

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO
CARREGAMENTO DE BATERIAS PARA FINS
DIVERSOS**

EVANDRO PEREIRA DA SILVA

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

EVANDRO PEREIRA DA SILVA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO
CARREGAMENTO DE BATERIAS PARA FINS
DIVERSOS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Pós Graduação *Lato Sensu* para obtenção do Título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Prof. Orientador: Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

EVANDRO PEREIRA DA SILVA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO
CARREGAMENTO DE BATERIAS PARA FINS
DIVERSOS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Pós Graduação *Lato Sensu* para obtenção do Título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Aprovado em _____ de _____ de _____

Professor _____

Professor _____

Professor UFLA: _____ (Orientador ou Presidente da Banca)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

DEDICATÓRIA

À minha esposa Thatiana e à minha filha Laura por compreenderem a importância da dedicação de tempo para realização deste trabalho, tempo este que poderia ser dedicado a elas.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu força de vontade, persistência para transpor os obstáculos. Em especial aos meus pais Antônio (em memória) e Iraides (em memória) e minha avó Iracema (em memória), pois proporcionaram a estrutura familiar necessária para se conquistar algo na vida, mas ressaltando sempre a humildade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE GRÁFICOS.....	vi
SIGLAS UTILIZADAS NESTE TRABALHO.....	vii
RESUMO	xi
1 INTRODUÇÃO	23
2 OBJETIVOS.....	26
2.1 Objetivo Geral	26
2.2 Objetivos Específicos.....	26
3 FUNCIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS ELÉTRICOS ESTUDADOS	27
3.1 Veículos com funcionamento por motor a combustão interna	27
3.1.1 Produção de energia elétrica.....	27
3.1.1.1 O Gerador	27
3.1.1.2 Dispositivo de controle de corrente e tensão	29
3.1.2 Armazenamento através de baterias.....	31
3.1.2.1 Definições.....	31
3.1.2.2 Alguns tipos de baterias.....	32
3.1.2.3 Capacidade de armazenamento de carga	35
3.1.3 Consumo.....	36
3.1.4 Sistemas de ignição e partida.....	36
3.1.4.1 Ignição por calor de compressão.....	36
3.1.4.2 Ignição pela centelha elétrica.....	36

3.1.4.3 O motor de arranque.....	38
3.1.5 Esquemas gerais de instalações elétricas	39
3.1.5.1 Esquema geral de instalações elétricas em automóveis	40
3.1.5.2 Esquema geral de instalações elétricas de caminhões e ônibus	40
3.1.5.3 Esquema geral de instalações elétricas de tratores	40
3.1.5.4 Esquema geral de instalações elétricas de motocicletas ...	41
3.2 Veículos com Funcionamento por Motor Elétrico	41
3.2.1 Regulador de tensão	41
3.2.2 Motores elétricos.....	43
3.2.2.1 Definições e princípio básico de funcionamento	43
3.2.2.2 Motores elétricos de corrente contínua e alternada	44
3.2.3 Motores elétricos nos veículos elétricos.....	45
3.2.4 Baterias para veículos elétricos.....	48
3.2.5 Motos elétricas.....	54
3.2.6 Destino final das baterias usadas em veículos elétricos após perda de capacidade.....	57
3.3 Funcionamentos de mini placas eletrônicas de uso robótico.....	58
4. O SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	60
4.1 Definições.....	60
4.2 Perspectivas do uso da energia solar fotovoltaica e suas vantagens	61
4.3 Desvantagens do uso da energia solar fotovoltaica	63
4.4 Recomendações para o uso mais eficiente da energia solar fotovoltaica	64
4.5 Partes Constituintes	67
4.5.1 Fonte Luminosa	67

4.5.2 Placas Fotovoltaicas	73
4.5.2.1 Definições.....	73
4.5.2.2 Processo de obtenção de energia.....	73
4.5.2.3 Partes constituintes das placas fotovoltaicas	74
4.5.2.4 Considerações gerais sobre uso de placas fotovoltaicas.....	77
4.5.2.5 Tipos de placas fotovoltaicas	78
4.5.2.6 Concentradores de energia solar	80
4.5.2.7 Características importantes dos módulos fotovoltaicos.....	81
4.5.2.8 Padrões adotados.....	84
4.5.3 Cabos condutores de energia elétrica	87
4.5.4 Bateria.....	89
4.5.4.1 Definições.....	89
4.5.4.2 Classificações	90
4.5.4.3 Principais características em baterias para sistemas fotovoltaicos	91
4.5.4.4 Baterias para sistemas fotovoltaicos	93
4.5.5 Controladores de carga.....	95
4.5.5.1 Funções.....	95
4.5.5.2 Tipos de controladores	96
4.5.6 Inversor.....	99
4.5.6.1 Função	99
4.5.6.2 Recomendações, vantagens e desvantagens no uso de inversor	99
4.5.6.3 Tipos de inversores.....	100
4.6 Instalações de Sistemas Fotovoltaicos	101
4.7 Segurança	104
5. PROCESSOS DE CARREGAMENTO DE BATERIAS	106

5.1 Carregamento convencional de baterias usadas em veículos com motor à combustão interna.	106
5.1.1 Carregamento com tensão constante	108
5.1.2 Carregamento com tensão constante-limite corrente	109
5.1.3 Carregamento com corrente constante seguido de tensão constante	109
5.1.4 Carregamento com corrente constante p/ tempo definido	109
5.1.5 Carregamento com corrente constante seguido de tensão corrigida	110
5.1.6 Carregamento com corrente constante seguido de tensão corrigida e queda de corrente.....	110
5.1.7 Carregamento com delta de tensão zero ou negativo	111
5.1.8 Carregamento com temperatura máxima.....	111
5.1.9 Considerações gerais sobre carregamento de baterias.....	111
5.1.10 Carregadores de baterias.....	112
5.1.11 Fuga de Corrente.....	115
5.1.12 Perda da capacidade das baterias devido à temperatura de armazenamento.....	116
5.2 Carregamento de baterias em veículos elétricos	117
5.2.1 Carregamento de baterias em automóveis elétricos	117
5.2.2 Carregamento de baterias para motocicletas elétricas.....	123
5.3 Carga/descarga de baterias para sistemas fotovoltaicos.....	124
5.3.1 Considerações gerais	124
5.3.2 Valores de recarga.....	124
5.3.3 Capacidade das baterias em função dos regimes de recarga	130
6. DIMENSIONAMENTOS E ANÁLISES DO USO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CARREGAMENTO DE BATERIAS	132

6.1 Dimensionamento geral de um sistema fotovoltaico	132
6.1.1 Levantamento do consumo de energia elétrica.....	132
6.1.2 Dimensionamento das baterias	135
6.1.3 Dimensionamento do gerador fotovoltaico	136
6.1.4 Dimensionamento do controlador de carga	137
6.1.5 Dimensionamento do inversor	138
6.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de veículos movidos por motor de combustão interna.....	138
6.2.1. Considerações sobre consumo	138
6.2.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de automóveis e motocicletas com motor de combustão interna	140
6.3 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de ônibus, caminhões e tratores com motor de combustão interna	144
6.4 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para carregamento de baterias para automóveis e motocicletas elétricas	147
6.4.1 Automóveis elétricos.....	147
6.4.2 Motocicletas elétricas.....	149
6.5 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para carregamento de bateria e fornecimento de energia para placa de uso robótico.	150
7. ANÁLISES TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DIMENSIONADOS.....	153
7.1 Sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de automóveis e motocicletas com motor de combustão interna	154
7.1.1 Análise técnica.....	155
7.1.2 Análise econômica	160

7.2 Sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de ônibus, caminhões e tratores com motor de combustão interna.	161
7.2.1 Análise técnica.....	161
7.2.2 Análise econômica	163
7.3 Sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de veículos elétricos	164
7.3.1 Análise técnica.....	164
7.3.2 Análise econômica	166
7.4 Sistema fotovoltaico para carregamento de baterias e fornecimento de energia para placa de uso robótico.....	167
7.4.1 Análise técnica.....	167
7.4.2 Análise econômica	169
8 CONCLUSÃO	170
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	173

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Dínamo desmontado	28
FIGURA 2 - Imagem de um alternador.....	29
FIGURA 3 – Circuito com dínamo-bateria com disjuntor e amperímetro entre eles	30
FIGURA 4 - Circuito elétrico de um automóvel Crysler	31
FIGURA 5 – Bateria chumbo ácida livre de manutenção	33
FIGURA 6 - Esquema de ignição por bateria em um automóvel	37
FIGURA 7 - Motor de Arranque	38
FIGURA 8 - Regulador de Tensão Elétrica de 50 kW	42
FIGURA 9 - Esquema ilustrativo de aceleração de um motor elétrico de corrente	46
FIGURA 10 - Esquema ilustrativo de aceleração de um motor elétrico de corrente alternada (CA).....	47
FIGURA 11- bateria chumbo ácida selada do tipo tracionaria.....	50
FIGURA 12 - localização da bateria de íon-lítio do veículo (em azul), cortesia GM Corp	52
FIGURA 13 - Moto elétrica com sistema de bateria em destaque.....	55
FIGURA 14 - Painel de uma moto elétrica	55
FIGURA 15 - Bateria LiFePO_4 com seu módulo (acima da bateria)	56
FIGURA 16 - Esquema de montagem dos componentes	59
FIGURA 17 - Movimento de Translação da Terra.....	66
FIGURA 18 - Radiação total estimada sobre a superfície da Terra.	69
FIGURA 19 - Radiação Solar Mensal em Brusque-SC em junho	72
FIGURA 20 - Operação de uma célula fotovoltaica. A é o silício tipo-n e B o tipo – p	74
FIGURA 21- Estrutura básica de uma célula FV de silício genérica...75	

FIGURA 22 - Módulo solar fotovoltaico residencial.....	76
FIGURA 23 - Arranjo de painéis solares fotovoltaicos.	76
FIGURA 24 - Curva característica IxV de um módulo fotovoltaico de ...células de silício	82
FIGURA 25 - Curva característica IxV e potência de um módulo fotovoltaico de células	84
FIGURA 26 - Influência do nível de radiação solar no desempenho do módulo.....	86
FIGURA 27 - Influência da temperatura nas características elétricas do módulo.....	86
FIGURA 28 - Influência da profundidade de descarga e da temperatura na vida da bateria	92
FIGURA 29 - Circuito elétrico básico de controladores de carga tipo paralelo	97
FIGURA 30 - Circuito elétrico básico de controladores de carga tipo série	97
FIGURA 31 - Carregamento de baterias em série	112
FIGURA 32 - Carregamento de baterias em paralelo	112
FIGURA 33 - Plug de energia (macho) de um veículo elétrico.....	118
FIGURA 34 - Conexão do plug de energia (macho) em um plug fêmea.	119
FIGURA 35 - Estação de recarga, cortesia de Jon Mauney	120
FIGURA 36 - Sistema de recarga no porta malas, cortesia de Jon Mauney	120
FIGURA 37 - Conexão de placa indutiva no sistema de recarga	121
FIGURA 38 - Sistema de Carregamento do Tesla Roadster 100.....	121
FIGURA 39 - Indicador de Carga da Bateria	123
FIGURA 40 - Computador de Bordo Tesla S Sedam.....	123
FIGURA 41 - Diagrama de um sistema fotovoltaico.....	132

FIGURA 42 - Esquema geral de instalação sugerido para carregamento de baterias para veículos elétricos	165
FIGURA 43 - Esquema geral de instalação sugerido para carregamento de baterias de placas eletrônicas de uso robótico.	168

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Capacidade de armazenamento de carga (Ah).....	35
TABELA 2 - Valores de correntes para diversos motores de partida	39
TABELA 3 - Características das principais baterias para veículos elétricos	49
TABELA 4 - Principais baterias utilizadas em veículos elétricos	52
TABELA 5 - Percentual de radiação solar	70
TABELA 6 - Alguns modelos de módulos fotovoltaicos.....	87
TABELA 7 - Máxima distância permitida (m) queda de tensão - 2% - 12V 89CC	89
TABELA 8 - Tipos gerais de baterias	95
TABELA 9 - Tipos de controladores de carga	98
TABELA 10 - Modelos de inversores com onda senoidal modificada	100
TABELA 11- Modelos de inversores com onda senoidal pura	101
TABELA 12 - Tempo de recarga de baterias automotivas.....	108
TABELA 13 - Tempo de recarga de baterias automotivas.....	110
TABELA 14 - Correntes de fuga em diferentes dispositivos elétricos de veículos	116
TABELA 15 - Perda permanente da capacidade das baterias íon lítio em função das temperaturas de armazenamento.....	117
TABELA 16 - Tensões de carregamento de bateria em função da temperatura	125
TABELA 17 – Modelos de baterias em função das diversas capacidades relacionadas aos diferentes regimes de descargas.....	131
TABELA 18 - Levantamento de cargas	135
TABELA 19 - Levantamento médio de cargas para automóveis	141

TABELA 20 - Levantamento médio de cargas para ônibus, caminhões e tratores	145
TABELA 21 - Levantamento médio de cargas para automóveis elétricos	148
TABELA 22 - Levantamento médio de cargas para motocicletas elétricas	150
TABELA 23 - Levantamento de cargas	150
TABELA 24 – Gerador solar fotovoltaico de corrente contínua (12 v) para uso geral.....	154
TABELA 25 - Dados técnicos para modelo de módulo KC85T da linha Kyocera	155
TABELA 26 - Tempo médio de recarga de baterias.....	158
TABELA 27 – Comparação entre sistema calculado e sistema de gerador recomendado.....	159
TABELA 28 - Preços médios (R\$) dos dispositivos fotovoltaicos recomendados cotados em fev 2010.....	160
TABELA 29 - Comparação entre sistema calculado e sistema fotovoltaico residencial recomendado disponível no mercado	162
TABELA 30 - Preços médios (R\$) dos dispositivos fotovoltaicos recomendados cotados em fev 2010.....	163
TABELA 31- Comparação entre sistema calculado e sistema fotovoltaico residencial disponível no mercado.....	164
TABELA 32 - Preços médios (R\$) dos dispositivos fotovoltaicos recomendados cotados em fev	167
TABELA 33 - Comparação entre sistema calculado e sistema fotovoltaico residencial disponível no mercado.....	168
TABELA 34 - Preços médios (R\$) dos dispositivos fotovoltaicos recomendados cotados em fev 2010.....	169

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Número de ciclos de uma bateria em função do percentual de descarga.....	127
GRÁFICO 2 - Vida útil de uma bateria em função de sua temperatura....	128
GRÁFICO 3 - Tensão da bateria em função do estado de sua carga	128
GRÁFICO 4 - Redução da capacidade de um modelo de bateria em função do tempo de seu armazenamento	129
GRÁFICO 5 - Tempo de recarga em função da corrente.....	130
GRÁFICO 6 - Variação dos parâmetros corrente e tensão com a mudança de temperatura de operação do módulo Kyocera modelo KC85T.....	156
GRÁFICO 7 - Variação dos parâmetros corrente, tensão em relação a insolação recebida pelo módulo Kyocera modelo KC85T	157

SIGLAS UTILIZADAS NESTE TRABALHO

A- Ampère, unidade de corrente equivalente a Coulomb por segundo.

AC- *Alternating Current*, ou Corrente Alternada (CA). Corrente elétrica cujo sentido varia no tempo.

cal- Caloria, unidade de medida de energia equivalente a 4,1868 Joules.

CC- Corrente Contínua, *Direct Current* (DC). Fluxo constante e ordenado de elétrons, em uma direção.

cc- Curto-Circuito, conexão de dois condutores de potencial diferente.

cm- Centímetro, a centésima parte do metro.

e⁻- Elétron, partícula subatômica de carga $-1,602 \times 10^{-19}$ C. ET- Equação do tempo, h.

EVA- Espuma Vinílica Acetinada, cuja matéria prima é o *Ethylene Vinyl Acetate*. É uma espuma sintética termoplástica, de custo acessível.

FV- Fotovoltaico (a).

g- Grama, medida de peso equivalente a 10^{-3} Kg.

G- Giga, prefixo do Sistema Internacional, que denota um fator de 10^9 . h- Hora, unidade de tempo equivalente a 3600 segundos.

Hz- Hertz, unidade derivada do Sistema Internacional para frequência; expressa em termos de oscilações, vibrações ou rotações por segundo.

i- representa a corrente elétrica alternada.

I- representa a corrente elétrica contínua.

IDN- Radiação solar normal direta horária, na ausência de nuvens, Wxm^{-2} .

Imp- Corrente de Potência Máxima.

Isc- Corrente de Curto-Circuito.

J- Joule, unidade polivalente do Sistema Internacional.

kg- Quilo, prefixo do Sistema Internacional, que denota um valor de 10^3 . LED- *Light Emitting Diode*, Diodo Emissor de Luz.

m- Metro, uma unidade de medida de comprimento padrão que tem por base o sistema numérico decimal; definido como o comprimento do trajeto percorrido

pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de 1/299.792.458 segundos.
mm- Milímetro, é uma unidade de medida equivalente a um milésimo do metro
(1×10^{-3} m).

N- Dia do ano.

PM_{áx}- Potência Máxima.

PVB- Polivinil Butiral. Resina usada geralmente para as aplicações que requerem uma adesão forte, que tenha claridade óptica e flexibilidade. A aplicação principal é na produção de vidros laminados.

R- Resistência.

RPM- Rotação Por Minuto.

SC- Santa Catarina, estado federativo brasileiro. T- Temperatura.

U- Tensão elétrica.

US\$- Unidade monetária, dólar americano.

V- Volt, unidade de tensão elétrica do Sistema Internacional de Unidades. Voc-
Tensão de Circuito Aberto.

V_{mp} - Tensão de Potência Máxima. Vol- Volume.

W- Watt, unidade de potência do Sistema Internacional, equivalente a um joule

por segundo.

x- Vezes, índice de multiplicação.

δ - Declinação solar, graus.

RESUMO

O uso sistêmico do efeito fotovoltaico para produção de energia vem sendo analisado mais freqüentemente tanto no campo acadêmico, quanto no campo operacional. Face a sua distribuição praticamente equânime pelo planeta e pelo baixo índice de impactos ambientais que produz, a energia solar fotovoltaica constitui uma nobilíssima fonte energética, cujo potencial pode ser notadamente explorado com o desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias de captação e conversão. É indiscutível a necessidade de dispositivos de armazenamento, em se tratando do uso de energia solar fotovoltaica. Desta forma, esta pesquisa toma como base o armazenamento realizado através do uso de baterias. Por se tratar de um ramo que envolve equipamentos que se encontram em um constante e ascendente processo evolutivo, os dados empreendidos retratam a realidade no momento de edição do respectivo referencial teórico. A aplicabilidade e rentabilidade do uso da energia solar fotovoltaica em diversos usos, depende diretamente da capacidade/eficiência de captação, conversão, armazenamento e liberação de energia. Isto também se relaciona com as exigências e configurações dos sistemas fotovoltaicos, dos equipamentos de armazenamento de carga, e dos instrumentos que consumirão a carga armazenada. Neste trabalho acadêmico, procede-se a análise de veículos movidos por motor a explosão, veículos elétricos e mini placas eletrônicas aplicadas à robótica. Ante tal perspectiva, este trabalho visa salientar a constituição básica, aplicabilidade e viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos, e por conseguinte, a energia solar fotovoltaica, para as diversas finalidades, com base nos referenciais técnicos e práticos abordados.

Palavras-chaves: energia solar fotovoltaica, baterias, veículos, mini placas eletrônicas.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente quase que toda energia consumida pelo homem no planeta tem como fonte a energia proveniente do sol. O petróleo, o carvão, o gás natural são aceitos como constituintes de resíduos de plantas e animais fossilizados de forma anaeróbica, que inicialmente usaram a fotossíntese e conseqüentemente fizeram uso da energia solar de forma indireta. A biomassa, o ciclo hidrológico, bem como a circulação atmosférica também tem como sua principal fonte motora a energia solar. Os combustíveis utilizados em fissão e fusão nuclear e parte das energias provenientes das marés são exceções, pois não utilizam a energia solar.

O aumento de consumo pela civilização moderna é evidenciado pela diminuição acelerada do estoque de energias não renováveis, como o petróleo, que foi produzido e armazenado na natureza por muitos anos. Assim, é importante que a humanidade diversifique e racionalize as fontes de energia que necessite, ao mesmo tempo em que altere o atual perfil de consumo para que a radiação solar seja melhor aproveitada de forma expressiva para contribuir com as reais e atuais necessidades do padrão moderno de vida.

Na atualidade existem métodos artificiais de utilização da energia solar de forma direta, através dos efeitos térmicos e fotovoltaicos, usando a energia absorvida por coletores artificiais. Entretanto, em todos os casos de utilização da energia solar, deve-se fazer uma análise da viabilidade técnica e econômica da mesma, pois, nem sempre sua utilização será viável.

Um grande empecilho para o desenvolvimento da utilização direta da energia solar era o petróleo abundante e que tinha consideravelmente um bom

preço. Também, a energia elétrica proveniente de usinas hidrelétricas ocupa uma grande parcela de energia consumida no mundo devido a sua estrutura, disponibilidade e preço. Mas essas formas de energias possuem também problemas como o fator poluição ambiental, o não atendimento de toda a população, principalmente às de difícil acesso. Assim, surge espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias.

O estudo da energia fotovoltaica para o carregamento de baterias para fins diversos é o principal objetivo presente neste trabalho. Este estudo justifica-se pela necessidade de novos aproveitamentos desse potencial energético, visto que apresenta características interessantes que o qualificam. É necessário o conhecimento da maior quantidade possível de informações sobre esta energia envolvendo os dispositivos necessários para o seu aproveitamento.

Uma das aplicações estudadas nesse trabalho é o possível carregamento, com sistema fotovoltaico, de baterias de veículos de combustão interna, sendo esses veículos as motocicletas, automóveis, caminhões ônibus e tratores, uma vez que o carregamento tradicional utiliza-se de energia elétrica da rede em 127 ou 240 V.

Outra possível aplicação seria no carregamento das baterias para os veículos elétricos. Os motores elétricos utilizados nos veículos elétricos exigem energia elétrica proveniente de baterias. Esses tipos de motores não geram poluição, o que é uma grande vantagem em relação aos tradicionais motores de combustão interna, além de apresentarem melhores rendimentos. A justificativa para esta aplicação reside, também, no fato de que os veículos elétricos estão cada vez mais sendo utilizados e com isso aumenta-se o consumo de combustíveis renováveis não poluidores armazenados em baterias (energia

elétrica de origem fotovoltaica).

A energia fotovoltaica transforma a energia presente nos raios solares em energia elétrica de forma limpa, através do efeito fotovoltaico. Essa energia absorvida e convertida pelos módulos fotovoltaicos quando não utilizada no momento da produção, pode ser estocada em baterias. O sistema fotovoltaico, principalmente os módulos e as baterias adequadas para o armazenamento, estão em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento.

Todo processo de estudo envolve dedicação, paciência e tempo. O processo de aperfeiçoamento é muitas vezes lento. As escolas fornecem conhecimento aos alunos deste muito cedo. Assim, inserir a tecnologia fotovoltaica nas escolas acelera ainda mais o seu desenvolvimento desta tecnologia, pois teremos mais pessoas com idéias diferenciadas propensas a solucionar novos problemas desta forma alternativa de energia. O uso da informática associada à eletrônica vem sendo aceito cada vez mais pelas pessoas em formação. O outro objetivo deste estudo é verificar a viabilidade da instalação do sistema fotovoltaico para o fornecimento de energia para placas de uso robótico. As placas utilizadas em robótica controlam movimentos de motores, lâmpadas, campainhas e estão em fase de aceitação nas escolas no mundo todo. Esse processo envolve consumo de energia, então sugere-se usar a energia solar fotovoltaica com todos os seus dispositivos como placas, conversores, baterias, fazendo com que o aluno possa conhecer a tecnologia e verificar a sua utilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste artigo consiste em verificar se a energia solar fotovoltaica será capaz, com a tecnologia disponível atualmente, de atender satisfatoriamente, nos aspectos técnico e econômico, a recarga de baterias para fins diversos.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se a proposição de:

- Ressaltar as particularidades dos sistemas elétricos envolvidos, e suas necessidades de consumo de energia elétrica. Os referidos sistemas elétricos são de veículos movidos a motores de combustão interna como carros, motocicletas, caminhões, ônibus e tratores, bem como automóveis elétricos e mini placas de robótica.
- Mostrar como é feito o carregamento convencional de baterias e o possível carregamento através do sistema solar fotovoltaico.
- Verificar a viabilidade técnica e econômica do sistema solar fotovoltaico em cada sistema elétrico analisado.

3 FUNCIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS ELÉTRICOS ESTUDADOS

Ao se principiar um trabalho literário, profissional ou acadêmico, deve-se ter a premissa de se definir e explicitar o tema principal que será abordado ao longo do mesmo e que servirá de alicerce para a construção do projeto de pesquisa. É de igual importância que o funcionamento dos sistemas/dispositivos seja explicado de forma a proporcionar uma compreensão básica por parte dos leitores.

3.1 Veículos com funcionamento por motor a combustão interna

Em um veículo automotor o sistema elétrico pode ser por bateria ou por magneto, sendo que no sistema a magneto, a existência de uma bateria é somente para fornecer a corrente elétrica para a partida e iluminação, já a centelha da vela, que mantém o motor em funcionamento, é produzida pelo magneto. O sistema elétrico pode ser dividido em três partes: produção, armazenamento e consumo.

3.1.1 Produção de energia elétrica

É a parte composta por gerador e dispositivo de controle de corrente e tensão.

3.1.1.1 O Gerador

Ele pode ser um dínamo ou um alternador.

Segundo Paz (1965) se necessitamos de uma tensão constante, não alternada, recorremos a um artifício que fornece a corrente sempre no mesmo sentido, denominada corrente contínua.

O dínamo é um órgão que transforma a energia mecânica em energia elétrica para fornecê-la à bateria, de modo a suprir a energia consumida durante o funcionamento da máquina. A corrente gerada é do tipo contínua e a voltagem máxima produzida dependerá da intensidade do campo magnético, do número de espiras do enrolamento e da rotação. Os dínamos têm sua velocidade de rotação limitada, por causa do atrito das escovas sobre as lâminas do coletor. A FIG.1 mostra as partes de um dínamo, onde B são as boninas, J e K são as escovas e L o porta escovas.

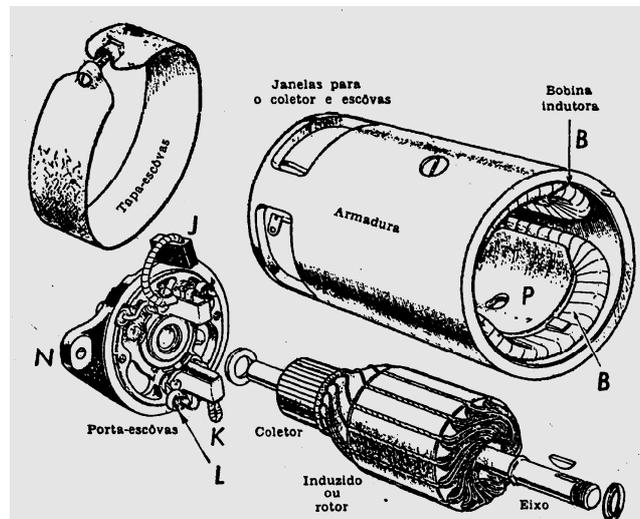


FIGURA 1- Dínamo desmontado
FONTE: Manual de Automóveis, 1965

Um dos instrumentos presentes em um veículo com funcionamento

baseado em motores a combustão interna, é o alternador que está ilustrado na FIG.2. Este equipamento transforma a energia mecânica em energia elétrica, sendo o alternador, um gerador síncrono, que opera de acordo com o fundamento da indução eletromagnética.



FIGURA 2 - Imagem de um alternador
FONTE: Manual Bosch, 2009

Deste modo, em um circuito fechado flui uma corrente alternada que se torna maior quanto mais alta for a rotação do motor, e quanto mais forte for o campo magnético. Em sua aplicação automotiva, o alternador é responsável por fornecer uma carga à bateria, recarregando-a durante o funcionamento do veículo, agindo de forma contrária ao motor de arranque. Os alternadores têm a capacidade de carregar a bateria mesmo em baixa velocidade. A corrente produzida é do tipo alternada necessitando, por isso, de retificadores.

3.1.1.2 Dispositivo de controle de corrente e tensão

A corrente produzida seja no dínamo ou no alternador deve ser controlada em seus valores de voltagem e amperagem para que não haja danos no sistema elétrico. O controle de tensão é feito pelo regulador de voltagem, o qual regula a excitação do campo gerador. O regulador de voltagem consta simplesmente de um eletroímã com uma bobina de campo e dois platinados.

Na mesma caixa do regulador de voltagens temos mais dois eletroímãs que tem funções de ligar e desligar o circuito dínamo-bateria e controlar a corrente máxima produzida pelo gerador. A FIG. 3 detalha o circuito.

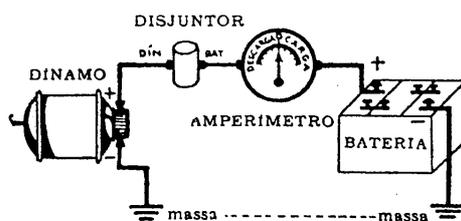


FIGURA 3 – Circuito com dínamo-bateria com disjuntor e amperímetro entre eles.

