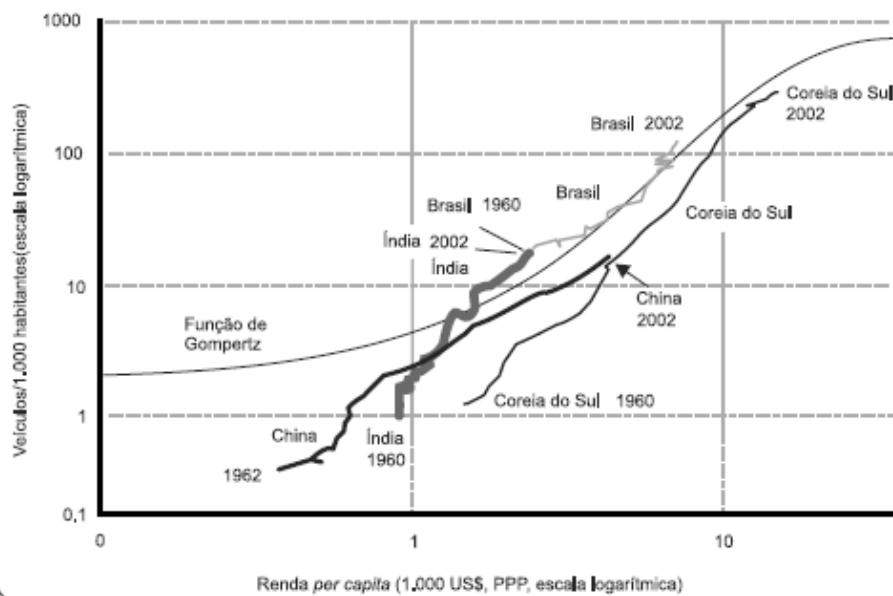


Figura 4 - Frota *versus* desenvolvimento econômico – Brasil, China, Índia e Coreia do Sul (M.F.M., et al., 2004)

Pode-se notar que os países representados na Figura 4 seguem a mesma trajetória dos países representados na Figura 3. O Brasil encontra-se atualmente numa zona de crescimento acelerado e somente deverá atingir o ponto de saturação quando a renda *per capita* ultrapassar os US\$ 30.000. O aumento do número de automóveis no Brasil irá certamente demandar uma quantidade crescente de energia nos próximos anos, o que torna o uso da eletricidade no setor de transportes uma interessante alternativa aos combustíveis utilizados atualmente, tanto sob o ponto de vista estratégico quanto ambiental. Pelo lado estratégico, ocorreria maior diversificação de fontes energéticas para o setor de transportes. A eletricidade no Brasil é gerada localmente e distribuída por um sistema interligado altamente confiável, com um custo relativamente baixo, se comparada aos demais combustíveis líquidos. Além disso, o uso dos veículos elétricos e híbridos

aliado aos *smart grids* permite que estes funcionem como *buffers* da rede de distribuição, carregando suas baterias nas horas de baixa demanda e descarregando-as nos horários de pico. Pelo lado ambiental, reforça o uso de energia elétrica, que no Brasil é gerada quase que totalmente a partir de fontes renováveis [em torno de 85%, de acordo com Ministério de Minas e Energia (MME) (2009)], e reduz o uso do motor de combustão, uma importante fonte emissora de gases de efeito estufa. Além do mais, contribui para aumentar a eficiência energética, já que o motor elétrico tem eficiência da ordem de 90%, contra 30% do motor de combustão (Renato B., et al., 2010).

No Brasil, o carro elétrico pode tornar-se uma alternativa importante, caso se adote, em curto prazo, uma política de incentivo à sua utilização. Dado o nível de desenvolvimento da nossa frota, ainda em estágio inicial, o uso do carro elétrico em larga escala, em detrimento do carro convencional, traria benefícios estratégicos e ambientais efetivos no longo prazo, considerando-se o atual nível de desenvolvimento do país (Renato B., et al., 2010).

### **2.3 Guia de especificações técnicas para baterias**

A bateria é um dispositivo que converte energia química em energia elétrica. Este tópico fornece uma introdução à terminologia usada para descrever, classificar e comparar baterias para veículos híbridos, e elétricos. Ele fornece a fundamentação básica usada para definir uma série de termos que caracterizam as condições de funcionamento de uma bateria, especificações de fabricação usadas para caracterização nominal e do seu sistema de gerenciamento (BMS).

#### **2.3.1 Termos básicos**

**Cell, modules e packs** (célula, módulo e pacotes respectivamente), veículos híbridos e elétricos precisam de baterias de alta capacidade de fornecimento de carga o que pode ser configurado em módulos individuais e células organizadas em série e em paralelo. Uma célula é a menor parte, do *pack* (pacote) de uma bateria e sua tensão varia de acordo com o tipo de célula. Baterias de ion lítio (modelo 18650) apresentam tensão nominal de 3,7 *Volts*. Um módulo é composto por várias células geralmente ligados em série ou em paralelo. A bateria é então um bloco composto pela ligação de módulos em conjunto, seja em serie ou paralelo (MIT, 2008).

**Classificação das baterias** – Nem todas as baterias são fabricadas iguais, inclusive as do mesmo tipo apresentam diferenças. Baterias podem ser de alta potência ou de alta tensão, mas não ambos. Muitas vezes, os fabricantes vão classificar as baterias utilizando essas categorias. Outras nomenclaturas comuns são de alta durabilidade, o que significa que a química foi modificada para proporcionar uma maior duração da bateria em detrimento de potência e energia (MIT, 2008).

**C-rates** - Ao descrever uma bateria, a corrente de descarga ou carga é muitas vezes expressa como uma taxa *C-rate*. A taxa *C-rate* é uma medida da velocidade a que a bateria está descarregando ou carregando em relação à sua capacidade máxima. Uma taxa de 1C significa que a corrente irá descarregar toda a bateria, em 1 hora. Para uma bateria com uma capacidade de 100 Ampéres-horas, isso equivale a uma corrente de descarga de 100 amperes. A taxa de 5C para esta bateria seria de 500 amperes, e uma taxa de C/2 seria 50 amperes (MIT, 2008).

**Células primárias e secundárias** - As baterias para veículos híbridos, e elétricos são todas baterias secundárias. Uma bateria primária é aquele que não pode ser recarregada enquanto a secundária pode ser recarregável (MIT, 2008).

**State of Charge** (Estado de carga) (SOC)(%) – Expressa a atual capacidade da bateria como um percentual da capacidade máxima. SOC é geralmente calculado utilizando a integração da corrente para determinar a alteração na capacidade da bateria ao longo do tempo (MIT, 2008).

**Depth of Discharge** (Profundidade de descarga) (DOD)(%) – Expressa a porcentagem da capacidade da bateria que tem sido descarregada como uma porcentagem da capacidade máxima. Uma descarga de pelo menos 80% DOD é referido como uma descarga profunda (MIT, 2008).

**Cut-off Voltage** (tensão de corte) - A tensão mínima permitida, para que não ocorra danos a bateria.

**Capacidade nominal** (A/h (Ampére/hora) por uma *C-rate* específica) - O total de A/h disponíveis quando a bateria está descarregando a uma determinada corrente (especificado como uma *C-rate*) a partir de 100 % do *state-of-charge* para o *cut-off voltage*. A capacidade é calculada multiplicando-se a corrente de descarga (em Ampéres) por seu tempo (em horas).

**Energia nominal** (W/h (Watts/hora) por *C-rate* específica) - A "capacidade de energia" de uma bateria, o total de Watts/hora disponíveis quando a bateria está descarregando a uma determinada corrente (especificado como uma *C-rate*) a partir de 100% do state-of-charge para o cut-off voltage. A energia é calculada multiplicando-se o poder de descarga (em Watts) por seu tempo (em horas) (MIT, 2008).

**Energia específica** (Wh/kg) - A energia nominal de uma bateria por unidade de massa, às vezes referida como a densidade gravimétrica de energia. A Energia específica é uma característica química da bateria e do seu *pack*. Juntamente com o consumo de energia do veículo, ela determina o peso da bateria necessária para alcançar um determinado intervalo de fornecimento de carga (MIT, 2008).

**Potência específica** (W/kg – *Watts/Quilograma*) – A potência máxima disponível por unidade de massa. É uma característica da química da bateria e de seu *pack*. Ela determina o peso necessário da bateria para alcançar um determinado desempenho.

**Densidade de energia** (Wh/L *Watts-hora/litro*) – É a energia nominal da bateria por unidade de volume, às vezes referida como a densidade volumétrica de energia. Energia específica é uma característica química e do seu *pack*. Juntamente com o consumo de energia do veículo, ela determina o tamanho necessário da bateria para alcançar um determinado intervalo de autonomia (MIT, 2008).

**Densidade de Potência** (W/L – *Watts/litro*) - A potência máxima disponível por unidade de volume. Potência específica é uma característica química da bateria e do seu *pack*. Ela determina o tamanho da bateria necessária para alcançar um determinado desempenho (MIT, 2008).

**Corrente máxima com descarga contínua** - A corrente máxima no qual o bateria pode ser descarregada de forma contínua. Este limite é geralmente definido pelo fabricante da bateria, a fim de evitar taxas excessivas de descarga que iria danificar a bateria ou reduzir sua capacidade. Juntamente com a potência máxima contínua do motor, esta define a velocidade sustentável máxima e aceleração do veículo (MIT, 2008).

**Tensão de carga** – Nível de tensão que caracteriza capacidade plena da bateria. Sistemas de carregamento geralmente consistem de uma corrente de carga constante até a tensão da bateria atingir a tensão de carga, em seguida, o carregamento continua por tensão constante, permitindo que a corrente de carga atinja valores muito pequenos.

**Corrente de carga** - A corrente ideal que a bateria é inicialmente carregada (representa cerca 70% SOC), sob regime constante antes da transição para o carregamento por tensão constante (MIT, 2008).

**Resistência Interna** - A resistência dentro da bateria, geralmente diferentes para carga e descarga (MIT, 2008).

## 2.4 Sistema de Gerenciamento de Baterias (BMS) em veículos elétricos

Com o crescimento da demanda de veículos elétricos e híbridos surgiram diversas alternativas para o completo gerenciamento do conjunto elétrico. Encontramos nos principais fabricantes de circuitos integrados diversas soluções. Contudo ao passo que os sistemas de gerenciamento de baterias de computadores portáteis e *smartphones* estão abrangendo todas as células do conjunto, isso não acontece com os veículos elétricos e híbridos. Isto ocorre por que o número de células na bateria é razoavelmente maior do que nos dispositivos portáteis. Além do fato do mesmo possuir características de demanda de tensão e corrente totalmente diferente, tornando o projeto destes dispositivos muito complexo (energies, 2011).

Basicamente encontramos três topologias de *hardwares* que caracterizam os sistemas BMS, que são as estruturas centralizadas, modulares e distribuídas. Entretanto as funções encontradas são semelhantes. A Tabela 1 mostra um comparativo entre os sistemas de BMS mais populares encontrados, salientando que essa referência de pesquisa é de outubro/2011, sendo hoje encontrado dispositivos superiores como é o caso da família de integrados da *infineo*: 32-bit TriCore™ AURIX™ - família de microcontroladores, OptiMOS™ MOSFETs de baixa tensão, TLE 6250/51 e TLE 6389-2GV – *tranceivers* CAN, TLE 42994GM - reguladores de tensão (<http://www.infineon.com> - site acessado: 05/02/14). Além de outros da *Texas Instruments* e *Maxim Integrated*, entre outros.

