



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS

FRANCISCO JOATAN MORAIS SOARES

CARREGADOR DE BATERIAS PARA CARRO ELÉTRICO

CARAÚBAS

2014

FRANCISCO JOATAN MORAIS SOARES

CARREGADOR DE BATERIAS PARA CARRO ELÉTRICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Bacharelado em Ciências e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semiárido, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel.

Orientador:

Prof. Msc. José Ailton L. Barboza Júnior

CARAÚBAS

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

S676c Soares, Francisco Joatan Morais.

Carregador de baterias para carro elétrico. / Francisco Joatan Morais Soares -- Mossoró, 2014.

58f.: il.

Orientador: Prof. Msc. José Ailton L. Barbosa Júnior.

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de
Graduação.

1. Energia elétrica 2. Desenvolvimento. 3. Energia
fotovoltaica. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT /335-14

CDD: 621.3

Bibliotecária: Vanessa de Oliveira Pessoa

CRB-15/453

FRANCISCO JOATAN MORAIS SOARES

CARREGADOR DE BATERIAS PARA CARRO ELÉTRICO

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em ciências e tecnologia aprovado em sua forma pelo departamento de ciências e tecnologia da Universidade Federal Rural do Semiárido.


Francisco Joatan Moraes Soares

Banca Examinadora:


Prof. Msc. José Ailton L. Barboza Júnior

Orientador


Prof. Francisco de Assis de Brito Filho, Msc.
Examinador


Prof. Walber Medeiros Lima, MSc.
Examinador

“A imaginação é mais importante que o conhecimento”.
(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, como não poderia deixar de ser, quero agradecer ao meu eterno e de infinita bondade Deus por tudo que ele já me permitiu conquistar e como eu acredito, ainda irei conquistar. Obrigado senhor pela minha família, pela vida, por estar sempre ao meu lado mesmo eu sendo algo insignificante diante da tua grandeza.

Aos meus amados e queridos pais Eunice e Valmir, por fazerem com que eu enxergasse a vida de uma forma diferente, me educando e dando o exemplo de seres humanos que são. Tudo que sou e conquistei até hoje foi e será com o intuito de tenham orgulho de mim.

Ao meu irmão Mateus, pela companhia e amizade.

A minha prima Cleide, a qual considero como uma tia pela dedicação a mim, pelos conselhos, por sempre estar disponível a me ajudar e por acreditar em mim.

A Lenira, por sempre ter se disponibilizado a me ajudar independente de qualquer coisa. Sempre me tratou como se fosse um filho.

A Jilliane (GIL) por ter me feito ver o futuro brilhante a minha frente e me incentivar a caminhar na direção deste futuro. Obrigado de todo o meu coração por tudo.

Ao meu tio Luiz por me incentivar.

A minha vó pelo amor e carinho de sempre.

A minha família de forma geral, por; confiarem, acreditarem no meu potencial e me incentivarem a continuar.

Ao meu amigo Samuel pelo companheirismo de sempre, pela amizade e pelos conselhos e força que sempre me deu em momentos que eu fraquejei e pensei em desistir.

A patricia pela amizade e conselhos, além de se disponibilizar para me ajudar quando precisei.

Aos meus amigos de faculdade, em especial: Alex Sandro, Ducelia Marinho, Luana Mirtes, Adriano Augusto, Josivanir e Suelliton.

Ao orientador e amigo Ailton Júnior, por acreditar no projeto e se disponibilizar a me ajudar a desenvolver e concluir este trabalho.

Aos meus amigos de forma geral, sendo os de infância ou os de faculdade.

As pessoas que gostam de mim, independente de citadas a cima ou não. As pessoas que deram palavras de incentivo e que de forma indireta contribui para que chegasse até aqui.

Por fim, quero deixar aqui os meus mais sinceros agradecimentos às pessoas que me criticaram e não acreditaram no meu potencial, falando que eu não iria conseguir. Quero que saibam que palavras melhores de incentivo não poderia ter.

RESUMO

Os veículos movidos à energia elétrica foram desenvolvidos com o intuito de diminuir o consumo de combustíveis fósseis de maneira limpa, eficiente e economicamente viável, não dependendo somente de fontes não renováveis como os derivados do petróleo e carvão. Este trabalho propõe a inserção da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) no contexto global de pesquisa e desenvolvimento de carro movido à energia fotovoltaica ou elétrica de forma geral. O que se propõe é o desenvolvimento de um protótipo inicialmente, com baixo custo de produção e com carregador de bateria integrado. A carga das baterias poderá ser realizada em dias nublados ou à noite a partir da rede elétrica 220 Vca / 60Hz.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento. Energia elétrica. Energia fotovoltaica.