FONTE: Manual de Automóveis, 1965

Nos sistemas com alternadores não há necessidade de disjuntor porque os retificadores não permitem a passagem da corrente em sentido contrário. O retificador deve converter a corrente alternada (trifásica) do alternador, em corrente contínua para se carregar a bateria.

A FIG.4 indica que o alternador T une-se à bateria C, através do amperímetro, com a mesma chave L com que se fecha ou corta-se o circuito H da ignição. Aciona-se (quase sempre com contatos em L independentes dos contatos de H) o circuito indutor no rotor F, passando por um fusível S e o regulador de voltagem R. A regulagem para limitar a intensidade, realiza-se no

próprio alternador graças ao fato de que os enrolamentos do indutor podem ser construídos de tal forma que sua “auto-indução” impede que a corrente formada suba acima de um valor predeterminado. O aumento de frequência, causado pelo aumento das r.p.m., faz com que a citada auto-indução seja maior, auxiliando à limitação da corrente.

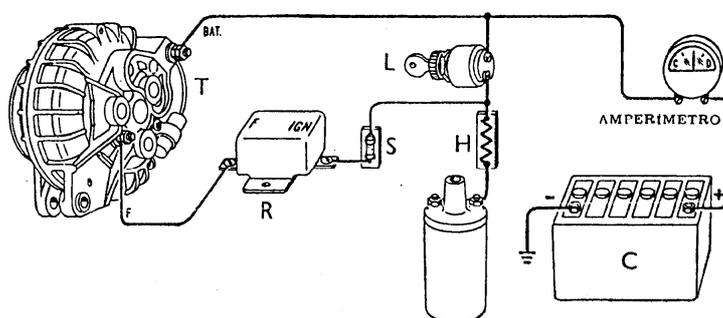


FIGURA 4 - Circuito elétrico de um automóvel Chrysler
FONTE: Manual de Automóveis, 1965

3.1.2 Armazenamento através de baterias

3.1.2.1 Definições

A bateria utilizada no funcionamento de veículos com motor à combustão interna, é uma bateria química, cujo elemento básico de carga é o conjunto de duas placas, de composições diferentes, imersas num líquido eletrólito, e mantidas afastadas uma da outra por um separador de material isolante, porém poroso, de modo que passem os íons, e conseqüentemente a corrente elétrica.

A dissimetria química entre as duas placas de materiais diferentes,

presentes na bateria, gera uma tensão (voltagem) variável de acordo com a quantidade e o tipo de materiais, bem como com a constituição interna da bateria com os desenhos, espessuras e porosidades das placas, intensidade de descarga e temperatura.

Quanto maior a quantidade de eletrólito e maior o eletrodo da bateria, maior é a capacidade da mesma. Assim, temos baterias de todos os tamanhos, pesos, capacidade de armazenamento (Ah). Temos baterias diferentes para cada tipo de consumo: para ônibus, caminhões, automóveis, tratores, motocicletas, etc.

3.1.2.2 Alguns tipos de baterias

Existem diversos tipos de baterias como hidreto metálico de níquel (NiMH), níquel cádmio (NiCd), íon lítio, bateria de gel, zinco ar e chumbo ácido.

Nesta seção destaca-se apenas os tipos de baterias mais usados em veículos comuns, com funcionamento por motor de combustão interna de motocicletas, automóveis, caminhões, ônibus e tratores.

Assim, pode-se citar as do tipo acumulador de chumbo; também conhecidas como baterias de chumbo. Foram inventadas por Gaston Piantei em 1860 e são constituídas por uma associação de pilhas (elementos), ligadas em série. O potencial de cada pilha é de aproximadamente 2V; e uma bateria comumente utilizada nos carros modernos, fornece uma tensão de 12V.

As baterias de chumbo, tem dois eletrodos; sendo um de dióxido de

chumbo em pó, e o outro de chumbo esponjoso; ambos imersos em uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), com densidade variando aproximadamente de 1,20 a 1,29g/ml dependendo do tipo de bateria e das condições de serviço e temperatura. Observa-se que para cada 5°C acima de 20° (referência), a densidade do eletrólito medida deve ser reduzida de 0,004g/ml. Se diminuirmos 5°C (baixo dos 20°C) a densidade deverá ser aumentada. O eletrólito está inserido no interior de uma malha de chumbo-antimônio; por ser, esta liga, mais resistente à corrosão. A parte externa da bateria é constituída por uma caixa de ebonite (borracha dura e moldada) ou de outro material plástico (polipropileno) resistente ao ácido. A FIG.5 mostra uma bateria do tipo chumbo ácido sem a parte plástica frontal para ilustrar o que foi dito anteriormente.



FIGURA 5 – Bateria chumbo ácida livre de manutenção
FONTE: Manual de baterias Bosch, 2009

A geração de energia se dá quando o circuito externo é fechado, conectando eletricamente os terminais. Quando isso ocorre, se inicia um processo de semi-reação de oxidação no chumbo, e de redução no dióxido de chumbo; o que promove a descarga elétrica. O chumbo atua como ânodo;

enquanto o dióxido de chumbo age como cátodo. A reação produz sulfato de chumbo (PbSO_4), um composto insolúvel na solução, que se adere aos eletrodos.

Quando o acumulador esta se descarregando, ocorre um consumo do ácido sulfúrico, o que diminui a densidade da solução. Deste modo, pode-se aferir a carga ou descarga, ao medir a densidade da solução eletrolítica. Uma vez que os íons empregados são móveis e as reações estabelecidas, são reversíveis, o acumulador pode ser recarregado. Assim, os íons móveis, ao receberem carga elétrica, invertem a reação química de descarga, regenerando os reagentes. Para tanto, é empregada uma corrente contínua (CC), passando do eletrodo de chumbo para o de dióxido de chumbo.

As baterias totalmente livres de manutenção são de desenvolvimento posterior das baterias híbridas. As grades são compostas por uma liga de chumbo-cálcio-prata. A liga de prata confere à grade uma alta resistência contra corrosão até mesmo em altas temperaturas, o que resulta em uma vida útil maior e uma resistência melhor contra sobrecargas. As baterias cálcio/cálcio e cálcio/prata são livres de antimônio. O consumo de água é reduzido e, conseqüentemente, o eletrólito não precisa ser repostado durante toda a sua vida útil; grades mais finas e o aumento da quantidade de placas melhora o desempenho da partida à frio do veículo e possui uma potência de partida maior (aproximadamente 30 % maior) do que a bateria convencional.

As baterias de gel substituem as baterias de chumbo convencionais, permitindo uma vida útil mais prolongada. Praticamente não tem evaporação eletrolítica como acontece com as baterias ácidas, além de possui maior resistência a temperaturas elevadas, vibração e choque.

Os demais tipos de baterias serão explicados quando se tratar de veículos elétricos e sistemas fotovoltaicos nas próximas seções.

3.1.2.3 Capacidade de armazenamento de carga

A capacidade de armazenamento de carga de uma bateria é expressa em ampére-hora (Ah), observando que 1Ah corresponde a 3600 coulombs. É a quantidade de eletricidade em ampére-hora para uma temperatura de referência (25°C), fornecida pela bateria em determinado regime de consumo (descarga), até atingir a tensão final de descarga. Outra maneira de mensurar a capacidade de uma bateria é em watt-hora, considerando também uma temperatura de referência. Para uma bateria de 100Ah, podemos ter uma corrente de 1A durante 100 h ou 5A durante 20h. A TAB.1 mostra as capacidades mínimas e máximas de baterias para diferentes veículos. Ela resume um levantamento feito para diversas marcas de veículos da mesma categoria. Os motores diesel de todas as categorias de veículos exigem baterias com maior capacidade.

TABELA 1 - Capacidade de armazenamento de carga (Ah)

	Motocicletas	Automóveis	Ônibus	Caminhões	Tratores
Valor mín.	3	40	70	70	70
Valor máx.	14	92	205	205	205

FONTE: Catálogo de baterias CRAL, 2009

3.1.3 Consumo

A energia elétrica armazenada é consumida durante o funcionamento dos motores (através da centelha elétrica), consumida nos motores de partida e também utilizada nos dispositivos elétricos como lâmpadas, faróis, rádios, som e demais acessórios.

3.1.4 Sistemas de ignição e partida

O consumo de grande parte da energia da bateria tem início no processo de ignição do veículo, por isso, torna-se necessário o conhecimento dos tipos de ignição usados.

3.1.4.1 Ignição por calor de compressão

De acordo com Behar (1978), o motor a diesel, também conhecido como motor de ignição por compressão, foi desenvolvido a partir do aperfeiçoamento das máquinas a vapor. Esta denominação de motor de ignição por compressão se deve ao fato de a combustão ocorrer pelo aumento da temperatura, gerado pela compressão de uma mistura inflamável. Devido às altas taxas de compressão aplicadas, o motor diesel apresenta uma robustez notadamente superior aos motores de explosão a quatro tempos.

3.1.4.2 Ignição pela centelha elétrica

Atualmente utilizados dois tipos: sistema de ignição por bateria e sistema de ignição por magneto.

De acordo com Arias-Paz, a FIG.6 revela o esquema de ignição por bateria em automóveis. A linha tracejada (pontilhada) mostra o caminho do circuito primário: bateria, chave de ignição (Q), bobina (N) e ruptor (R) com seus contatos (K). A linha cheia mostra o caminho do secundário: bobina (N), distribuidor (D) e velas (J). A corrente da bateria, de baixa tensão (6v, 12v, 24v,...), é transformada por meio do ruptor e da bobina em corrente de alta voltagem, que é enviada às velas.

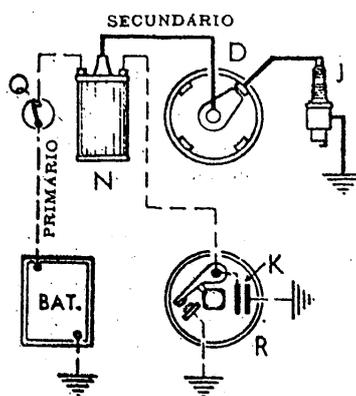


FIGURA 6 - Esquema de ignição por bateria em um automóvel
FONTE: Manual de Automóveis, 1965

O sistema de ignição eletrônica surgiu com o aparecimento de maiores rotações dos motores, exigindo maiores potências nas faíscas e sem falhas para não haver queda de rendimento.

O Sistema de Ignição por magneto utiliza magnetos, que são dispositivos capazes de gerar energia elétrica. Na ignição por magneto, em vez de utilizar a corrente da bateria, fabrica-se a corrente de baixa tensão no próprio aparelho, e do mesmo modo que no distribuidor, transforma-se em alta tensão

por meio de um ruitor e bobina sendo distribuída para as velas. Os magnetos recebem movimento do motor e transforma-o em energia elétrica através da força eletromagnética de um ímã permanente. O magneto é usado em motocicletas e alguns tratores.

3.1.4.3 O motor de arranque

É um motor elétrico, cuja função é acionar o motor do automóvel até que o mesmo tenha condições de funcionar sozinho. Após isso, ele fica inoperante. A FIG.7 ilustra um motor de arranque.



FIGURA 7 - Motor de Arranque
FONTE: Wikimedia Commons, 2010

O motor de arranque, ou de partida, transforma energia elétrica de corrente contínua em energia mecânica; funciona produzindo um movimento de rotação; consome uma grande quantidade de energia e foi concebido para funcionar por apenas um curto período de tempo. A TAB.2 indica os máximos valores de corrente para diversos motores de partida em função da capacidade volumétrica do motor principal de combustão interna.

TABELA 2 - Valores de correntes para diversos motores de partida

Capacidade volumétrica dos motores de combustão (cilindradas)	Corrente Máxima (A)
1000 a 1600	130
1600 a 2000	150
2000 a 4500	180

FONTE: Manual Bosch, 2009

De acordo com Barger (1963), nos tratores, também os motores de partida realizam trabalho pesado, principalmente em tempo frio. As bobinas do rotor e do campo são acopladas em série e feitas de material resistente para suportar altas correntes de 500 a 600 ampères. Por essa razão, recomenda-se que o motor de partida não seja acionado continuamente por mais de 30 segundos, para dar-lhe tempo de esfriar entre as ações de arranque. Os tratores diesel, que empregam partidas elétricas, impõem cargas de arranque mais pesadas que os motores de ignição por centelha, da mesma cilindrada. Em parte, isso se deve à construção mais robusta e, também, à maior taxa de compressão empregada, mas, talvez ainda mais acentuadamente, por exigirem velocidades de arranque de 100 a 200rpm enquanto que os motores a gasolina requerem somente de 30 a 40rpm.

3.1.5 Esquemas gerais de instalações elétricas

3.1.5.1 Esquema geral de instalações elétricas em automóveis

Os motores de combustão interna do tipo quatro tempos encontrado em automóveis, aspiram para a câmara de combustão do motor uma mistura de ar

e combustível, que é queimada a partir de uma faísca elétrica advinda da vela de ignição. Ressalta-se que esta faísca é gerada no momento onde se tem a compressão máxima da mistura.

No motor diesel, a aspiração é substituída pela injeção de óleo combustível (óleo diesel), no instante em que se tem a máxima compressão do ciclo. A alta taxa de oxigênio faz com que o óleo entre em combustão, gerando a explosão. Com isso há a dispensa da ignição elétrica.

3.1.5.2 Esquema geral de instalações elétricas de caminhões e ônibus

Segundo Behar (1978), no que se refere a motores a diesel usados em ônibus e caminhões, na maioria dos motores, uma instalação elétrica completa o equipamento, a fim de assegurar, principalmente, o arranque, e eventualmente, o funcionamento das velas de pré-aquecimento. Além de lâmpadas-piloto. O bom estado da instalação em funcionamento costuma ser controlada por meio de um amperímetro, que informa permanentemente o valor da corrente de carga pelo dínamo, ou de descarga.

3.1.5.3 Esquema geral de instalações elétricas de tratores

Para Barger (1963), os motores diesel dos grandes tratores agrícolas empregam, normalmente, uma bateria de 24 volts devido à potência adicional requerida pela partida. O sistema elétrico é essencialmente o mesmo, para o trator diesel e para o trator à gasolina, exceto pela falta de um sistema elétrico de ignição, no primeiro.

3.1.5.4 Esquema geral de instalações elétricas de motocicletas

No sistema elétrico das motocicletas existe um gerador acoplado ao virabrequim, que com o giro do motor, produz energia elétrica, para manter o carregamento de carga da bateria. Normalmente gera corrente alternada trifásica e de tensão aproximadamente entre 80 e 120 volts, dependendo de cada modelo de motocicleta. Para transformar corrente alternada em corrente contínua usa-se um retificador, que transfere ao circuito regulador uma tensão limitada em até aproximadamente 14 volts. O regulador é ligado diretamente à bateria, com o papel de manter essa em constante carga, durante o funcionamento do motor. Para distribuir a energia elétrica, estocada nas baterias, entre todos os componentes do veículo (motor de partida, lanternas, faróis, botões de acionamento, sensores) utiliza-se uma fiação ou “chicote”.

3.2 Veículos com Funcionamento por Motor Elétrico

Nos veículos movidos unicamente à eletricidade, seu funcionamento se deve a um motor elétrico; que é um dispositivo que transforma energia elétrica em mecânica, através do movimento de um eixo. Este motor recebe força de um regulador, que por sua vez é alimentado por um conjunto de baterias recarregáveis.

3.2.1 Regulador de tensão

O regulador de tensão elétrica é um dispositivo formado, na maioria das vezes, por materiais semicondutores e circuitos integrados, cujo objetivo é manter a tensão dentro dos limites exigidos pelo motor e dentro da capacidade

da bateria. A FIG.8 destaca imagem de um regulador de tensão elétrica.



FIGURA 8 - Regulador de Tensão Elétrica de 50 kW
FONTE: Energias, 2010

Em casos de falha no regulador de tensão, pode ocorrer a queima ou dano dos componentes do veículo, pelo aumento da tensão, ou então, a queda na tensão pode ser expressiva ao ponto de descarregar completamente a bateria, promover sua deterioração, e conseqüentemente, a parada do veículo.

Regular uma tensão variável ou não, em uma tensão limite fixa, esta é a função do regulador. Para isso, é necessário que a tensão de entrada seja superior à tensão de saída. O movimento ocorre com base no fechamento do circuito por meio da chave, e pelo acionamento de um interruptor que geralmente é embutido na forma de um pequeno botão no painel ou na alavanca de câmbio seletora. É este pequeno interruptor que envia um sinal para o regulador de tensão.

A velocidade e a aceleração do veículo são determinados pela potência com que o acelerador é acionado. Tomando por exemplo um carro, a velocidade a ser desenvolvida dependerá da intensidade em que o pedal do acelerador é forçado. Assim, um potenciômetro analisará a intensidade da força aplicada sobre o pedal, e enviará o sinal para o regulador de corrente que irá liberar para o motor, uma quantidade de carga proporcional à intensidade de acionamento do pedal.

3.2.2 Motores elétricos

Os veículos elétricos contam com um motor elétrico; cuja função é transformar energia elétrica em energia mecânica. Estes motores têm como vantagem utilizarem a energia elétrica que apresenta baixo custo, facilidade de transporte, baixo impacto ambiental e facilidade de comando/manuseio. Eles ainda possuem notabilidade em sua construção simples, custo reduzido, imensa versatilidade de adaptação para funcionamento com diversas tensões, e melhor rendimento que os motores a combustão.

3.2.2.1 Definições e princípio básico de funcionamento

De acordo com Franchi (2007), o motor elétrico é um equipamento cujo funcionamento se baseia nas Leis de Faraday e Lenz. Existem diversos tipos de motores elétricos, dentre os quais se destacam os motores de corrente contínua, os motores de indução ou assíncrono, os motores síncronos, os motores de relutância, e o motor universal. O eletromagnetismo é o principal meio de operação da maioria dos motores elétricos. Seu funcionamento se baseia no princípio de que existe uma força mecânica (Força de Lorentz) atuando sobre um fio, quando este está transportando a eletricidade contida

dentro de um campo magnético.

Para Gambirasio (1975), o movimento rotacional do motor se deve ao rotor em decorrência da disposição dos fios e do campo magnético, que fazem com que a força resultante promova um torque cujo desenvolvimento se dê sobre a linha central do rotor. Em sua maioria, os motores eletromagnéticos são giratórios, entretanto existem também motores elétricos lineares.

Segundo Lobosco (1988), um dos fatores complexos no que concerne aos equipamentos elétricos é a dificuldade de resfriá-los. Dificuldade esta que aumenta proporcionalmente ao tamanho dos mesmos. Em alguns casos, para se superar este fator limitante são utilizados sistemas de refrigeração fechado, tendo como gás refrigerante o hidrogênio. O resfriamento a hidrogênio não se aplica a motores elétricos utilizados em automóveis; para estes, na maioria dos casos, basta um sistema de refrigeração a ar ou água.

3.2.2.2 Motores elétricos de corrente contínua e alternada

Existem dois tipos principais de motores elétricos, os motores de corrente contínua e os motores de corrente alternada. Os motores de corrente contínua apresentam um custo elevado e necessitam de um dispositivo conversor de corrente alternada para corrente contínua. As velocidades apresentadas pelos motores de corrente contínua possui uma ampla gama de ajustes, o que os torna flexíveis e precisos. Os motores de corrente contínua têm seu uso restrito às conjunturas em que as exigências do sistema compensam o elevado custo desta tecnologia; ou quando as circunstâncias de instalação e alimentação atendem às exigências do sistema, quando se utiliza pilhas e

baterias, por exemplo.

Os motores de corrente alternada (CA) constituem-se basicamente de um equipamento rotativo que tem seu funcionamento a partir da energia elétrica.

Eles apresentam de um modo geral, maior utilização; uma vez que são mais baratos e tem menos itens de manutenção; o que reduz os custos posteriores à instalação. Seu princípio de funcionamento se fundamenta no fato de existir um campo girante que surge quando se aplica um sistema de correntes alternadas trifásico em pólos que apresentem defasagem física de 120° elétricos.

3.2.3 Motores elétricos nos veículos elétricos

Num veículo se for um motor elétrico CC, ele deve funcionar na faixa de 96 a 192 volts. Deste modo, liga-se o pedal do acelerador a um potenciômetro, e este a um regulador de corrente contínua. Por sua vez, liga-se o controlador ao complexo de baterias CC e ao motor de corrente contínua. Assim, ao se exercer sobre o pedal uma força de modo que se atinja a potência máxima, o regulador irá fornecer ao motor uma carga de 96V a 192 V conforme o valor da voltagem de entrada no regulador.

Caso se retire a aplicação de força sobre o pedal, o potenciômetro não enviará sinal para o regulador de corrente, e, portanto, a carga enviada para o motor será de 0V. Para acelerações intermediárias, potenciômetro enviará um sinal da média de aceleração, e o regulador criará uma média da carga a ser liberada, dividindo a carga total pelo percentual da aceleração. Deste modo, ao se aplicar uma força que correspondam ao total suportado pelo pedal, o potenciômetro irá liberar para o motor uma carga correspondente a 100%. A

FIG.9 mostra imagem esquemática do sistema explicado.

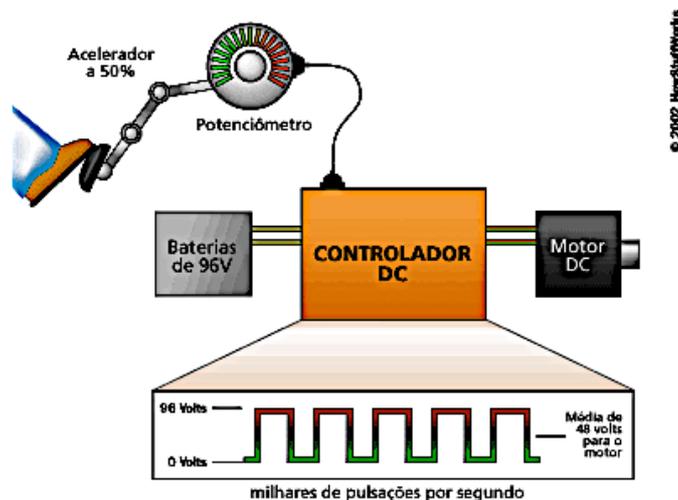


FIGURA 9 - Esquema ilustrativo de aceleração de um motor elétrico de corrente contínua.

FONTE: Energias, 2010

Se for um motor CA, ele é provavelmente um CA trifásico, que funciona a 240 volts CA com um conjunto de baterias de 300 volts. Um regulador CA de 50KW (aproximadamente 65cv) se liga ao motor CA. Utilizando seis conjuntos de transistores, o regulador recebe 300 volts CC da bateria e produz 240 volts CA, trifásica. O regulador ainda fornece um sistema de recarga para as baterias e um conversor CC-CC para recarregar a bateria de 12 volts, que fornecerá energia para os acessórios (FIG.10).

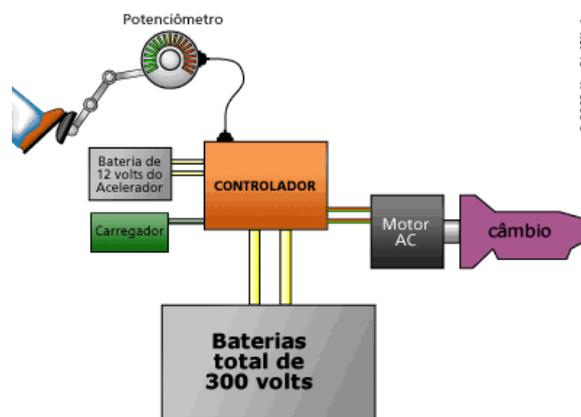


FIGURA 10 - Esquema ilustrativo de aceleração de um motor elétrico de corrente alternada (CA)
FONTE: Energias, 2010

A maioria dos reguladores pulsa mais de 15 mil vezes por segundo, de maneira a manter a pulsação fora dos limites da audição humana. A corrente pulsante faz com que a carcaça do motor vibre na mesma frequência, assim, ao pulsar a mais de 15 mil ciclos por segundo, o regulador e o motor tornam-se silenciosos ao ouvido humano. A maior parte dos motores e reguladores CC, usados nos carros elétricos são da indústria de empilhadeiras elétricas.

As instalações CC tendem a ser mais simples e mais baratas comparadas com as de CA. Um motor típico funciona com potência entre 20KW a 30KW (por exemplo, um regulador de 96 volts entregará um máximo de 400 ou 600 ampères), enquanto que um motor CA funciona com potência média de 50KW. Os motores CC têm a boa característica de poderem operar com sobrecarga (até um fator de 10 para 1) durante curtos períodos de tempo. Por exemplo, um motor de 20 KW aceitará 100 KW por um curto período e produzir 5 vezes mais potência que a nominal. Isso é ótimo para acelerações rápidas momentâneas. A

única limitação é o aquecimento do motor. Se for utilizado demais nessa condição, ele aquecerá a um ponto em que poderá sofrer danos irreversíveis.

As instalações CA permitem o uso de quase todo o tipo de motor CA trifásico. Isso possibilita encontrar mais facilmente um motor com o tamanho, forma ou potência nominal desejados. Os motores e os reguladores CA geralmente têm uma característica regenerativa; durante a frenagem, o motor se transforma em um gerador e devolve energia para as baterias.

3.2.4 Baterias para veículos elétricos

Os veículos elétricos utilizam baterias próprias para tração, chamadas de tracionárias, adequadas às descargas profundas. Estas baterias podem ser de diversos tipos, com suas próprias particularidades operacionais, e taxas específicas de rendimento e vida útil.

Para escolher qual o melhor tipo de bateria para uso em veículos elétricos devem ser analisados diversos fatores como a autonomia, a velocidade, a aceleração. Outro fator a ser apreciado com acuro, para a escolha de baterias para estocagem energética a serem empregadas em veículos, é atender aos seguintes pré-requisitos: alta densidade de energia, alta eficiência elétrica (tanto de carga quanto de descarga), alta durabilidade, baixo custo de fabricação (e conseqüentemente de compra), baixo teor de poluentes e a segurança que apresentam.

Os resultados de pesquisas com os tipos de baterias para veículos elétricos foram discutidos no “1º seminário nacional sobre sistemas eletroquímicos: baterias e células a combustível”, realizado no Ceará em 1980,

onde alguns valores foram expostos na TAB.3, que indica as principais baterias e suas características mais importantes.

TABELA 3 - Características das Principais Baterias para Veículos Elétricos

Bateria	Volts	Energia Específica (Wh/Kg) ¹	Energia Específica (Wh/Kg) ²	Temperatura (°C)	Eficiência (%) ³	Vida Útil (Anos)	Custo (\$/KWh) ⁴	Nº Ciclos
Pb/ H ₂ SO ₄ / PbO ₂	2,1	175	40	Amb.	75	1,0	60	300
					-		-	80
Fe/ KOH/ NiOOH	1,37	267	66	Amb.	50	10	120	1000
	60					-		
Zn/ KOH/ NiOOH	1,7	326	77	Amb.	75	3,0	80	300
					-			
Li/ LiCL- KCL/ FeS	1,3	650	121	425	75	2,5	60	1000
	-		-	-	-			
Na/ β- Al ₂ O ₃ / S	2,08	308	121	300	75	2,0	60	500
	-							-
	1,75	763	350		80			1000

Legenda: 1- Teórica 2- Prática 3- Aproximada 4- Projetado

FONTE: Anais do 1º Seminário Nacional Sobre Sistemas Eletroquímicos: Baterias e Células a Combustíveis, 1961

Atualmente as baterias produzidas no tipo chumbo-ácido, são oferecidas com capacidade de 110 a 2.170 Ah/8h, podendo ser usadas em veículos e dispositivos elétricos e em veículos tracionados por baterias. Utilizam placas positivas do tipo tubular com tubetes quadrados operando com baixo consumo de corrente, o que reduz o calor dissipado pelos componentes, como motores e contadores elétricos, além de diminuir o período médio entre as manutenções. Estas baterias têm desempenho operacional com vida útil de até 1.500 ciclos, com 80% de profundidade de descarga. A FIG.11 ilustra um tipo de bateria para veículos elétricos.



FIGURA 11- bateria chumbo ácida selada do tipo tracionária
FONTE: wikimédia cummons

Existem também as baterias do tipo tubular líquidas, conhecidas como baterias ventiladas, cujo projeto inovador é resultado de anos de experiência na construção de baterias ventiladas. Seu reduzido nível de auto-descarga, a converte em uma bateria de baixa manutenção, altamente confiável para aplicação em automóveis elétricos podendo chegar até 3310 Ah de capacidade.

Todos os carros elétricos têm uma outra bateria a bordo. Trata-se da bateria chumbo-ácido de 12 volts que todo automóvel movido a motor de combustão interna tem. Essa bateria fornece energia para os acessórios como faróis, rádio, ventiladores, computadores, airbags, limpadores de pára-brisa,

vidros elétricos e instrumentos dentro do carro. Do ponto de vista econômico, é lógico que o automóvel elétrico também deve usar esses aparelhos, já que estão prontamente disponíveis e são padronizados em 12 volts.

Os fabricantes de automóveis identificaram três tipos de baterias recarregáveis adequadas para um carro elétrico. Os tipos são: baterias de chumbo, baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH) e baterias de íon-lítio (Li-ion).

As baterias de hidreto metálico de níquel entraram no mercado no final dos anos 80. Elas possuem uma alta densidade de energia, ou seja, uma grande quantidade de energia pode ser contida numa bateria relativamente pequena. E elas não contêm metais tóxicos, por isso são fáceis de reciclar.