	<b>Maxim DS2726</b>	<b>TI BQ78PL114</b>	<b>OZ890</b>
Parâmetros medidos na célula	tensão, corrente	# tensão, corrente # temperatura, impedância	tensão, corrente
Parâmetros medidos no <i>pack</i> de baterias	N/A	N/A	temperatura
sistema de proteção	# sobre / sub tensão # sobre corrente # corrente de curto-circuito	# prova de falhas de operação; # circuitos de proteção do conjunto; # três FETs de potência; # segurança secundária por fusível de saída;	# sobre / sub a tensão, # sobre a corrente / curto-circuito, # limites superior / inferior de temperatura
<i>Data Logging</i>	Não	somente <i>PC-based GUI</i>	EEPROM
Comunicação	desconhecida	<i>PowerLAN, SMBus</i>	CAN
estimativa SOC/SOH/SOL	Não	SOC	SOC
Balanceamento da célula dissipativo	<i>charge shunting</i>	N/A	equalização por resistência externa
Balanceamento de células não-dissipativo	N/A	Indutivo	N/A

Tabela 1 - Comparativo entre sistemas BMS (adaptado de: (energies, 2011))

Para os sistemas apresentados na tabela 1 podemos citar algumas desvantagens:

- limitação da função de registro de dados (*Data Logging*), o que limita a atualização do *state of charger* (SOC) e demais sistemas (energies, 2011);
- Falta de um sistema capaz de estimar o estado de saúde (SOH - *state of health*) e estado de vida (SOL - *state of life*). SOH e SOL são utilizados para caracterizar o estado de saúde atual e do desempenho restante da bateria que vai garantir o funcionamento confiável do veículo e manutenção programada da substituição da bateria (energies, 2011)
- Não intercambiáveis. Cada dispositivo tem modo próprio de equilíbrio entre as células e mecanismo de comunicação (energies, 2011).

Um sistema de carga deve incorporar em sua construção um sistema de gerenciamento de bateria, comumente chamado BMS (*battery management system*). Um sistema BMS deve determinar, monitorar e tomar algumas ações em função das características da bateria e das fases de carga e descarga. Abaixo listamos algumas das principais funções de um sistema BMS (Tavares, 2009)

- Determinação do estado de carga da bateria – SOC (*state of charger*)
- Determinação do estado de “saúde” da bateria – SOH (*state of health*)

- Capacidade de armazenar informações dos processos de carga, tais como capacidade e corrente de carga, tensões, temperatura, etc. Estes dados podem ser confrontados com eventuais dados do fabricante da bateria gerando um sistema de diagnóstico e no controle da mesma.
- Capacidade de execução de determinados algoritmos em função das características apresentadas.
- Otimização do processo de carga, o sistema deve ser capaz de alterar ou otimizar as características de carregamento independente do desgaste da bateria.
- Controle de temperatura, o sistema deve atuar no processo no caso de aquecimento.
- Proteção contra curtos-circuitos, inversão de polaridade e perda de isolamento elétrico.
- Equalização do nível de carga entre as células ou módulos que constituem o sistema de bateria.
- Profundidade de descarga – DOD (*depth of discharge*), controle de descarga de uma bateria, quando a mesma esta em uso.
- Estado de vida da bateria - SOL (*State of Life*), representa uma estimativa do número de ciclos da bateria e em função destes, pode interagir com o sistema de carga.

#### 2.4.1 O Sistema SOC (*state of charger*)

Esta informação é de grande importância para o sistema, e deve ser interpretada como sendo a razão entre a capacidade disponível e a capacidade total da bateria (Tavares, 2009). Existem varias formas de se definir o SOC, tais como: medição de impedância, medição de carga, medição da tensão em circuito aberto, redes neurais, dentre outros, cada um com características próprias.

A relação da capacidade instantânea que está disponível pode ser expressa como (*energies*, 2011):

$$SOC = 1 - \frac{\int i dt}{C_n}$$

Equação 1 - Relação de capacidade em um sistema SOC

Onde:  $i$  é a corrente, e  $C_n$  é a capacidade máxima da bateria.

O SOC reflete a quantidade de carga que resta, e está disponível para a bateria. Pode ser usado para determinar o tempo de carregamento em um veículo elétrico, e ao

mesmo tempo em veículos híbridos pode indicar o momento de entrada do motor de combustão interna. Devido às reações químicas da bateria e diferentes cargas externas, a capacidade máxima da bateria diminui gradualmente ao longo do tempo (*energies*, 2011).

A abordagem mais simples para a estimativa SOC é por um contador *Coulomb*. Este método calcula a capacidade de uma bateria através da integração da corrente que flui da bateria ao longo do tempo. SOC podem ser obtidas consultando o ponto de calibração em plena carga. No entanto, este ponto de referência (ou seja, o ponto inicial) vai mudar devido ao envelhecimento da bateria e eficiência. Assim, o ponto de referência deve ser compensado quando operando em condições práticas, e a estimativa SOC deve ser atualizado sob diferentes tensões medidas. Construir tabela entre a capacidade de descarga e tensão de circuito aberto se faz necessário para este método de determinação de SOC (*energies*, 2011).

Neste estudo será utilizado o método da medição da tensão em circuito aberto, devido a sua fácil implementação, custo e boa aproximação do estado real, associado ao contador *Coulomb*. No entanto esse método apresenta alguns problemas para sua implementação em baterias de tração utilizadas VE sobre tudo devido a instabilidade de tensão entre as células nos momentos de carga ou descarga, sendo necessário aguardar algum tempo para a estabilidade, o que pode comprometer o seu uso em sistemas dinâmicos, mas esse fator é atenuado usando-se o contador *Coulomb* que assume a função temporal de fornecimento de corrente.

Diversos testes são necessários para correlacionar a tensão em circuito aberto e a capacidade disponível, tendo este dados agrupados em tabelas e gráficos.

#### **2.4.2 O sistema SOH (State of Health)**

O sistema SOH tem a função de indicar o estado físico de uma bateria, que vai desde o comportamento interno, tais como a perda de capacidade nominal, ao comportamento externo, como as condições severas. Ao contrário do sistema SOC, não há uma clara definição de SOH (*energies*, 2011). A definição geral de SOH é que ele reflete o estado de saúde de uma bateria e sua capacidade de proporcionar um desempenho específico em função de algumas características pela qual o sistema já foi submetido e algumas componentes comportamentais, tais como tempo de descarga correlacionando com a bateria nova. O SOH em aplicações para veículos elétricos pode

ser utilizado para caracterizar a capacidade de dirigir uma distância ou o alcance específico. SOH em VEH pode atuar no processo de determinação de regeneração energética. Estudiosos e fabricantes usam o percentual da capacidade nominal como o limiar de saúde da bateria (*energies*, 2011). Quando a capacidade reduz-se para 80% em relação a capacidade inicial o sistema ela definitivamente apresenta uma falha. No entanto, estudos têm definido regras e indicadores diferentes para quantificar o SOH em termos de características da bateria, equipamento de teste, e diferentes aplicações, como sendo indicada pela diminuição do intervalo de condução com uma bateria totalmente carregada, perda da capacidade de aceleração, atenuação de potência devido a um aumento da impedância das células durante o envelhecimento (*energies*, 2011).

#### **2.4.3 O Sistema SOL (*State of Life*)**

O sistema SOL também é conhecido como o tempo de vida útil restante de uma bateria. Previsões precisas do SOL vão facilitar a prevenção e manutenção do *pack* de baterias. No entanto, no passado, os trabalhos para determinação desta característica foram muito limitados (*energies*, 2011). Com as crescentes exigências de confiabilidade para sistemas de baterias, especialmente em produtos militares, têm promovido o desenvolvimento de algoritmos cada vez mais robustos para essa determinação (*energies*, 2011).

#### **2.4.4 O Sistema DOD (*depth of discharge*)**

O sistema DOD (descarga em profundidade) é usado para descrever o quão profundamente a bateria está descarregada. É um termo expresso como uma porcentagem da capacidade máxima. Se dizemos que uma bateria esta 100% carregada, isso significa que o DOD desta bateria é de 0%, esse mecanismo é conhecido como sendo complemento do sistema SOC, pois funciona de modo análogo.

Uma descarga de pelo menos 80% DOD é designada como uma descarga profunda, e neste ponto que alguns sistemas atuam desligando-se para que não ocorra um DOD superior o que danificaria permanentemente a bateria (MIT, 2008).

## 2.5 Normas de referência

Com relação ao cenário atual para veículos elétricos com sistemas de baterias, não foi encontrada referências no mercado brasileiro, no que tange regras e normas para utilização, não existindo nenhuma norma que trate dessa área, apenas normas internacionais, dentre elas podemos destacar:

- SAE J2464 *Electric Vehicle Battery Abuse Testing* - É um dos principais guias de orientação de testes de baterias para veículos elétricos e híbridos na América do Norte e no mundo. Esses testes são realizados para caracterizar a resposta de uma bateria recarregável de sistemas de armazenamento de energia para condições fora do normal ou ambientes que podem ser razoavelmente esperados a ocorrer, mesmo que muito raramente;
- SAE J2380 *Vibration Testing of Electric Vehicle Batteries* – Esta norma descreve os testes de resistência a vibração de uma bateria;
- SAE J2344 *Guidelines for Electric Vehicle Safety* – Norma que especifica um relatório para identificar e definir as orientações técnicas preferenciais em matéria de segurança para veículos elétricos, durante a operação normal e de carga;
- SAE J2293 *Energy Transfer System for Electric Vehicles* - estabelece requisitos para os veículos elétricos e equipamentos de abastecimento *off-board*, usados para transferir energia elétrica a um VE de um Sistema de Energia Elétrica;
- SAE J2289 *Electric Drive Battery Pack System Functional Guidelines* - Este documento fornece as diretrizes para a concepção de um sistema de bateria para veículos elétricos;
- SAE J2288 *Life Cycle Testing of Electric Vehicle Battery Modules* – Esta prática define um método de teste padronizado para determinar a vida útil esperada, em ciclos, de módulos de bateria de veículos elétricos;
- SAE J1798 *Recommended Practice for Performance Rating of Electric Vehicle Battery Modules* - O documento cria os padrões de desempenho necessários para determinar:

- (a) Quais os parâmetros básicos de desempenho dos módulos de baterias de VE(s)
- (b) Se os módulos de bateria atendem as especificações mínimas de desempenho estabelecidas pelos fabricantes de veículos;
- SAE J1797 *Recommended Practice for Packaging of Electric Vehicle Battery Modules* - Esta norma fornece recomendações para projetos de baterias através da descrição das dimensões, retenção, sistema de ventilação, e outros recursos necessários em uma linha de montagem de veículos elétricos;
- SAE J1773 *Electric Vehicle Inductively Coupled Charging* - estabelece os requisitos mínimos de compatibilidade de interface para veículos elétricos indutivamente acoplados;
- SAE J1772 *Electric Vehicle Conductive Charge Coupler* – Esta norma fornece os requisitos operacionais, funcionais e dimensional para conectores de acoplamento de carga da entrada de veículos;
- SAE J1766 *Recommended Practice for Electric and Hybrid Electric Vehicle Battery Systems Crash Integrity Testing (Work in progress)* - é aplicável a todos os projetos de Veículo Elétrico e Veículo Elétrico Híbrido, incluindo aqueles descritos na norma SAE J1797. O objetivo desta norma é definir métodos de ensaio e critérios de desempenho que avaliam a descarga, retenção de carga e sistema de isolamento elétrico em veículos elétricos e híbridos durante testes de colisão.

## 2.6 Baterias

Historicamente marca-se o aparecimento das baterias a partir do ano de 1800, quando Alessandro Volta publicou seus estudos. A bateria construída por Volta consistia de uma série de discos de metais diferentes, sendo os mais usados, zinco e prata. Postos alternadamente em camadas e entre eles um papel ou couro embebido com uma solução eletrolítica de cloreto de sódio.

A Figura 5 mostra a evolução das baterias primárias, ou seja, aquelas que após sua descarga têm de ser substituídas, enquanto que a Figura 6 mostra os principais marcos evolutivos das baterias secundárias - baterias recarregáveis (Root, 2010).