ABSTRACT

Powered vehicles to electric power were developed in order to reduce consumption of fossil fuels to clean, efficient and economically viable manner, not depending only on nonrenewable sources such as petroleum and coal. This work proposes the inclusion of Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA) in overall context of research and development powered car to photovoltaic or electricity in general. What is proposed is the development of a prototype initially, with low production cost and with integrated battery charger. The battery charge may be made on cloudy or at night from the source 220 Vac / 60Hz days.

KEY WORDS: Development. Electricity. Photovoltaic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema de um sistema isolado autônomo.....	21
Figura 2. Sistema conectado a rede.	22
Figura 3. Mapa de radiação solar no Brasil, wh/m^2	23
Figura 5. Descrição de uma célula fotovoltaica.	25
Figura 6. Modelo de painel fotovoltaica.....	26
Figura 7. Conversor CC-CC.	29
Figura 8. Esquema elétrico de um conversor <i>step-down</i>	29
Figura 9. Formas de ondas no conversor <i>step-down</i>	31
Figura 12. Circuito equivalente de Thévenin de uma bateria.....	33
Figura 13. Modelo de circuito da bateria.....	34
Figura 14. Motor, íman permanente.	36
Figura 15. Motor, <i>Brushless</i> DC.....	37
Figura 16. Esquema elétrico de um motor <i>Brushless</i> com inversor.	37
Figura 17. Potenciômetro.	40
Figura 18. Descrição de um sistema de propulsão do carro.	41
Figura 19. Ilustração de um sensor de temperatura.	41
Figura 20. Painel solar, 4.5 V, 300 mA.	45
Figura 21. Circuito de um conversor <i>Buck</i>	46
Figura 22. Sistema do carregador linear.....	47
Figura 23. Bateria Li-Po, 11.1 V, 30 C, 3S, 2800 mAH.	48
Figura 24. Indicador de nível de baterias.	48
Figura 25. Micro motor HP.	49
Figura 25. Carregador de bateria híbrido.....	50
Figura 26. Tensão e corrente na carga utilizando o conversor <i>Buck</i>	51
Figura 27. Tensão e corrente na chave do <i>buck</i>	51
Figura 28. Tensão na chave e corrente no indutor.....	52
Figura 29. Tensão no capacitor.	52
Figura 30. Tensão e corrente na carga utilizando o regulador linear.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Rendimento elétrico dos vários tipos de células fotovoltaicas.	24
Tabela 2. Indicador de nível de tensão da bateria.....	49

SIMBOLOGIA, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS.

AC	Corrente alternada	A
DC	Corrente contínua	A
RPM	Rotação por minuto	-
A-SI	Painéis de silício amorfo	-
C-SI	Painéis de silício cristalino	-
$B_{\max}$	Máxima densidade de fluxo magnético.	T
C_0	Capacitor filtro de saída.	F
<i>Fuel Cells</i>	Células de combustíveis	-
<i>Off-Grid</i>	Sistema isolado da rede	-
<i>Grid-Tie</i>	Sistema conectado a rede	-
D	Razão cíclica	-
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	-
CO ₂	Dióxido de carbono	-
CIS	Disseleneto de cobre e índio	-
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede	-
D ₁ -D ₄	Diodos retificadores de entrada.	-
$d_{\max}$	Diâmetro máximo do fio do indutor L.	Cm
δ_c	Fator de correlação	-
SDTE	Telureto de cádmio	-
ω_m	Velocidade angular	-
CDTE	Telureto de cádmio	-
WLC	<i>World Solar Challenge</i>	-
E.U.A	Estados Unidos da América	-
$\vec{E}$	Campo elétrico	-
$\vec{B}$	Campo magnético	-
DDP	Diferença de potencial	-
V_T	Tensão correspondente à tensão T	-
K	Constante de Boltzmann	-
I_a	Corrente através do terminal a	A
V_i	Tensão de entrada	-
I_c	Corrente através do terminal c	A
I_D	Corrente no Diodo	A
Q	Carga do elétron	-
I_{efD}	Corrente eficaz através do diodo D ₁ .	A
T	Temperatura	-
V_{pv}	Tensão na célula PV	-

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, MOTIVAÇÕES	16
2.1 CARRO MOVIDO À ENERGIA ELÉTRICA	16
2.2 DA ASCENSÃO A CRISE	17
2.3 A REABILITAÇÃO	18
2.4 TIPOS DE CARROS MOVIDOS À ENERGIA SOLAR.....	19
2.5 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO	19
2.6 COMPONENTES.....	19
2.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE DESENVOLVIMENTO	20
2.7.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO NO BRASIL.....	23
3 TOPOLOGIA PROPOSTA E ANÁLISE TEÓRICA.....	24
3.1 O EFEITO FOTOVOLTAICO E OS PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS ...	24
3.1.1 TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES.....	27
3.2 CONVERSORES.....	28
3.3 CONTROLADOR DE CARGA/DESCARGA DA BATERIA	32
3.4 BATERIAS.....	32
3.4.1 MODELO IMPLEMENTADO.....	34
3.5 MOTORES	35
3.6 SISTEMAS DE CONTROLE	39
3.6.1 POTENCIÔMETRO	39
3.7 SISTEMA DE PROPULSÃO.....	40
3.8 SENSORES	41
3.9 COMPUTADOR DE BORDO	42
4 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO	43
4.1 MÉTODOS	43