As baterias de íon-lítio, que entraram no mercado no início dos anos 90, possuem uma densidade de energia muito alta e, diferente da maioria das baterias, elas não perdem a carga quando não são utilizadas, uma propriedade chamada auto-descarga. Por causa do pouco peso e dos baixos requerimentos para manutenção, as baterias de íon-lítio são largamente usadas em aparelhos eletrônicos como computadores laptop. Alguns especialistas acreditam que as baterias de íon de lítio é o mais próximo que a ciência chegou no desenvolvimento de uma bateria recarregável perfeita, e este tipo de bateria é o melhor candidato para fazer os carros rodarem no futuro próximo. Uma variação das baterias de íon-lítio, chamadas de baterias de polímero de íon-lítio, também provarão o seu valor no futuro dos carros elétricos. Essas baterias podem acabar custando menos para construir do que as baterias de íon-lítio; porém, hoje, as baterias de polímero de íon-lítio são caras. A estimativa de vida útil das baterias de íon de lítio fica entre 160.000 e 240.000 km ou dez anos.

A FIG.12 mostra o chassi do veículo de conceito Chevy Volt 2007, onde destaca-se a localização da bateria de íon-lítio no veículo.

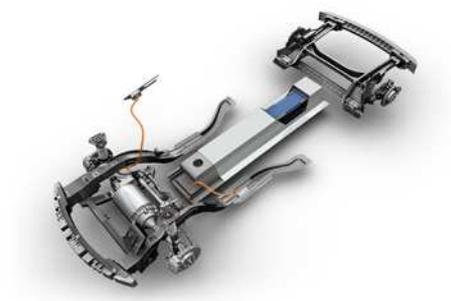


FIGURA 12 - localização da bateria de íon-lítio do veículo (em azul), cortesia GM Corp

FONTE: wikimédia cummons, 2010

A TAB. 4 mostra as baterias usadas em veículos elétricos desenvolvidos entre 1996 e 2008.

TABELA 4 - Principais baterias utilizadas em veículos elétricos

Modelo do veículo	Tipo de bateria
Electrovair II 1966 (General Motors)	prata-zinco
Electrovette 1976 (General Motors)	chumbo
Volvo 3CC 2005 (Volvo)	íon-lítio
Chevy Volt 2007 (General Motors)	íon-lítio

Motors)	
Nissan Mixim 2007 (Nissan)	íon-lítio
Continental DC 2008 (Bentley Motors)	chumbo
Subaru Stella 2008 (Subaru)	íon-lítio
Nissan Denki Cube 2008 (Nissan)	íon-lítio

FONTE: Wikimédia cummons, 2010

Um novo tipo de bateria para veículos elétricos poderá ter o eletrólito descarregado trocado na hora, sem necessitar de esperar pelo recarregamento tradicional. A nova "bateria a ar" eleva em até 10 vezes a capacidade de armazenamento de energia em comparação com as baterias atuais e poderá ser mais barata, já que substitui o óxido de lítio por uma estrutura de carbono.

Alguns tipos de bateria estão em estudos. Como há sempre uma significativa evolução das tecnologias, verifica-se a importância de destacar alguns estudos relativos às baterias como:

- . Nanocapacitores eletrostáticos com capacitores flexíveis e adaptáveis.
- . baterias feitas com vírus.
- . bateria rapidamente recarregável de lítio-enxofre onde utiliza-se uma espécie de via rápida para elétrons no material tradicionalmente utilizado na fabricação de baterias de lítio. É uma combinação de elementos teoricamente promissora, mas que vem desafiando os químicos há pelo menos 20 anos.

3.2.5 Motos elétricas

As motos elétricas chegaram ao mercado, oferecendo economia e poluição zero, mas com pouco desempenho e autonomia. Observa-se atualmente motos elétricas mais rápidas e eficientes.

A maioria das motos comuns (motor a combustão) que rodam no Brasil não segue a mesma legislação dos carros, poluindo de 40 a 60 vezes mais que um carro zero, pois não contam com catalisador ou injeção eletrônica, embora as motos gastem pouco combustível, até 70km/l de gasolina.

Existem motos elétricas atualmente produzida nos Estados Unidos com potência de 9 cv até 31 cv; com velocidades máximas de 100 Km/h, com autonomia entre recarga das baterias de até 70 Km. Os custos das motos elétricas variam entre U\$3.000,00 e U\$12.000,00. O tempo de recarga das baterias é em média de 3 horas. Essas motos elétricas são equivalentes às motos de motor a combustão interna (motos comuns) de 100 a 250 cilindradas. Existe uma moto para corridas e arrancadas que utiliza 364 V de energia fornecida por 1210 células de bateria nanofosfato estas ainda estão em fase de estudo e aperfeiçoamento.

A FIG.13 mostra uma moto elétrica com sua bateria em destaque.



FIGURA 13 - Moto elétrica com sistema de bateria em destaque
FONTE: Energias, 2010

A FIG.14 destaca o painel de uma moto elétrica.



FIGURA 14 - Painel de uma moto elétrica
FONTE: Energias, 2010

No Brasil, a Unicamp que é uma das responsáveis pelo desenvolvimento da moto elétrica, concentra as pesquisas em áreas como a otimização da tração do veículo em diferentes condições de uso e tipos de

terreno encontrados, ampliação de autonomia e redução do tempo de recarga da bateria.

Uma das primeiras modificações deverá ser a substituição das baterias, que no protótipo são de baterias chumbo-ácidas comuns, como as utilizadas em automóveis. A opção deverá recair nas baterias de íons de lítio, menores, mais leves e com maior densidade de carga.

As baterias de lítio fosfato (LiFePO_4) são recomendadas em motores 24V com 360 W a 700 W de potência (550 W sugerido). Possuem autonomia de 40 a 50 km em uso com motor 550W superando, em média, 27% ao pack de baterias original Brazil Electric do tipo chumbo-ácido gel selada de 24v e capacidade 18Ah. A FIG.15 mostra a bateria acima mencionada juntamente com o módulo de gerenciamento da mesma.

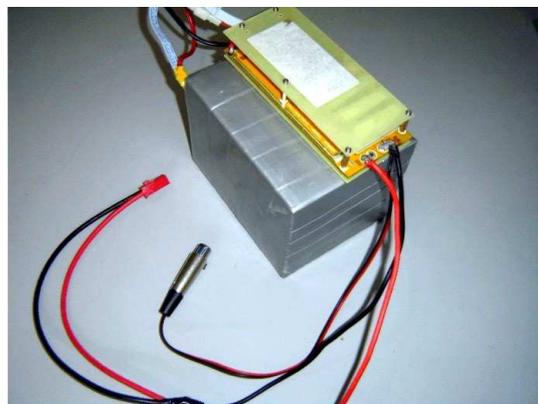


FIGURA 15 - Bateria LiFePO_4 com seu módulo (acima da bateria)
FONTE: wikimédia cummons, 2010

As baterias de LiFePO_4 tem grandes vantagens em relação às de chumbo ácido, Ni-CD (Níquel Cádimo) e Níquel Metal Hidreto (NI-mH), pois

possuem pequeno volume e peso, é amigável ao meio ambiente, por não possuir chumbo e poder ser reciclada quando retornada para o fabricante. Além disto não possui o efeito Memória, ou suja, pode-se carregar de qualquer forma, a qualquer tempo independente da carga restante sem qualquer prejuízo para a vida útil da bateria de LiFePO_4 .

3.2.6 Destino final das baterias usadas em veículos elétricos após perda de capacidade

A maioria dos carros híbridos ou elétricos usam baterias de chumbo-ácido, como as convencionais, que são totalmente recicláveis. A caixa de polipropileno é moída e o material resultante é usado na fabricação de novas caixas. O chumbo é fundido e usado na fabricação de novas grelhas de suporte que conterà uma liga de chumbo-antimônio, que será um dos eletrodos, e o dióxido de chumbo, que será outro eletrodo, que serão usados em novas baterias. Parte do eletrólito, que é de ácido sulfúrico diluído, é vendido para a indústria têxtil e de detergentes, e o ácido remanescente, será recomposto e reutilizado. Mas existem alguns carros híbridos e elétricos que já usam a bateria de íon de lítio, que armazena de três à quatro vezes mais energia por unidade de massa que a de chumbo-ácido. Com a nova tecnologia atual, apenas 50 % do seu conteúdo metálico é reciclável.

Atribui-se aos fabricantes a responsabilidade sobre o material tóxico que as baterias produzem conforme Norma do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA – RESOLUÇÃO Nº 257 DE 30 DE JUNHO DE 1999).

Vale ressaltar que, pelo estado evolutivo e custo relativamente alto da tecnologia empregada na fabricação de veículos elétricos, deve-se ter a

observância da seguinte prioridade de desenvolvimento deste tipo de veículo: em primeiro lugar deve-se priorizar a fabricação de ônibus, seguido de veículos utilitários de pequena carga, e, por fim, carros de passeio.

3.3 Funcionamento de Mini Placas Eletrônicas de Uso Robótico

De acordo com Souza (*sine data*) as mini placas de robótica, são equipamentos através dos quais se pode exercer domínio computadorizado sobre diversos dispositivos. O sistema de placas de robótica é composto por placas de circuito eletrônicos e programas de controle instalados em computadores. É por intermédio da interface mecânica e digital (software) que ocorre o controle de diversos dispositivos eletrônicos conectados à placa de relés; que, por sua vez, tem uma conexão com a placa principal de robótica propriamente dita.

Em um dos modelos mais simples e comuns de circuito eletrônico, os constituintes básicos de um sistema robótico são: placa principal de robótica, placa de relés, cabo flat (flat cable), jumper, fonte de alimentação de 12V, cabo paralelo LPT1, cabos condutores, dispositivos a serem controlados, e fonte energética (responsável por fornecer energia elétrica para os dispositivos).

As placas principais de robótica permitem o controle de diversos dispositivos, através do controle que exerce sobre a placa de relés. Esta, por sua vez, atua de forma semelhante a um interruptor; abrindo ou fechando o circuito elétrico, e/ou alterando o sentido e a intensidade da corrente. O controle sobre a placa principal ocorre mediante uma interface digital; cuja ligação ocorre através da porta LPT1, que conecta a placa ao computador.

A alimentação da placa é fornecida por uma fonte de 12V com intensidade de 4 ampères. A conexão com a placa de relés ocorre através de um cabo flat (flat cable) de 30 vias. O estado dos relés (ativo/inativo), é indicada por leds incrustados na placa. Quando o circuito elétrico é fechado, o led acende indicando qual saída está habilitada. O jumper presente na placa atua como um conector liga/desliga. É ele que fecha a ligação elétrica do circuito e habilita a placa a funcionar. O jumper também atua para desligar a placa, cortando a corrente; o que permite que seja desconectada da placa de relés de forma segura.

A placa de relés é uma placa constituída por componentes eletromecânicos denominados relés. Os relés tem a habilidade de controlar circuitos externos de grandes correntes, mediante pequenas tensões. A FIG. 16 mostra a ligação entre as partes.

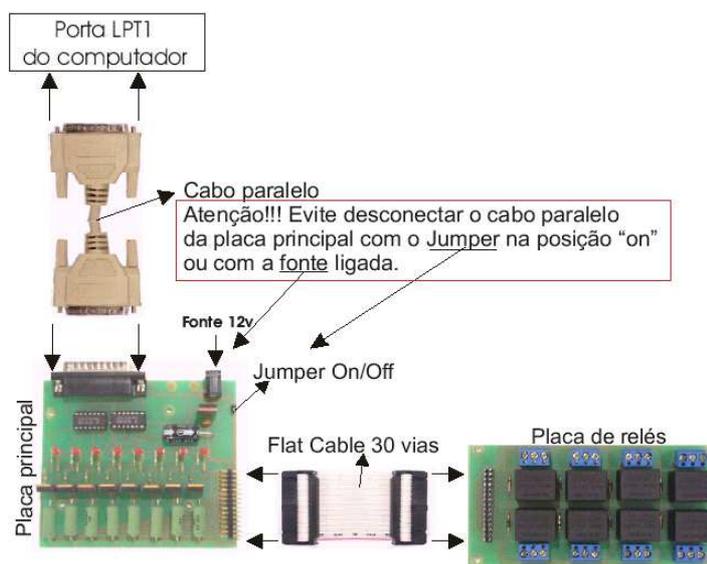


FIGURA 16 - Esquema de montagem dos componentes
FONTE: Kit Robótica Fácil, *sine data*

4 O SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia solar representa uma disponibilidade universal. A obtenção de energia elétrica através de fontes luminosas ocorre através do chamado efeito fotovoltaico. Este fenômeno refere-se exclusivamente à conversão direta da radiação solar em corrente elétrica contínua.

4.1 Definições

A energia fotovoltaica é a energia elétrica produzida através do efeito fotovoltaico. Este efeito foi descoberto por Edmond Becquerel, em 1839. Basicamente, consiste na produção de eletricidade utilizando, geralmente, a energia solar, captada por placas solares fotovoltaicas, que convertem a energia luminosa advinda do Sol em energia elétrica; que pode ser armazenada em baterias na forma de energia química.

O termo energia fotovoltaica se aplica apenas para a energia luminosa convertida diretamente em energia elétrica por células fotovoltaicas. Razão pela qual não se deve confundir o efeito fotovoltaico com o efeito fotoelétrico; muito embora os dois possam ter uma definição aparentemente semelhante, são efeitos distintos.

Segundo Melvin Calvin, ganhador do Prêmio Nobel de Química, “a quantidade de energia solar que atinge a Terra em dez dias é equivalente a todas as reservas de combustível conhecidas” (CALVIN *apud* JÚNIOR, 1999, p.89).

O efeito fotovoltaico está estritamente relacionado com as bandas de

energia. Ele sucede quando um fóton, cuja energia seja maior que a largura da banda proibida (1,1 elétron-volt [$1,602 \cdot 10^{-19}$ joules]) incide na região p. Quando isto ocorre, um elétron é transferido da camada de valência para a camada de condução; o que causa uma brecha na camada de valência. O processo como um todo, e a brecha resultante, dão origem a uma tensão elétrica (ddp) entre as regiões n e p. Esta tensão é, em média, aproximadamente, 0,6V.

4.2 Perspectivas do uso da energia solar fotovoltaica e suas vantagens

A conversão da energia solar em energia elétrica, pelo fenômeno fotovoltaico, ocorre diretamente, em um processo limpo, silencioso e realizado no local de consumo. Isto, aliado ao desenvolvimento tecnológico, faz com que a produção de eletricidade por meio de geradores fotovoltaicos seja, hoje, uma realidade técnica e econômica que se difunde pelo mundo e pelo Brasil, e que apresenta expressivas propensões de conquistar novos usuários na perspectiva capitalista, progressista e desenvolvimentista.

Tendo em vista a extensão territorial, as características de dispersão dessa população, os níveis de umidade do ar, o elevado nível de radiação solar e o baixo índice de eletrificação nas áreas rurais do Brasil, pode-se afirmar que o Brasil se encontra destinado a ser um expressivo usuário dessa tecnologia.

Como benefícios facilmente constatados, e que somam à favor da implantação de sistemas fotovoltaicos, está a confiabilidade e segurança operacional desta forma de obtenção de energia. Isto se funde com o fato de não ser agressivo ao meio ambiente e permitir a eletrificação de áreas remotas, contribuindo para fixar as pessoas em seus locais de origem, e

para melhorar de forma imediata as condições de vida das comunidades.

Após um período de crise, as células fotovoltaicas tiveram um declínio em seu uso para produção de energia elétrica. Com isso, o preço das mesmas também caiu. O uso das células fotovoltaicas para produção de energia foi retomado de forma significativa com os movimentos de defesa e preservação do meio ambiente, bem como com a necessidade de fornecimento de energia em áreas rurais. A redução de custos dos sistemas fotovoltaicos é o desafio imposto para o setor. Este desafio está sendo superado mediante o desenvolvimento de novas tecnologias.

Como vantagens, o uso de sistemas fotovoltaicos para produção de energia elétrica apresenta o fato de que o consumidor é também o produtor da energia, sendo, na maioria das vezes, o único proprietário e responsável por todo o processo; ter-se a fonte energética gratuita e disponível por prazo virtualmente infinito (fonte renovável de energia), uma vez que a energia proveniente do Sol está disponível em todas as partes; a limitação do suprimento de energia em locais isolados é superado; há também a geração local, que contribui para a preservação ambiental, uma vez que os impactos são extremamente reduzidos.

Os sistemas fotovoltaicos apresentam também grande confiabilidade, por não terem partes móveis, e não serem tão complexos quanto os métodos de geração de energia atualmente empregados; além de não serem grandemente sujeitos/afetados por influências externas como ventos e descargas elétricas.

A ausência de distúrbios e instabilidades na rede são outro benefício

apresentado por este sistema. Isto, bem como a possibilidade de expansão ilimitada do sistema, uma vez que as células fotovoltaicas são dispostas em módulos, permitem a projeção e adequação do sistema para as necessidades específicas de cada consumidor; o que reduz o investimento inicial, e assegura confiança e disponibilidade energética.

Uma das mais notáveis e recentes aplicações da energia fotovoltaica é proporcionar energia para uso em diferentes sistemas de recarga. Existem diversas pesquisas sobre a aplicação da energia gerada pelo efeito fotovoltaico no carregamento de equipamentos eletro-eletrônicos e até mesmo baterias de uso veicular.

4.3 Desvantagens do uso da energia solar fotovoltaica

Contudo, embora seja uma fonte de energia limpa, e virtualmente inesgotável, a energia solar, que consiste na base da energia fotovoltaica, e por consequência, esta última, não apresenta rendimentos equiparáveis a outras fontes de energia. Faz-se necessário salientar que, embora não haja uma perda substancial no processo de conversão da energia elétrica produzida em energia química, a tecnologia empregada para se transmutar a energia luminosa em elétrica ainda precisa evoluir significativamente, a fim de seja possível obter um maior rendimento.

Também é digno de ênfase que a quantidade gerada e estocada não apresenta autonomia suficiente para abastecer por um considerável período, sistemas com uma maior demanda energética. Isto se dá, tanto pelas limitações de conversão luz-eletricidade, quanto pela capacidade de conversão e armazenamento eletricidade-química. Deste modo, são fatores limitantes a

produção, a capacidade de armazenamento e a demanda; ressaltando que os prognósticos apontam que estas limitações serão brevemente superadas com o aprimoramento das tecnologias empregadas.

4.4 Recomendações para o uso mais eficiente da energia solar fotovoltaica

A fim de se obter um efetivo aproveitamento do sistema, faz-se necessária a observância de alguns tópicos específicos. O dimensionamento, é um fator deveras crítico em uma instalação fotovoltaica, em decorrência dos elevados custos dos sistemas fotovoltaicos, em detrimento da capacidade de produção de energia dos mesmos. Assim, é importante que sejam adotados rigorosos critérios de dimensionamento, de forma que o sistema seja adequado às cargas previstas e estimativas de uso da energia.

O super dimensionamento do sistema provoca um acréscimo exponencial nos custos; o que pode tornar a execução do projeto inviável. Se, por outro lado, o sistema fotovoltaico for sub dimensionado, não conseguirá suprir a demanda, o que resultará no descrédito da tecnologia.

A confiabilidade do sistema está vinculada de forma direta à qualidade dos componentes, e a perícia na instalação do mesmo. A manutenção segue como um elemento primordial. Embora os sistemas fotovoltaicos não requeiram manutenção frequente, é preciso atenta para o fato de que podem ocorrer pequenos problemas que exigirão a interrupção temporária do fornecimento de energia para reparos. Assim, a manutenção preventiva é altamente recomendável.

Uma vez que o sistema fotovoltaico apresenta uma produtividade limitada se comparada com as demais formas de obtenção de energia elétrica

presentemente exploradas, é importante que todos os equipamentos consumidores de energia utilizados sejam de alta eficiência; de forma a evitar o desperdício de eletricidade. Deste modo, lâmpadas fluorescentes, disjuntores de baixa perda, inversores de alta eficiência, e congêneres são fundamentais para uma viabilidade técnica e econômica do sistema.

A disponibilidade do uso da energia solar para a geração de energia elétrica depende de vários fatores. Dentre estes fatores como: a posição da Terra em relação ao sol durante o ano, a posição aparente tomada pelo sol durante o dia, e a localização da fonte captadora de energia no planeta. Estes fatores são relevantes pois interferem diretamente na taxa de radiação solar que atinge a região analisada. A FIG.17 exemplifica a posição da Terra em relação ao sol durante o ano como um desses fatores mencionados.

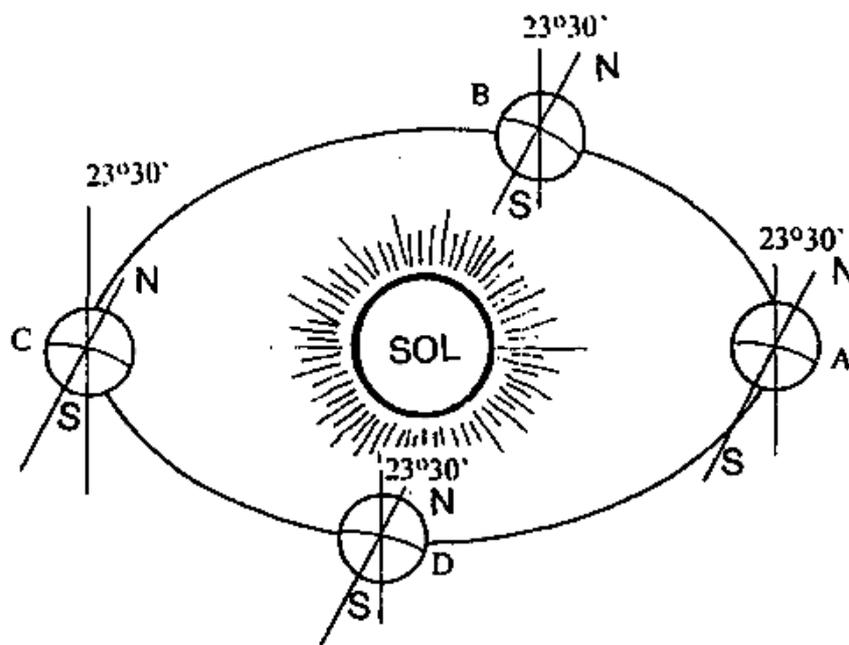


FIGURA 17¹- Movimento de Translação da Terra

FONTE: Manual de Energia Solar, Secretaria de Tecnologia Industrial, 1978

¹ A Terra gira em torno de seu eixo de direção norte-sul, dando uma volta completa em cada 24 horas. Além disso, ela movimenta-se em uma órbita em torno do Sol de forma elíptica, completando um círculo completo a cada ano. O eixo norte-sul apresenta uma inclinação de $23^{\circ} 30'$, o que gera uma diferença no recebimento de energia solar nos diferentes hemisférios, dando origem às estações do ano. Tomando-se por base o hemisfério sul, na posição A ocorre o verão, na B tem-se o outono, na C o inverno, e na D a primavera. No hemisfério norte, a distribuição é inversa; respectivamente inverno, primavera, verão e outono.

4.5 Partes Constituintes

Para obtenção de energia fotovoltaica são necessários alguns equipamentos. A saber: fonte luminosa, placas fotovoltaicas, cabos condutores, carregador de bateria, bateria, controlador de carga e inversores. Estes elementos serão responsáveis pela: fonte primária de energia, captação e conversão da energia luminosa em energia elétrica, transporte da energia elétrica, aplicação dos processos necessários à conversão de energia elétrica em energia química, e transformação de energia elétrica em energia química e subsequente armazenamento.

4.5.1 Fonte Luminosa

A principal fonte luminosa utilizada para obtenção de energia é o sol. O sol é a estrela central do Sistema Solar Terrestre. A luz solar é a principal fonte de energia da Terra, sendo armazenada principalmente sob a forma de energia química.

Como destaque para as formas de armazenamento da energia solar, está sua conversão em energia química; principalmente pelo processo de fotossíntese, onde é armazenada na forma de glicose. A energia térmica também é utilizada na manutenção de substâncias químicas em diversos estados físicos.

A luz solar é uma radiação eletromagnética composta por frequências diversas que é filtrada pelas diversas camadas da atmosfera terrestre. A constante solar constitui a quantidade de potência que o Sol deposita por unidade de área exposta de forma direta à sua luz.

Segundo Alvarenga (2006), a radiação global que atinge a superfície do solo possui uma componente direta, resultante de fótons não desviados e uma outra componente difusa, resultante da dispersão por choques e reflexões na atmosfera. Quando se soma estas componentes tem-se a radiação global. As relações entre essas componentes variam com a altura do sol sobre o horizonte e com diversos outros parâmetros, sendo diferentes de região para região, ao longo do dia e ao longo do ano. Os coletores solares concentradores somente aproveitam a radiação solar direta, enquanto outros equipamentos, tais como coletores planos e fotovoltaicos, aproveitam a radiação global.

A constante solar é, na órbita da Terra, aproximadamente $1\,368\text{W/m}^2$. Assim, a Terra recebe $50\,000\,000\text{GW/s}$. Por influência da atmosfera, a potência efetivamente recebida na superfície é aproximadamente $1\,000\text{W/m}^2$, estando o céu desprovido de nuvens e com a Terra se encontrando no zênite. A energia proveniente do Sol, tanto a térmica quanto a luminosa é indispensável para a existência e manutenção da vida na Terra.

Para Souza (1994), pode-se traçar o mapa de distribuição da energia solar, de forma aproximada, sobre a superfície da Terra. A representação gráfica não condiz com a realidade, uma vez que o relevo, a umidade e as ações climatológicas influenciam de forma direta no clima. A FIG.18 mostra a radiação incidente no globo terrestre no mês de julho.

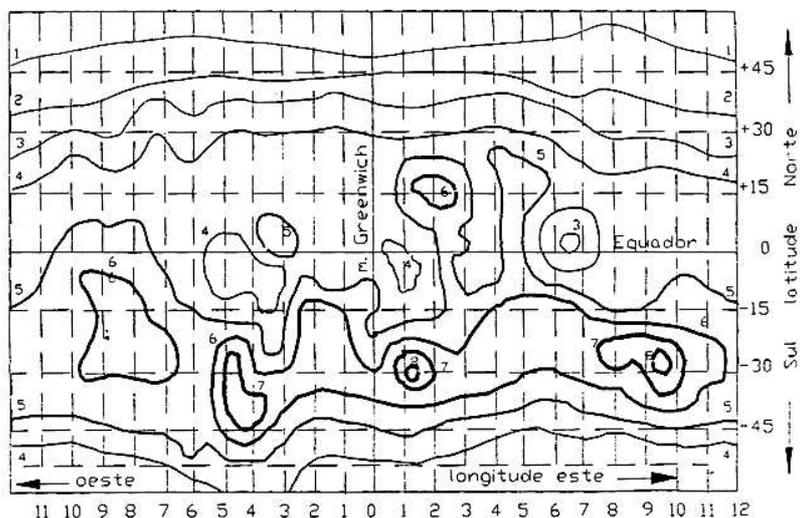


FIGURA 18 - Radiação total estimada sobre a superfície da Terra.
Médias diárias em julho, em kWh/m²
FONTE: Fundamentos da Teoria da Energia Solar e de Seu Uso, 1994

Ao se estabelecer uma análise inicial do mapa da FIG.18, nota-se que há uma ligeira diferença de insolação entre os dois hemisférios; sendo que, o hemisfério sul recebe um pouco mais de luz do que o hemisfério norte. Também nota-se que as zonas tropicais e as temperadas do globo não diferem tanto em energia recebida. Para a elaboração deste mapa considerou-se, não apenas a energia incidente que o sol fornece, mas a parcela real de energia que chega efetivamente em um ponto da superfície terrestre. Dois pontos tendo a mesma latitude não significa que tenham a mesma radiação incidente. O índice de radiação incidente pode ser afetado pela topografia do local, o tipo de cobertura do solo, clima, umidade do ar, pressão atmosférica e outros fatores.

Quanto aos tipos de ondas presentes na radiação solar Brasil (1978),

afirma que a região visível começa no vermelho (comprimento de onda maior) e termina no violeta (comprimento de onda menor).

Em conformidade com as precisas medições feitas por M.P. Thekaekara, noventa e nove por cento da radiação solar está entre 0,15 mm e 4,0 mm. Isto mostra que apenas o visível, o ultravioleta e o infravermelho próximos, interessam para utilização na face terrestre. O infravermelho acima de 4,0 mm é facilmente absorvido por qualquer material, e pela atmosfera. A TAB.5 indica a distribuição percentual da radiação solar.

TABELA 5 – Percentual de radiação solar

Tipo de radiação	Porcentagem (%)
Infravermelho	46
Espectro invisível	45
Ultra-violeta	9

FONTE: Fundamentos da Teoria da Energia Solar e de Seu Uso, 1994

A composição atmosférica é importante, ao ponto que reflete e/ou absorve diversas faixas/bandas de energia solar. Como a espessura atmosférica varia de acordo com a altitude, latitude, massas de ar, relevo, e demais condições, a rentabilidade do sistema de painéis fotovoltaicos pode variar.

Segundo Souza (1994), a composição básica dos gases que constituem a atmosfera terrestre é em percentual de massa de 75,52% de nitrogênio, 23,15% de oxigênio; 1,28% de argônio e 0,05% de dióxido de carbono. As substâncias triatômicas são as principais responsáveis por absorver o calor proveniente da radiação solar; embora tenham sido desconsiderados os aerossóis, micropartículas sólidas de diversas naturezas, em especial as compostas por

carbono em diversas proporções.