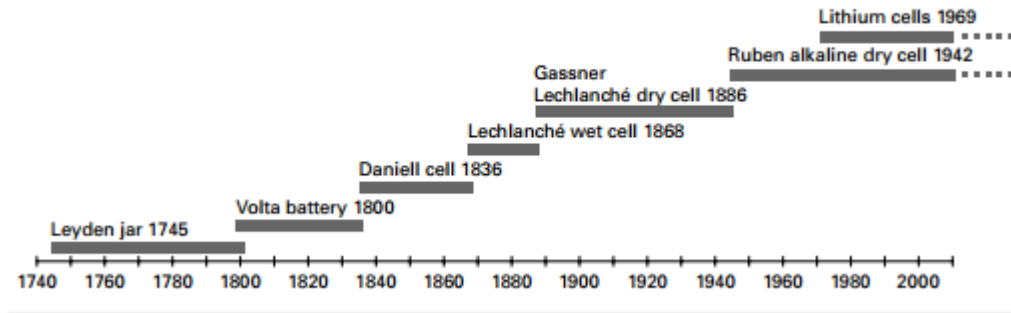


Figura 5: Evolução das baterias primárias, (Root, 2010)

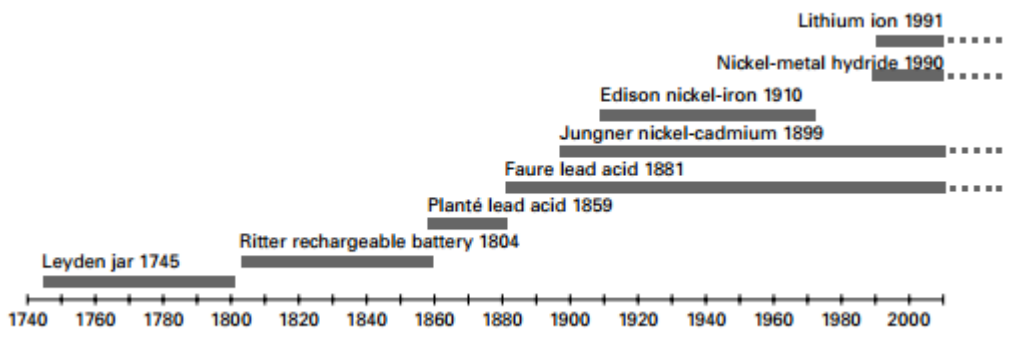


Figura 6 - Evolução das baterias secundárias, (Root, 2010)

### 2.6.1 Processo de conversão de energia

Basicamente, as baterias em seu processo, convertem energia química para energia elétrica, e são compostas por uma ou mais células eletroquímicas que acompanham pelo menos três elementos ativos: ânodo, cátodo e eletrólito, conforme visto na Figura 7. O ânodo (negativo) libera elétrons, o cátodo (positivo) recebe os elétrons, e a solução eletrolítica contém os íons móveis, com cargas positivas e negativas (cátions e ânions respectivamente). Para que haja a movimentação de cargas entre seus terminais é necessário que aconteça o fechamento do circuito, e os íons da solução eletrolítica são os responsáveis por completar o circuito entre as células da bateria (Root, 2010).

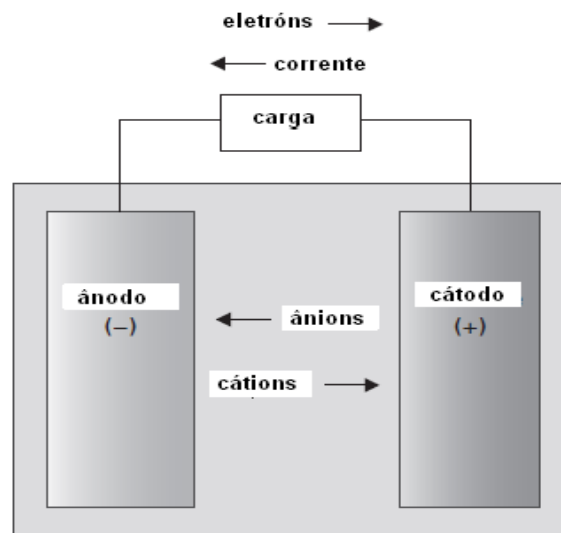


Figura 7 - Componentes básicos de uma célula eletroquímica (adaptado de: (Root, 2010))

Estando o circuito fechado tem-se a movimentação de elétrons através do circuito externo do ânodo para o cátodo, nos ânions da solução eletrolítica (íons negativamente carregados) movem-se do cátodo da célula para o ânodo, enquanto os cátions (íons positivamente carregados) movem-se do ânodo para o cátodo.

### 2.6.2 Baterias de íon lítio

Comercializadas no início da década de 90 pela Sony, essas baterias ganharam definitivamente seu espaço, principalmente no mercado de eletro portáteis, sendo mais recentemente empregada em VEs e em grandes sistemas de armazenamento para energia eólica e solar (Root, 2010).

De forma genérica podemos dividir uma bateria de íon lítio em quatro partes básicas: eletrodo positivo (cátodo), eletrodo negativo (ânodo), eletrólito e um separador. A maioria dos eletrodos negativos, são compostos basicamente por carbono grafite ou coque; os eletrodos positivos são atualmente de oxido de metal ou fosfatos compostos, e são sintetizados com o lítio, com base de manganês ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ), Cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ) e níquel ( $\text{LiNiO}_2$ ). O eletrólito é formado por uma mistura de solventes orgânicos apróticos e sais de lítio. O separador é basicamente uma fina película geralmente formado por algum polímero com pequenos furos, e tem a função de separar os dois eletrodos e permitir a transição de íons entre eles (Root, 2010).

As células de íons de lítio funcionam através de um mecanismo químico chamado intercalação iônica, que é descrito pela difusão de íons de lítio ( $\text{Li}^+$ ) através das redes

cristalinas dos eletrodos ora intercalando em um, ora em outro. A intercalação de um íon  $\text{Li}^+$  em um eletrodo requer obrigatoriamente para manter sua neutralidade a intercalação de um elétron. O eletrodo que recebe o íon intercalante e conseqüentemente um elétron é reduzido, enquanto o outro eletrodo que cede o íon intercalante e conseqüentemente um elétron é oxidado (Linden, et al., 2002).

Quando as baterias íon lítio são confeccionadas o eletrodo positivo está com grande quantidade de íons e o negativo vazio, A primeira reação possível é a de intercalação dos íons  $\text{Li}^+$  do eletrodo positivo para o eletrólito e a conseqüente intercalação dos íons  $\text{Li}^+$  do eletrólito para o negativo. Simultaneamente um elétron deve deixar o cátodo e migrar para o ânodo, via circuito externo. Este processo (CARGA) não é espontâneo, sendo necessário uma fonte de energia elétrica externa para sua realização. A tensão elétrica inicial entre os eletrodos (dependendo da composição do cátodo) é de aproximadamente 3,00V indo para 4,20V quando a bateria atinge sua carga máxima (cátodo empobrecido de  $\text{Li}^+$  e ânodo rico em  $\text{Li}^+$ ). O processo inverso (DESCARGA) é espontâneo. Nele os íons  $\text{Li}^+$  saem do ânodo de grafite intercalando no catodo, desde que um elétron siga a mesma direção, mas pelo circuito externo (utilização da bateria). Os processos de carga e descarga de uma bateria de íon lítio requerem especial controle tanto nas taxas de corrente como nos limites de potencial (Linden, et al., 2002).

A Figura 8 representa esse processo.

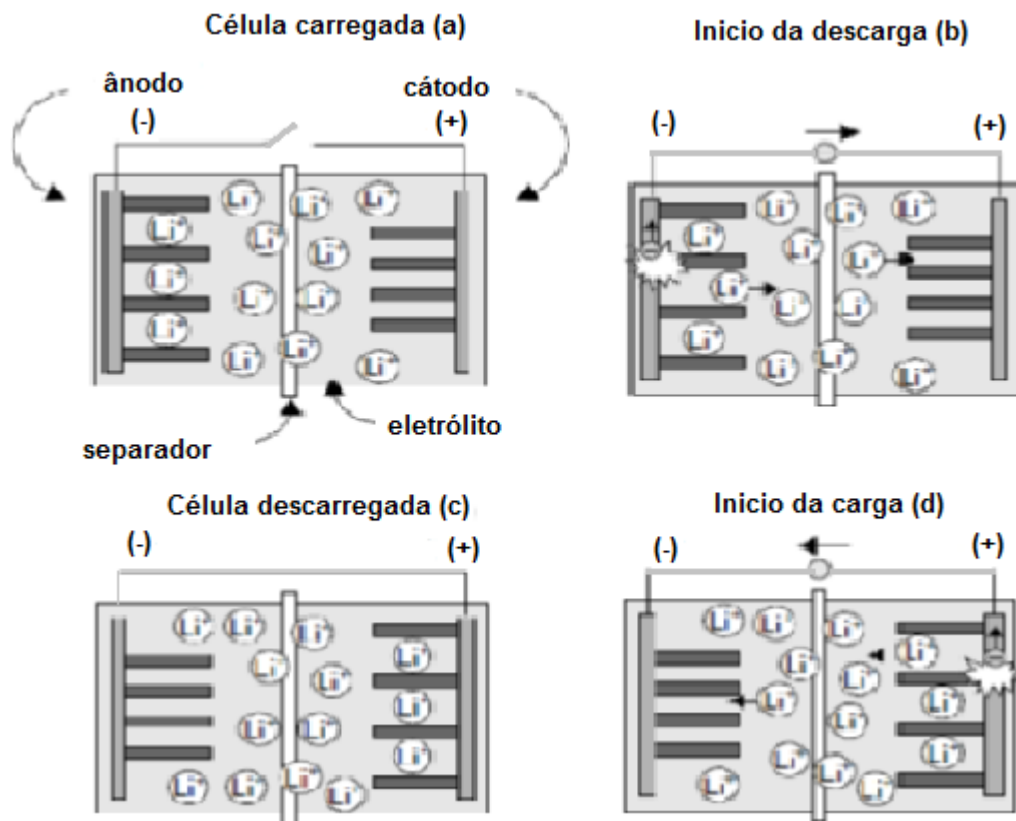


Figura 8 - Processo de carga e descarga de uma célula de íon lítio (adaptado de: (Root, 2010))

### 2.6.3 Comparação entre baterias recarregáveis

Alguns pontos devem ser observados na escolha de uma bateria, tais como: potência, tensão, número de ciclos de carga e descarga que a bateria suporta, tamanho, etc. A Tabela 2 faz um comparativo entre as principais baterias recarregáveis do mercado nos dias de hoje. Nesta ilustração vemos que as baterias de íon lítio oferecem uma excelente alternativa frente as demais apresentadas (Kester, et al.).

	Chumbo-ácido	Níquel cádmio	Hidreto de metal de níquel	ion lítio
Tensão média na cel. (V)	2	1.20	1.25	3.6
Densidade energia (Wh/Kg)	35	45	55	100
Densidade energia (Wh/l)	85	150	180	225
Custo (\$/Wh)	0.25 - 0.50	0.75 - 1.5	1.5 - 3.0	2.5 - 3.5
Efeito memória?	No	Yes	No	No
Auto descarga (%/mês)	5 - 10	25	20 - 25	8
Taxa de descarga	<5C	>10C	<3C	<2C
Ciclos de carga/descarga	500	1000	800	1000
Faixa de temperatura (°C)	0 to +50	-10 to +50	-10 to +50	-10 to +50
Danoso ao ambiente	Sim	Sim	Não	Não

Tabela 2 - Comparação entre algumas baterias encontradas no mercado – referência a uma célula AA, (Adaptado de: (Kester, et al.)).

#### 2.6.4 Formas de carregamento

A diferença entre um bom carregador de baterias e uma fonte comum está no fato do carregador suprir algumas especificidades da bateria, aliando características de carga, segurança e eficiência.

Os regimes de carga são caracterizados pelo tempo que se leva para carregar a bateria e são definidos como: carga lenta, carga rápida e carga ultra rápida. Esse tempo está ligado à capacidade do carregador produzir uma determinada corrente e à capacidade da bateria em aceitá-la.

Usualmente, a carga de uma bateria pode ser por tensão constante, corrente constante ou a combinação dos dois, tendo esses métodos muitas variações.