4.2	PROCEDIMENTOS DA PESQUISA	44
4.3	PROTÓTIPO DE UM CARRO MOVIDO À ENERGIA ELÉTRICA.....	44
4.3.1	PLACAS SOLARES.....	45
4.3.2	CONVERSOR.....	46
4.3.3	PROJETO DO CARREGADOR LINEAR.....	46
4.3.4	BATERIAS	47
4.3.4.1	MONITOR DE BATERIAS.....	48
4.3.5	MOTOR	49
5	RESULTADOS DE SIMULAÇÕES.....	50
5.1	RESULTADOS	50
6	CONCLUSÃO GERAL E RECOMENDAÇÕES	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, nota-se que é grande a busca por novas fontes de energia com elevado rendimento, alta confiabilidade e baixo custo. Segundo Vesentini (2008), isto se deve aos altos preços de combustíveis fósseis e danos causados à natureza tanto pelos processos de extração como no uso destas fontes energéticas, e também pelo risco de uma possível estagnação da matriz energética que atualmente utiliza o petróleo e o carvão. Com isto, surge a ideia de utilizar a energia fotovoltaica advinda dos raios solares em conjunto com a rede elétrica como fonte de energia para alimentar baterias de um carro elétrico.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL (2013), o Brasil possui 63 concessionárias de distribuição do serviço público de energia elétrica, além de um conjunto de permissionárias. O uso da energia elétrica como se viu anteriormente já abrange quase todo o território brasileiro, porém, esta energia é gerada pelas hidrelétricas e não pela conversão dos raios solares como se propõe. Esta realidade é devido à possibilidade de se produzir através das hidrelétricas altíssimos índices de eletricidade e pelo fato de pouco investimento, impossibilitando o maior acesso.

As hidrelétricas são muito eficientes na produção em larga escala, porém, além de gerar um impacto ambiental por deixar submersas grandes áreas de terras, também podem ter a produção ameaçada com a redução do nível do rio ou lago. Segundo Palz (2002), a demanda por cada vez mais energia contribui para o surgimento de novas fontes que possam suprir as necessidades de um mundo industrializado.

O termo energia está sendo muito discutido na comunidade internacional pelo fato de não haver uma continuidade no avanço dos países sem fontes de energia que lhe permitam isto. No Brasil, a energia solar é muito abundante, principalmente na região nordeste, onde a intensidade dos raios solares se mantém intensos durante quase todo o ano. Devido a este potencial o Brasil se destaca como um dos maiores produtores desta fonte de energia alternativa. Porém, no país, além das usinas hidrelétricas que são responsáveis por quase toda a produção de energia elétrica, existe também a utilização de outras fontes de energias alternativas como os biocombustíveis e energia eólica.

O Governo é o maior investidor de energia fotovoltaica, utilizando em programas sociais como luz para todos, além do uso em sinalização e fiscalização de rodovias, entre outras aplicações. Mesmo com estes incentivos, o uso desta fonte alternativa de energia no país ainda é pouco, uma vez que há uma vasta possibilidade de substituir os combustíveis

fósseis, que são os principais geradores das mudanças climáticas no mundo. A energia é essencial pra o desenvolvimento da sociedade e devem-se buscar formas de produzi-la sem colocar em risco a integridade da vida na terra segundo Magnoli, (2012).

A falta de investimento e incentivos tem sido os principais entraves para a consolidação do uso contínuo e viável da energia solar. Apesar da utilização desta energia ser ainda pouco viável economicamente, carros movidos à energia fotovoltaica já estão sendo desenvolvidos.

A partir disto, será feito o estudo do processo que possibilita a substituição de combustíveis fósseis por energia fotovoltaica ou elétrica de forma geral através de métodos utilizados no mundo, sua história e a possibilidade de ser aplicado a um protótipo. Onde este processo se dá através: da captação e conversão de energia solar em elétrica por painéis solares, ou a partir da conversão da energia da concessionária utilizando um carregador linear e um *buck* (conversor abaixador), onde a energia convertida será armazenada em baterias para um posterior utilização.

1.1 OBJETIVOS

Frente à relevância do tema exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral inserir a Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) no contexto de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias que possibilite o uso de energia alternativa. Isto se dará numa relação interdisciplinar, onde a universidade exercerá um papel fundamental no auxílio destas praticas para reforçar o tripé de sustentação da Universidade: ensino, pesquisa e extensão.