De acordo com Brasil (1978), o valor de 30% da energia que o Sol nos envia é refletida de volta para o espaço sideral. Os 70% restantes são absorvidos pela atmosfera e pela superfície terrestre, causando os ciclos biológico e hídrico, o movimento dos ventos e o aquecimento. A maior parte da energia destes 70% é absorvida produzindo aquecimento da superfície terrestre (47%), e os 23% restantes são gastos na manutenção do ciclo hídrico. A movimentação da atmosfera consome somente uma pequena parte do todo, aproximadamente 0,2%, e o ciclo biológico consome uma parte ainda menor, ou seja 0,02%.

Para Melo (1982), os dados sobre radiação solar são estritamente necessários para o projeto de sistemas solares. Para a correta obtenção destes dados, é imprescindível o conhecimento de alguns ângulos que são pertinentes à incidência solar. Assim, existe a declinação solar (δ), que é o ângulo existente entre a linha imaginária que interliga os centros da Terra e do Sol e sua projeção sobre a linha do equador. Para o hemisfério sul, pode ser dado por:

$\delta = - 23,45 \text{ sen } \{[(N - 80) / 370] \times 360\}$. Onde **N** corresponde ao dia do ano em que se deseja obter a aferição.

Com finalidade ilustrativa, tem-se o índice de radiação solar da cidade de Brusque - SC na FIG.19 num mês de inverno.

RADIAÇÃO SOLAR - MÉDIA MENSAL

BRUSQUE-SC

MÊS: JUNHO

UNIDADE: (cal/cm²dia)

INCLINAÇÃO GRÂUS	ORIENTAÇÃO OESTE	ORIENTAÇÃO NOROESTE	ORIENTAÇÃO NORTE	ORIENTAÇÃO NORDESTE	ORIENTAÇÃO LESTE
0.0	203.5	203.5	203.5	203.5	203.5
5.0	202.7	218.8	225.5	218.9	202.9
10.0	201.0	232.6	240.0	233.0	201.2
15.0	158.4	245.0	264.9	245.5	158.8
20.0	195.5	255.8	282.1	256.4	196.0
25.0	192.0	264.9	297.3	265.6	192.7
30.0	188.0	272.3	310.5	273.0	188.8
35.0	183.9	277.8	321.6	278.0	184.8
40.0	179.4	281.6	330.4	282.5	180.3
45.0	174.5	283.5	337.0	284.5	175.6
50.0	169.3	283.4	341.3	284.6	170.4
55.0	163.7	281.5	343.2	282.7	164.9
60.0	158.0	278.1	342.7	279.4	159.2
65.0	151.8	272.8	339.9	274.1	153.1
70.0	145.4	265.6	334.7	267.1	146.8
75.0	138.7	256.9	327.2	258.3	140.1
80.0	132.1	246.5	317.5	248.0	133.5
85.0	125.1	234.6	305.6	236.1	126.5
90.0	117.7	221.7	291.5	223.2	119.1

FIGURA 19² - Radiação Solar Mensal em Brusque-SC em junho

FONTE: Manual de Radiação Solar Global para o Estado de Santa Catarina, 1982

² Nota: No campo "ORIENTAÇÃO NORDESTE", os três primeiros valores são 203,5 ; 218,9 e 233,0 respectivamente.

4.5.2 Placas Fotovoltaicas

4.5.2.1 Definições

Placas fotovoltaicas, são equipamentos compostos de diversas células fotovoltaicas. Estas placas tem a aptidão de converter a energia luminosa em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Os módulos fotovoltaicos são formados de células feitas principalmente de silício, um elemento capaz de absorver as partículas de fótons existentes nos raios solares e transformá-las em corrente elétrica contínua.

4.5.2.2 Processo de obtenção de energia

Para se obter a produção de energia elétrica através da energia luminosa do Sol, é utilizado o efeito fotovoltaico. Este efeito físico se baseia na propriedade dos materiais semicondutores de possuir uma banda de valência totalmente preenchida com elétrons e uma banda de condução totalmente vazia. Isto faz com que os fótons da luz solar na faixa do espectro de radiação visível, ao incidir sobre este material, excitam elétrons da banda de valência enviando-os à banda de condução.

Um dos elementos semicondutores utilizado neste processo é o silício; pois quando lhe são inculidas impurezas, como o fósforo, o como, ou boro, criam-se elementos de silício com excesso (tipo n) ou com falta de elétrons (tipo p). Esses elementos são combinados em uma junção p-n. Quando os elétrons presentes em excesso na placa n são excitados por fótons solares, atravessam a linha formada na junção p-n e, graças a uma barreira que se forma na área de junção, são impedidos de retornarem. Assim, gera-se um grande

acúmulo de elétrons no lado p; conferindo-lhe uma polaridade negativa, e por consequência, lado n se torna um pólo positivo. Ao se estabelecer uma ligação condutora entre os pólos, ocorre a passagem de uma corrente elétrica que tende a equilibrar os dois pólos novamente. Uma vez que se pressupõe a incidência de fótons de forma contínua sobre a célula, é correto se ter que a corrente elétrica se manterá constante, transformando a célula em um potencial gerador de energia elétrica. A FIG.20 ilustra as explicações.

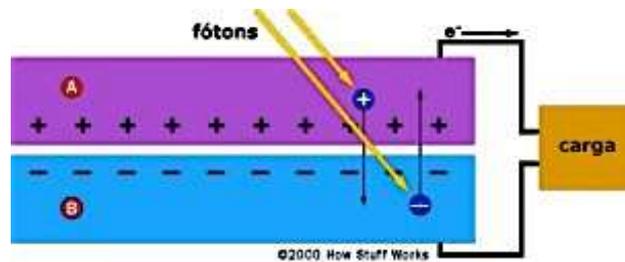


FIGURA 20 - Operação de uma célula fotovoltaica. A é o silício tipo-n e B o tipo - p

FONTE: HowStuffWorks - Learn How Everything Works, 2010

4.5.2.3 Partes constituintes das placas fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é o elemento básico do gerador fotovoltaico. É na célula que se ocorre a conversão da energia luminosa irradiada do sol em energia elétrica. Geralmente tem a forma de pequenos discos ou retângulos e sua fabricação ocorre em larga escala. De acordo com os materiais utilizados e com a área que ocupam e/ou são instaladas, apresentam características elétricas específicas. São componentes extremamente frágeis e geram, individualmente, uma quantidade muito pequena de energia.

A placa fotovoltaica é uma estrutura montada, geralmente na forma

de quadro conforme desenho esquemático representado na FIG.21. É composta de um conjunto de células fotovoltaicas ligadas entre si em paralelo e em série, e recobertas por um encapsulamento de proteção contra a ação do tempo e dos eventuais impactos. O lado voltado para o sol apresenta uma cobertura transparente, geralmente vidro, plástico ou resina de silicone. Na parte posterior são revestidas por um material plástico, em geral EVA ou PVB, e outros materiais.



FIGURA 21- Estrutura básica de uma célula FV de silício genérica
FONTE: HowStuffWorks - Learn How Everything Works, 2010

Na conexão de saída, tem-se a somatória da energia produzida por cada célula, resultando em um montante energético significativo. A tensão de cada módulo e do sistema como um todo, é definida pelo número de células com ligação em série. De forma genérica, um módulo empregado para o carregamento de baterias de 12V possui entre 30 e 36 células. A FIG.22 ilustra um módulo fotovoltaico.



FIGURA 22 - Módulo solar fotovoltaico residencial

FONTE: Solenerg Engenharia e Comércio Ltda, 2008

A conexão, em uma mesma estrutura, de vários módulos fotovoltaicos, constitui um painel. A conexão entre painéis recebe a denominação de arranjo. De um modo geral, um painel fornece uma tensão adequada ao sistema, e que varia conforme o número de módulos e painéis interconectados; por exemplo 24V, 48 V ou outra tensão desejada. A FIG.23 mostra um arranjo de painéis.



FIGURA 23 - Arranjo de painéis solares fotovoltaicos.

FONTE: Foto cedida DOE/NREL. Crédito da foto Agência SunLine Transit, 2006

4.5.2.4 Considerações gerais sobre uso de placas fotovoltaicas

Além de sua função geradora/conversora de energia, a célula fotovoltaica pode atuar como um sensor que tem a probidade de aferir a intensidade luminosa. Um exemplo disto são os fotômetros. Eles são utilizados principalmente em câmeras fotográficas digitais e têm a incumbência de medir a iluminação da cena a ser capturada pelo equipamento.

Atualmente estão presentes no mercado placas fotovoltaicas com diversas tensões e potências de forma que sua aplicabilidade seja melhor explorada em diversos usos. Por exemplo, caso se objetive o armazenamento de energia em uma bateria de 100Ah, recomenda-se o uso de uma placa fotovoltaica cujo pico de tensão seja de 12V, e potência, 75W.

A eficácia obtida pelas células solares no presente está abaixo do desejado, uma vez que sua eficiência está compreendida entre 16% e 28%; sendo que as células de maior eficiência são constituídas de arsenieto de gálio, que embora sejam mais rentáveis, possuem um alto custo, o que limita sua aplicação à indústria espacial avançada.

Os resíduo decorrente da energia produzida pelas células fotovoltaicas, pode ser considerado como sendo apenas o proveniente de sua fabricação, uma vez que não produz resíduos durante sua operação; isto torna a energia fotovoltaica uma das mais limpas, senão a mais limpa forma de obtenção de energia.

O aprimoramento das placas fotovoltaicas é um assunto amplamente discutido e explorado; sendo objeto de pesquisas em todo o mundo; uma vez que

a luz proveniente do sol gera 1.103 W/m²; o que resulta em um enorme potencial energético a ser explorado. Os prognósticos são que a tecnologia de exploração desta fonte energética tenha franca ascendência em um curto espaço de tempo.

4.5.2.5 Tipos de placas fotovoltaicas

As placas da primeira geração são produzidas com placas de silício, representando uma expressiva parcela do mercado, e constitui a produção comercial dominante; uma vez que, embora sua produção seja mais cara, é mais rentável que as chamadas placas de segunda geração, e as placas de terceira geração estão apenas em sua fase inicial de desenvolvimento e produção industrial.

As células de silício monocristalino são as que apresentam maior participatividade no mercado atualmente, em decorrência de sua alta confiabilidade e rentabilidade. Sua eficiência se deve à tecnologia de fabricação consolidada, que possibilita uma eficiência teórica de conversão de energia de 27%; embora as unidades atualmente comercializadas apresentem eficácia em torno de 12% e 16%. A aplicabilidade desta tecnologia está diretamente vinculada ao alto custo de fabricação.

Células de silício policristalino são outro tipo de células fotovoltaicas em uso. O material de sua fabricação é, basicamente, o mesmo das células de silício mono cristalino. Contudo, seu bloco de fabricação não é constituído de um único cristal. Este diferencial gera uma acentuada redução na rentabilidade e eficiência das células, mas o custo de produção das mesmas é drasticamente reduzido, uma vez que é necessária uma menor quantidade de

energia no processo de fabricação. Em geral, são células fotovoltaicas com alta confiabilidade e que representam uma significativa parcela do mercado.

Em seu progresso evolutivo, a tecnologia fotovoltaica de segunda geração se fundamenta na utilização de tênues filmes de semicondutores. Esta segunda geração apresenta como benefício minorar a quantia de materiais fundamentais à sua produção. Outro aspecto que evidencia o progresso desta tecnologia é a redução dos custos em sua produção e na obtenção de energia.

O uso de materiais sintéticos artificiais recém criados também é um dos parâmetros estudados, para o aprimoramento das células fotovoltaicas. Como exemplo deste tipo de célula tem-se as células de silício amorfo, as de disseleneto de cobre e índio, as de telureto de cádmio e as de arseneto de gálio; que apresentam, em testes laboratoriais, altos índices de rendimento. Dentre essas tecnologias, algumas já se encontram em estágio comercial como as células de silício amorfo. Contudo, mesmo já tendo exemplares instalados, faz-se necessário um maior tempo para que se possa definir de forma clara o nível de confiabilidade das mesmas.

Em sua sequência evolutiva, as placas fotovoltaicas encontram-se em sua terceira geração que utiliza semicondutores dependentes da junção p-n. Através deste método, há a separação de partículas carregadas por fotogestão. Esta geração também se define pela concomitância no uso de células fotoelétricas e de nanocristais.

A distribuição aproximada dos recursos financeiros para pesquisas em cada tipo de célula citado acima, em sua maioria proveniente de empresas

privadas ou governo de países capitalistas desenvolvidos é: 30% para as de disseleneto de cobre e índio, 22% para as de telureto de cádmio, 15% para as de silício mono e policristalino, 11% para as de arseneto de gálio e 10% para as de silício amorfo. Os 12% restantes são destinados a outras pesquisas pertinentes aos módulos e sistemas fotovoltaicos, visando seu aprimoramento físico, químico, estrutural e funcional.

4.5.2.6 Concentradores de energia solar

A fim de aumentar a produção de energia elétrica através de uma célula fotovoltaica, são acrescentados, na placa solar, dispositivos responsáveis por concentrar e convergir a radiação proveniente do Sol na superfície fotosensível da célula; sendo em sua maioria dispositivos parabólicos reflexivos, que refletem a radiação solar, focalizando-a sobre um ponto; onde se encontram os módulos fotovoltaicos. Isto gera uma maior intensidade luminosa, e conseqüentemente um aumento no montante de eletricidade produzida. A aplicação deste recurso faz com que seja possível uma diminuição na área de células, ou seja, será necessária uma menor área de células para gerar uma mesma quantidade de energia. Como exemplo de elementos responsáveis por concentrar e convergir a luz, pode-se citar lentes e espelhos côncavos. Todavia, aplicar altas concentrações luminosas sobre as células acarreta em uma redução da eficiência intrínseca das mesmas, uma vez que as temperaturas operacionais e as correntes elétricas geradas são muito mais elevadas do que nas disposições normais de uso. Em decorrência disto, faz-se necessário, em muitos casos, o uso de células fotovoltaicas especialmente fabricadas para estas aplicações, e que sejam capazes de trabalhar com maior eficiência nessas condições extremas de luminosidade.

Como forma de se obter uma maior eficiência dos sistemas, e se alcançar um aprimoramento do processo, é recomendável, em certos casos, o uso sistêmico de equipamentos que concedam às células fotovoltaicas, a faculdade de rastrear a posição do sol; de forma que possam manter a radiação solar sempre no foco.

4.5.2.7 Características importantes dos módulos fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico, ao fornecer corrente elétrica para uma bateria ou qualquer outra carga, apresenta um comportamento segundo o qual as tensões variam de acordo com curvas específicas, que recebem a denominação de curvas $I \times V$. É fundamental o entendimento destas curvas para que se tenha uma avaliação concisa do comportamento do módulo mediante diferentes condições de incidência luminosa e de carga. Vale ressaltar que cada curva representa uma característica individual de cada tipo de módulo, e é fornecida pelo fabricante do mesmo. Cada curva, em específico, é gerada por uma condição de insolação em particular. Podem ser definidos alguns pontos notáveis da curva característica $I \times V$ conforme FIG.24.

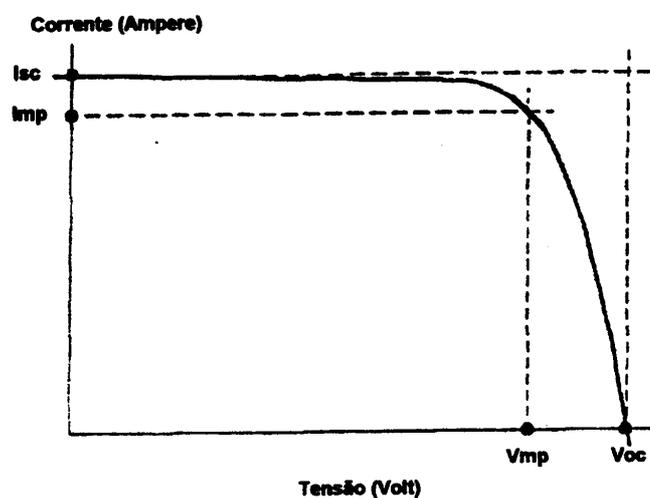


FIGURA 24 - Curva característica IxV de um módulo fotovoltaico de células de silício monocristalino

FONTE: Textos Acadêmicos -Energia Solar - UFLA, 2006

Quando se analisa a FIG.24 tem-se a seguinte explicação:

. I_{sc} - Corrente de Curto-Circuito: É a corrente máxima que um módulo tem a capacidade de produzir em condições de recebimento de energia solar e temperatura pré-estabelecidas, quando seus terminais se encontram curto- circuitados. Neste caso, a potência tende a zero, pelo fato de não existir tensão.

. V_{oc} - Tensão de Circuito Aberto: Tensão máxima produzida pelo módulo em condições de temperatura e incidência de luz solar pré-determinadas, quando os circuitos se encontram abertos. Uma vez que não há corrente elétrica, a potência elétrica que o módulo fornece é zero.

. I_{mp} - Corrente de Potência Máxima: Corrente elétrica fornecida pelo módulo quando este se encontra em seu ponto de máxima potência; fato pelo qual se considera como sendo a corrente nominal do mesmo.

. V_{mp} - Tensão de Potência Máxima: Tensão fornecida pelo módulo, quando este se encontra em seu ponto de potência máxima; mediante o que se toma como sendo a tensão nominal do mesmo.

. P_{max} - Potência Máxima: Potência elétrica máxima fornecida pelo módulo; sendo o produto da I_{mp} pela V_{mp} ; ou seja: **$P_{max} = I_{mp} \times V_{mp}$** . O ponto de Potência Máxima ocorre no joelho da curva característica $I \times V$.

Um dos métodos de se avaliar a qualidade das células do módulo fotovoltaico, é através da forma obtida pelo gráfico. Assim, quanto mais a curva $I \times V$ se aproximar da forma retangular, melhor é a qualidade da célula.

Pode-se perceber como comportamento eletro-físico das placas fotovoltaicas, o fato de que, se a corrente elétrica produzida pelo módulo aumenta, a tensão diminui; e que quando ocorre um curto circuito, a tensão é zero. O inverso também ocorre; ou seja, quando a corrente diminui, a tensão aumenta. A fim de proteger a bateria testes fenômenos, em especial deste último, é imprescindível o uso de um controlador de carga.

Para se calcular a eficiência de um módulo fotovoltaico, é preciso considerar as diversas variáveis envolvidas, e efetuar a análise em um contexto global. A eficiência do módulo é obtida através do cálculo: **$Eficiência = P_{máx} / \text{Radiação Solar} \times \text{Área Ocupada}$** . Pode-se definir a eficiência do módulo fotovoltaico como sendo a relação existente entre a quantidade de energia elétrica gerada no ponto de potência máxima, em relação à quantidade de radiação solar que chega ao módulo. A fim de se obter de forma genérica a eficiência do módulo fotovoltaico, deve ser considerada toda a área do mesmo, considerando também os pontos que são inertes quanto à produção de energia elétrica. Para a aferição precisa, deve-se considerar apenas

a área realmente utilizada para produção de energia.

A curva IxV somente é válida para as condições ambientais específicas tomadas para o cálculo. A rentabilidade das placas é diretamente proporcional à incidência luminosa sobre as células. Deste modo, quando o nível da radiação solar incidente sobre o módulo decresce, a produção de energia gerada pelo mesmo também decresce de forma proporcional.

A FIG.25 ilustra de uma curva IxV mais completa, contendo dados de potência dos módulos fotovoltaicos:

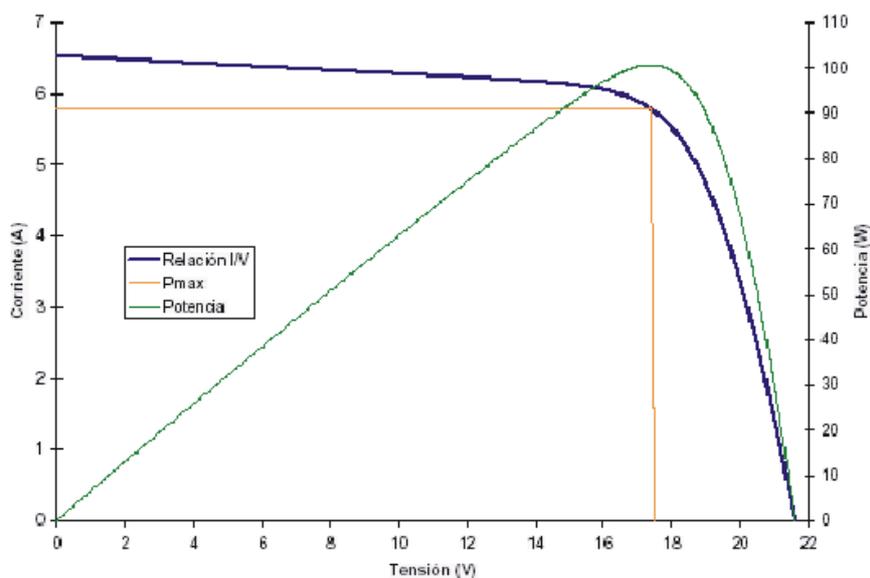


FIGURA 25 - Curva característica IxV e potência de um módulo fotovoltaico de células de silício monocristalino

FONTE: Solenerg, 2009

4.5.2.8 Padrões adotados

Uma vez que a curva característica IxV apresenta variações de acordo

com a temperatura e a incidência luminosa, foram estabelecidos padrões criteriosos para a aferição e referência dos módulos. Este processo permite a comparação de curvas de módulos distintos.

Como padrão do nível de insolação instituído, tem-se a intensidade correspondente a um dia ensolarado, com incidência luminosa ortogonal ao plano da superfície dos módulos; ou seja, 1.000 W/m^2 . Este nível de radiação é denominado radiação de pico; embora índices maiores, da ordem de 1.200 W/m^2 possam ser obtidos em localidades com clima seco e com elevada incidência luminosa.

Segundo Alvarenga (2006), a capacidade de um módulo fotovoltaico é dada pela potência de pico em Wp. A condição padrão para determinação desta potência é definida para o módulo exposto a uma radiação solar de 1000 W/m^2 (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia) e temperatura da célula de 25°C . Deste modo, os valores e características nominais, informados pelos fabricantes dos módulos estão, em geral, em conformidade com estas condições.

Portanto, é imprescindível que o sistema seja mensurado de forma a se adequar às necessidades de produção e consumo, considerando as condições luminosas do local em que será instalado; e que seja instalado nos ângulos que permitam uma melhor captação da insolação em conformidade com a latitude do local. A FIG.26 apresenta a variação na produção de energia em decorrência da luminosidade associada aos valores de corrente elétrica.

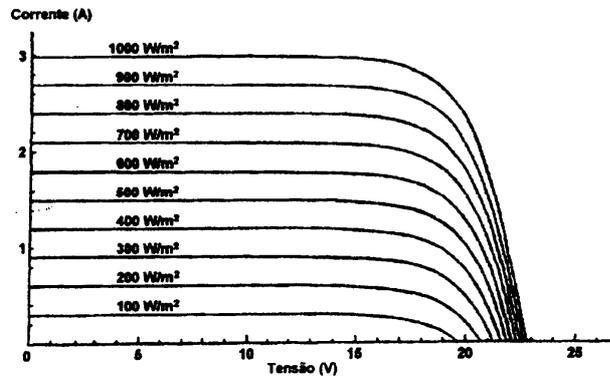


FIGURA 26 - Influência do nível de radiação solar no desempenho do módulo

FONTE: Textos Acadêmicos - Energia Solar - UFLA, 2006

Um dos fatores que influencia diretamente a operação dos módulos fotovoltaicos é a temperatura. Uma vez que a temperatura das células aumenta, a potência máxima fornecida pelos módulos sofre declínio. Deste modo, o principal efeito que pode ser sentido é o decréscimo da tensão produzida pelos módulos (FIG.27).

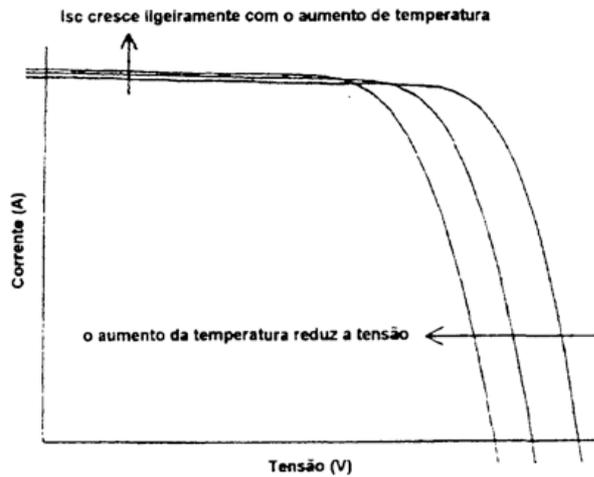


FIGURA 27 - Influência da temperatura nas características elétricas do módulo.

FONTE: Textos Acadêmicos - Energia Solar - UFLA, 2006

A TAB.6 mostra alguns tipos de módulos comercializados em função de suas principais características como potência e tensão.

TABELA 6 - Alguns modelos de módulos fotovoltaicos

Potência (W)	5	10	20	22	40	60	80	87	94	130
Tensão (V)	12	12	12	12	12	12	12	12	24	12

FONTE: Solenerg, 2006

4.5.3 Cabos condutores de energia elétrica

Cabos condutores de energia elétrica, são aglomerados de fios de material condutor, ordenados em feixes, e, geralmente, revestidos em sua camada externa, com material isolante e resistente; ou então são compostos por um fio único, de diâmetro variável. O tipo de cabo a ser utilizado, depende basicamente da tensão e corrente a ser transmitida, além da viabilidade econômica de cada modelo, considerando-se as distâncias a serem percorridas pela corrente elétrica.

Os fios geralmente são feitos de cobre; uma vez que este metal apresenta uma excelente condutividade elétrica. Para situações menos dispendiosas, se utilizam fios feitos de liga de alumínio. Em situações excepcionais, são utilizados condutores de metais nobres como a prata e o ouro por apresentarem níveis de condução excepcionais e apresentarem em determinadas condições, menor resistividade ao trânsito de elétrons, como em um curto-circuito (cc).

Os materiais isolantes dos cabos, servem para evitar curto-circuito,

minimizar as perdas energéticas, e permitir seu manuseio. Em geral, são utilizados plásticos e borrachas, embora atualmente alguns polímeros e silicões têm conquistado um expressivo espaço, por serem mais leves, terem características esteticamente agradáveis, serem mais resistentes e dinâmicos, além de reagirem de forma mais estável em situações extremas.

Para utilização em sistemas fotovoltaicos, os cabos devem ser meticulosamente dimensionados, de modo que as perdas de tensão entre os módulos e o controlador de carga atinjam, no máximo, 2%. No circuito controlador-baterias, as perdas não devem ultrapassar 1%.

Por questões de segurança, os cabos devem suportar uma corrente, no mínimo 125% maior que a corrente nominal de cc dos módulos. É imprescindível o cuidado e atenção ao se fazerem conexões, a fim de prevenir para o risco de mal contato, perdas energéticas e choque elétrico.

A TAB.7 mostra os comprimentos máximos permitidos para que a queda de tensão não ultrapassa os 2% recomendado.

TABELA 7 - Máxima distância permitida (m) queda de tensão - 2% - 12V CC

Corrente (A)	Seção do cabo (mm ²)				
	2,5	4	6	10	16
1	15	24	35	63	99
2	7	12	18	31	50
3	5	8	12	21	33
4	4	6	9	16	25
5	3	5	7	13	27
6	2	4	6	10	14
7	2	3	5	9	12
8	2	3	4	8	11
9	2	3	4	7	10
10	1	2	4	6	7
15	1	2	2	4	5
20	-	1	2	3	4
25	-	1	1	3	3

FONTE: Solenerg, 2010

4.5.4 BATERIA

4.5.4.1 Definições

A quantidade de energia produzida nos módulos fotovoltaicos depende dos níveis de radiação solar que neles incide. Assim torna-se necessário o

estoque de energia em baterias para garantir uma reserva em dias com pouca insolação.

As baterias são dispositivos empregados para transformar energia química em energia elétrica a partir de reações que ocorrem entre seus componentes internos. Baseiam-se, desta forma, no armazenamento de energia elétrica sob a forma de potencial químico de substâncias metaestáveis capazes de reagir liberando energia. Todos os geradores eletroquímicos desenvolvidos com base na pilha de Volta são constituídos essencialmente de dois eletrodos e um eletrólito.

4.5.4.2 Classificações

Os geradores eletroquímicos podem ser classificados em: geradores eletrolíticos primários, que não podem ser recarregados e geradores eletrolíticos secundários, que podem ser recarregados.

Os geradores primários simples são chamados de pilhas. O conjunto destes e os geradores do segundo grupo são chamados de bateria. Designação que inclui todos os equipamentos que permitem cargas e descargas repetidas. Essas cargas e descargas são possíveis devido à reversibilidade das transformações químicas ocorridas no interior dos geradores, quando se aplicam determinadas tensões e correntes elétricas sobre seus terminais.

Existem diversos tipos de baterias, adequadas para as diversas funções que irão desempenhar. Por exemplo, existem as baterias próprias para tração, como as utilizadas em veículos elétricos, adequadas às descargas profundas características dessa aplicação; as baterias estacionárias, usadas como backup,

que trabalham mais em flutuação, fornecendo energia para a carga com esporádicos ciclos mais profundos de descarga e carga.