O método de carregamento e, conseqüentemente o circuito de carregamento é implementado em função do tipo de bateria que se deseja carregar. Um sistema de carregamento sempre possui características próprias, sendo indicado apenas para o tipo de bateria para o qual foi projetado.

##### 2.6.4.1 Carga por tensão constante (CV)

Neste método de carregamento controla-se a tensão durante a carga da bateria e a sua condição determina a corrente de carga. A tensão de carga é ajustada para um nível em que se carregue a bateria o mais rápido possível, respeitando os limites de tensão da célula e temperatura, para não gerar reações indesejáveis, tais como sobreaquecimento,

carregamento insuficiente ou mesmo causar danos à bateria. Outro item a ser controlado nesse processo é a corrente da célula. No momento em que se inicia o processo de carga por esse método, a corrente pode ir a níveis muito elevados, gerando aquecimento e provocando diminuição da vida útil da bateria. Para que isso não ocorra limita-se a corrente. A Figura 9 representa esse processo.

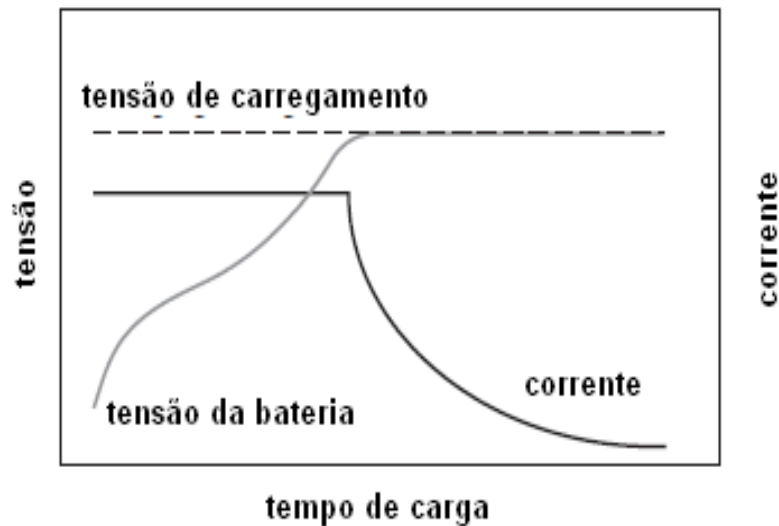


Figura 9 - Carga por tensão constante, incluindo limite de corrente, com resposta da bateria de tensão e corrente, (extraído de: (Root, 2010)).

#### 2.6.4.2 Carga por corrente constante (CC)

Um método de carga muito usado para diferentes sistemas de bateria, inclusive íon lítio, é por corrente constante (CC) (Freitas, 2010). O gráfico da Figura 10 representa esse processo.

Esse gráfico mostra a carga com corrente constante e a resposta em tensão e corrente da bateria.

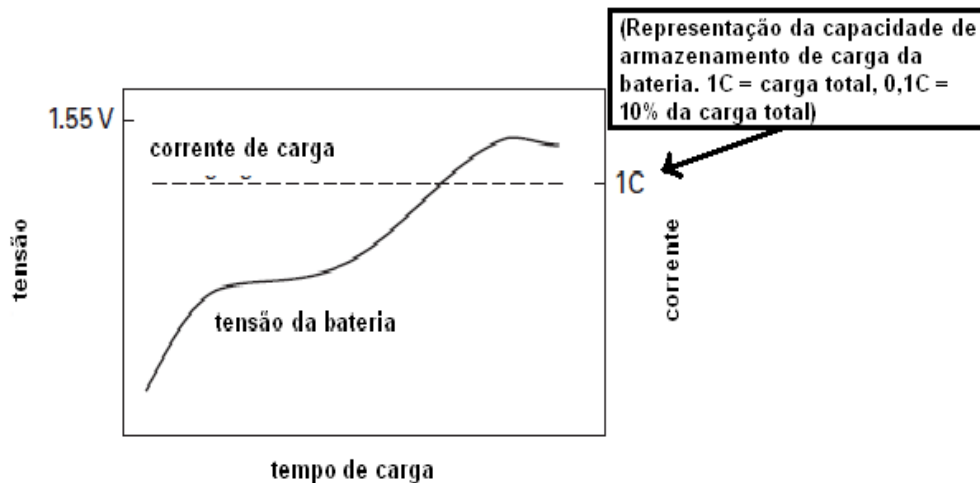


Figura 10 - Carga com corrente constante e resposta em tensão, (adaptado de: (Root, 2010)).

Apesar deste método constituir uma alternativa simples e econômica, ele apresenta algumas desvantagens críticas para um sistema de carga sobre tudo para baterias íon lítio, dos quais podemos destacar: formação de “furos” na superfície dos eletrodos, resultado da baixa corrente de carga aplicada que gera reações em sua superfície, diminuindo os ciclos de carga/descarga da bateria; se quisermos diminuir o tempo de carga temos que aumentar a intensidade de corrente, o que pode provocar sua sobrecarga devido ao aquecimento interno, ou ainda diminuição da eficiência do processo de carga (Tavares, 2009).

#### 2.6.4.3 Carga por corrente constante e tensão constante (CCCV)

Esse é o método de carga mais usado nas baterias de íon lítio e está dividido em duas etapas conforme representado na Figura 11. O sistema de carga deve aplicar uma taxa de corrente que pode variar desde 0,1C até 1C. O fato decorrente da taxa de corrente aplicada ao sistema é o tempo de carga, sendo que para taxas de carregamento menores teremos um tempo de carga maior. A Tabela 3 representa um comparativo de tempo de carga para as baterias mais comuns encontradas no mercado. Onde TCO representa a terminação da carga por limite de temperatura (*temperature cut-off*).

Tipo de bateria	SLA		NiCd		NiMH		íon Lítio	
Tipo de Carga	Lenta	rapida	Lenta	rapida	Lenta	rapida	Lenta	rapida
Corrente	0,25C	$\geq 1,5C$	0,1C	$\geq 1,0C$	0,1C	$\geq 1C$	0,1C	1C
Tensão (V/Cell)	2,27	2,45	1,5	1,5	1,5	1,5	4,1 ou 4,2	4,1 ou 4,2 $\pm$ 50mV
tempo (hr)	24	$\leq 1,5$	16	$\leq 3$	16	$\leq 3$	16	2,5
Faixa de temperatura	0°/45°C	0 a 30	5°/45°C	15 a 40	5°/40°C	15 a 40	5°/40°C	10 a 40
terminação	não		não		tempo		tensão limite	
terminação primaria		$I_{min}$ , $\Delta TCO$		$-DV$ , $dT/dt$		$dT/dt$ , $dV/dt = 0$		$I_{min}$ @ imite de tensão
terminação secundaria		tempo, $\Delta TCO$		$TCO$ , tempo		$TCO$ , tempo		$TCO$ , tempo

Tabela 3 - comparativo entre carga rápida e lenta para baterias íon lítio (adaptado de: (Kester, et al.).

Na etapa de carga por corrente constante a bateria se carrega até cerca 70 à 80% de sua capacidade. Quando a bateria atinge cerca de 4,2 volts, que é a tensão de carga máxima de cada célula, o carregamento passa ser por tensão constante, sendo esse um valor máximo recomendado. Quando a bateria está sendo carregada por tensão constante a corrente diminui com o tempo e o carregamento se finaliza quando essa corrente atinge um valor que esta em torno de 0,1C de sua capacidade nominal (Root, 2010).

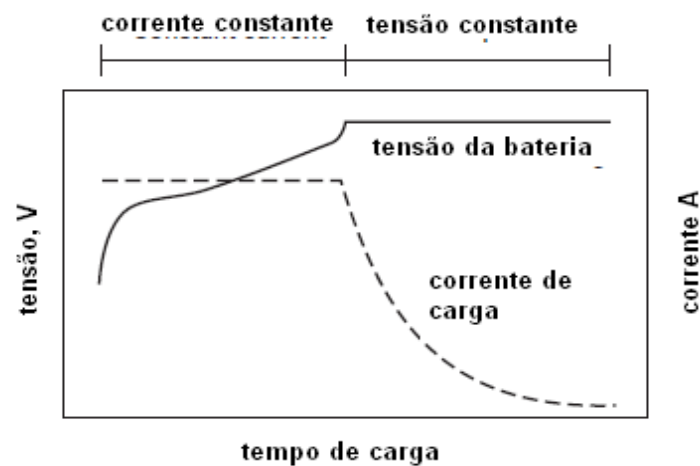


Figura 11 - Carga por CCCV com resposta em tensão e corrente (adaptado de: (Root, 2010)).

#### 2.6.4.4 Pulsos de corrente

Este método foi concebido para diminuir os problemas gerados pela carga por CC. Ele caracteriza-se pela aplicação de pulsos de corrente em períodos definidos seguidos de períodos de corrente nula, permitindo uma maior estabilização das reações químicas, proporcionando a minimização de eventuais reações não desejadas e diminuição da temperatura da célula (Tavares, 2009).

A Figura 12 representa este processo, os pulsos negativos referenciam o método de carga *reflex charging*, que será discutido na sequência.

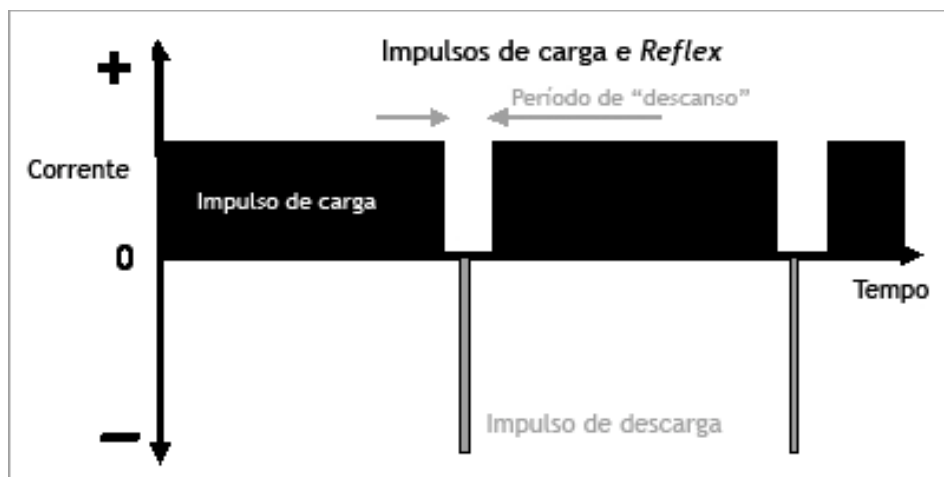


Figura 12 - Carga por pulsos de corrente, (adaptado de: (Tavares, 2009)).

#### 2.6.4.5 Reflex charging

Este método tem o mesmo processo que por pulsos de corrente, sendo adicionado um pulso negativo (Figura 12). Adiciona-se um pequeno pulso de descarga no período de "descanso" que tipicamente pode ser de 2 a 3 vezes a magnitude do pulso de carga com um tempo inferior a 5 microssegundos. Este processo traz como benefício uma melhor estabilização das reações químicas no interior da bateria, ajudando também a eliminar os dentrites formados nos eletrodos (Tavares, 2009).

#### 2.6.4.6 Corrente constante – *Mult-step*

Para aperfeiçoar o método de carga por CC, criou-se a solução de aplicar degraus de corrente ao invés de corrente constante. À medida que se chega a situações prejudiciais a bateria, se diminui a grandeza do *step* de carga, devendo compreender pelo menos dois pulsos de diferentes correntes. À medida que se aumenta a quantidade de pulsos, temos uma carga da bateria mais rápida (Figura 13).