Como objetivo específico pretende-se:

- Realizar levantamento bibliográfico acerca dos veículos movidos com energias fotovoltaicas, bem como seu funcionamento, seus componentes, sua forma de controle e modelos comerciais;
- Especificar os componentes necessários para o desenvolvimento de um carro movido à energia solar.

1.2 JUSTIFICATIVAS

Devido à necessidade de realizar pesquisas que tenham como finalidade a melhoria de vida da sociedade a universidade surge como um agente essencial e grande responsável pela

difusão do conhecimento e desenvolvimento destas tecnologias, a fim de melhorar a qualidade de vida das pessoas. O que se espera é que todas as universidades realizem pesquisas nesta área, tendo em vista a relevância do tema exposto, porém o que se evidencia é a pouca ocorrência de estudos nesta área.

Até o presente momento, a UFERSA dispõe de projetos que contemplam o desenvolvimento apenas em carros movidos a energias fósseis, o desenvolvimento de similar movido à energia fotovoltaica será de fundamental importância, tendo em vista a vasta matriz energética que existe na região onde se localiza a universidade. A elaboração deste trabalho poderá contribuir para tornar a UFERSA como referência regional nesta temática.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, MOTIVAÇÕES

O objetivo deste capítulo é apresentar a evolução dos carros elétricos ao longo da história, sendo eles no início mais comum que os veículos convencionais. Serão expostas as razões pelo qual perderam espaço após alguns anos de sua criação. Será feito um comparativo com os automóveis mais comuns.

Também serão externadas as razões pelo qual os automóveis a combustão interna dominaram o mercado, as vantagens e desvantagens em relação ao carro elétrico, bem como as circunstâncias que estão evidenciando a reabilitação dos carros elétricos.

Tendo com base o que já foi citado, surge uma considerável necessidade de realizar pesquisas nesta área que possibilitem o aperfeiçoamento dos carros elétricos, bem como pelo uso sistemas fotovoltaicos como forma de produção de energia elétrica para tornar uma solução, no que se diz respeito à indústria automotiva mundial.

2.1 CARRO MOVIDO À ENERGIA ELÉTRICA

O primeiro carro elétrico surgiu em 1879, em Berlim, Alemanha, pelo alemão Erner Von Siemens. Isto se deu pela necessidade de um meio de transporte mais moderno e eficiente que pudesse substituir as ultrapassadas charretes.

Segundo Hoyer, (2008), *aput*, Baran, (2012), a trajetória dos carros elétricos está diretamente ligada a historia das baterias. O Belga Gaston Planté realizou as primeiras demonstrações de baterias composta por chumbo e ácido. Os carros desenvolvidos no inicio da década de 1880 passaram a utiliza-la em países da Europa e Estados Unidos da América (EUA).

O primeiro carro a combustão interna foi desenvolvido em 1885 pelo alemão Karl Benz, mas só começou a ser produzido em larga escala a partir de 1890. Já no início do século XX nos Estados Unidos o carro mais popular era o “*Locomobile*”, movido a vapor.

No ano de 1899, os carros elétricos eram considerados superiores tecnologicamente em relação aos demais, sendo o automóvel “*Le Jamais Constante*” o primeiro a ultrapassar os 100 km/h. Segundo Baran, (2012), a indústria de produção deste tipo de automóvel era bem desenvolvida tecnologicamente, com fácil acesso a fornecedores, pois utilizavam os mesmos componentes dos bondinhos que existiam em grandes cidades.

Com a evolução tecnológica e desenvolvimento dos motores a combustão, os carros elétricos foram sendo deixados de lado, sendo substituídos por carros movidos a combustíveis derivados do petróleo.

Nos últimos anos está havendo uma significativa preocupação com a utilização de combustíveis fósseis, tanto pelo lado econômico, como pelo ambiental. As causas que a geraram foi o uso indiscriminado e pelo fato dos combustíveis derivados do petróleo e carvão não serem renováveis, sendo cada vez mais difícil sua extração, contribuindo para o aumento dos preços. Uma boa alternativa será a gradual substituição de motores a combustão interna por motores elétricos, tendo em vista a enorme dissipação diária de energia pelo sol diariamente no mundo.

2.2 DA ASCENSÃO A CRISE

Como já foi falado anteriormente a historia dos carros elétricos está ligada com a das baterias, onde elas possibilitaram o desenvolvimento de carros deste tipo. Pensando nisto Thomas Edison em 1901 desenvolveu uma bateria níquel-ferro com uma capacidade 40% maior do que havia no mercado, porem com custos de produção elevados. A capacidade de armazenamento e altos custos era considerada os pontos fracos dos carros elétricos.