4.5.4.3 Principais características em baterias para sistemas fotovoltaicos

Segundo Alvarenga (2006), as baterias usadas nos sistemas fotovoltaicos são do tipo que exigem ciclos diários de carga e descarga, com esporádicos ciclos profundos em épocas com menor níveis de insolação. Atualmente as baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos são as baterias de chumbo-ácido abertas ou seladas com características especiais para esse fim. É importante a não utilização de baterias chumbo-ácido utilizadas em veículos comuns com motor a combustão interna. Em geral, são utilizadas nos sistemas fotovoltaicos baterias de 6v e a maioria de 12 V de tensão nominal. Vale ressaltar que a tensão nominal não condiz com a tensão real, pois esta varia dependendo da condição de carga e do fornecimento ou solicitação de energia com valores médios mínimo de 11,3V e máximo de 14,3 V.

A capacidade de armazenamento energético da bateria determina a autonomia de funcionamento na ausência de radiação solar. É esta capacidade que define o número de dias que o sistema pode fornecer energia para os equipamentos consumidores, sem a presença do sol. Para expressar esta capacidade, utiliza-se Wh ou kWh; embora seja mais comum sua expressão em Ampère-hora (Ah), uma vez que esta unidade quantifica a corrente elétrica que pode ser retirada em determinado momento da bateria. A carga acumulada pode ser expressa também na forma de densidade de energia, definida em watt-hora por quilo de peso, ou em watt-hora por centímetro cúbico. Não se recomenda usar mais que 50 % da capacidade total de uma bateria, pois valores maiores que este faz com que a bateria entre em descarga profunda, reduzindo a

sua vida útil.

Segundo Alvarenga (2006), é importante ressaltar que em decorrência de seus processos internos, as baterias estão permanentemente em um processo de descarga, mesmo quando não estão conectadas a nenhum circuito externo, sendo 4% o valor máximo de auto descarga ideal.

Em um sistema fotovoltaico, é importante que as baterias possuam uma vida útil longa (acima de três ou quatro anos). É considerado como término da vida útil quando a bateria não consegue mais armazenar 80% da carga que armazenava quando nova. Algumas ocorrências diminuem a vida útil das baterias como: elevada temperatura de operação, alta frequência e a profundidade das descargas; em concordância com a Lei de Faraday. A FIG.28 ilustra a influência da temperatura na vida útil da bateria.

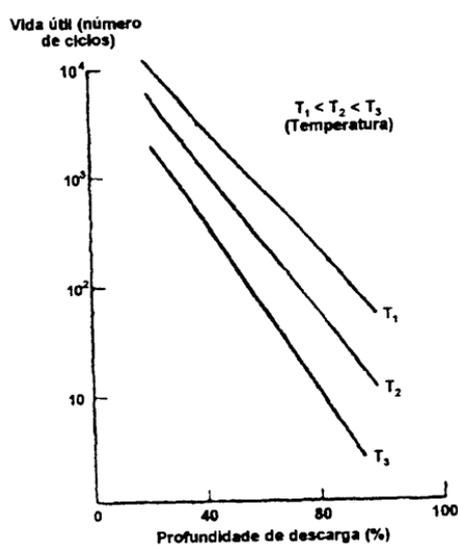


FIGURA 28 - Influência da profundidade de descarga e da temperatura na vida da bateria

FONTE: Textos Acadêmicos - Energia Solar - UFLA, 2006

4.5.4.4 Baterias para sistemas fotovoltaicos

As baterias de chumbo são as mais econômicas entre os diversos tipos de baterias. Elas podem realizar cerca de 200 ciclos de carga/descarga completos, e atingir até 500/600 ciclos com descarga de 60%. Quando descarregadas, tendem a acumular sulfato, o que reduz seu período de vida.

Segundo Alvarenga (2006), nos sistemas fotovoltaicos, pode-se usar as baterias abertas que necessitam de inspeção do eletrólito e até adição de água e também pode-se usar as baterias seladas, do tipo “livre de manutenção”.

As baterias de níquel-cádmio apresentam o mesmo processo de carga e descarga que se observa nas de chumbo, mas com diferenças significativas quanto ao funcionamento. Elas custam quase o triplo das de chumbo, mas podem ser estocadas, carregadas ou descarregadas, sem que sua durabilidade seja afetada. Alguns modelos de bateria podem realizar 30 mil ciclos de carga e descargas. Em geral, essas baterias são indicadas quando há necessidade de um modelo leve e portátil, de longa duração e que dispense manutenções periódicas.

A bateria de hidreto metálico de níquel (NiMH) apresenta características operacionais semelhantes às de níquel cádmio. A diferença principal é que usa o hidrogênio absorvido em uma liga, na forma de hidreto metálico, como material ativo no eletrodo negativo, ao invés de cádmio nas baterias de níquel cádmio. Por possuir maior densidade de energia pode ocupar menor espaço, ou seja, tem maior capacidade que as baterias de níquel cádmio.

As baterias recentemente utilizadas, e que têm adquirido grande uso o mercado, são as baterias de Íon de Lítio. Elas são células primárias que

contém ânodos de lítio metálico. Elas tem larga aplicação em equipamentos eletrônicos portáteis e na eletrônica industrial por terem uma maior capacidade de carga, serem recarregáveis, leves, e terem maior durabilidade. As baterias de lítio tem uma vida útil maior que a média das baterias, e agregam a isto, a vantagem de estarem disponíveis em diversos tamanhos. Além de não exigirem trocas constantes, as baterias de íon de lítio podem suportar altas demandas de corrente de curta duração.

Embora sejam deveras úteis em situações que demandam uma alta corrente, as baterias de íon de lítio descarregam mais facilmente quando curto circuitadas, o que pode gerar superaquecimento, ruptura ou explosão das mesmas, colocando em risco todo o sistema e as pessoas próximas. Este inconveniente está sendo superado pelo uso das baterias de polímero de lítio, bem como dispositivos de proteção contra sobre-corrente e contra superaquecimento. Apresentam uma capacidade de armazenamento de energia equivalente ao triplo de uma bateria de níquel cádmio (NiCd) e ao dobro de uma bateria de hidreto metálico de níquel (NiMH). Um outro diferencial apresentado é a ausência do chamado “Efeito Memória”, o que anula a necessidade de se realizarem ciclos de carga e descarga completos. Isto, aliado ao menor peso proveniente da baixa densidade do lítio, tornam estas baterias uma interessante e eficiente alternativa às baterias de chumbo-ácido comumente empregadas nos sistemas fotovoltaicos.

A TAB.8, indica alguns tipos de baterias com suas características básicas bem como seus custos comerciais.

TABELA 8 - Tipos gerais de baterias

Tipos de bateria	Densidade de energia (Wh/Kg)	Custo (US\$/KWh)	Vida útil (1)
Convencionais			
Chumbo-ácido	10-30	80-160	500-2000
Níquel-cádmio	10-45	100-700	>1000
Níquel-ferro	22-45	500	>2000
Níquel-zinco	60-90	-	250-350
Em desenvolvimento			
Células a combustível	-	-	>2000
Lítio-sulfeto metálico	100-225	20-30	1000
Níquel-hidrogênio	44-60	>2000	>3000
Sódio-enxofre	120-250	400-1200	900-2000
Zinco-bromo	65-75	500-1500	600-1800
Zinco-cloro	60-90	-	500-800

(1) - Para profundidades de descargas de 60% a 80%

FONTE: Textos Acadêmicos - Energia Solar - UFLA, 2006

4.5.5 Controladores de carga

4.5.5.1 Funções

Um controlador de carga é um equipamento utilizado basicamente e fundamentalmente para fornecer proteção para as baterias, assegurando uma

vida útil maior para as mesmas. É um elemento muito importante em um sistema fotovoltaico, uma vez que é responsável pelo estado das baterias que, por sua vez, são consideradas elemento crítico. O controlador também protege a bateria contra descargas profundas e contra o carregamento excessivo. Ele evita o descarregamento, alertando ao usuário para que seja reduzido o consumo energético, ou realizando a desconexão automática dos equipamentos que estão consumindo a energia. Vale ressaltar que, quando o fornecimento de energia retoma os níveis normais, o controlador religa, de forma automática, os equipamentos consumidores.

Além destas funções elementares, os controladores de carga também executam funções adicionais, de acordo com cada modelo.

4.5.5.2 Tipos de controladores

Pode-se dividir os controladores de carga em dois tipos distintos: os do tipo paralelo (*shunt*), ou os do tipo série. Esta divisão é feita considerando-se a forma como realizam a desconexão dos módulos fotovoltaicos das baterias, quando as mesmas estão com a carga completa.

Os controladores de carga do tipo paralelo, curto circuita a saída dos módulos fotovoltaicos quando as baterias estão muito carregadas. Isto faz com que a tensão dos módulos tenda a zero. Uma vez que a tensão das baterias se torna maior que a dos módulos, o carregamento das mesmas cessa. Geralmente este tipo de controladores de carga é utilizado em correntes de até 10 A, tidas como correntes baixas. A FIG.29 retrata o esquema elétrico de um controlador de carga tipo paralelo.

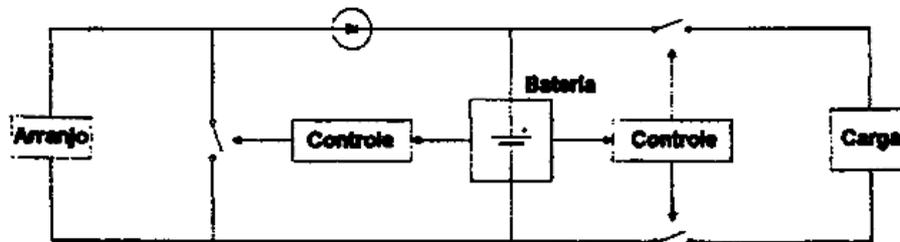


FIGURA 29 - Circuito elétrico básico de controladores de carga tipo paralelo
FONTE: Textos acadêmicos - Energia Solar - UFLA, 2006

No sistema tipo paralelo é necessária a colocação de um diodo em série, para que haja o bloqueio da corrente reversa da bateria para os módulos durante o período em que estes não produzem energia elétrica. Porém, este diodo gera uma queda de tensão e uma perda de energia do sistema. Em geral, alguns controladores projetados para baixas tensões não utilizam diodos de bloqueio; uma vez que a perda decorrente dos mesmos pode superar a perda por corrente reversa.

Controladores de carga do tipo série são utilizados, em sistemas com corrente elevada. Estes controladores têm por característica desconectar os módulos da bateria em conformidade com a FIG.30.

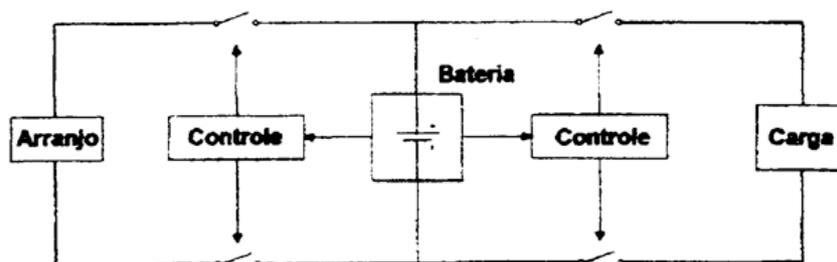


FIGURA 30 - Circuito elétrico básico de controladores de carga tipo série
FONTE: Textos acadêmicos - Energia Solar - UFLA, 2006

Os controladores de carga apresentam diversas características, mas é sempre necessário ajustá-los de forma que se adequem ao sistema. Para tanto, tem-se como principais parâmetros, os níveis de tensão do sistema, que devem provocar a desconexão dos módulos e da carga. Deste modo, é imprescindível o ajuste dos set-points dos controladores de carga. Tais ajustes devem considerar, dentro outros fatores, as características das baterias utilizadas no sistema, o ciclo de carga e descarga, o nível de confiabilidade de fornecimento de energia desejado, as condições de manutenção e a vida útil desejada para as baterias. Como valores usuais e genéricos a serem ajustados e atribuídos aos set- points para sistemas isolados de 12 Volts, tem-se como tensão máxima de carregamento da bateria 15V, tensão de desconexão das cargas 11,4V e tensão de reconexão das cargas 12,5V.

A TAB. 9 mostra alguns tipos de controladores de carga em função de suas correntes e tensão de trabalho.

TABELA 9 - Tipos de controladores de carga

Corrente (A)	Tensão (V)
4,5	12
7	12
10	12/24
20	12
30	12/24
40	12/24

FONTE: Solenerg, 2010

4.5.6 Inversor

4.5.6.1 Função

O inversor tem como função transformar a corrente contínua em corrente alternada, a fim de que a energia elétrica possa ser utilizada pelos equipamentos atualmente disponíveis no mercado que utilizam corrente alternada na faixa de 127V e 220V. De um modo geral, os inversores operam com tensões de entrada de 12V, 24V, 48V ou 120V em corrente contínua, e convertem para 120V ou 240V na frequência de 50Hz ou 60Hz.

4.5.6.2 Recomendações, vantagens e desvantagens no uso de inversor

A utilização de um inversor deve ser meticulosamente analisada. Isto se deve à necessidade de prevenção de danos ao mesmo; uma vez que este equipamento representa uma significativa elevação no custo do sistema, e torna o mesmo dotado de alta complexidade; além de poder gerar defeitos e reduzir a eficiência global. Por este e outros motivos, é recomendado o uso de inversores menores, que alimentem especificamente os equipamentos que trabalham com corrente alternada. Isto possibilita ao inversor trabalhar com carga total e maior eficiência, além do que, em caso de defeito, apenas o aparelho por ele atendido será privado de energia.

O uso de inversores apresenta como benefício, o aumento do nível de tensão; o que permite a redução do diâmetro das cabos condutores de eletricidade, conseqüentemente as perdas ôhmicas; uma vez que as correntes

são menores. Há também a vantagem de se utilizar equipamentos disponíveis no mercado. Alguns módulos fotovoltaicos, especialmente os de terceira geração apresentam um inversor incorporado em si.

4.5.6.3 Tipos de inversores

Existem dois tipos básico de inversores: os que operam em sistemas isolados, sendo auto comutados, gerando seu próprio sincronismo e os que trabalham conectados à rede elétrica convencional, apresentando uma comutação forçada pela frequência da rede.

A qualidade do inversor pode ser diagnosticada pela forma de onda que apresentam na saída. Deste modo, quanto mais senoidal é a forma da onda, maior é a qualidade do inversor. Também é válido ressaltar que existem alguns inversores que trabalham com onda retangular, outros com onda quadrada, e outros com onda praticamente senoidal. A TAB.10 leva em consideração modelos com onda senoidal modificada.

TABELA 10 - Modelos de inversores com onda senoidal modificada

Modelos	Potência contínua de saída (W)	Tensão de entrada/saída (V)
Xpower 175	175	12Vcc/120Vca
Xpower 400	400	12Vcc/120Vca
Xpower 700	700	12Vcc/120Vca
Xpower 1000	1000	12Vcc/120Vca
KJ -A- 1700A	1700	12Vcc/110Vca

FONTE: Solenerg, 2010

A TAB.11 apresenta modelos de inversores com onda senoidal pura, mostrando maiores valores de potência de saída, quando comparado aos modelos com onda senoidal modificada.

TABELA 11- Modelos de inversores com onda senoidal pura

Modelos	Potência contínua de saída (W)	Tensão de entrada/saída (V)
KJ-350-S	350	12V _{cc} /110V _{ca}
KJ-150L	150	24V _{cc} /110V _{ca}
KJ-150L	150	12V _{cc} /110V _{ca}
KJ-650L	650	12V _{cc} /110V _{ca}
KJ-1200L	1200	12V _{cc} /110V _{ca}
KJ-1800L	1750	12V _{cc} /110V _{ca}
KJ-3000L	3000	12V _{cc} /110V _{ca}
KJ-1500SL	1500	12V _{cc} /110V _{ca}
KJ-3000SL	3000	24V _{cc} /110V _{ca}

FONTE: Solenerg, 2010

4.6 Instalação de Sistemas Fotovoltaicos

Um dos primeiros fatores a ser considerado para a instalação de um sistema fotovoltaico é a taxa de luminosidade solar que incide no ambiente onde serão dispostos os painéis solares. Deve-se atentar que a produção de energia será diretamente influenciada pelo clima.

Outro fator primordial é a análise sistêmica da demanda energética exigida pelos equipamentos a serem alimentados. Deste modo a energia produzida e fornecida pelo sistema deve ser suficiente para suprir completamente a necessidade energética dos dispositivos. Também deve ser analisado, o número de módulos e a voltagem necessária ao sistema. O armazenamento também constitui um fator deveras complexo; que deve ser meticulosamente estudado; e que pode ser considerado como o fator mais caro do sistema fotovoltaico.

Caso sejam utilizadas baterias para armazenar energia, é importante avaliar o tempo de vida útil das mesmas, e os riscos que oferecem. Portanto, em decorrência dos eletrólitos ácidos que elas contém, será necessário um local ventilado e não metálico para serem armazenadas. As baterias também devem ser, preferencialmente, baterias de ciclo profundo, a fim de se ter um melhor aproveitamento e um melhor rendimento final, uma vez que esta característica permite que seja descarregada uma corrente menor, durante um maior período de tempo.

O tipo de material que compõe a bateria também interfere diretamente no sistema. Como exemplo, pode-se citar as baterias de chumbo e níquel- cádmio. As segundas são mais caras; contudo podem ser descarregadas em 100%sem reduzir seu tempo de vida, além de durarem mais. Ao utilizar as baterias como meio de armazenamento de energia, faz-se necessário o uso de um controlador de carga. Este equipamento regula o sistema, de modo que as baterias não sejam sobrecarregadas ou excessivamente descarregadas.

Dependendo do uso que será feito da energia proveniente do sistema, será necessário um inversor. O inversor é responsável por converter a

corrente contínua em corrente alternada. Alguns módulos fotovoltaicos já apresentam um inversor embutido; reduzindo custos e eliminando a necessidade de uma central específica de inversão.

Outros equipamentos necessários à instalação de um sistema fotovoltaico são: caixas de junção, equipamentos de aterramento, proteção de sobrecarga, dispositivos de segurança para desconectar sistemas utilizando corrente contínua e corrente alternada.

A instalação dos painéis solares pode ocorrer de formas distintas. No processo de montagem à superfície, os módulos solares são montados em uma plataforma de alumínio ou aço, fixada em uma estrutura específica, construída no telhado. É a que apresenta o menor custo.

Na montagem em cobertura, os módulos fotovoltaicos são fixados de forma direta nos caibros da cobertura, ou seja, são colocados na estrutura do telhado, e não sobre o telhado propriamente dito. O custo da implantação deste sistema de disposição é compensado, em parte, pela economia dos materiais que seriam empregados na cobertura. Além disso, a montagem em cobertura apresenta um menor impacto visual que os painéis montado à superfície.

Outro método de se implantar sistemas solares fotovoltaicos é através de telhas solares. Este é o método mais caro em comparação com os meios clássicos de aproveitamento de energia solar. Entretanto, a diferença de preço é compensada, pelo fato de o sistema elaborado/montado através de telhas solares dispensar a estrutura para montagem. Esteticamente, apresentam um ar misto; que integra a modernidade de sua cor, com o aspecto sóbrio e clássico; e são extremamente fáceis de instalar.

Além destes modos de instalação, há também outros tipos de painéis solares. Dentre estes, há especial destaque para os painéis adesivos, que podem ser facilmente aderidos às paredes; e painéis semi-transparentes, que podem ser utilizados em janelas.

4.7 Segurança

A energia solar é uma fonte relativamente segura de energia em comparação com as demais fontes de energia disponíveis presentemente. É uma fonte renovável e virtualmente infinita. A pouca poluição que produz é decorrente do processo de fabricação dos elementos constituintes do sistema, e não causa danos ao meio ambiente durante sua obtenção ou utilização.

Os riscos decorrentes do uso da energia solar fotovoltaica são provenientes das baterias empregadas para armazenar a carga. Por se tratar de uma reserva energética na forma de energia química, armazenada em compostos metaestáveis, há o risco constante de explosões, combustão espontânea, ou vazamentos; o que pode ter consequências catastróficas dependendo do local afetado, dos equipamentos próximos e das condições climatológicas.

O vazamento de baterias pode contaminar alimentos, locais, ou até mesmo pessoas com substâncias tóxicas, inflamáveis, e/ou corrosivas. A explosão de uma bateria pode levar outras a explodirem; e dependendo da intensidade em que se dê esta explosão, os danos estruturais causados podem ser irreversíveis, ou pode até mesmo causar sequelas, ou até mesmo, a morte de pessoas devido ao potencial energético aprisionado. Todavia, não são

comuns vazamentos ou explosões em baterias operando em condições normais, e dentro dos parâmetros de segurança estipulados. Vazamentos e explosões decorrem de condições críticas de temperatura, funcionamento excessivo, sobrecarga, traumas físicos, inversão de polaridade, abertura inadequada, etc.

Armazenamento adequado em local ventilado, baterias de boa qualidade, cabos condutores apropriados, e materiais em perfeito estado de funcionamento, aprimoram a confiabilidade do sistema, e evitam riscos.

Também devem ser considerados os itens de segurança pessoal que devem ser utilizados na implantação/instalação dos painéis solares, e no manuseio de baterias e materiais eletrizados.

5. PROCESSOS DE CARREGAMENTO DE BATERIAS

Torna-se necessário conhecer as maneiras como as baterias são carregadas e descarregadas, avaliando seus valores de carga e descarga e suas particularidades, que são indispensáveis para uma análise mais minuciosa da possibilidade do carregamento dessas baterias utilizando o sistema fotovoltaico.

5.1 Carregamento convencional de baterias usadas em veículos com motor à combustão interna.

As baterias atualmente são utilizadas para as mais diferentes aplicações, variando, portanto, as condições de serviço. A bateria atua no sistema de diferentes maneiras, assim a bateria poderá ser uma fonte de energia de emergência ou poderá ter a função de completar a energia nos momentos de um pico maior. Quando a variação da carga for de uma grandeza pequena, a carga é geralmente alimentada diretamente pela fonte de energia primária. Esse sistema é utilizado cada vez e em maior intensidade.

Existem vários tipos de regime de carga (como as baterias são recarregadas), tais como: carga com corrente constante, carga com tensão constante, carga com tensão constante modificada, carga de compensação, carga de equalização e carga rápida.

Os métodos de carregamento com corrente constante, com tensão constante são aplicáveis somente quando a bateria está desligada do seu circuito de descarga para receber uma carga. Atualmente se utiliza em grande amplitude deixar a bateria em paralelo com o carregador e o consumidor, sendo este

sistema chamado carga de compensação (trickle charge). A bateria fornece corrente ao consumidor em pequena quantidade ou em emergência e recebe uma corrente apenas para compensar as perdas. Mantém-se assim a bateria sempre carregada. A bateria é dita esta em regime de flutuação. O sistema de carregamento é do tipo de tensão constante.

Para carregar uma bateria é necessário dispor de uma fonte de energia elétrica cuja tensão seja superior a tensão da bateria em circuito aberto, e cuja polaridade não se inverta, ou seja, uma fonte de corrente unidirecional ou contínua. Quando se utiliza apenas uma fonte de corrente alternada, esta deve ser retificada antes de entrar na bateria.

A obtenção de uma corrente unidirecional ou contínua para o carregamento da bateria pode ser feita de dois modos principais, ou por meio de um grupo motor-gerador ou de retificadores estáticos.

O grupo-motor gerador não apresenta um rendimento bastante elevado, além de outras dificuldades para um comando mais automatizado. Com menor vigilância, atualmente, pouco se usa este equipamento para carregar baterias. A menos nos automóveis, e nos trens de estrada de ferro, em que o gerador é acoplado ao motor principal, nos demais casos temos sempre um sistema de retificadores estáticos.

Então, explicando melhor os vários métodos para se carregar uma bateria, os tipos de carregamento descritos à seguir.

5.1.1 Carregamento com tensão constante

Este método é conhecido como carga em "flutuação" onde se aplica uma tensão constante nos pólos da bateria. A corrente de recarga será determinada pelas características elétricas e químicas da bateria. Isso não é recomendável, uma vez que se a bateria estiver com suas grelhas internas em curto circuito, a corrente circulante pelo sistema será elevadíssima. O tempo de carga é elevado, uma vez que quanto mais energia a bateria absorve, menor é a corrente de carga aplicada. A corrente inicial imposta à bateria deve ser limitada a 25 A e a tensão a 14,4 V. A temperatura da bateria durante o processo de recarga não deverá ultrapassar 50° C. O tempo de carga da bateria varia de acordo com o estado de carga da bateria (TAB.12).

TABELA 12 - Tempo de recarga de baterias automotivas

<i>Tabela de tempo de recarga de baterias automotivas</i>	
Tensão da bateria em vazio (V)	Tempo de recarga (h)
12,00 a 12,20	6 a 12
11,80 a 11,99	10 a 16
11,50 a 11,79	16 a 20
11,00 a 11,49	20 a 24
Baterias profundamente descarregadas	24 a 30

FONTE: Manual Bosch, 201

5.1.2 Carregamento com tensão constante-limite corrente

Método semelhante ao anterior, mas com a proteção de sobre-carga evitando, assim, problemas de correntes elevadas no sistema.

5.1.3 Carregamento com corrente constante seguido de tensão constante

A bateria é carregada com uma corrente constante até que atinja a sua tensão de flutuação (aproximadamente 10% acima da tensão nominal), ao que após, o carregador passa a atuar no modo de tensão constante, evitando assim sobrecarga e mesmo a auto-descarga.

5.1.4 Carregamento com corrente constante p/ tempo definido

Neste tipo de carga, aplica-se uma corrente controlada constante pela bateria, por um período determinado, limitando o tempo de carga. Ao recarregar a bateria com uma corrente constante, a voltagem aumenta lentamente durante a recarga. No final, a voltagem aumenta rapidamente e o processo deve ser interrompido no valor-limite de voltagem. O tempo de recarga varia entre 6 e 15 horas dependendo do estado de carga da bateria. Bateria levemente descarregada necessita de menor tempo de recarga, enquanto uma bateria profundamente descarregada necessita de um tempo maior. A TAB. 13 contém o tempo necessário de recarga, com corrente constante a 10% da capacidade nominal.

TABELA 13 - Tempo de recarga de baterias automotivas

<i>Tabela de tempo de recarga de baterias automotivas</i>	
Tensão da bateria em vazio (V)	Tempo de recarga (h)
12,00 a 12,20	4,5
11,80 a 11,99	7
11,50 a 11,79	9
11,00 a 11,49	11
Baterias profundamente descarregadas	15

FONTE: Manual Bosch, 2010

A temperatura durante o processo de recarga também não deverá ultrapassar 50° C. É recomendável colocar sempre a quantidade de carga necessária para a bateria. Tempos prolongados de carga, principalmente com corrente constante, podem levar a bateria a um estado de sobrecarga, ocasionando perda de água desnecessária no processo. Evitar cargas rápidas sem controle de temperatura, corrente e tempo.

5.1.5 Carregamento com corrente constante seguido de tensão corrigida

A corrente é constante durante a carga até que a bateria atinja sua tensão de carga (20% acima da sua tensão nominal) então, o carregador comuta para a tensão de flutuação mantendo a bateria neste estado indefinidamente.

5.1.6 Carregamento com corrente constante seguido de tensão corrigida e queda de corrente

Idêntico ao anterior, a diferença é que quando atinge a tensão de carga, espera até que a corrente da bateria caia abaixo de 1% da sua capacidade nominal, para que então comute para a tensão de flutuação, o que garante uma carga mais eficiente. É o método que melhor carrega a bateria, sem nenhum risco de dano.

5.1.7 Carregamento com delta de tensão zero ou negativo

Aplica-se uma corrente constante pela bateria de forma a que sua tensão vá subindo (absorvendo energia) até um ponto em que a subida de tensão termina. Neste ponto, em que a tensão parou de subir, termina-se a carga sob a condição de Delta V Zero. Em alguns tipos de bateria, após o ponto de delta de tensão zero, a tensão começa a cair produzindo uma variação de tensão para baixo, caracterizando o termino por Delta V Negativo.

5.1.8 Carregamento com temperatura máxima

A corrente de carga é bastante elevada, limitada apenas pela temperatura da bateria. Necessita de refrigeração para que se mantenha a temperatura da bateria sempre constante no seu limite máximo.

5.1.9 Considerações gerais sobre carregamento de baterias

As baterias podem ser carregadas em série ou em paralelo, conforme necessidades de correntes e tensões.

No carregamento em série o pólo positivo de uma bateria deve estar ligado ao pólo negativo da bateria vizinha, ficando sempre aberto o pólo positivo

da primeira e o pólo negativo da última bateria (FIG.31).

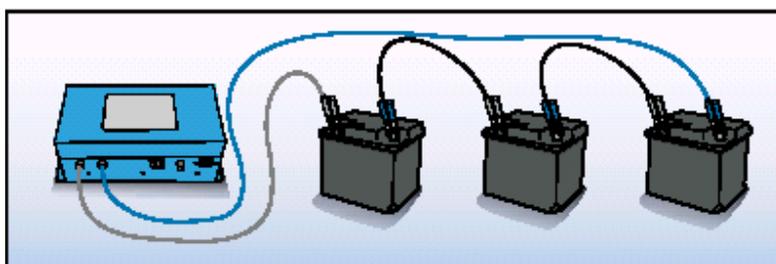


FIGURA 31- Carregamento de baterias em série
FONTE: Material de apoio Heliar, 2009

A FIG. 32 mostra o carregamento em paralelo, onde todos os pólos positivos devem estar interligados entre si formando um circuito e todos os pólos negativos também interligados entre si formando outro circuito.