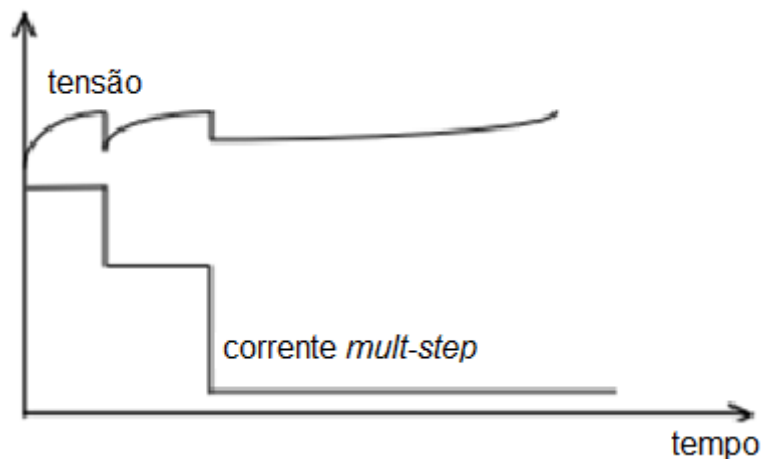


Figura 13 - Carga corrente constante – *mult-step*

Associando-se a uma maior eficiência, temos os parâmetros de temperatura limites de corrente e sobrecarga que devem ser devidamente monitorados e controlados (Tavares, 2009).

### 2.7 Desempenho e cuidados

Alguns fatores podem ser influenciadores no desempenho das baterias, perdas por polarização que consomem uma pequena parte da energia, ocorrendo na transição de cargas entre os eletrodos; perdas relacionadas a impedância interna que provoca uma queda de tensão nas células, que normalmente denomina-se polarização ôhmica ou “queda” IR (*Internal resistance*) sendo proporcional a corrente do circuito (Freitas, 2010).

Em relação há vida útil das baterias de íon lítio que é pré-estabelecida pelo número de ciclos de carga e descarga, levando em conta uma série de fatores físicos e ambientais. O ciclo de uma bateria de íon lítio é a soma cumulativa de carga e descarga, assim se tivermos uma bateria que apresente duas ocorrências de descarga de 50% e quatro ocorrências de carga de 25% temos um ciclo.

Outro fator que está associado a baterias é a auto descarga, e esta relacionada sobre tudo as condições em que as estão armazenadas, para baterias de íon lítio está em torno de 5% nas primeiras 24 horas e de 1 a 2% a cada mês subsequente (Freitas, 2010). A expectativa de vida de uma bateria de íon lítio esta entre 300 e 1000 ciclos sendo que com uso, decai-se a capacidade de carga.

As baterias íon lítio devem operar em temperatura adequada, possuir controle de carga e descarga, essas especificações e características devem ser obedecidas sob pena de diminuir sua vida útil, ou em um pior caso danificar permanentemente. Um exemplo da influência do limite de tensão de carga pode ser visualizado na Figura 14. Onde observamos que tensões acima da capacidade nominal diminuem a vida útil da bateria. Aplicar uma tensão de 4,35 V a quantidade de ciclos diminui razoavelmente, ao contrário da carga com 4,2 V.

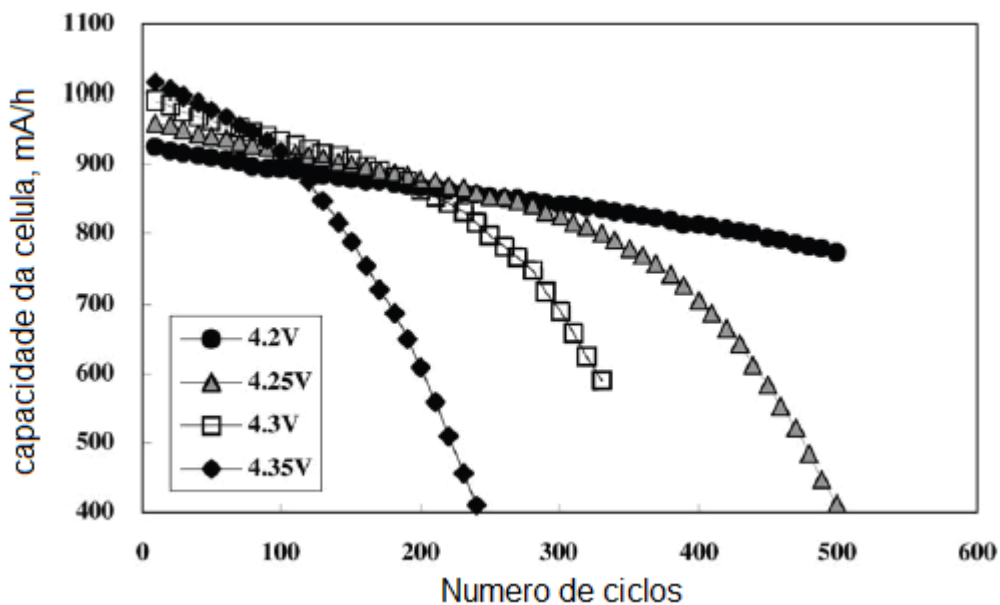


Figura 14 - Ciclos de vida de uma bateria íon lítio em função da tensão aplicada durante seu carregamento (adaptado de: (Speltino, 2010))

### 3 METODOLOGIA DE TRABALHO

#### 3.1 A bateria utilizada e a configuração de sua ligação

A bateria utilizada foi a Ultrafire BRC 3000 mA/h 18650, adquirida levando-se em conta sobretudo a relação de: custo, o preço do modelo adquirido é relativamente baixo, salientando que dependendo do fabricante essa relação aumenta substancialmente; ao padrão da célula que é o 18650 (esse código referência o tamanho da célula: 18 milímetros de diâmetro de circunferência e 65 milímetros de comprimento) que é encontrada com relativa facilidade no mercado, além de ser encontradas algumas referências de sua utilização pela Tesla Motors (uma das companhias pioneiras na fabricação de veículos elétricos) em um dos seus modelos de veículo. O *Tesla Roadster* possui esse modelo de célula sendo um total de 6831 unidades distribuídas em 11 (onze) “bancos” ligadas em serie, e dentro desses, 9 (nove) “sub-bancos” também ligados em serie, e dentro desses, 69 células, ligadas em paralelo (11S 9S 69P), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Roadster](http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster)).

A configuração aplicada para formação dos bancos de células será: 7(sete) células ligadas em série formando 4 (quatro) bancos em paralelo, assim sendo um total de 28 células. A Figura 15 ilustra essa estrutura com o sistema de chaveamento e condicionamento de sinal dos bancos.

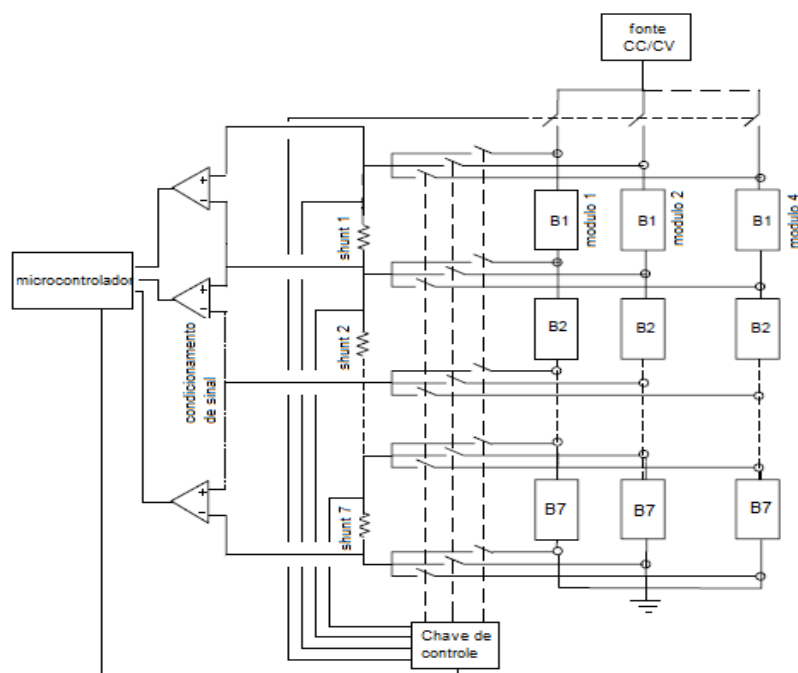


Figura 15 - Estrutura do sistema de baterias (adaptado de: (M.F.M., et al., 2004))

### 3.2 O sistema de controle

O registro das tensões, correntes e demais variáveis do sistema de carga será efetuada via software. O *Labview*, software da *National Instruments* na sua versão 2012 será a plataforma responsável pela criação de uma plataforma supervisorio para aquisição e controle de dados do sistema. O hardware *Arduino Mega*, que é uma plataforma livre, será responsável por esse interfaceamento.

Na Figura 16 temos o diagrama de blocos de todas as partes do sistema de carga.

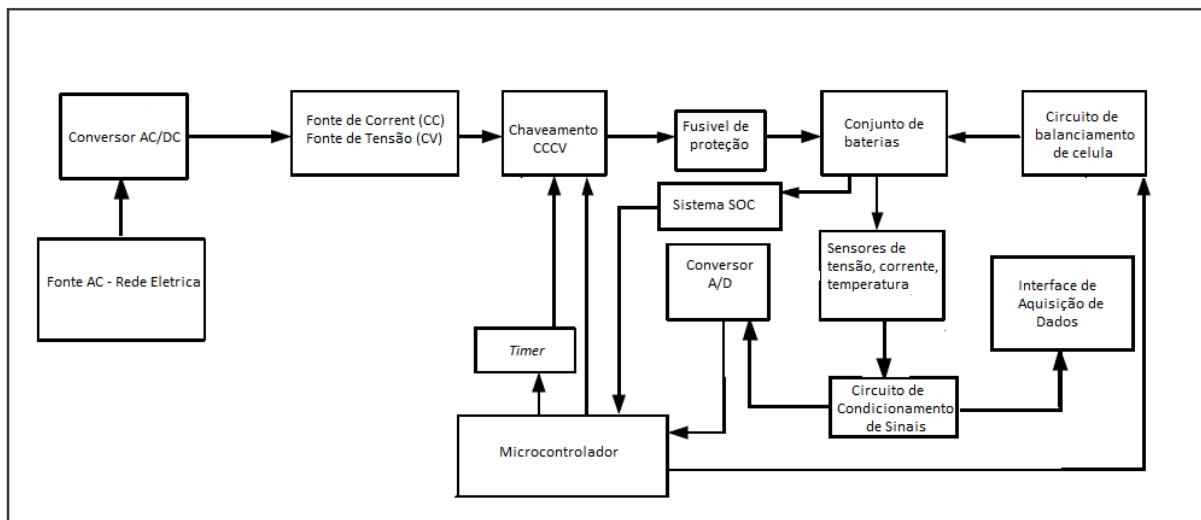


Figura 16 - Diagrama de blocos do sistema de carga de bateria íon lítio (Adaptado de: (M.F.M., et al., 2004)).

### 3.3 Método de carga para baterias íon lítio

Após realizado estudo bibliográfico das baterias íon lítio, faremos agora uma abordagem do método de carga adotado (CCCV).

Esse método de carga é usado pela maior parte das metodologias estudadas, tendo algumas variações no que tange a parte quantidade e taxa temporal de corrente constante aplicada e na finalização do processo de carga em termos de valor de corrente.

No manual de especificações da bateria, fornecido geralmente por seu fabricante, encontramos as características construtivas, elétricas, mecânicas e em alguns casos especificam as características de como deve ser o sistema de carga utilizado.

O sistema de carga apresentado neste trabalho apresentará algumas funções de um sistema BMS, não sendo apresentadas todas, devido ao alto grau de complexidade que algumas podem chegar, sendo eles objeto individual de estudos, podendo ser acrescentadas em pesquisas futuras. Estas funções possuem muitas variações na forma

de serem implementadas e que apresentam aspectos positivos e negativos, todavia faremos uma breve abordagem da metodologia empregada nos sistemas BMS apresentados. Um sistema SOC, sistema de proteção contra curto-circuito, inversão de polaridade e um sistema de monitoramento de temperatura serão incorporados ao sistema de carga presentes no trabalho. A seguir faremos uma abordagem sobre esses sistemas.