Segundo Baran, (2012), além da evolução das baterias outros dois fatores contribuíram para melhorar o desempenho dos automóveis, sendo elas; a frenagem regenerativa e o sistema híbrido. A frenagem regressiva versa sobre a transformação da energia cinética gerada na frenagem em energia elétrica.

A precária infraestrutura elétrica das cidades e zona rural, além dos altos preços destes veículos e desenvolvimento de carros a combustão internas cada vez mais eficientes e acessíveis contribuíram para a queda na produção.

Pensando no lado de tática comercial, cada setor da indústria tinha visões diferentes a respeito do mercado: as fabricas de carros movido à gasolina tinham o interesse de tornar seu carro acessível a grande massa, sendo um fator chave o preço; as indústrias de carros a vapor pensavam de forma contrária ao anterior, era ligada a produção de veículos com alto desempenho, não se importando com o preço; os fabricantes de carros elétricos visavam só o público consumidor de poder aquisitivo maior, devido o elevado preço dos carros.

Segundo Baran, (2012), O declínio dos carros elétricos se deu principalmente por fatores como:

- Necessidade de carros que percorressem grandes distâncias;
- A descoberta de jazidas de petróleo nos E.U. A, que gerou uma redução bastante significativa no preço do combustível;
- Criação de dispositivo que eliminou as ultrapassadas manivelas, que eram responsáveis pela partida do automóvel;
- Desenvolvimento do sistema de propulsão por Henry Ford, reduzindo consideravelmente o valor, chegando a custar 50% do valor do carro elétrico.

2.3 A REABILITAÇÃO

A reabilitação da produção vem crescendo paulatinamente nos os últimos anos, devido a problemas ambientais e de racionamento de energia. Na segunda guerra mundial devido ao racionamento de petróleo, forçou a busca por outras fontes de energia.

“No Japão do pós-guerra, carro elétrico tornou-se bastante popular também devido ao racionamento de combustíveis, mas sua produção foi descontinuada na década de 1950, quando o racionamento cessou”, (BARAN, 2012).

A produção só voltou a chamar a atenção depois da década de 1960, devido à conscientização do poder público a respeito de danos ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis.

Três fatores acenderam ainda mais essa discursão na década de 1970, com:

- A publicação de um livro pelo clube de Roma em 1972, onde limitava a extração de recursos naturais fósseis;
- A crise de 1973, denominada de crise do petróleo, oriunda do embargo dos produtores, gerando racionamento em diversos países;
- A conscientização a respeito do uso de energia nociva ao meio ambiente como, energia nuclear.

Estes fatores levaram ao investimento em novas fontes energéticas: nos Estados Unidos da América passou a desenvolver o etanol proveniente do milho, além de eletricidade; no Brasil também se desenvolveu a indústria do etanol, só que de cana-de-açúcar.

2.4 TIPOS DE CARROS MOVIDOS À ENERGIA SOLAR

Os carros movidos à energia solar estão classificados em tipos e formas, são encontrados desde réplicas em miniatura, carros de brinquedo, protótipos e em carros de passeio. Podemos ter além de carros movidos à energia solar, que usam baterias para o armazenamento e posterior uso, existem também os carros híbridos.

Os carros híbridos que tem a capacidade de utilizar os procedimentos destacado anteriormente em combinação do uso com as células de combustíveis (*FUEL-CELLS*). Deste modo, além de ser armazenada, a energia poderá ser utilizada na geração do hidrogênio pela eletrolise da água e posteriormente alimentar o motor.

Existe a *World Solar Challenge* (WLC), sendo esta uma competição pelo deserto australiano de carro movido à energia solar. A WLC recebe competidores de todo o mundo, se tornando um forte estímulo para cientistas desenvolverem projetos deste tipo.

2.5 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Os carros elétricos ou movidos à energia fotovoltaica funcionam de maneira muito diferente dos carros com motor a combustão. O motor destes carros é movido à eletricidade, sendo esta proveniente diretamente de placas solares ou por baterias interligadas com a placa ou diretamente da rede elétrica. Existe um sistema de controle que tem como finalidade acionar estes componentes e controla-los.

2.6 COMPONENTES

Os componentes básicos de um carro elétrico são:

- Baterias;
- Conversor DC-AC;
- Controlador de potência;
- Motor elétrico;

- Sistema de controle.

A energia que alimentará esta série de componentes será gerada pelo sistema fotovoltaico, portanto não deixa de ser um componente indireto do carro neste caso. Nos sistemas fotovoltaicos os componentes são praticamente iguais, o que vai alterar é a que finalidade desejada, se vai ser usada para alimentar um motor elétrico ou ser usada na iluminação pública por exemplo.