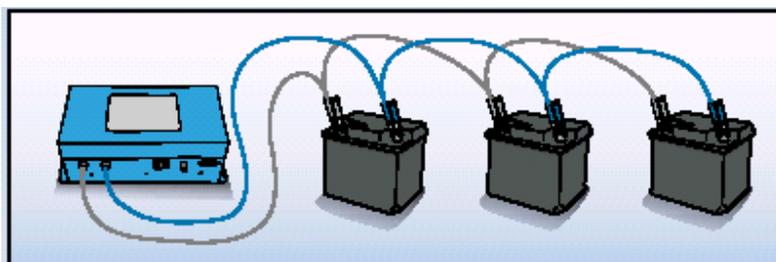


FIGURA 32 - Carregamento de baterias em paralelo
FONTE: Material de apoio Heliar, 2009

5.1.10 Carregadores de baterias

Para se carregar uma bateria, é utilizado um carregador, definido como um equipamento eletrônico que apresenta mecanismos responsáveis por transformar a corrente a ele fornecida em corrente contínua, com tensão e

amperagem apropriadas para se carregar as baterias.

A fim de que se dê o carregamento, é necessário fornecer às baterias uma determinada quantidade de Ampères-Horas, através de uma corrente de carga; sendo que o processo de carregamento não ocorre de forma passiva. Devido a isto, o carregador deve conter uma programação que lhe permita ajustar constantemente às condições manifestadas pela bateria, a fim de sobrepujar a resistência por ela exercida.

Os carregadores podem ser classificados em manuais e inteligentes. Os carregadores manuais são aqueles que não apresentam nenhuma programação automatizada sobre o fluxo de carga; exigindo monitoramento constante. Os carregadores inteligentes são aqueles que contam com um programa de carga composto de duas ou três fases; e são automáticos em sua atuação.

Na escolha de um carregador de baterias, devem ser considerados como critérios elementares a tensão nominal do aparelho, a curva de carga que ele proporciona, e a amperagem nominal da corrente (intensidade). É importante ressaltar que a tensão nominal (U_{nominal}) do carregador tem que ser compatível com a tensão nominal da bateria a ser carregada (U_{nominal}); ou seja, um múltiplo de 12V.

Um carregador manual, conforme seu próprio nome evidencia, tem uma atuação completamente manual. No início da operação de carregamento, o operador/usuário regula a corrente; sendo a tensão constante. Ao passo que a resistência interna da bateria cresce, a corrente fornecida diminui. São, portanto, necessários reajustes constantes, para a conclusão do carregamento. Este carregador apresenta uma série de desvantagens; como a lentidão do

processo, a necessidade constante da presença do operador/usuário, e a fervura da bateria sem que esta esteja carregada.

Como modelo de transição entre os carregadores manuais e os inteligentes, tem-se o carregador manual automatizado. Este carregador apresenta um funcionamento semi-automático; no qual o operador/usuário ajusta a corrente inicial; e o carregador faz as modulações necessárias de ascensão da tensão e diminuição da corrente. Este tipo de carregador realiza processos em que corta a alimentação de carregamento e a restitui de forma a dar seguimento ao processo de carregamento. Contudo, manifesta os inconvenientes de requerer uma substancial fiscalização, proporcionar fervura da bateria caso o tempo de carga seja excedido, ser pouco eficiente na parte final do carregamento, sendo que a bateria não chega a atingir sequer 80% da carga nominal.

Na vertente de carregadores inteligentes, merecem destaque dois tipos, os carregadores UI, e os carregadores UUI.

Os carregadores UI apresentam uma capacidade de carga em torno de 85%. Por ser um carregador inteligente, apresenta um funcionamento automático, o que dispensa o monitoramento constante. O carregamento neste tipo de carregador ocorre utilizando uma tensão baixa reduzida, o que impede que a bateria ferva. Mesmo tendo um ciclo automático que funciona em duas etapas distintas, é altamente recomendável a verificação periódica do eletrólito.

O ponto negativo deste carregador é a limitação de carga da bateria.

O modelo de carregadores mais desenvolvido, disponível no mercado, são os UUI. Estes carregadores permitem completar totalmente a carga, por

incorporarem em seu processo de carregamento, uma fase de tensão máxima. Este carregamento considera o tipo de bateria, e detecta o estado de carga da bateria de forma automática. Apresentam os benefícios de permitirem que a bateria seja carregada em sua totalidade, ausência do risco da bateria ferver, isenção da necessidade da presença do operador/usuário, possibilidade de que a bateria permaneça conectada ao carregador sem apresentar, tecnicamente, riscos. Não existem, inconvenientes listados decorrentes do uso deste carregador.

Embora seja alvo de muitos comentários, o alternador automotivo não é um carregador perfeito para uso na carga/recarga de baterias em condições usuais, uma vez que sua tensão máxima de carga às vezes não atende à demanda da bateria.

A taxa de capacidade de reserva é o período de tempo em minutos durante o qual uma bateria nova e totalmente carregada consegue fornecer 25 A em 27° C, mantendo uma voltagem de terminal de 1,75 V ou maior por célula (10,5 V para uma bateria de 12 V). Essa taxa representa o período de tempo durante o qual a bateria consegue operar acessórios essenciais se o alternador do veículo falhar.

5.1.11 Fuga de Corrente

A corrente em vazio é o consumo de energia elétrica que sobra quando todos os acessórios do carro estão desligados. Se a corrente em vazio estiver alta demais, a bateria permanecerá frequentemente em um estado de carga baixo ou se tornará profundamente descarregada. Ambos os estados afetarão negativamente a vida útil da bateria. A fuga de corrente não deve exceder a

0,05% da capacidade da bateria. Como referência, a TAB.14 mostra as correntes em vazio típicas dos diferentes consumidores.

TABELA 14 - Corrente de fuga em diferentes dispositivos elétricos de veículos

Consumidor	Corrente em vazios máxima (mA)
Computador de bordo	5
Alarme	10
Mecanismos de abertura de janela	5
Sistemas de ignição	5
Sistema de injeção	5
Relógio digital	3
Rádio com sistemas de código	3
Relógio analógico	7

FONTE: Manual de automóveis, 2010

Os valores da TAB 14 se referem ao consumo máximo por equipamento individual. Se o veículo possuir um sistema elétrico de abertura de janela em cada porta de um veículo com quatro portas, a corrente em vazio resultante de todo o sistema de abertura de janela é igual a $4 \times 5 \text{ mA} = 20 \text{ mA}$. Se o veículo tiver um relógio digital integrado no rádio com um sistema de códigos, então haverá a carga de 3 mA do relógio + 3 mA do sistema de código = 6 mA .

5.1.12 Perda da capacidade das baterias devido à temperatura de armazenamento

A capacidade das baterias vai diminuindo de acordo com o aumento de sua temperatura de armazenamento. A TAB.15 retrata este cenário para as baterias do tipo íon-lítio.

TABELA 15 - Perda permanente da capacidade das baterias íon lítio em função das temperaturas de armazenamento

Temperatura de armazenamento (°C)	40% da carga	100 % da carga
0	2% das perdas depois de 1 ano	6% das perdas depois de 1 ano
25	4% das perdas depois de 1 ano	20% das perdas depois de 1 ano
40	15% das perdas depois de 1 ano	35% das perdas depois de 1 ano
60	25% das perdas depois de 1 ano	40% das perdas depois de 3 meses

FONTE: Manual de automóveis, 2010

5.2 Carregamento de baterias em veículos elétricos

É importante o conhecimento do processo de carga dos veículos elétricos, onde se conhece um fator imprescindível que é o tempo necessário para efetuar a carga em função da capacidade de armazenamento de cada tipo de bateria adequada aos veículos elétricos.

5.2.1 Carregamento de baterias em automóveis elétricos

Todo automóvel elétrico possui uma bateria chumbo-ácido de 12 volts, separada do conjunto principal de baterias, para alimentar todos os acessórios. Para mantê-la carregada, o carro elétrico precisa de um conversor CC-CC. Este equipamento recebe a energia CC do painel principal de baterias (por exemplo a 300 volts CC) e converte-a para 12 volts, a fim de recarregar a bateria dos

acessórios. Quando o carro está ligado, os acessórios usam a força do conversor CC-CC. Quando o veículo está desligado, usam a força da bateria de 12 volts, como em qualquer automóvel com motor a combustão interna. O conversor CC-CC é normalmente uma caixa separada sob o capô, mas pode também estar embutida no regulador.

Um carro elétrico pode funcionar com um conjunto de baterias chumbo ácida, por exemplo. Para o carregamento desse conjunto de baterias, é necessária a instalação de um carregador. O sistema de recarga pode ser de diferentes maneiras; como, por exemplo, uma tomada normal 120V ou 240V, placa indutiva, ou por meio de corrente fornecida por baterias ou fontes alternativas como placas solares.

Quando a carga é feita por meio de uma tomada normal, também conhecido como sistema de carga doméstico, há como aspecto positivo o fato de o veículo poder ser recarregado em qualquer lugar onde exista uma tomada, o que lhe confere certa universalidade. Contudo, o tempo de recarga é acentuadamente aumentado. Exemplificando os dois tipos de tomadas domésticas, a saber 120V e 240V, tem-se que considerar, além da voltagem fornecida, a presença de um disjuntor na rede elétrica. A FIG.33 mostra o plug de um veículo elétrico, detalhando a tomada (macho).



FIGURA 33 - Plug de energia (macho) de um veículo elétrico
FONTE: Energias, 2010

A tomada (“macho”) irá se conectar no plug “fêmea” fora do veículo (FIG.34).



FIGURA 34 - Conexão do plug de energia (macho) em um plug fêmea.
FONTE: Energias, 2010

Em uma tomada de 120V, equipada com um disjuntor de 15 ampères, a quantidade máxima que o veículo poderá consumir será de aproximadamente 1,5kWh. Deste modo, uma recarga completa terá, em média, de dez a doze horas. Utilizando uma tomada de 240V, o veículo terá uma carga mais rápida, cerca de 4 a 5 horas, quando receber 240V a 30 ampères; totalizando 6,6kWh para uma carga completa.

O sistema Magna Charge que utiliza placas indutivas envia eletricidade para o carro, e atua como sendo a metade de um transformador, em sincronia com a outra metade presente no interior do veículo. Este sistema tem como principal vantagem, transferir uma maior quantidade de energia para o veículo em menos tempo; além de ser muito mais seguro, não havendo risco de choque elétrico, mesmo em elevadas condições de umidade (inclusive condensação); além de não ter nenhum dos contatos elétricos expostos. Para o uso de placa indutiva, são necessárias maiores adaptações, tanto no veículo

quanto na base utilizada para o recarregamento da bateria. A estação de recarga especial é mostrada na FIG.35,



FIGURA 35 - Estação de recarga, cortesia de Jon Mauney
FONTE: Energias, 2010

A FIG.36. mostra a adaptação de um sistema de recarga por indução no veículo (porta malas).



FIGURA 36 - Sistema de recarga no porta malas, cortesia de Jon Mauney
FONTE: Energias, 2010

A estação de carga é conectada a um circuito elétrico de 240V e 40A. A conexão da placa indutiva é feita conforme FIG.37.



FIGURA 37 - Conexão de placa indutiva no sistema de recarga acoplado atrás da placa do veículo, cortesia de Jon Mauney
FONTE: Energias,2010

Contudo, o conector de recarga com maior potência, é conhecido como Avcon plug ilustrado na FIG.38 Por ter contatos cobre-cobre, conexão mecânica elaborada que impede a exposição dos contatos, e uma proteção GFCI que atua como interruptor em caso de falha na segurança por aterramento; é extremamente seguro e eficiente.



FIGURA 38 - Sistema de Carregamento do Tesla Roadster 100
FONTE: G1 - Globo, 2007

Existem perdas decorrentes do funcionamento das baterias, que apresentam particularidades que concede a cada uma diferenças, por mais sutis que sejam na capacidade e resistência interna. Desta forma, mesmo liberando a mesma corrente, por estarem ligadas em série, as baterias mais fracas necessitarão de um esforço maior, o que torna sua carga mais baixa que as demais. Como todas as baterias estão ligadas em série, a carga por elas recebida durante a recarga é exatamente igual. Isto enfraquece mais as baterias mais fracas; o que provoca danos muito antes que as demais baterias do complexo energético do veículo. Como nos veículos elétricos a autonomia é determinada pelas baterias, aquela mais fraca fica comprometida e começa a diminuir; reduzindo assim o efetivo aproveitamento do sistema.

Uma forma encontrada para solucionar este problema e atuar como elemento preventivo é a chamada carga equalizadora da bateria. Este método de recarga promove uma leve sobrecarga nas baterias, para garantir que as mais fracas obtenham a carga total. sem causar danos às baterias mais fortes com sobrecarga; o, que seria extremamente danoso ao sistema elétrico e ao equipamento como um todo, pois diminuiria sua autonomia, comprometeria o rendimento total, e reduziria drasticamente a vida útil do mesmo.

O sistema de recarga de um carro elétrico tem duas metas principais para serem atendidas. Primeiramente, sua função é levar eletricidade para as baterias, na velocidade que elas permitem, em sentido oposto ao da descarga. Sua segunda meta consiste em exercer um criterioso monitoramento do estado de carga das baterias, de forma a evitar um possível dano durante o processo de recarga.

Nos automóveis elétricos, o medidor de combustível, é substituído por um indicador de carga do complexo energético (baterias), podendo ser, desde um voltímetro simples conforme FIG.39, até um computador de bordo sofisticado visualizado na FIG.40. A função do medidor de combustível é acompanhar o fluxo de ampères que sai e que retorna ao conjunto de baterias.



FIGURA 39 - Indicador de Carga da Bateria
FONTE: HowStuffWorks – Learn How Everything Works, 2010



FIGURA 40 - Computador de Bordo Tesla S Sedan
FONTE: O Globo.com, 2009

5.2.2 Carregamento de baterias para motocicletas elétricas

Algumas motos elétricas tem baterias com capacidade de 20Ah que usam uma voltagem em repouso de até 28,3 V com o carregador desconectado.

Para essas baterias deve-se usar um carregador com 29,2V e corrente menor que 5A, sendo recomendado 2A. Nas motos elétricas existe o módulo de gerenciamento da bateria (BMS) que equaliza, protege de sobrecarga e descarga excessiva, otimiza e aumenta a vida útil da bateria.

5.3 Carga/descarga de baterias para sistemas fotovoltaicos

5.3.1 Considerações gerais

No carregamento de baterias para sistema fotovoltaicos verificam-se as características limitantes de cada bateria utilizada, como a corrente, tensão de carga e capacidade de armazenamento, o ciclo de carga e descarga, o nível de confiabilidade de fornecimento de energia desejado, as condições de manutenção e a vida útil desejada para as baterias.

Quando se observa o consumo da energia, não se recomenda usar mais que 50 % da capacidade total de uma bateria, pois valores maiores que este faz com que a bateria entre em descarga profunda, reduzindo a sua vida útil.

Segundo Alvarenga (2006), é importante ressaltar que em decorrência de seus processos internos, as baterias estão permanentemente em um processo de descarga, mesmo quando não estão conectadas a nenhum circuito externo, sendo 4% o valor máximo de auto descarga ideal.

5.3.2 Valores de recarga

Para se carregar as baterias em sistemas fotovoltaicos, o sistema de carregamento deve ter tensão de carga e equalização entre 14,4 a 15,5 V e tensão

de flutuação entre 13,2 à 13,8 V, considerando temperatura padrão de 25°C. Observar que para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033 V e para cada 1°C abaixo de 25°C, adicionar 0,033 V. É recomendado ligar todas as baterias numa configuração paralela por 24 horas, antes de se fazer a ligação em série. Este processo vai equalizar todas as baterias e compensar a diferença de estado de carga em função da data de fabricação ou condições de armazenamento.

A TAB. 16 mostra os valores adequados de tensão de carregamento de baterias em função da temperatura da bateria.

TABELA 16 - Tensões de carregamento de bateria em função da temperatura

Temperatura da bateria (° C)	Tensão de flutuação (V)	Tensão de equalização (V)
-9,4	14,7	16,7
-6,7	14,61	16,61
-1,1	14,42	16,42
-4,4	14,24	16,24
10	14,06	16,06
15,6	13,87	15,87
21,1	13,69	15,69
25	13,5	15,5
32,2	13,32	15,32
37,8	13,14	15,14
43,3	12,96	14,96
48,9	12,77	14,77

FONTE: Energias, 2010

Se necessário for, qualquer número de baterias pode ser colocado em paralelo, mas é de fundamental importância o uso de terminais adequados. O uso de um terminal impróprio ou em más condições pode não permitir uma recarga adequada e ocasionar desbalanceamento no sistema e danos para as baterias. Ao operar com baterias em paralelo, é melhor tomar a saída de positivo de um lado e a saída de negativo do outro lado do banco. Isto vai permitir que qualquer queda de tensão se cancele e melhore a recarga das baterias.

Quando se utilizar baterias com ligações em série ou paralelo, em função da necessidade de maior capacidade e autonomia, recomenda-se primeiro montar os grupos em paralelo e depois em série. Esta configuração implica em mais fiação, porém, é o sistema mais confiável.

A seleção e a manutenção da tensão específica de carga e flutuação são essenciais para alcançar a vida útil e capacidade projetada da bateria. Se a tensão de carga e flutuação for muito alta causará crescimento acelerado e corrosão da placa reduzindo a vida útil da bateria. Se a tensão de carga e flutuação for muito baixa, a bateria não será mantida a plena carga, isto causará sulfatação das placas resultando na degradação da capacidade e redução da vida útil. As baterias podem ser mantidas à plena carga se permanentemente ligadas a uma fonte de carga de flutuação entre 13,2 e 13,8 Volts com temperatura de 25°C. Porém salienta-se que todas as vezes que as baterias forem submetidas a uma descarga é obrigatório que sejam recarregadas de acordo com o especificado, sempre fazendo a correção de tensão de acordo com a temperatura.

Em algumas ocasiões as baterias estarão expostas a variações de temperatura, neste caso pode-se adotar uma temperatura média para tensão de carga e flutuação.

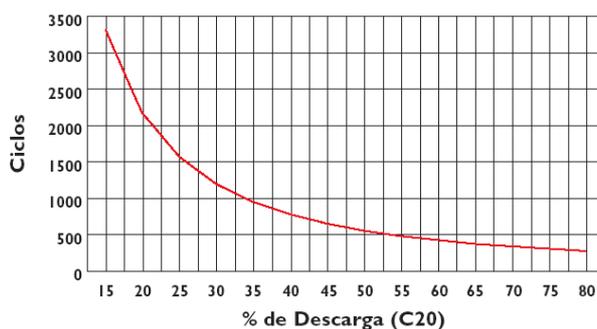
Baterias com tensão abaixo de 11Volts levam algum tempo para mostrar que estão aceitando recarga. A baixa tensão inicial pode não ativar os carregadores com proteção contra recarga invertida, apesar das ligações estarem corretas.

Para Alvarenga (2006) na aquisição de baterias deve-se examinar portanto aspectos técnicos do fabricante como:

- . Ciclo de vida para operação em sistemas fotovoltaicos com descarga de 20% e eficiência média por ciclo carga-descarga;
- . Tensão máxima de recarga;
- . Se há exigência de equalizações periódicas das baterias, determinar qual é a periodicidade e os parâmetros a serem utilizados;
- . corrente de carga e capacidade útil, a uma corrente determinada.

Alguns tipos de gráficos merecem destaque, pois fornecem informações preciosas a respeito da bateria. Assim, observa-se no GRAF.1 a diminuição do número de ciclos (vida útil da bateria) com o aumento da profundidade de descarga para um modelo específico de bateria.

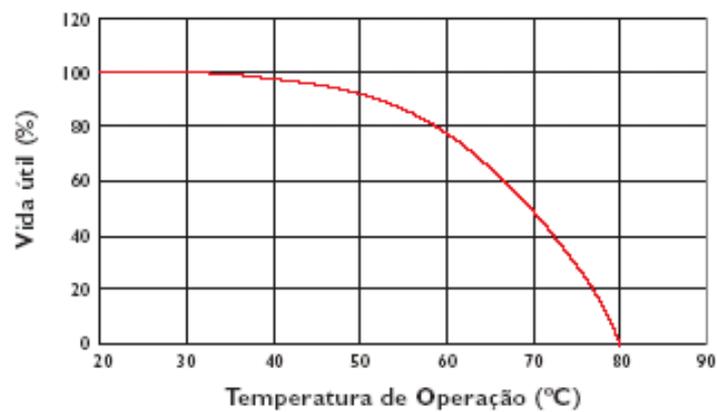
GRÁFICO 1 - Número de ciclos de uma bateria em função do percentual de descarga



FONTE: Catálogo técnico das baterias Tudor, 2010

Observa-se também, o GRAF.2 que indica a diminuição da vida útil de uma bateria com o aumento de sua temperatura para um modelo específico de bateria.

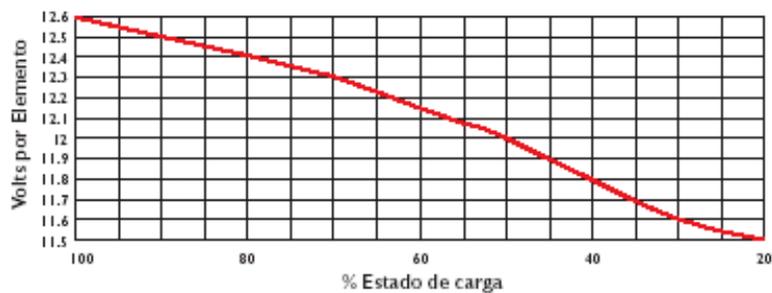
GRÁFICO 2 - Vida útil de uma bateria em função de sua temperatura de operação



FONTE: Catálogo técnico das baterias Tudor, 2010

No GRAF. 3, verifica-se maiores valores de tensão quando a bateria está com maior percentual de carga.

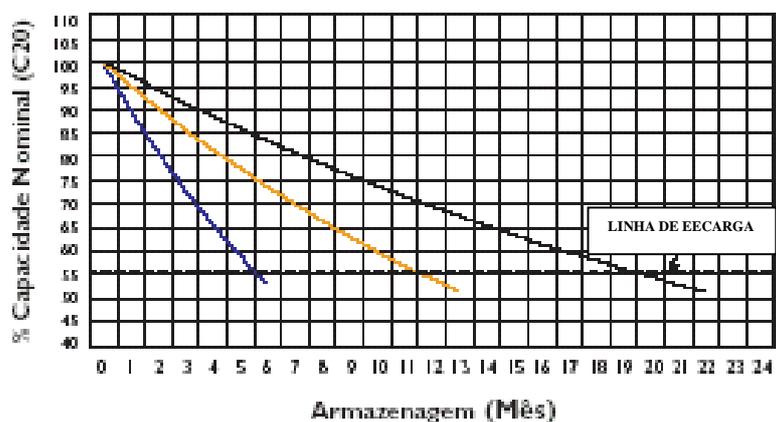
GRÁFICO 3 - Tensão da bateria em função do estado de sua carga



FONTE: Catálogo técnico das baterias Tudor, 2010

O GRAF. 4 retrata a redução da capacidade nominal de energia (carga) de um modelo de bateria com o passar do tempo. Observa-se ainda que a linha de auto descarga está na porcentagem limite de 55, significando que se esta bateria contiver carga abaixo desse valor, ocorrerá o processo mais acelerado de auto descarga.

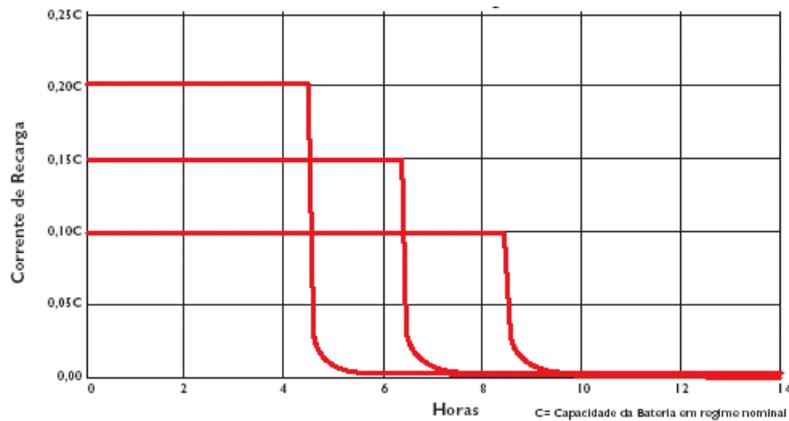
GRÁFICO 4 – Redução da capacidade de um modelo de bateria em função do tempo de seu armazenamento



FONTE: Catálogo técnico das baterias Tudor, 2010

O GRAF. 5 mostra os tempos de recarga em função do valores de correntes para um tipo bateria

GRÁFICO 5 – Tempo de recarga em função da corrente



FONTE: Catálogo técnico das baterias Tudor, 2010

Outros tipos de gráficos são também utilizados como:

- . Tensão versus peso específico do eletrólito, mostrando região de formação de gás;
- . Tensão versus profundidade de descarga.

5.3.3 Capacidade das baterias em função dos regimes de recarga

A TAB. 17 mostra diversos tipos de baterias em função de seus diferentes regimes de descargas, observando uma tensão final de descarga de 11,5 V e temperatura de trabalho de 25°C .

TABELA 17 – Modelos de baterias em função das diversas capacidades relacionadas aos diferentes regimes de descargas

<i>Regimes de carga</i>	100 h		20 h		1 h		15min	
	Ah	Wh	Ah	Wh	Ah	Wh	Ah	Wh
Modelos								
DF300	30	3	26	16	18	125	10	300
DF500	40	5	36	22	20	167	13	510
DF700	60	6	48	29	27	210	16,3	550
DF1000	70	7	60	36	35	257	21	712
DF2000	115	13	105	65	60	490	27,5	1200
DF2500	165	19	150	98	81	698	50	1638
DF3000	185	26	170	110	95	798	57,5	1917
DF4001	240	28	220	139	120	995	72	2374

FONTE: Catálogo de baterias Freedom, 2010

6. DIMENSIONAMENTOS E ANÁLISES DO USO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CARREGAMENTO DE BATERIAS

6.1 Dimensionamento geral de um sistema fotovoltaico

Para o completo dimensionamento de um sistema fotovoltaico deve-se levar em conta todas as partes envolvidas neste sistema. A FIG. 41 retrata o esquema das principais partes envolvidas.

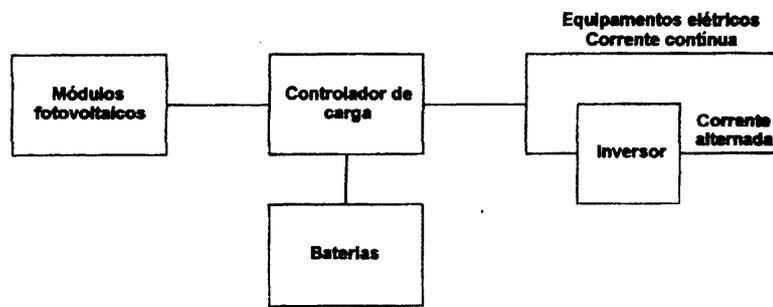


FIGURA 41 - Diagrama de um sistema fotovoltaico
FONTE: Textos Acadêmicos, 2010

Segundo Alvarenga (2006), deve-se primeiramente fazer um levantamento do consumo de eletricidade e a partir desses dados, iniciar o dimensionamento do banco de baterias a ser utilizada, dos módulos fotovoltaicos (também chamados de geradores fotovoltaico), além dos controladores de carga e inversores, quando necessários.

6.1.1 Levantamento do consumo de energia elétrica

O levantamento do consumo pode ser feito pela TAB.18, onde se deseja determinar os dados básicos relativos às cargas que se quer alimentar.

No item aparelho deve-se enumerar os aparelhos elétricos que serão alimentados pelo sistema aqui proposto como motores de combustão interna, acessórios de veículos (lâmpadas diversas para faróis, lâmpadas indicadoras no painel, acendedor de cigarros, luzes no interior aparelhos de som, motores elétricos para acionamento do limpador de pára-brisas, bombas de injeção de água nos pára-brisas), placas de uso robótico, motores elétricos com grande potência substituindo os motores de combustão interna.

No item quantidade relata-se o número de aparelhos, podendo ser mais de um, como no caso de lâmpadas.

Na coluna tensão: deve-se expressá-la em Volts (V), sendo a tensão elétrica do aparelho em 12V de corrente contínua ou 120V de corrente alternada.

No item potência: deve-se usá-la em Watts, onde especificá-se a potência nominal do aparelho. Na coluna referente ao uso, determina-se o número médio de horas diárias previstas para efetiva utilização do aparelho.

Quanto ao item corrente que é expresso em Ampère (A), deve-se calcular a corrente elétrica nominal do aparelho utilizando a relação: $\text{Corrente} = \text{potência} / \text{tensão}$ do banco de baterias. É importante observar que a corrente deve ser contínua de 12V vinda da bateria ou do banco (conjunto) de baterias.

No item relativo ao consumo (Wh/dia), deve-se calcular o consumo médio diário de energia elétrica do aparelho na tensão do banco de baterias (12V). Para os aparelhos alimentados diretamente em corrente contínua basta multiplicar a potência (W) pelo uso (h/dia).