A implementação do sistema SOC será feita através da leitura da tensão e da corrente do conjunto de baterias no momento da conexão e esta será avaliada em função da análise de valores previamente definidos. Esses valores são equiparados com os valores que são predefinidos a partir da análise característica de uma célula de íon lítio no momento da carga e descarga. O gráfico apresentado na Figura 17 representa o comportamento de carga de 01 (uma) célula de íon lítio. Os testes mostrados foram efetuados por um grande *e-commerce*, de uma serie de baterias.

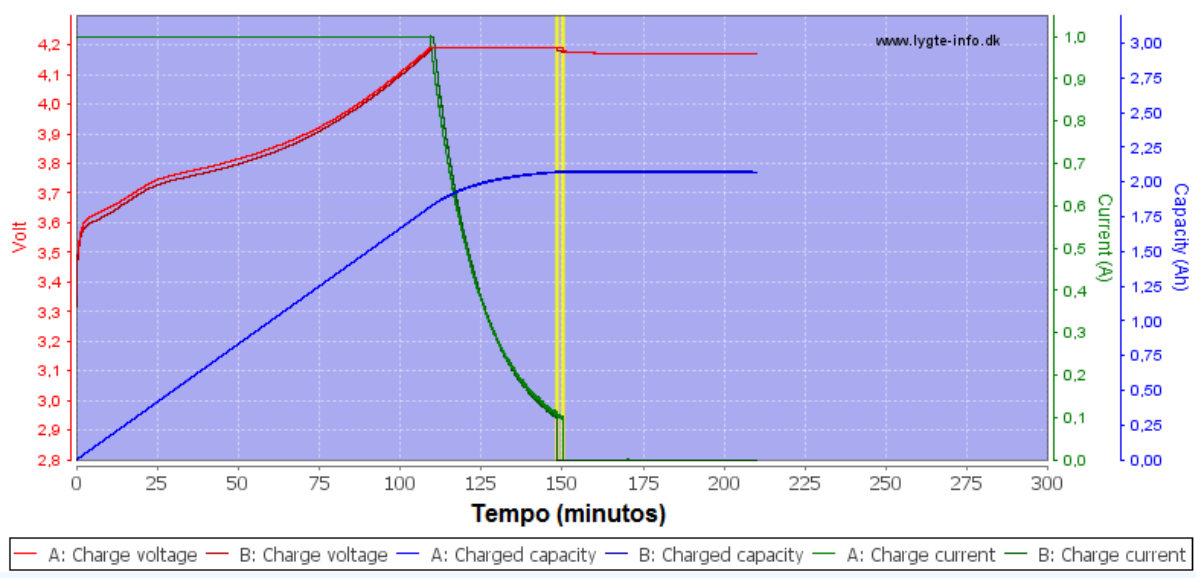


Figura 17 - Comportamento de carga de uma células de íon lítio, similar a utilizada  
(adaptado de: (<http://lygte-info.dk> - acessado: 17/08/13))

Contudo, foi efetuado a checagem do lote de baterias adquirido. Essa amostragem foi efetuada em uma das células, escolhida aleatoriamente entre as que compõe os bancos de baterias. Os gráficos das Figuras 18 e 19, apresentam o comportamento típico de tensão e corrente respectivamente em um processo de carga bem similar ao que foi estudado até o momento. Em função destes pode ser definido a característica de perfil de

carga inicial para o sistema e a partir de então o sistema se adapta ao desgaste natural das células ou eventual problema em alguma delas, através do sistema SOH.

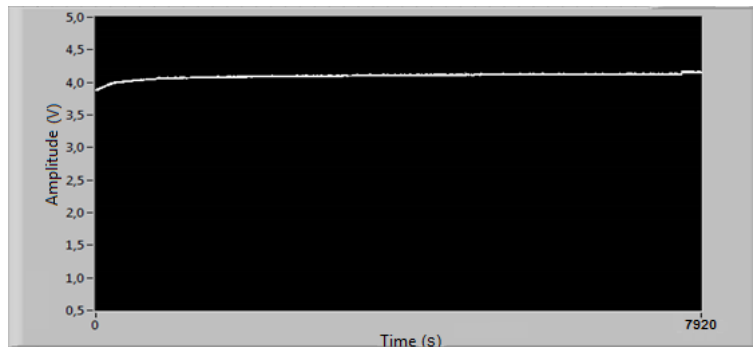


Figura 18 - Comportamento da tensão de carga em uma células de íon lítio

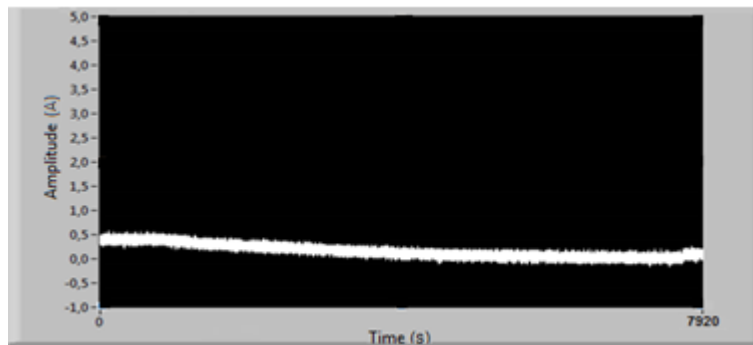


Figura 19 - Comportamento da corrente de carga em uma células de íon lítio

### 3.3.1 Sistema de proteção contra curto-circuito e inversão de polaridade

Estes sistemas tem especial importância para a segurança. Eventualmente pode ocorrer um curto-circuito ou uma inversão na polaridade do circuito de carga, seja por efeito de manutenção ou mesmo por problemas relacionados a cabeamento, instalação ou efeitos locais do sistema. Com relação à inversão de polaridade não se faz necessário implementação de circuito, devido ao fato que a entrada de alimentação é AC (*alternate Current*). Para proteção do cabeamento e trilhas das placas de circuito impresso, serão colocados fusíveis de proteção.

### 3.3.2 Monitoramento de temperatura

É de essencial importância o monitoramento de temperatura na bateria de íon lítio. Esse monitoramento será feito por um sensor de temperatura LM35, que já apresenta uma saída de sinal linear em função da temperatura. Sua faixa de leitura de temperatura vai de -55 a 150°C, com uma resolução de 10 mV / °C, (extraído do Datasheet do

componente em: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>), atendendo plenamente as necessidades do projeto. O circuito de carga terá o modo de carga dependente da temperatura das baterias. O sistema irá atuar se a temperatura atingir  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , onde ocorre o desligamento parcial do sistema de carga e em um segundo momento se as baterias atingirem a temperatura de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ocorrendo o desligamento total do sistema. A Figura 20 representa esse circuito.

Esse sensor deverá ser posicionado estrategicamente, para que a temperatura do sistema seja monitorada com a maior eficiência possível.

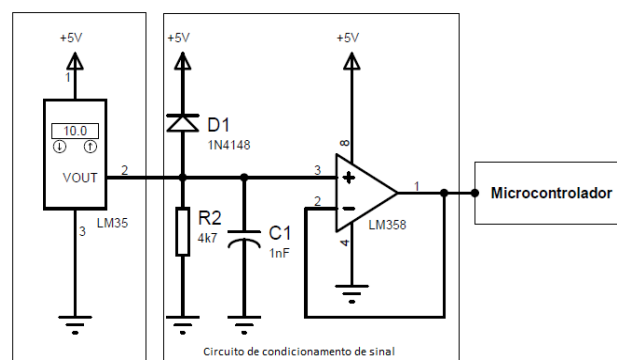


Figura 20 - LM35 em configuração básica de sensor de temperatura ( $+2^{\circ}\text{C}$  à  $+150^{\circ}\text{C}$ ) (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf> - acessado: 07/09/13). Com circuito de condicionamento de sinal (extraído das aulas de Gerenciamento de motores).

### 3.3.3 Sistema de monitoramento e controle de Corrente

O Circuito integrado ACS712, será responsável pelo monitoramento da corrente do circuito de carga. Esse fornece uma saída de tensão linear em função da corrente que circula no circuito. Todas as ações de controle necessárias serão tomadas pelo software em função das características e limites abordados e definidos. As principais informações extraídas da leitura de corrente podem ser: parâmetros para definição do SOC, SOH e DOD, parada do carregamento.

### 3.3.4 Sistema Supervisório e de Controle

Como mencionado anteriormente, todo monitoramento e controle do sistema de carga será efetuado pelo Hardware Arduino Mega com microcontrolador Atmel 2560 sob gerenciamento do Labview. Junto ao Hardware também temos alguns circuitos auxiliares

que executaram as ações de condicionamento de sinais, chaveamento dos bancos, balanceamento das células, temperatura e corrente.

A tabela 4 apresenta as principais características do Arduino Mega

Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de operação	5V
Tensão de entrada (recomendada)	7-12V
Tensão de entrada (limites)	6-20V
Pinos Digitais I/O	54 (15 pinos configuráveis para PWM)
Entradas A/D	16 (10 bits)
Corrente DC por pino	40 mA
Corrente DC para pinos de 3,3V	50 mA
Memória <i>Flash</i>	256KB com 8KB usado pelo <i>bootloader</i>
<i>SRAM</i>	8 KB
<i>EEPROM</i>	4 KB
Velocidade de <i>Clock</i>	16 MHz

Tabela 4 - Características do Hardware de controle

Como observado na Tabela 4, trata-se de uma poderosa interface que pode ser configurada conforme necessidade do usuário e pode ser utilizado para aplicação das mais diversas. A Figura 21 mostra uma ilustração desta interface.

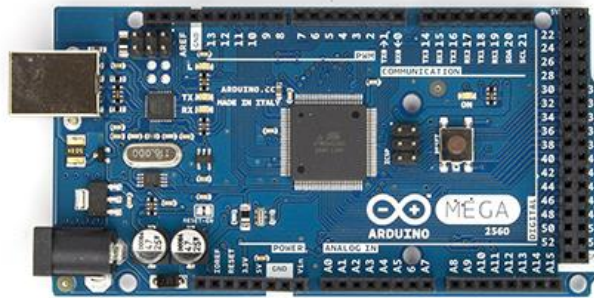


Figura 21 - Aduino Mega 2560 (extraído de: (<http://arduino.cc/en/main/arduinoboardmega2560> - acessado: 10/05/14))

O circuito de condicionamento de sinais foi desenvolvido para proporcionar uma isolamento entre o microcontrolador e as baterias, e adequar os valores de tensões a os valores aceitáveis por suas entradas analógicas.

O esquema referente a este circuito pode ser visualizado na Figura 22.