2.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE DESENVOLVIMENTO

Estes sistemas vêm demonstrando ser uma ótima alternativa de geração de energia, podendo ser utilizados em diversas aplicações. Os sistemas fotovoltaicos estão divididos em dois grupos: sistemas isolados (*OFF-GRID*) e os sistemas conectados à rede (*GRID-TIE*). Porém, daremos mais ênfase ao sistema *OFF-GRID*, que será o usado no projeto. Estes sistemas podem gerar energia elétrica através de painéis, também são chamados de células fotovoltaicas, Demanboro, (2008).

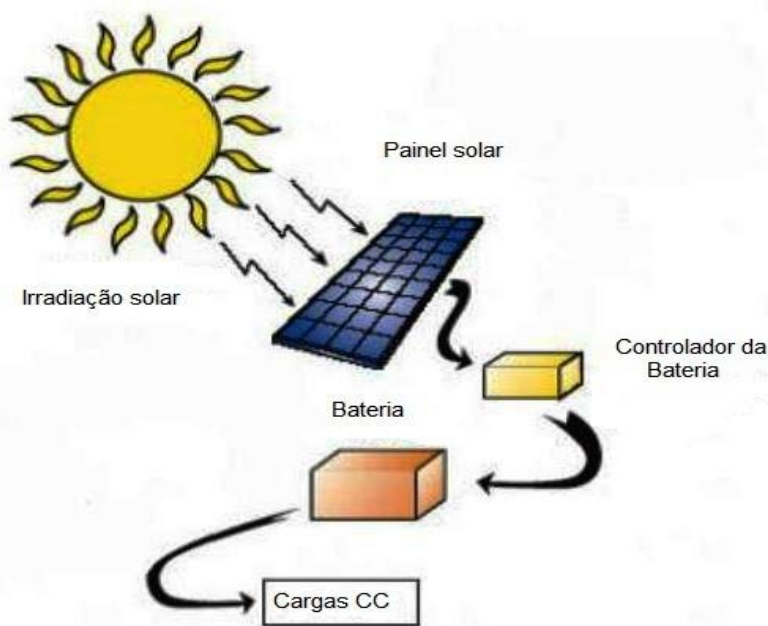
O sistema isolado pode ainda ser dividido em dois gêneros: os híbridos e os autônomos. O sistema isolado autônomo é o mais usual, embora já se produza carros a partir do sistema híbrido como foi falado anteriormente.

O sistema isolado híbrido é caracterizado por trabalhar em conjunto com outros meios de produção de energia elétrica e por não armazenar a energia gerada no processo. Isto é um fator que restringe o seu uso, pois por não haver armazenamento a autonomia é de no máximo um dia.

O sistema isolado autônomo é considerado puro, ou seja, não necessitam de outras formas de geração de energia. Este sistema usa o armazenamento através de baterias, sendo um fator positivo o uso em dias nublados e autonomia maior.

A Figura 1 mostra o esquema de um sistema isolado autônomo, ao qual será utilizado no projeto, onde a energia captada e convertida em eletricidade alimentará o motor do protótipo. Neste sistema tem-se que haver armazenamento em baterias, para possibilitar uso do carro à noite ou em dias nublados, desta forma utiliza-se a energia absorvida em dias anteriores.

Figura 1. Esquema de um sistema isolado autônomo.



Fonte: <http://www.ufjf.br/labsolar>

O sistema isolado é o mais utilizado, tendo em vista que não há a necessidade de estar conectada a rede, ele é utilizado até mesmo em lugares mais remotos, onde em função da distância fica impossibilitado muitas vezes de chegar uma rede elétrica até esses lugares pelo alto custo.

Este sistema é utilizado na fiscalização de rodovias e em comunidades rurais. A energia absorvida é armazenada em baterias que possibilitam ter eletricidade mesmo à noite ou em dia nublado. A capacidade de armazenamento e tempo de duração é em função da bateria.