Na coluna relativa ao consumo (Ah/dia), deve-se calcular o consumo médio diário de energia elétrica do aparelho na tensão do banco de baterias (12V). Para os aparelhos alimentados diretamente em corrente contínua basta multiplicar a corrente (A) pelo uso (h/dia).

Nas linhas relativas às cargas CC e CA, anota-se os totais de todas as cargas em corrente contínua e corrente alternada separadamente, ou seja, é feita a soma dos valores de tensão (coluna de tensão), potência (coluna de potência), corrente (coluna de corrente), consumo (Wh/dia na sua respectiva coluna) e consumo (Ah/dia na sua coluna).

Quanto à linha denominada perdas no inversor: na coluna de potência (W), considerar 10% do total das potências das cargas em CA; na coluna corrente (A), considerar 10% do total das correntes das cargas em CA e nas colunas de consumo (Wh/dia) e consumo (Ah/dia), considerar 10% do total dos consumos das cargas em CA. Observa-se que as perdas no inversor só são consideradas em CA.

Na linha descrita como total: na coluna de potência (W), soma-se as potências das cargas em CC, CA juntamente com os valores das perdas no inversor; na coluna de corrente (A), somar as correntes das cargas em CC e CA com as perdas no inversor; nas colunas de consumo (Wh/dia) e consumo (Ah/dia), somar os consumos das cargas em CC e CA com as perdas no inversor.

TABELA 18 - Levantamento de cargas

Aparelho	Quant.	Tensão (V)	Potência (W)	Uso (Horas/ dia)	Corrente contínua (A)	Consumo (Wh/dia)	Consumo (Ah/dia)
Cargas CC							
Cargas CA							
Perdas no inversor							
TOTAL							

FONTE: Textos acadêmicos, 2006

6.1.2 Dimensionamento das baterias

Para se conhecer o tipo de bateria a ser usado deve-se calcular a capacidade do banco de baterias levando em conta o consumo e a confiabilidade requerida para o sistema. A capacidade, em Ah, é calculada usando uma das duas expressões abaixo, onde será considerada a que resultar em maior capacidade.

A primeira equação será:

$$CAPACIDADE (Ah) = CONSUMO TOTAL (Ah/DIA) \times AUTONOMIA (DIAS) / PROFUNDIDADE DE DESCARGA NO FINAL DA AUTONOMIA (PU)$$

- **Consumo total (Ah/dia):** retira-se da tabela de levantamento de cargas já descrita.

- **Autonomia (dias):** prever um período sem insolação de 3 a 5 dias de acordo com o clima local e a confiabilidade desejada. Normalmente em

residências trabalha-se com 3 dias, em sistemas de telecomunicação de 4 a 5 dias.

- **Profundidade da descarga no final da autonomia (pu)** - 0,5 a 0,7 (descargas mais profundas significam vida útil menor para a bateria). O valor normalmente adotado para baterias de chumbo cálcio estacionárias apropriadas para sistemas fotovoltaicos é 0,6. Para baterias automotivas considerar 0,5.

A segunda equação para o cálculo da capacidade das baterias será:

$$\text{CAPACIDADE (Ah)} = \text{CONSUMO TOTAL (Ah/DIA)} / \text{PROFUNDIDADE DESCARGA NO FINAL DE CADA NOITE}$$

As variáveis desta equação podem ser assim analisadas:

Consumo total (Ah/dia): retira-se da tabela de levantamento de cargas já descrita.

Profundidade da descarga no final de cada noite (pu): considera-se valores de 0,15 (vida útil de bateria 5 anos) a 0,25 (vida útil de bateria 4 anos). Valores típicos de 0,20 são utilizados em baterias estacionárias e valores de 0,15 são utilizados em baterias automotivas.

6.1.3 Dimensionamento do gerador fotovoltaico

Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico deve-se usar a seguinte expressão:

$$\text{POTÊNCIA MÍNIMA DO GERADOR (Wp)} = \text{CONSUMO TOTAL (Ah/DIA)} \times \text{Vmp MÓDULO} / \text{HORAS EQUIVALENTES DE SOL PLENO} \times \text{FATOR DE PERDAS E SEGURANÇA}$$

A expressão pode ser assim explicada:

- **Potência mínima do gerador (Wp):** É a potência mínima total do conjunto de módulos necessária para produzir a energia solicitada pela carga.

- **Consumo total (Ah/dia):** Deve-se retirar os valores da tabela de levantamento de cargas.

- **Vmp módulo:** É a tensão de máxima potência do módulo a ser utilizado (ou dos módulos em série). Normalmente 17,4 V para módulos Isofóton em sistemas de 12V.

- **Fator de perdas e segurança:** Usado para se levar em conta a redução da geração do módulo devido à tolerância na fabricação, temperatura de trabalho, poeira, degradação, sombras, desalinhamentos, perdas na bateria, no controlador, na instalação, incerteza sobre o consumo, etc. Considera-se valores entre 0,8 para residências à 0,85 para telecomunicação.

- **Horas equivalentes de sol pleno (horas/dia):** Depende da latitude e nível de nebulosidade do local. Considerar o nível médio do mês mais crítico no plano escolhido para instalar os módulos. O módulo deve ter uma inclinação que privilegie o pior mês. Considerar entre 3,5 e 5 horas/dia de sol pleno para o pior mês de acordo com a localização escolhida. Esse dado poderá ser pesquisado através de sites reconhecidos, confiáveis e atualizados para obtenção de valores. Para o sul do Brasil considera-se entre 3,5 e 4. Para o Nordeste entre 4 e 5.

6.1.4 Dimensionamento do controlador de carga

Para o dimensionamento do controlador de carga verificar quais são as correntes máximas que ele deverá suportar tanto do lado dos módulos quanto do lado das cargas. Adotar o maior valor encontrado (arredondar para cima com uma folga mínima de 10%).

O cálculo da corrente do controlador de carga, do lado das cargas, pode ser obtido através da expressão:

$$\text{CORRENTE DO CONTROLADOR DE CARGA} = \frac{\text{CONSUMO MÁXIMO (WATTS)}}{\text{TENSÃO DO BANCO DE BATERIAS (V)}}$$

Para o cálculo da corrente do controlador de carga, no lado dos módulos, usa-se a expressão:

$$\text{CORRENTE DO CONTROLADOR DE CARGA (A)} = \text{CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO DO MÓDULO (A)} \times \text{NÚMERO DE MÓDULOS EM PARALELO}$$

Nessa expressão, considera-se a corrente de curto circuito total do arranjo de séries de módulos utilizados. A corrente de curto-circuito de um módulo de 50 Wp-12V é de 3,27 A. Pode-se considerar, em média, em sistemas de 12 V, que a corrente de curto circuito está em torno de 0,06 a 0,07 A/Wp e a metade em sistemas de 24 V.

6.1.5 Dimensionamento do inversor

Para o dimensionamento do inversor deve-se verificar a potência máxima das cargas que ele vai alimentar em CA.

No dimensionamento geral de um sistema fotovoltaico deve-se procurar compatibilizar a produção de energia, que é função do local e das áreas dos módulos, e as necessidades de energia da carga dentro de determinados níveis de confiabilidade e custos.

6.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de veículos movidos por motor de combustão interna.

6.2.1. Considerações sobre consumo

Conforme explicações dadas no capítulo 3 sobre os esquemas elétricos, observa-se que as baterias abastecem vários dispositivos. É destaque que o motor de arranque consome altos valores de corrente e valores menores estão presentes em acessórios diversos como lâmpadas para faróis, lâmpadas indicadoras no painel, acendedor de cigarros, luzes no interior aparelhos de som, motores elétricos para acionamento do limpador de pára-brisas, bombas de injeção de água nos pára-brisas e outros mais. Nos motores de partida (arranque) de automóveis com motor funcionado no ciclo Otto tem-se valores de corrente variáveis de acordo com a capacidade volumétrica do motor. Assim, o consumo de corrente varia de 130 A até 180A para motores com capacidades de 1000 à 4500 cilindradas.

Para motores de partida aplicado em veículos do ciclo Diesel como caminhões, ônibus e tratores os valores de corrente consumidos para a partida variam de 500A a 800A.

Outros dispositivos também variam muito quanto ao consumo de energia elétrica de acordo com seu modelo. Assim, para exemplificar tem-se um limpador de para brisas de um automóvel que consome de 3 a 20A de corrente elétrica.

Os valores de corrente para o motor de arranque e todos os dispositivos acionados pela bateria, estão diretamente ligados com as potências (W) e a tensão de 12V da bateria em corrente contínua, através da relação:

$$I = P/U$$

Onde: I é a corrente (A); P é a potência(W) e U é a tensão(V).

Outro item muito importante no levantamento do consumo é o tempo de uso dos equipamentos quando o veículo está desligado. Este tempo é muito variável, pois no arranque talvez seja necessário mais de uma tentativa para iniciar o funcionamento do motor de partida, consumindo assim, muita energia. O tempo de uso dos acessórios também é variável.

6.2.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de automóveis e motocicletas com motor de combustão interna.

Considerando que os veículos são utilizados diariamente, ou seja, sempre movimentando, essas baterias serão carregadas por seus alternadores. Quando os veículos ficarem constantemente parados, como em estacionamentos de venda e troca de veículos, as baterias poderão se descarregar mais facilmente devido ao processo de auto descarga, com valores de até 0,1% da capacidade nominal da bateria por dia e a descarga da bateria pode ocorrer também pela corrente de fuga com taxas mais baixas que na auto descarga. Geralmente são utilizadas as baterias de outros veículos em funcionamento para recarregar as baterias que necessitam de carga até que o veículo necessitado entre em funcionamento carregando, sua bateria, através do alternador. Esse processo de ajuda de partida exige deslocamento de outro veículo, o que pode ser um transtorno quando não se tem espaço suficiente.

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico segue-se um roteiro.

Levantamento de cargas

A TAB.19 destaca principalmente o consumo de energia em equipamentos necessários ao funcionamento inicial do automóvel, pois a partir

daí, o carregamento será feito pelo alternador. A coluna relativa ao uso foi preenchida com um valor médio diário de 4 min, ou seja, 4/60, que equivale a 0,066 h/dia.

TABELA 19 - Levantamento médio de cargas para automóveis

Aparelho	Quant.	Tensão (V)	Potência (W)	Uso (Horas /dia)	Corrente contínua (A)	Consumo (Wh/dia)	Consumo (Ah/dia)
Motor de partida	01	12 cc	2000	0,066	167	132	11,0
Outros dispositivos elétricos	vários	12 cc	900	0,066	75	60	5,0
TOTAL		-	2900	-	242	192	16,0

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

Banco de baterias

Para o cálculo do banco de baterias para a estocagem de energia será utilizada as relações (equações) descritas na seção 6.1.2, onde considera-se uma autonomia de 3 dias sem insolação, profundidade de descarga (pu) no fim da autonomia de 0,5 para baterias automotivas e profundidade de descarga no final de cada noite de 0,15. Assim:

$$\text{Capacidade (Ah)} = (16 \times 3) / 0,5 = 96 \text{ Ah}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 16 / 0,15 = 107 \text{ Ah}$$

Considera-se o maior valor calculado. Assim para o consumo estabelecido será necessário um conjunto de baterias com capacidade de 107 Ah.

As baterias que serão carregadas pelo sistema fotovoltaico possuem variabilidades de valores consumidos de cargas, seja em automóveis ou motocicletas devido aos diversos modelos encontrados dentro de cada categoria. Assim, estes veículos possuem baterias com capacidades nominais diferentes já especificadas pelo fabricante. Conforme levantamento feito no capítulo 3, para automóveis e motocicletas, considera-se para o carregamento com o sistema fotovoltaico a bateria com maior capacidade nominal de 92 Ah utilizada em automóveis. Como a maior capacidade calculada foi de 107 Ah, pode-se com sobras, carregar a bateria de 92 Ah, ou carregar 2 baterias de 45 Ah (total de 90 Ah), ou 1 bateria de 60Ah ao mesmo tempo que se carrega uma de 45Ah (total de 105 Ah), ou ainda carregar várias baterias de motocicletas de 14Ah.

Deve-se observar também que estas baterias automotivas, geralmente de chumbo ácido comum, não são recomendadas para o sistema fotovoltaico, tendo sua vida útil modificada, quando carregadas neste sistema. Recomenda-se para este fim, as baterias chumbo-cálcio seladas.

Gerador fotovoltaico

Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico considera-se o consumo igual a 16Ah/dia. Aplica-se a equação descrita na seção 6.1.3, considerando tensão de máxima potência do módulo igual a 17,4 V, horas equivalentes de Sol pleno por dia igual a 4,0 e fator de perdas e segurança igual a 0,80. Assim:

$$Pot_{\min \text{ ger.}} = (16 \times 17,4) / (4,0 \times 0,8)$$

$$Pot_{\min \text{ ger.}} = 87 \text{ Wp}$$

Controlador de carga

Para o cálculo da corrente do controlador de carga deve-se fazer dois cálculos: a corrente do lado das cargas (consumo) e a corrente do lado dos módulos. Após os cálculos, adotar o maior valor encontrado com um acréscimo de 10%.

Para o lado das cargas, considera-se o conjunto do banco de baterias, pois, somente elas serão carregadas. Conforme seção 5.1 considerar o valor de $0,1xC$, ou seja, 10% da capacidade nominal das baterias. Assim considerar $0,1x107 = 10,7 \text{ A}$.

Para o lado dos módulos usar a relação descrita na seção 6.1.5, com corrente de curto circuito aproximadamente igual a 6,1 ($0,07x87$). Assim:

$$\text{Corrente do controlador de carga (lado dos módulos)} = 6,1 \text{ A}$$

A corrente utilizada no controlador será a maior calculada dentre os lados (carga e módulos), acrescida de 10%. Logo:

$$\text{Corrente do controlador de carga} = 10,7 + (0,1x10,7) \approx 12 \text{ A}$$

Não se utiliza inversor, pois os consumidores (baterias) estão em corrente contínua.

Observar que, para motocicletas, o consumo de energia pela bateria, passa a ser bem menor que o consumo previsto para os automóveis. Assim, as baterias, o gerador fotovoltaico e o controlador de carga, são de menor capacidade, quando dimensionado para motocicletas. Para se carregar as baterias de motocicletas a partir do sistema já dimensionado para os automóveis, deve-se controlar a corrente de carga no controlador de carga, pois esta corrente deverá ser menor (geralmente 2A) nas motocicletas em virtude da menor capacidade de suas baterias.

6.3 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de ônibus, caminhões e tratores com motor de combustão interna.

Nas garagens de transportadoras, empresas de ônibus, empresas de terraplanagem e escolas agrícolas localizam-se caminhões, ônibus e tratores. Estes veículos possuem baterias que eventualmente necessitam serem recarregadas. Nesse sentido faz-se necessário avaliar se o sistema fotovoltaico pode vir a contribuir com tal função.

O mesmo desenvolvimento dos cálculos efetuados para automóveis e motocicletas são feitos para o carregamento de baterias de ônibus, caminhões e tratores, ressaltando que os valores de consumo das baterias destes últimos são maiores que os encontrados em motocicletas e automóveis.

Levantamento de cargas

A TAB.20 mostra o levantamento de consumo médio de cargas de ônibus, caminhões e tratores, considerando-se somente baterias de 12 V. A

coluna relativa ao uso foi preenchida com um valor médio diário de 4 min, ou seja, 4/60, que equivale a 0,066 h/dia.

TABELA 20 - Levantamento médio de cargas para ônibus, caminhões e tratores

Aparelho	Quant.	Tensão (V)	Potência (W)	Uso (Horas/ dia)	Corrente contínua (A)	Consumo (Wh/dia)	Consumo (Ah/dia)
Motor de partida	01	12 cc	6000	0,066	500	396	33,0
Outros dispositivos elétricos	vários	12 cc	1500	0,066	125	99	8,5
TOTAL		-	7500	-	625	495	41,5

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

Banco de baterias

$$\text{Capacidade (Ah)} = (41,5 \times 3) / 0,5 \approx 249 \text{ Ah}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 41,5 / 0,15 \approx 277 \text{ Ah}$$

Considera-se o maior valor calculado. Assim para o consumo estabelecido será necessário um conjunto de baterias com capacidade de 293 Ah.

As baterias que serão carregadas pelo sistema fotovoltaico possuem variabilidades de valores consumidos de cargas, seja em ônibus, caminhões ou tratores devido aos diversos modelos encontrados dentro de cada categoria. Assim, estes veículos possuem baterias com capacidades nominais diferentes já especificadas pelo fabricante. Conforme levantamento feito no capítulo 3, a bateria com maior capacidade nominal tem um valor de 205 Ah dentre ônibus, caminhões e tratores. Considera-se para o carregamento com o sistema fotovoltaico a bateria com esse valor, para que essa e todas as outras baterias com capacidades menores possam ser carregadas. Como a maior capacidade calculada foi de 293 Ah, pode-se com sobras, carregar a bateria de 205 Ah, ou carregar 4 baterias de 70 Ah (total de 280 Ah), ou 1 bateria de 70Ah ao mesmo tempo em que se carrega uma de 160Ah (total de 230 Ah).

Gerador fotovoltaico

$$Pot_{\min \text{ ger.}} = (41,5 \times 17,4) / (4,0 \times 0,8)$$

$$Pot_{\min \text{ ger.}} = 225 \text{ Wp}$$

Controlador de carga

Para o lado das cargas, considera-se o conjunto do banco de baterias, pois, somente elas serão carregadas. Conforme seção 5.1 considerar o valor de $0,1 \times C$, ou seja, 10% da capacidade nominal das baterias. Assim considerar $0,1 \times 277 = 27,7 \text{ A}$.

Para o lado dos módulos usar a relação descrita na seção 6.1.5, com corrente de curto circuito aproximadamente igual a 16,0 ($0,07 \times 225$). Assim:

$$\text{Corrente do controlador de carga (lado dos módulos)} = 16,0 \text{ A}$$

Corrente do controlador de carga = $27,7+(0,1 \times 27,7) \approx 30\text{A}$

Não se utiliza inversor, pois os consumidores (baterias) estão em corrente contínua.

6.4 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para carregamento de baterias para automóveis e motocicletas elétricas.

6.4.1 Automóveis elétricos

A energia do banco de baterias de um veículo elétrico é responsável por movimentar um motor elétrico de grande consumo. Este motor elétrico é que vai propiciar movimento ao veículo. Assim, a energia proveniente do conjunto de baterias faz o papel de combustível quando comparada aos motores de combustão interna. Um regulador de voltagem controla a energia entre as baterias e o motor elétrico, além de carregar uma bateria alternativa (12Vcc) que aciona outros dispositivos elétricos.

Levantamento de cargas

A TAB. 21 mostra o levantamento de consumo médio de cargas de automóveis elétricos ressaltando o consumo somente do motor elétrico principal, que consome grande quantidade de energia do banco principal de baterias, pois os acessórios serão abastecidos por uma bateria auxiliar que é carregada pelo regulador de carga que, por sua vez, absorve a energia do banco principal de baterias, quando o veículo estiver em funcionamento. É importante observar que motor elétrico principal é de corrente contínua.

TABELA 21 - Levantamento médio de cargas para automóveis elétricos

Aparelho	Quant.	Tensão (V)	Potência (W)	Uso (Horas/dia)	Corrente contínua (A)	Consumo (Wh/dia)	Consumo (Ah/dia)
Motor principal	01	192 cc	20000	4	104	80000	417
TOTAL		-	20000	-	104	80000	417,0

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

Banco de baterias

$$\text{Capacidade (Ah)} = (417 \times 3) / 0,5 \approx 2500 \text{ Ah}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 417 / 0,15 = 2780 \text{ Ah}$$

Considera-se o maior valor calculado. Assim para o consumo estabelecido será necessário um conjunto de baterias com capacidade de 2780 Ah.

As baterias que serão carregadas pelo sistema fotovoltaico possuem capacidades de cargas diferentes dentro de cada tipo de automóveis elétricos.

Gerador fotovoltaico

$$\text{Pot}_{\text{min ger.}} = (417 \times 17,4) / (4,0 \times 0,8)$$

$$\text{Pot}_{\text{min ger.}} = 2268 \text{ Wp}$$

Controlador de carga

Para o lado das cargas, considera-se o conjunto do banco de baterias, pois, somente elas serão carregadas. Conforme seção 5.1 considerar o valor de

corrente de recarga de $0,10 \times C$, ou seja, 10% da capacidade nominal das baterias. Assim considerar $0,10 \times 2780 = 278 \text{ A}$.

Para o lado dos módulos usar a relação descrita na seção 6.1.5, com corrente de curto circuito aproximadamente igual a $33,8 \text{ A}$ ($0,07 \times 2268$). Assim:

Corrente do controlador de carga (lado dos módulos) $\approx 159 \text{ A}$

Corrente do controlador de carga = $278 + (0,1 \times 278) \approx 306 \text{ A}$

Não se utiliza inversor, pois os consumidores (baterias) estão em corrente contínua.

6.4.2 Motocicletas elétricas

O sistema fotovoltaico dimensionado para os automóveis elétricos pode ser usado em motocicletas elétricas, uma vez que as potências dos motores das motocicletas variam de 6750 W (9cv) a 23000 W (31cv) em corrente contínua com um banco de baterias com tensão média de 120 V , enquanto que nos automóveis, os motores de corrente contínua variam entre 20000 W a 30000 W , mas com tensão de 96 a 192 V . Assim, a TAB.22 mostra os valores calculados em função de um consumo médio de um motor principal de 20 cv (14800 W).

TABELA 22 - Levantamento médio de cargas para motocicletas elétricas

Aparelho	Quant.	Tensão (V)	Potência (W)	Uso (Horas/dia)	Corrente contínua (A)	Consumo (Wh/dia)	Consumo (Ah/dia)
Motor principal	01	120 cc	14800	4	124	59200	496
TOTAL		-	14800	-	124	59200	496

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

6.5 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para carregamento de bateria e fornecimento de energia para placa de uso robótico.

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para este fim, segue-se o roteiro descrito na seção 6.1.

Levantamento de cargas

A TAB.23 destaca o consumo de energia em placas de uso robótico, que teve sua função detalhada na seção 3.3.

TABELA 23 - Levantamento de cargas

Aparelho	Quant.	Tensão (V)	Potência (W)	Uso (Horas/dia)	Corrente contínua (A)	Consumo (Wh/dia)	Consumo (Ah/dia)
Placa principal	01	12	48	4	4	192	16
TOTAL		-	48	-	4	192	16,0

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

Banco de baterias

$$\text{Capacidade (Ah)} = (16 \times 3) / 0,5 = 96 \text{ Ah}$$

$$\text{Capacidade (Ah)} = 16 / 0,15 = 107 \text{ Ah}$$

Considera-se o maior valor calculado. Assim para o consumo estabelecido será necessário um banco de baterias com capacidade de 107 Ah. Recordar que as baterias que serão carregadas pelo sistema fotovoltaico são de diferentes tipos em função de características específicas e capacidade de armazenamento descritas nas seções 4.5.4.4 e 5.3.3.

Gerador fotovoltaico

Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico considera-se o consumo igual a 16Ah/dia. Aplica-se a equação descrita na seção 6.1.3, considerando tensão de máxima potência do módulo igual a 17,4 V, horas equivalentes de Sol pleno por dia igual a 4,0 e fator de perdas e segurança igual a 0,80. Assim:

$$\text{Pot}_{\text{min ger.}} = (16 \times 17,4) / (4,0 \times 0,8)$$

$$\text{Pot}_{\text{min ger.}} = 87 \text{ Wp}$$

Controlador de carga

Para o lado das cargas, considera-se a relação explicada na seção 6.1.4. Assim:

$$\text{Corrente do controlador de carga (lado das cargas)} = 48/12$$

$$\text{Corrente do controlador de carga (lado das cargas)} = 4 \text{ A}$$

Para o lado dos módulos usar a relação descrita na seção 6.1.5. Assim:

Corrente do controlador de carga (lado dos módulos) = $0,07 \times 87$

Corrente do controlador de carga (lado dos módulos) $\approx 6,1$ A

A corrente utilizada no controlador será a maior calculada dentre os lados (carga e módulos), acrescida de 10%. Logo:

Corrente do controlador de carga = $6,1 + (0,1 \times 6,1) \approx 7,0$ A

Não se utiliza inversor, pois os consumidores (baterias) estão em corrente contínua.

7 ANÁLISES TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DIMENSIONADOS

A necessidade de propor soluções alternativas para a recarga de baterias através do sistema fotovoltaico, não pode ser encarada de uma maneira simples, pois se exige um balanço real entre benefícios e investimentos. Como benefícios pode-se citar a disponibilidade da energia solar e o seu aparente grau de baixa poluição. A questão da poluição deve ser relativa, pois, torna-se necessário o levantamento detalhado do índice de poluição gerada na produção dos componentes fotovoltaicos, destacando-se a produção dos módulos. No lado dos investimentos, os custos de produção estão atrelados às energias gastas nos processos produtivos dos componentes, bem como os impostos e margem de lucro, definidos pelos fabricantes, revendedores e outros mais.

Existem no mercado, alguns tipos de sistemas residenciais para aplicações gerais. A TAB. 24 ressalta os modelos, bem como os valores médios das características desses sistemas.

TABELA 24 – Gerador solar fotovoltaico de corrente contínua (12 v) para uso geral

Modelo Solenerg	Capacidade máxima do gerador (W)		Consumo máximo (Wh/dia) ²		Potência do módulo fotovoltaico (Wp)	Capacidade da bateria (Ah)	Capacidade do controlador de carga (A)
	CC	CA ¹	CC	CA			
R40W12	60	150	117	100	40	60	5
R60W12	60	150	176	150	60	100	5
R87W12	168	150	256	218	87	150	14
R130W12	168	320	377	320	130	200	14
R174W12	168	320	512	435	174	300	14
R260W12	360	320	754	641	260	400	30
R390W12	360	560	1131	961	390	600	30
R520W12	480	1000	1508	1281	520	800	40

Notas:

1 – Depende do inversor a ser adquirido. Disponíveis: 150 W; 320W; 560W e 1000W.

2 - Valores válidos para uso só em corrente contínua ou só em corrente alternada; consumo máximo diário de energia para gerador instalado em região com média de 5 horas de sol máximo por dia; eficiência média do inversor de 85 %, devendo o mesmo permanecer desligado nos momentos de não uso.

FONTE: Solenerg, 2010

7.1 Sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de automóveis e motocicletas com motor de combustão interna

7.1.1 Análise técnica

Com base nos valores calculados na seção 6.2.2, recomenda-se o modelo de gerador fotovoltaico para uso geral R87W12 que consta na TAB.24, com características técnicas específicas. A TAB.25 considera os dados técnicos para o modelo de módulo KC85T da linha Kyocera, aplicado neste tipo de gerador.

TABELA 25 - Dados técnicos para modelo de módulo KC85T da linha Kyocera

Máxima potência	87 Wp
Tolerância	+10% ?-5%
Voltagem de máxima potência	17,4 V
Corrente de máxima potência	5,02 A
Voltagem de Circuito aberto	21,7 V
Corrente de curto circuito	5,34 A
Altura	1007 mm
Largura	652 mm
Espessura	58 mm
Peso	8,3 Kg
Temperatura nominal de operação da célula	47 ° C
Icc coeficiente da temperatura da corrente	$2,12 \times 10^{-5} \text{ A} / ^\circ \text{ C}$
Vca coeficiente da temperatura da voltagem	$-8,21 \times 10^{-2} \text{ V} / ^\circ \text{ C}$

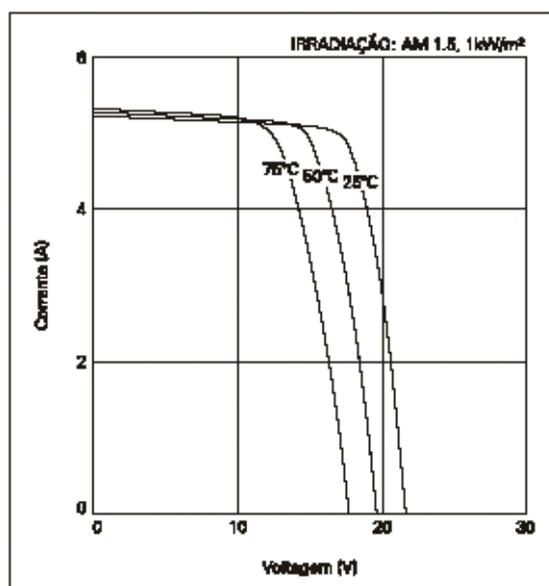
Nota:

As especificações elétricas do módulo descrito na TAB.25 estão sob condições de teste de irradiação de 1 KW/m^2 , espectro de 1.5 de massa de ar e temperatura de célula de 25°.

FONTE: Solenerg, 2010

O GRAF.6 mostra, para este módulo específico, a curva de corrente em função da tensão para diferentes temperaturas, onde percebe-se a diminuição da corrente com a diminuição da temperatura, provocando um aumento da tensão.