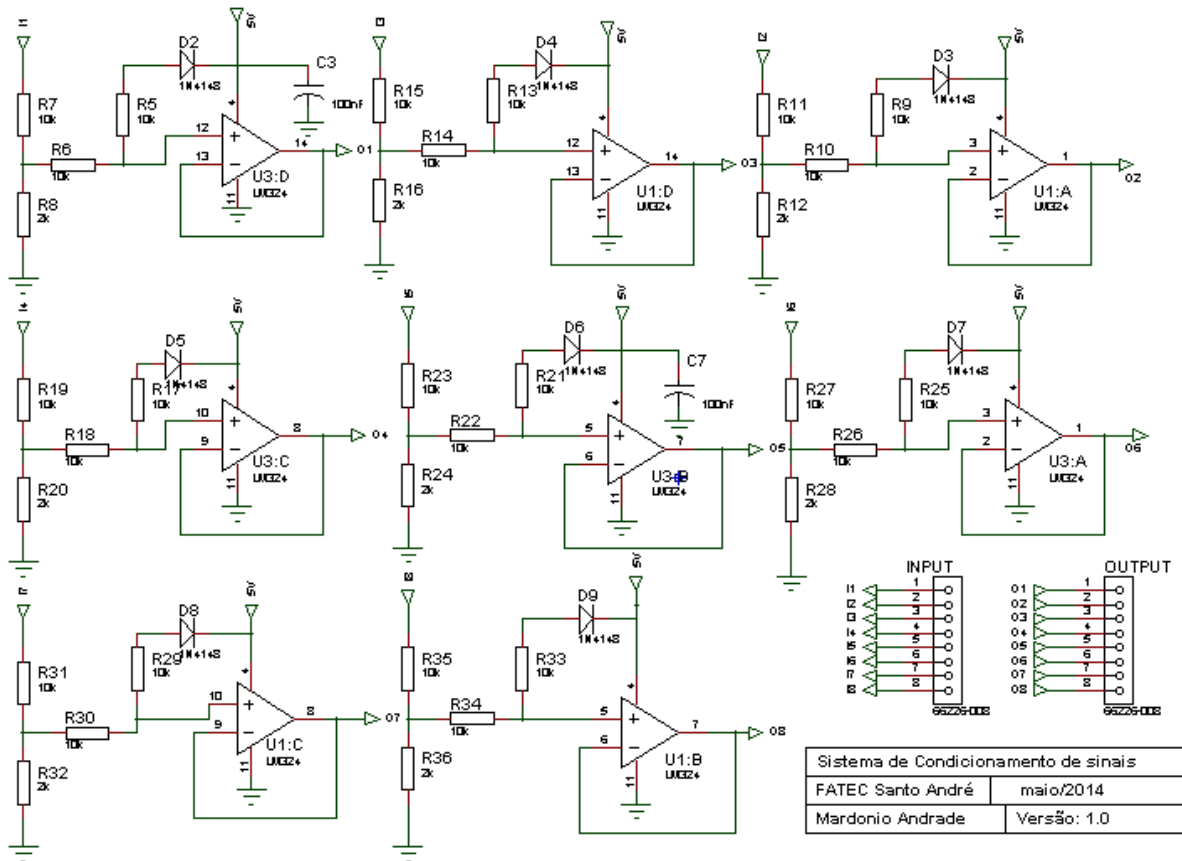


Figura 22 - Circuito de condicionamento de sinais

### 3.3.5 Sistema de balanceamento de células

O balanceamento de uma célula é uma técnica para equilibrar a tensão do conjunto que formam a associação de células, é muito importante quando a carga é aplicada a um número de células em série. Ao contrário das baterias chumbo-ácido e baterias NiMH em que podem ser naturalmente equilibradas através de sua solução química. Baterias íon lítio requerem circuito especial para equilibrar todas as células. Em verdade, cada bateria íon lítio tem diferentes impedância interna, portanto, leva ao desequilíbrio das células durante o carregamento. Vários fatores que também podem levar as células ao desequilíbrio, como variações no conjunto de células, diferentes níveis de aceitação de carga, o carregamento diferente taxas e número de descarga disponível, gradiente de temperatura, dissipação de energia e distribuição no sistema. O desbalanceamento provoca tensões individuais desiguais quando a bateria é conectada em série e se a esta

for imposta uma carga, vai chegar ao nível máximo de esgotamento antes que o restante. Para equilibrar as células, existem vários métodos com diversidade em seu algoritmo de controle de carga. O desbalanceamento entre células pode reduzir a capacidade em até 25% (típico) para uma diferença de 150mV entre as células em plena condição de carregamento. Isso faz com que a capacidade disponível da bateria seja reduzida, uma vez que a célula mais fraca na serie determina a sua capacidade efetiva. Portanto, a tensão entre as células da bateria deve ser mantida igual ou dentro da diferença aceitável durante o carregamento. As células de bateria são consideradas equilibradas quando a gama de capacidade de cada célula está dentro de 3% (*energies, 2011*).

Existem vários métodos para executar o equilíbrio entre células íon lítio. Eles podem ser: ativos ou passivos (Afoso, et al., 2011). Balanceamento ativo consiste em carregar as células com menor carga a partir da energia de células mais carregadas. Para um balanceamento ativo existe diferentes topologias baseadas no uso de capacitores, indutores/transformadores ou conversores. Os principais baseados em capacitores são: *Switched Capacitor* e *Single Switched Capacitor*. Os principais baseados em indutores/transformadores são: *Single/Multi Inductor* e *Single-Windings Transformer*. E os baseados em conversores são: *Cûk*, *Buck* ou *Books*, *Flyback*, *Ramp*, *Full-bridge* ou *Quasi-Resonant* (Afoso, et al., 2011).

Existem várias técnicas de balanceamento passivo. A técnica dissipativa procura as células mais carregadas e dissipa energia numa resistência de *bypass* até que a sua carga seja igual às células mais fracas. Outra técnica consiste em parar o carregamento de todas as células quando há uma célula que está completamente carregada, e depois descarregá-la até que haja um equilíbrio com as células mais fracas. Uma outra técnica consiste em carregar todas as células até ao máximo, limitando a tensão máxima (Afoso, et al., 2011).

No carregador proposto, identificam-se as células mais carregadas, diferença de 100 mV em relação a menos carregadas, fazendo o *by-pass* da carga por um resistor *shunt*. A Figura 23 mostra o esquema completo.

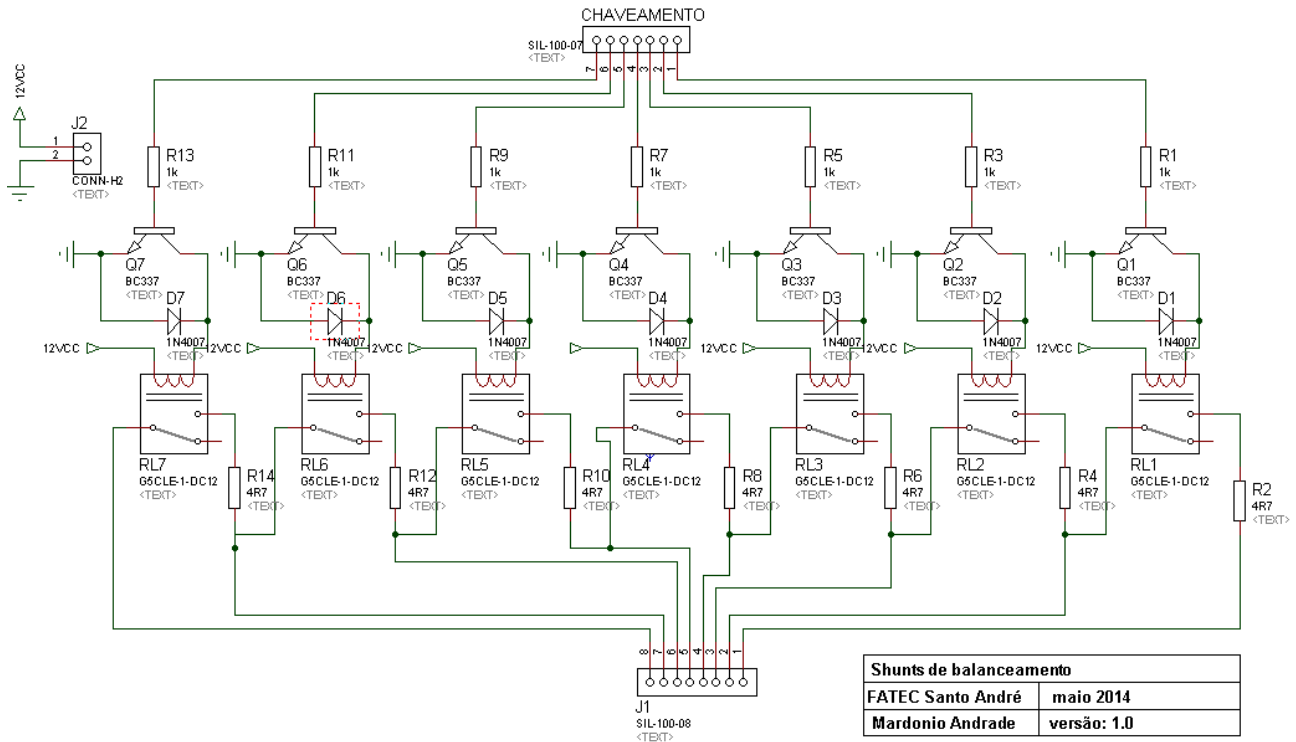


Figura 23 - Sistema de balanceamento de células

### 3.3.6 Sistema de chaveamento

O sistema é dotado de uma interface de chaveamento sobre os bancos. Sendo assim é possível executar ações individuais sobre cada banco, esquema constante na Figura 24. Esse sistema é controlado via software, sendo sua interface de controle o Arduino Mega.

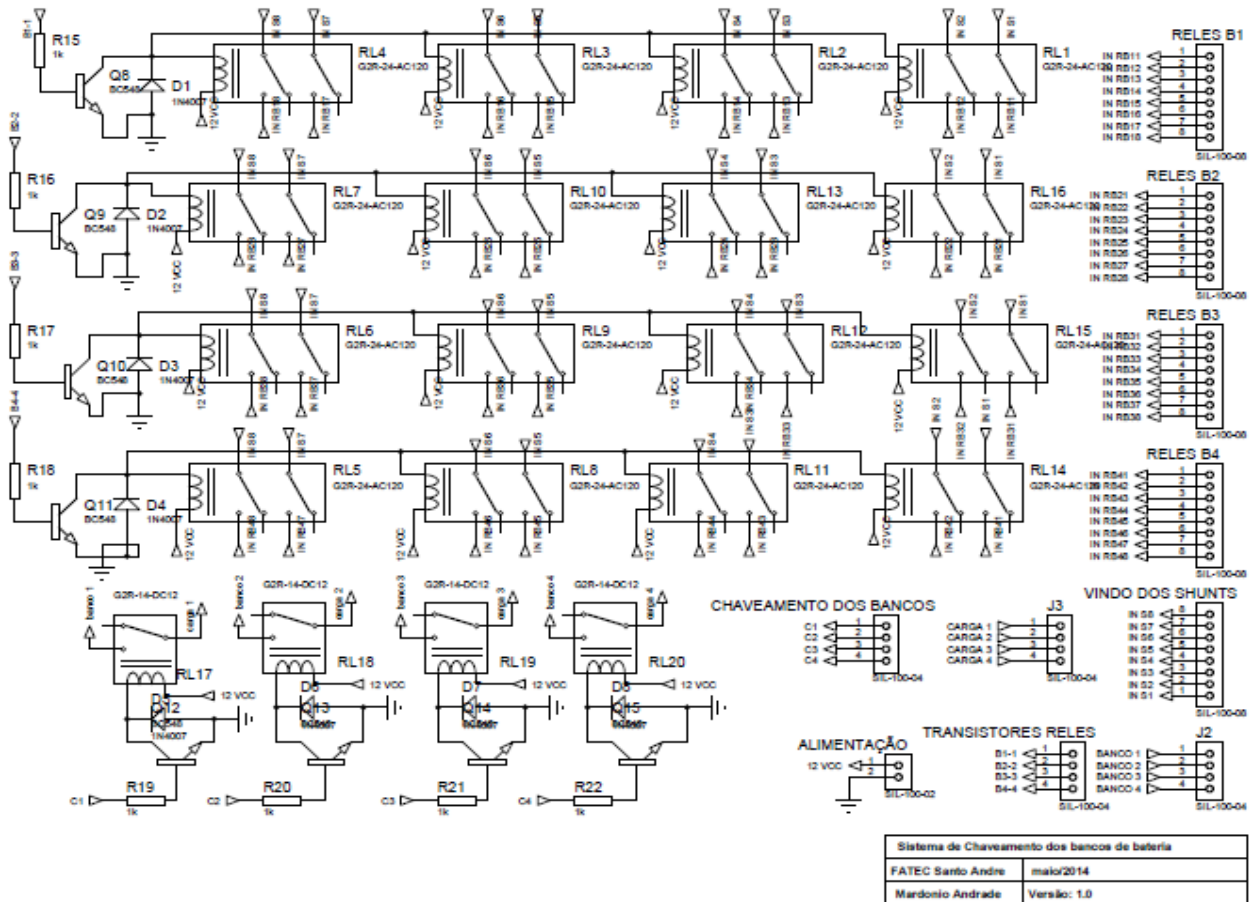


Figura 24 - Sistema de chaveamento

## 4 RESULTADOS

Esta seção trata da execução dos resultados com o sistema completamente integrado. A Figura 25 ilustra todo o sistema montado.