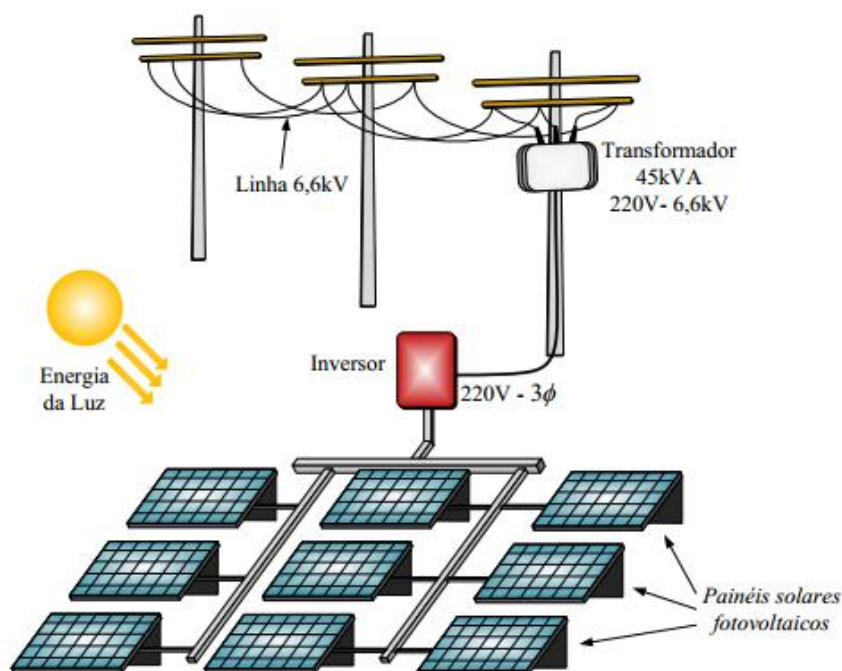
Os componentes de um sistema isolado fotovoltaico geralmente são:

- Painéis solares;
- Inversor (corrente contínua ou alternada);
- Controlador de carga/descarga das baterias;
- Banco de Baterias.

O Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede (SFCCR) libera o potencial elétrico gerado direto para a rede. A vantagem de usar este sistema é a não utilização de baterias garantindo a utilização total da energia convertida no processo. Este sistema é composto por painéis solares e inversores, os mesmos fazem o papel de converter energia contínua em alternada.

Este sistema é regido por uma legislação, pois usam a rede elétrica com uma espécie de bateria. A energia armazenada na rede posteriormente será retornada ao consumidor conforme regulamentação das concessionárias de energia elétrica. A figura 2 ilustra o sistema do tipo conectado a rede. Este sistema é caracterizado por não haver a necessidade de baterias para o armazenamento, porém, assim como o isolado ainda é necessário o inversor de potência.

Figura 2. Sistema conectado a rede.



Fonte: <http://www.ufjf.br/labsolar>

Os sistemas fotovoltaicos são possíveis devido às ondas eletromagnéticas, comumente conhecidas por todos como raios solares. Estas ondas transportam grandes níveis de energia, onde estas são fonte de um posterior potencial elétrico possibilitando o processo.

Dentre o sistema têm-se placas receptoras que iram converter a energia proveniente dos raios solares em energia elétrica. Isto não seria possível sem o advento das células fotovoltaicas.

Com a transformação desta energia em elétrica será necessário o uso de um conversor de potência do tipo adequado para o bom funcionamento do motor. Este conversor poderá ser do tipo corrente contínua (DC) ou alternada (AC). Porém será detalhado, mas adiante.

Após os passos anteriores serem realizados, o próximo será o armazenamento desta energia que será feito através de baterias. O armazenamento é muito importante, pois

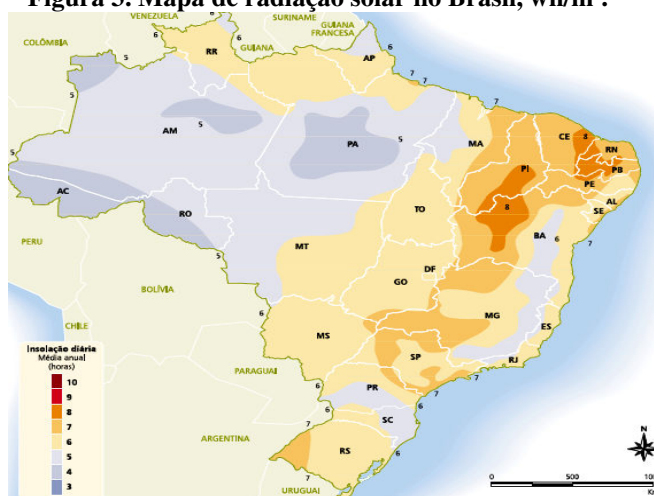
possibilita o motor ser posto em funcionamento mesmo em horários que não esteja sendo possível a absorção de energia.

2.7.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO NO BRASIL

“No dia 17 de abril a diretoria da ANEEL, durante reunião ordinária, votou e aprovou a resolução normativa 482/2012, que estabelece o marco regulatório para a inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira” (DEMANBORO, 2008).

No Brasil existe uma grande possibilidade de usar os sistemas fotovoltaicos de maneira eficiente e economicamente viável em virtude dos altos níveis de insolação, que perduram por quase todo o ano. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2010), no país a taxa de irradiação solar diariamente varia entre 4500 wh/m² a 6300 wh/m², Sendo esta energia em maior parte desperdiçada.

Figura 3. Mapa de radiação solar no Brasil, wh/m².



Fonte: Atlas de energia solar no Brasil.