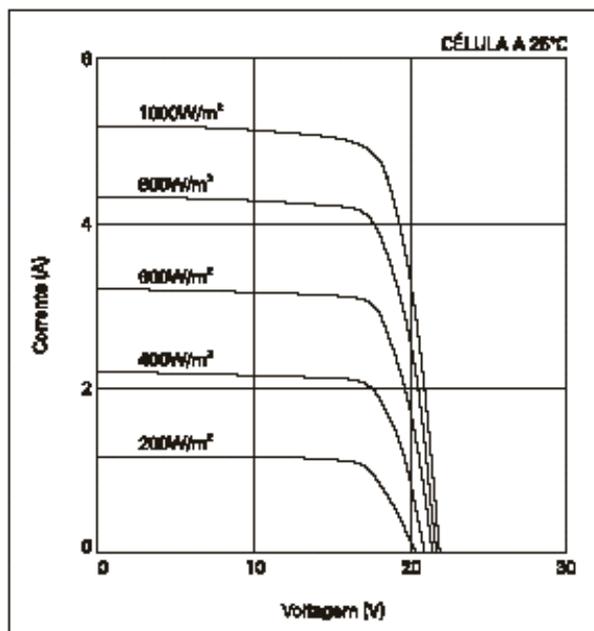
GRÁFICO 6 - Variação dos parâmetros corrente e tensão com a mudança de temperatura de operação do módulo Kyocera modelo KC85T



FONTE: Solenerg, 2010

O GRAF.7 mostra, para este módulo específico, a curva de corrente em função da tensão para diferentes valores de incidência solar (W/m^2), onde percebe-se a diminuição da corrente com a diminuição da incidência solar, provocando uma leve redução nos valores da tensão.

GRÁFICO 7 - Variação dos parâmetros corrente, tensão em relação a insolação recebida pelo módulo Kyocera modelo KC85T



FONTE: Solenerg, 2010

Quanto ao tempo de recarga, ele é definido de acordo com o tipo de carregamento (tensão constante, corrente constante...), o estado de carga e a capacidade das baterias, levando-se em consideração os valores de corrente e tensão de recarga, conforme seção 5.1.

É imprescindível determinar quais os valores médios de energia fornecidos pelos módulos, pois este será, também, um limitador de energia. Assim, a energia por hora máxima de carregamento das baterias (Wh) não será atendida se os módulos fotovoltaicos não fornecerem energia suficiente para tal carregamento. Observando os dados técnicos e curvas descritos anteriormente para o modelo de 87 Wp, pode-se considerar um valor médio de carregamento de 50 Wh, ou seja, 70W durante 1 Hora.

A TAB 26 estima o tempo médio de carregamento em função das diversas capacidades, considerando uma tensão média de recarga de 14,4 V e corrente de 10% sobre o valor da capacidade de cada bateria a ser recarregada.

TABELA 26 - Tempo médio de recarga de baterias

	Tensão de recarga (V)	Capac. das baterias (Ah)	Corrente de recarga (A)	Energia de recarga (Wh)	Capac. das baterias (Wh)	Tempo médio de recarga (h)
Motocicletas	14,4	3	0,3	4,3	24	6
	14,4	14	2,0	28	115	5
Automóveis	14,4	40	4	57	310	6
	14,4	92	9,2	132	710	10,5

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

Ressalta-se na TAB.26 que o tempo médio de recarga da bateria de 92 Ah foi estimado sobre o valor médio de energia do módulo (70Wh) e não sobre o valor máximo de carregamento admitido pela bateria (132Wh).

Agrupando-se os valores calculados e os valores do sistema fotovoltaico recomendado, apresenta-se a TAB.27.

TABELA 27 – Comparação entre sistema calculado e sistema de gerador recomendado

Item avaliado	Calculado	Disponível (Recomendado)
Consumo máximo (Wh/dia)	192	256
Potência do módulo fotovoltaico (Wp)	87	87
Capacidade máxima do gerador (W)	-	168
Capacidade do banco de baterias (Ah)	107	150
Controlador de carga (A)	12	14
Inversor	Sem	Com/sem

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

É importante observar que quando a bateria é levada completamente descarregada para ser recarregada, o processo pode demandar várias horas e até dias. Enquanto isso o veículo deverá ter outra bateria ou então ficará parado. Observar também que as baterias disponíveis, conforme modelo de módulo fotovoltaico, são do tipo estacionárias, próprias para o sistema fotovoltaico.

Conforme TAB.7 da seção 4.5.3, observar os comprimentos e diâmetros máximos dos cabos em função da perda máxima de tensão de 2 %.

7.1.2 Análise econômica

Os investimentos médios necessários para as instalações fotovoltaicas recomendadas estão descritos na TAB 28, onde não estão inclusos os valores das baterias estacionárias adequadas, pois serão utilizadas as próprias baterias de automóveis e motocicletas disponíveis para a recarga.

TABELA 28 - Preços médios (R\$) dos dispositivos fotovoltaicos recomendados cotados em fev 2010

Gerador de corrente contínua de 12 V de corrente contínua			Acessórios		
Módulos fotovoltaicos	Controlador de carga	Total do gerador	Suporte para os módulos	Caixa de controle	Total geral com acessórios
1.406,00	184,00	1.590,00	419,00	350,00	2.359,00

Notas:

- . Os preços, não incluem a caixa para bateria(s), materiais para instalação e a instalação.
- . O suporte opcional pode ser adaptado em poste de tubo de 3 a 4” (poste não fornecido).
- . A caixa de controle permite a instalação do controlador de carga e do inversor (opcional).

FONTE: Solenerg, 2010

Estima-se, para esse sistema específico, que os gastos com mão de obra (dependente do local) e materiais para instalação, como fios, conectores, poste de aço com 3 polegadas de diâmetro, não ultrapasse R\$1.200,00. Assim tem-se um investimento total médio de R\$ 3.500,00.

Os carregadores convencionais de baterias conectados a rede elétrica 110/220V consomem em média 800 W e recarregam baterias com capacidades de até 205 Ah. Considerando tempo médio de 9 horas para um carregamento convencional com estes carregadores, tem-se um consumo de 7200 Wh, ou 7,2 KWh. Assumindo o valor médio de R\$0,56 por KWh, tem-se um gasto aproximado de R\$4,00 para a recarga desta bateria. Um carregador convencional tem um custo médio de R\$450,00.

Num balanço inicial simples, tem-se R\$3500,00 de investimento no sistema fotovoltaico, menos R\$450,00 do investimento no carregador convencional, o que resulta no valor de R\$3.050,00 que pode ser amortizado, dividindo este valor por R\$4,00, que é o gasto médio de recarga de uma bateria. Assim, o investimento de R\$3.050,00 seria dividido para recarregar aproximadamente 762 baterias do tipo usadas nos cálculos. Considera-se que serão carregadas 2 baterias por dia, tem-se 381 dias úteis de recarga de bateria. Assim este alto valor inicial de investimento teria um retorno à partir de 1 ano e 3 meses aproximadamente, se for considerado 300 dias úteis em um ano, com a taxa de carregamento de 2 baterias por dia, sem contar os possíveis gastos com manutenção e imprevistos climáticos.

7.2 Sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de ônibus, caminhões e tratores com motor de combustão interna.

7.2.1 Análise técnica

Com base nos valores calculados na seção 6.3, recomenda-se o modelo de gerador fotovoltaico para uso geral R260W12 que consta na TAB.24. Este

modelo de gerador é uma associação dos módulos tipo KC130 TM da linha Kyocera.

Agrupando-se os valores calculados e comparando com o sistema fotovoltaico recomendado apresenta-se a TAB.29, onde para todos os itens comparados, os valores do sistema recomendado atendem perfeitamente as necessidades do sistema calculado.

TABELA 29 - Comparação entre sistema calculado e sistema fotovoltaico residencial recomendado disponível no mercado

Item avaliado	Calculado	Disponível (Recomendado)
Consumo máximo (Wh/dia)	495	754
Potência do módulo fotovoltaico (Wp)	225	260
Capacidade do banco de baterias (Ah)	277	400
Controlador de carga (A)	30	30
Inversor	Sem	Com/sem

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

É importante observar que as baterias disponíveis são do tipo estacionárias, próprias para o sistema fotovoltaico e as baterias calculadas são as disponíveis para o carregamento.

7.2.2 Análise econômica

Os investimentos médios necessários para as instalações fotovoltaicas recomendadas estão descritos na TAB.30, onde não estão inclusos os valores das baterias estacionárias adequadas, pois serão utilizadas as próprias baterias de caminhões, ônibus e tratores disponíveis para a recarga.

TABELA 30 - Preços médios (R\$) dos dispositivos fotovoltaicos recomendados cotados em fev 2010

Gerador de corrente contínua de 12 V de corrente contínua			Acessórios		
Módulos fotovoltaicos	Controlador de carga	Total do gerador	Suporte para os módulos	Caixa de controle	Total geral com acessórios
3.876,00	491,00	4.367,00	628,00	550,00	5.545,00

Notas:

- . Os preços, não incluem a caixa para bateria(s), materiais para instalação e a instalação.
- . O suporte opcional pode ser adaptado em poste de tubo de 3 a 4” (poste não fornecido).
- . A caixa de controle permite a instalação do controlador de carga e do inversor (opcional).

FONTE: Solenerg, 2010

Como no caso de automóveis e motocicletas , quando a bateria é levada completamente descarregada para ser recarregada, o processo pode demandar várias horas e até dias. Enquanto isso os veículos deverão ter outra bateria ou então ficarão parados. Observar também que as baterias disponíveis, conforme modelo de módulo fotovoltaico, são do tipo estacionárias, próprias para o sistema fotovoltaico.

7.3 Sistema fotovoltaico para carregamento de baterias de veículos elétricos

7.3.1 Análise técnica

As baterias que serão carregadas pelo sistema fotovoltaico possuem capacidades de cargas diferentes dentro de cada tipo de automóveis elétricos. Assim alguns automóveis elétricos usam baterias mais modernas de íon lítio e outros utilizam baterias de chumbo ácido para automóveis convertidos, conforme levantamento.

Observa-se da TAB.24 que o maior sistema fotovoltaico residencial para uso geral disponível é o modelo de gerador R520W12. Observar que este modelo é considerado através de um arranjo dos módulos KC130 TM da linha Kyocera. Comparando os valores calculados na seção 6.4.1 com os do modelo R520W12 tem-se montada a TAB 31.

TABELA 31- Comparação entre sistema calculado e sistema fotovoltaico residencial disponível no mercado

Item avaliado	Calculado	Disponível
Consumo máximo (Wh/dia)	80000	1508
Potência do módulo fotovoltaico (Wp)	2268	520
Capacidade do banco de baterias (Ah)	2780	800
Controlador de carga (A)	306	40
Inversor	Sem	Com/sem

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

Observa-se da TAB 31 que o modelo de gerador R520W12 não atende o sistema calculado, pois este modelo gera 520 Wp com corrente do seu controlador de carga de 40 A, mas necessita-se de potência mínima do gerador de 2268 Wp e tensão total mínima do conjunto dos módulos de 200 V, com valor de corrente não podendo ultrapassar o máximo de corrente do controlador de carga (40A) para esse gerador.

Assim, recomenda-se utilizar dois conjuntos de geradores R130W12 em paralelo, sendo cada conjunto composto por 12 módulos dispostos em série (192/17,4), que fornecerá um máximo de 3120 Wp com tensão média de 200V e corrente que não ultrapassa 30A. A FIG. 42 mostra o esquema geral de instalação sugerido.

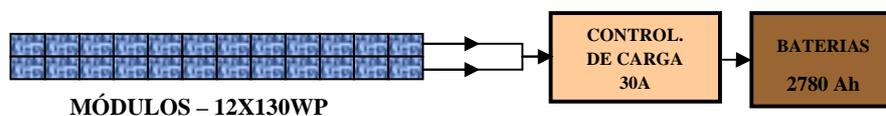


FIGURA 42 – Esquema geral de instalação sugerido para carregamento de baterias para veículos elétricos

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

Pela grande quantidade de módulos sugere-se adaptá-los sobre o telhado da construção quando houver possibilidades.

Um problema de logística para o carregamento das baterias dos veículos elétricos pelo sistema fotovoltaico é que quando os veículos forem utilizados para viagens e a autonomia das baterias chegar ao fim, os veículos se encontrarão longe do sistema de recarga, gerando assim inconvenientes.

Os tempos de recargas são grandes, o que os veículos devem ser recarregados à noite, impossibilitando o seu uso neste horário. Isto é ideal para hotéis onde os veículos ficam parados por muitas horas no período noturno.

Um caminho interessante seria o sistema de troca de baterias, onde o conjunto vazio é substituído por um conjunto de baterias recarregado. Assim, o novo conjunto de baterias vazias poderá ser recarregado pelo sistema fotovoltaico com maior tempo disponível. Mas é necessário adequação e padronização dos tipos de baterias, do estado de suas cargas e também da maneira como elas serão recarregadas.

Um tipo de tecnologia que está em fase de aperfeiçoamento para aplicação em veículos elétricos seria as células a combustível que utilizam de hidrogênio e oxigênio, produzindo eletricidade e água.

7.3.2 Análise econômica

Os investimentos médios necessários para as instalações fotovoltaicas recomendadas estão descritos na TAB.32, onde não estão inclusos os valores das baterias estacionárias adequadas, pois serão utilizadas as próprias baterias dos veículos elétricos disponíveis para a recarga.

TABELA 32 - Preços médios (R\$) dos dispositivos fotovoltaicos recomendados cotados em fev 2010

Gerador de corrente contínua de 12 V de corrente contínua			Acessórios		
Módulos fotovoltaicos	Controlador de carga	Total do gerador	Suporte para os módulos	Caixa de controle	Total geral com acessórios
46.512,00	491,00	47.003,00	5.000,00	720	52.723,00

Notas:

Os preços, não incluem as caixas para as baterias, materiais para instalação e a instalação.

A caixa de controle permite a instalação do controlador de carga e do inversor (opcional).

FONTE: Solenerg, 2010

7.4 Sistema fotovoltaico para carregamento de baterias e fornecimento de energia para placa de uso robótico

7.4.1 Análise técnica

Com base nos valores calculados recomenda-se o modelo de gerador fotovoltaico para uso geral R87W12 que consta na TAB.24.

Agrupando-se os valores calculados e também os valores do sistema fotovoltaico, apresenta-se a TAB.33.

TABELA 33 - Comparação entre sistema calculado e sistema fotovoltaico de uso geral disponível no mercado

Item avaliado	Calculado	Disponível
Consumo máximo (Wh/dia)	192	256
Potência do módulo fotovoltaico (Wp)	87	87
Capacidade do banco de baterias (Ah)	107	150
Controlador de carga (A)	7,0	14
Inversor	Sem	Com/sem

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

A FIG. 43 mostra o esquema geral de instalação sugerido.

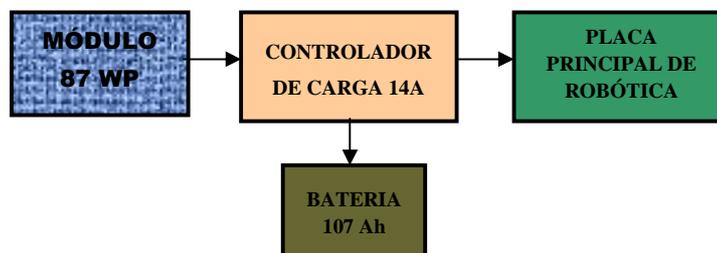


FIGURA 43 – Esquema geral de instalação sugerido para carregamento de baterias de placas eletrônicas de uso robótico

FONTE: Dados da pesquisa, 2010

O sistema recomendado disponível no mercado atende completamente o sistema requerido calculado.

7.4.2 Análise econômica

Os investimentos médios necessários para as instalações fotovoltaicas recomendadas estão descritos na TAB 34, onde não estão inclusos os valores das baterias estacionárias adequadas, pois serão utilizadas as próprias baterias de automóveis e motocicletas disponíveis para a recarga.

TABELA 34 - Preços médios (R\$) dos dispositivos fotovoltaicos recomendados cotados em fev 2010

Gerador de corrente contínua de 12 V de corrente contínua				Acessórios		
Módulos fotovoltaicos	Baterias	Controlador de carga	Total do gerador	Suporte para os módulos	Caixa de controle	Total geral com acessórios
1.406,00		184,00	1.590,00	419,00	350,00	2.359,00

Notas:

. Os preços, não incluem a caixa para bateria(s), materiais para instalação e a instalação.

. O suporte opcional pode ser adaptado em poste de tubo de 3 a 4" (poste não fornecido).

. A caixa de controle permite a instalação do controlador de carga e do inversor (opcional).

FONTE: Solenerg, 2010

Considerando um consumo médio de 192 Wh/dia, tem-se, em média, um gasto diário de energia para este uso de R\$0,11. Num cálculo simples, considerando um investimento inicial de R\$3.000,00 do sistema fotovoltaico instalado, este investimento seria pago em mais de 70 anos.

8 CONCLUSÃO

Respondendo aos objetivos traçados no início deste estudo, conclui-se que:

. Quanto ao funcionamento dos dispositivos elétricos dos veículos com motor a combustão interna, verificou-se que a produção de energia para os motores e para o carregamento das baterias é feita pelo pelos alternadores ou pelos dínamos, isto quando os veículos estão em funcionamento. Os reguladores de tensão fazem o papel de controlador de corrente e tensão adequados para o carregamento das baterias e para abastecimento dos motores; e no caso de alternadores, usa-se um retificador para transformar a corrente alternada produzida em corrente contínua (12V) para o carregamento das baterias. O armazenamento da energia produzida é feito pelas baterias, que possuem diversas capacidades em função do consumo do veículo a que se aplica. Como destaque apresentou-se as baterias chumbo seladas que não necessitam de reposição de eletrólito. O consumo da energia produzida e armazenada é realizado pelos diversos tipos de lâmpadas e acessórios encontrados nos veículos e principalmente pelo motor de partida, que consome grandes valores de corrente em curto intervalo de tempo. Nos veículos elétricos, que utilizam um motor elétrico em substituição dos motores de combustão interna, existe uma maior necessidade de consumo de energia elétrica, exigindo uma maior capacidade das baterias. Destacou-se alguns problemas com relação às baterias para os veículos elétricos, sendo os principais, o seu grande peso total e a baixa autonomia para o veículo. As baterias estão ainda em fase de estudos, descobertas e aperfeiçoamentos. As baterias de íon lítio podem ser as mais indicadas para estes tipos de veículos atualmente, pois possuem grande capacidade de armazenamento, ocupando menor espaço. No sistema para uso robótico o computador é conectado a uma placa principal e esta placa é

conectada à placa de relés, que por sua vez, controla os dispositivos necessários como motores, lâmpadas, campainhas.

. Quanto ao carregamento das baterias, é importante considerar que o tempo que leva para que uma bateria fique descarregada é muito grande, uma vez, que, geralmente os veículos estão sempre em movimento. Quando o veículo fica parado por muito tempo, a sua bateria entra em processo de auto descarga, o que pode levar a uma perda total da carga da bateria. Neste processo usa-se os carregadores de baterias, que são conectados as rede elétrica, geralmente 110V. O sistema convencional de carregamento de baterias controlam os valores de corrente e tensão de acordo com as características das baterias. Nos veículos elétricos, os sistemas de recarga Magna charger e Avcon plug, apresentam características importantes como segurança e eficiência, necessários aos sistemas elétricos. No sistema de uso robótico, para o funcionamento dos componentes, a placa principal recebe energia de uma fonte 12 V com um valor máximo de corrente. Se este valor for ultrapassado, provavelmente ocorrerá danos à placa. No sistema fotovoltaico, a quantidade de energia produzida está relacionada aos diversos tipos de módulos com seus valores de corrente e tensão produzidos. O consumo de energia nestes sistemas, passam pelo controle dos controladores de carga, que são fundamentais para garantia de durabilidade das baterias, dos módulos e dos dispositivos de consumo de energia(cargas).

. Quanto à viabilidade técnicas e econômicas dos dispositivos estudados. No carregamento de baterias para veículos com motor de combustão interna é importante observar que o sistema fotovoltaico pode ser utilizado em locais como estacionamentos de compra, venda de troca de veículos novos e usados, garagens de ônibus e transportadoras, pois nestes locais existe maior possibilidade de se encontrar baterias descarregadas. Um problema para o sistema convencional de carregamento de baterias é o alto tempo de recarga, pois os valores de corrente e tensão, juntamente com as características das

baterias, limitam este tempo. No carregamento com o sistema fotovoltaico, os tempos de recarga são ainda mais altos. A questão econômica mostrou que dependendo da frequência do uso do sistema fotovoltaico, em até um ano e meio, o investimento feito poderá ser pago.

O uso do sistema fotovoltaico para baterias de veículos elétricos apresentou grandes restrições quanto ao tempo de recarga e pequena autonomia do uso desta energia armazenada nas baterias. O grande investimento inicial para o sistema fotovoltaico para esse fim, talvez possa ser compensado pelo baixo custo do Km rodado do veículo, mas para isto, deve ser feito em estudo mais aprofundado sobre as baterias e criação de modelos de módulos fotovoltaicos mais eficientes. A implantação de sistemas fotovoltaicos para este fim, seria como postos de gasolina/energia fotovoltaica, espaçados por uma distância de acordo com a autonomia das baterias dos veículos. Atualmente o caminho mais interessante para a solução do grande tempo de recarga das baterias, seria a substituição do conjunto de baterias descarregadas por baterias carregadas, propiciando tempo suficiente para que as baterias descarregadas pudessem ser novamente carregadas, ou pelo sistema convencional, ou pelo sistema fotovoltaico.

No sistema para uso robótico o investimento se justifica do ponto de vista técnico, mas economicamente leva-se muito tempo para amortização dos custos. Um ponto positivo a favor da instalação desse sistema fotovoltaico é a possibilidade de divulgação desta tecnologia no meio educacional.

De um modo geral, a energia fotovoltaica se apresenta como uma alternativa limpa de produção de energia, mas é necessário se fazer um balanço mais completo da poluição gerada na produção dos dispositivos usados, principalmente os módulos e as novas baterias desenvolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Carlos Alberto. **Instalação e Manutenção de Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/instalacao.htm>>. Acesso em: 06 fev. 2010.

ALVARENGA, Carlos Alberto. **Energia Solar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.
ARIAS-PAZ, Manuel. **Manual de Automóveis**. Tradução de José de Campos Roxo. São Paulo: Editora Mestre Jou, [s.d.]. Título Original: [s.n.].

BARGER, E. L. et al. **Tratores e Seus Motores**. Tradução de V. L. Schilling. Rio de Janeiro: USAID, 1963. Título Original: Tractors and Their Power Units.

BATERIA de laptop impulsiona carro elétrico.**G1**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL40063-6174,00.html>>. Acesso em: 06 fev. 2010.

BEHAR, Maxim (Edit. e Sup.). **Motores Diesel**. Tradução de Joshua de

Bragança Soares et al. São Paulo: Hemus, 1978.

BRAIN, Marshall. **HowStuffWorks**. Disponível em:<[\[www.howstuffworks.com/\]\(http://www.howstuffworks.com/\)>. Acesso em: 06 fev. 2010.](http://</p></div><div data-bbox=)

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Escola Superior de Agricultura de Lavras. Departamento de Engenharia Rural. **Curso de Mecanização Agrícola e Conservação do Solo**. Lavras: [s.n.], 1978.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Manual de Energia Solar**. Brasília: MIC, 1978.

ELETRÔNICA Básica. 1 v. Tradução de J. C. C. Waeny e D. S. Ferreira. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1960.

ENCONTRO DA UNB, 1., 1978, Brasília. **Alternativas Energéticas para o Brasil**: Textos de Apoio. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1978. 1 vol.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. São Paulo: Érica, 2007.

GAMBIRASIO, Giorgio (Resp. Tec.). **Máquinas Elétricas - Conversão de Energia - Processos, Dispositivos e Sistemas**. Tradução de Josafá A. Neves. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1975. Título Original: [s.n.].

GOLDEMBERG, José. **Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

GOULART, Fernando. **Dicas Verdes**. Disponível em: <<http://www.dicasverdes.com/>>. Acesso em: 06 fev. 2010.

JÚNIOR, Roberto Alves Braga; RABELO, Giovanni Francisco. **Acionamento de Motores Elétricos e Automação de Sistemas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999.

JÚNIOR, Roberto Alves Braga; RABELO, Giovanni Francisco. **Eletrificação Rural**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999.

LARGMAN, Beto. Tesla Sedan: o primeiro carro elétrico a ser produzido em larga escala. **O Globo**. Disponível em:
<<http://oglobo.globo.com/blogs/largman/posts/2009/03/31/tesla-sedan-primeiro-carro-eletrico-ser-produzido-em-larga-escala-172392.asp>>.
Acesso em: 06 fev. 2010.

LIMA, E. D., **Eletricidade Sem Mestre**. 8. ed. rev. e aum. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1967.

LOBOSCO, Orlando Sílvio. **Seleção e Aplicação de Motores Elétricos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

MELO, Cláudio. **Manual de Radiação Solar Global para o Estado de Santa Catarina**. Estado de Santa Catarina: Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral - GLAPAN, 1982.

NASCIMENTO, Aline F. et al. **Energias**. Disponível em: <<http://enoisnafisica.blogspot.com/>>. Acesso em: 06 fev. 2010.

NOLL, Edward M. **Wind/Solar Energy for Radiocommunications and Low-Power Electronic/Electric Applications**. Indianapolis: Howard W. Sams & Co. Inc., 1978.

SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE SISTEMAS ELETROQUÍMICOS: BATERIAS E CÉLULAS A COMBUSTÍVEL, 1., 1980, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura, 1981.

SENA, Francisco Geraldo. [s.n.]. Dissertação (Ferramentaria de Injeção

Termoplástica) - Senai. [s.l.]. Disponível em: <<http://aco2000.sites.uol.com.br/gerland-his-cnc.htm>>. Acesso em: 06 fev. 2010.

SOUSA, Marcelo (Coord.). JÚNIOR, Esmeraldo Caniloi (Desenv. Pedag.).
SOUZA, Luciano Soares de (Desenv. de Hardw. e Softw.). COLÉGIO
OBJETIVO. **Kit Robótica Fácil**. São Paulo: Objetivo, [s.d.].

SOUZA, Antônio Washington Albino de. **Fundamentos da Teoria da Energia Solar e de Seu Uso**. 1 ed. Belo Horizonte: Editora da Fundação Brasileira de Direito Econômico, 1994.

TORREIRA, Raul Peragallo. **Instrumentos de MEdição Elétrica**. [s.l.]: Hemus, [s.d.].

UTRINE, Marcelo (Coord.). CÂMARA, Anderson (Adm.). MARTINS, Ana Paula (Rev.). FREIRE, Gabriel (Diag.). COUTINHO, Gilvagner (Fech.).
Eletricidade e Eletrônica Básica. Rio de Janeiro: Starlin Alta Con. Com. LTDA., 2009.

WIKIMEDIA COMMONS. Disponível em: <<http://commons.wikimedia.org/>>. Acesso em: 06 fev. 2010.

ANEXO IV
DECLARAÇÃO

Eu, Evandro Pereira da Silva, estudante de pós-graduação *Lato Sensu* da UFLA, com número de matrícula FAE208037 no curso de Formas Alternativas de Energia, declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto a Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras, que, **sob as penalidades previstas no art. 299 do Código Penal Brasileiro**, que é de minha criação o trabalho de monografia que ora apresento, conforme exigência expressa no parágrafo único do art. 11 da Resolução nº 1, de 3 de abril de 2001, da Câmara de Educação Superior do Conselho Nacional de Educação.

Art. 299 do Código Penal Brasileiro, que dispõe sobre o crime de Falsidade Ideológica:

"Omitir, em documento público ou particular, declaração que dele devia constar, ou nele inserir ou fazer inserir declaração falsa ou diversa da que devia estar escrita, com o fim de prejudicar direito, criar obrigação ou alterar verdade sobre fato juridicamente relevante:

Pena - reclusão, de 1 (um) a 5 (cinco) anos, e multa, se o documento é público, e reclusão de 1 (um) a 3 (três) anos, e multa, se o documento é particular.

Parágrafo único. Se o agente é funcionário público, e comete o crime prevalecendo-se do cargo, ou se a falsificação ou alteração é de assentamento de registro civil, aumenta-se a pena de sexta parte".

Este crime engloba plágio e compra fraudulenta de documentos científicos.

Por ser verdade, e por ter ciência do referido artigo, firmo a presente declaração.

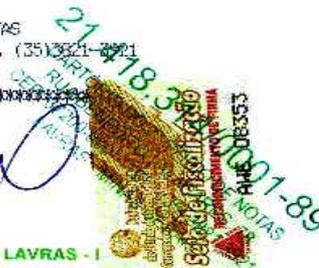


Lavras, 12 de Julho de 2010

Evandro Pereira da Silva
Evandro Pereira da Silva

CARTÓRIO DO 2º OFÍCIO DE NOTAS
Rua Benedito Valadares, 78 Lavras/MG - Tel. (35) 3321-3921
Reconheço, por autenticidade a(s) firma(s):
EVANDRO PEREIRA DA SILVA
Em teste _____ da verdade.
Lavras, 02/08/2010 14:17:31 17396

LUIZ CARLOS RODARTE - TABELADO
Emol.:R\$2,95 T.F.:R\$0,92 Total:R\$3,87
RUA BENEDITO VALADARES, 78 - CENTRO - LAVRAS - I



ANEXO V
REVISÃO DO TEXTO
DECLARAÇÃO

Eu, Simoni Reis Fonseca Veloso, professora de Português no Colégio Santa Teresinha, portador do registro de magistério nº 0963 do estado de Minas Gerais declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto à Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Lavras, que fiz a revisão de texto da Monografia/Trabalho de Conclusão intitulada Estudo da viabilidade do uso de energia solar fotovoltaica no carregamento de baterias para fins diversos de autoria de Evandro Pereira da Silva.

Por ser verdade, firmo a presente declaração:

Formiga, 12 de julho de 2010



Simoni Reis Fonseca Veloso