Figura 25 - sistema totalmente montado

As figuras 26 e 27 mostram os testes executados com os bancos interligados. Os gráficos apresentados foram extraídos com o *software* Labview da *national Instruments*, através da plataforma de aquisição em controle criada para essa aplicação. Nestes gráficos observamos a grande semelhança entre o teste realizado com uma única célula e o conjunto completo, mudando apenas o nível de tensão e corrente.

Os apêndices 1 e 2 ilustram o painel frontal e o diagrama de blocos que são responsáveis por toda parte de gerenciamento e controle dos bancos.

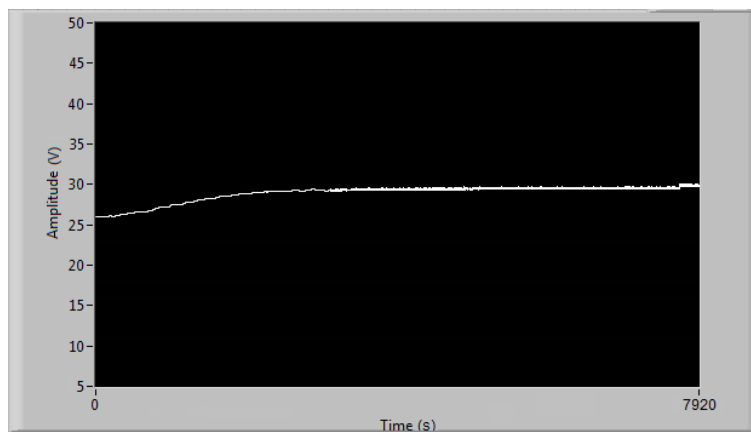


Figura 26 - Perfil da tensão durante a carga

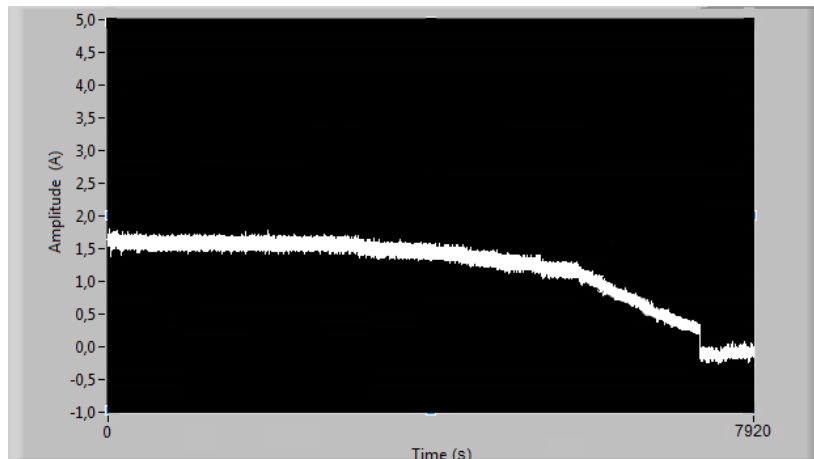


Figura 27 - Perfil da corrente durante a carga

Para melhor visualização dos resultados obtidos, foram inseridos os valores de tensão e corrente em tabela do Excel. A Figura 28 representa o resultado obtido.

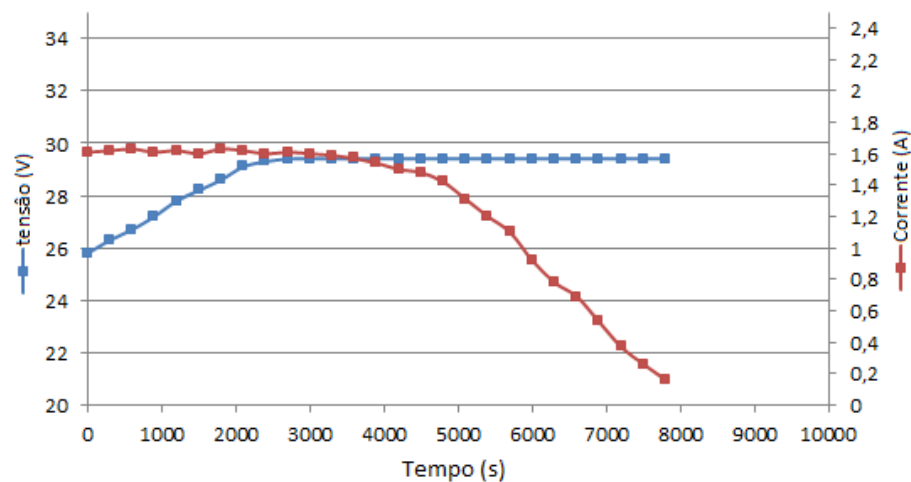


Figura 28 - Perfil de tensão e corrente

## 5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho buscou descrever como e quais características devem ter um carregador de baterias íon lítio, para utilização em um veículo elétrico e/ou híbrido ou ainda outros sistemas que utilizem baterias íon lítio. A metodologia adotada na construção do sistema de carga seguiu as recomendações adotadas pela quase totalidade dos trabalhos estudados não encontrando diferenças no perfil de carregamento das baterias.

Contudo vale ressaltar que uma bateria de boa qualidade e o devido cuidado com as mesmas são vitais para um bom projeto. Foram registrados dois problemas com curto em células por falta da devida acomodação da interligação dos cabos de monitoramento

de tensão, vindo a culminar na perda destas. Com relação a qualidade das células havia uma indicação que as mesmas possuíam uma capacidade de carga de 3000 mA/h, mas os teste demonstraram que sua capacidade de armazenamento era em média 700 mA/h, com isso todos os testes foram feitos levando em conta essa capacidade. Todas as células foram importadas da China. Com exceção deste problema os testes realizados na capacidade estimada das células deram-se muito semelhante ao que é encontrado e demonstrado nos estudos e nos manuais de fabricantes mais conceituados encontrados no mercado de células de ion lition; Samsung, Lg entre outras.

Com relação a sua aplicação em veículos elétricos e híbridos nota-se que existe uma certa resistência para sua utilização devido sobre tudo a grande variedades de parâmetros a serem controlados. Mas as mesma oferecem uma capacidade de armazenamento de energia muito elevada, comparando por exemplo com as baterias chumbo ácido que ainda são muito utilizadas.

Como proposta para trabalhos futuros pode ser implementadas uma serie de melhorias, entre as quais podemos citar: montagem de um *pack* para testes reais; melhoria no sistema de balanceamento, mudando da forma passiva para ativa evitando o desperdício de energia; testes de descarga; teste de carga com varias taxas e por ultimo construir um sistema de carga utilizado os integrados específicos para essas aplicações.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] - GOLDEMBERG, Clovis; LEBENSZTAJN, Luiz e LORENZETTI, Eduardo. A Evolução do carro elétrico – PEA/EPUSP, 2005).
- [2] - (LEITMAN, Seth e BRANT, Bob. *Build your own eletric vehicle*. Estados Unidos da América, *McGraw – Hill*, 2° edição, 2009).
- [3] - (EHSANI, Mehrdad; GAO, Yimin; EMADE, Ali. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. 2° edição, *CRC Press*, 2010).
- [4] - (ROOT, Michael. *Battery book*. *McGrall-Hill*, 2011).
- [5] – (LINDEN, David e REDDY, Thomas B.; *Handbook of Batteries*, 3° edição, *McGraw-Hill*, 2002).
- [6] – FREITAS V. D., Rodolfo. Método de análise do estado de carga restante de baterias de celular. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [7] - Tavares, F. M., Diogo. Soluções técnicas para sistemas de carga de veículos elétricos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2009.
- [8] - M.F.M. Elias, A.K. Arof, K.M. Nor. *Design of high energy lithium-ion battery charger*. *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC 2004)*.
- [9] – *Paper - Battery chargers*, Walt Kester, Joe Buxton.
- [10] – B. Renato, L.L. Luiz Fernando; Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil; artigo apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Energia (novembro de 2010).
- [11] - Battery Management Systems in Electric and Hybrid Vehicles - journal energies, ISSN 1996-1073 -(2011).

[12] – *A Guide to Understanding Battery Specifications*, Electric Vehicle Team, December 2008 – MIT (Massachusetts Institute of Technology).

[13] – Carmelo Speltino - *The Lithium-Ion Cell: Model, State Of Charge Estimation and Battery Management System* Università del Sannio Benevento, IT. University of Michigan Ann Arbor, MI, USA (2010).

[14] - L. Afonso ,R. Carlos ,R. José Soares, C. Nuno, S. Vasco; Sistema de gestão de bateria em um veiculo elétrico; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) – (novembro 2011).

#### SITES CONSULTADOS:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Roadster](http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster) - Consulta efetuada 24/08/13 às 10:00 horas.

<http://www.infineon.com> – Acesso em 05/02/14 às 23:00 horas

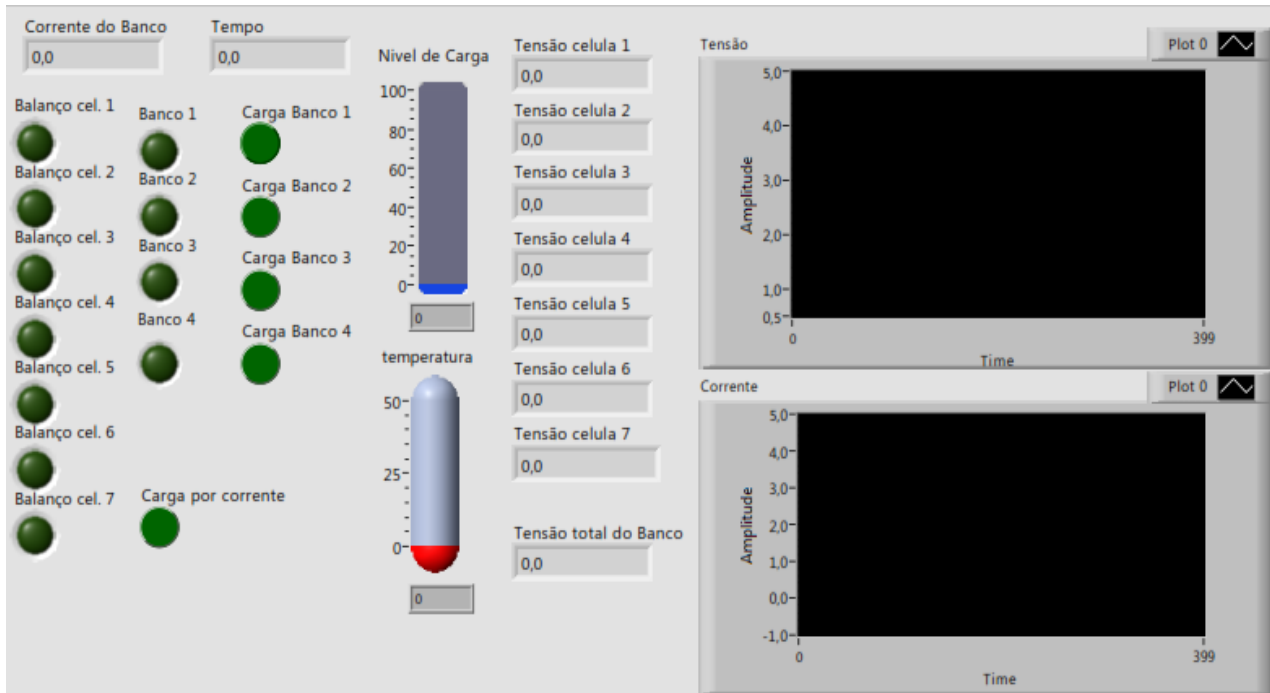
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf> – Acesso em 07/09/13 às 16:00 horas

<http://lygte-info.dk> – Acesso em 17/08/13 as 21:00 horas

<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560> - Acesso em 10/05/14 às 18:00

## 7 APÊNDICES

Apêndice 1: painel frontal do Labview



Apêndice 2: Diagrama de Blocos do Labview