3 TOPOLOGIA PROPOSTA E ANÁLISE TEÓRICA

Neste capítulo irão ser detalhados os componentes essenciais para o desenvolvimento de um carro elétrico, bem como as especificações dos materiais mais utilizados em projetos deste tipo e etapas do desenvolvimento de maneira didática.

Entre os componentes essenciais estão; baterias, conversor DC-AC, controlador de potência, motor elétrico e sistema de controle. Será apresentado o princípio de funcionamento de cada componente de forma isolada com suas respectivas características.

3.1 O EFEITO FOTOVOLTAICO E OS PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

“O efeito fotovoltaico consiste na propriedade de alguns materiais de apresentarem uma diferença de potencial (D.D.P.) quando atingidos por raios de luz” (DEMONTI, 1998).

Existem alguns materiais que fazem esta função, como: disseleneto de cobre e índio (CIS) e telureto de cádmio (SDTE), porém o mais utilizado é o silício. Este último se demonstra mais fácil de ser trabalhado e mais acessível, embora estes outros estejam sendo bons concorrentes na produção.

Os painéis de silício podem ser do tipo amorfo (A-SI) ou cristalino (C-SI), sendo que os do tipo amorfo tem um menor custo. Os painéis solares do tipo cristalinos estão divididos em pole-cristalinos e monocristalinos. Logo a seguir tem-se uma tabela com o rendimento elétrico de cada uma delas.

Tabela 1. Rendimento elétrico dos vários tipos de células fotovoltaicas.

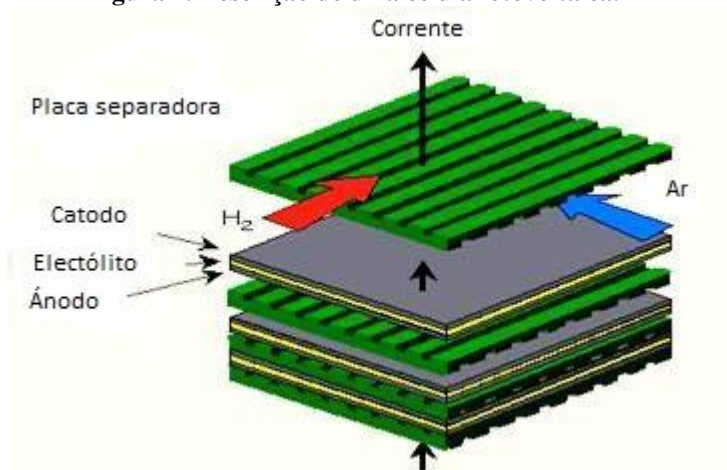
	Rendimento Típico	Máximo em Aplicações	Máximo registrado em laboratórios
Mono-cristalina	12-15%	22.7%	24.0%
Poli-cristalina	11-14%	15.3%	18.6%
Silício amorfo	6-7%	10.2%	12.7%

Fonte: EP Solar, 2011.

A energia fotovoltaica esta sendo cada vez mais utilizada, isto vem sendo possível devido à evolução dos painéis solares que são a forma mais simples e eficiente de converter energia solar em elétrica. As placas solares são compostas por células, onde a quantidade destas células será proporcional à tensão e corrente ao qual se queira trabalhar. Quanto maior

for à tensão desejada, maior será o numero de células. Os principais componentes de uma célula fotovoltaica podem ser observados na figura 5.

Figura 4. Descrição de uma célula fotovoltaica.



Fonte: <http://www.blue-sol.com>

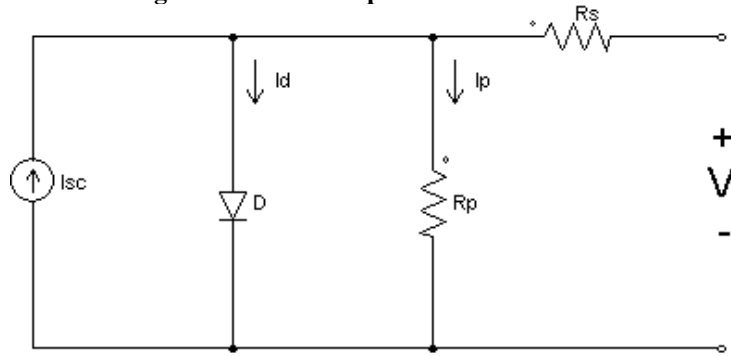
O painel solar é o primeiro componente do sistema fotovoltaico, onde ele é composto pela associação de células fotovoltaica de silício. As células são agrupadas de forma a obter a corrente e tensão para a finalidade desejada. Na indústria temos alguns valores padronizados como: 12 V, 24 V e 48 V por painel depois de montado, com potência variando de 10 a 320 W.

Características dos painéis solares:

- Energia solar como fonte de energia, não liberando assim CO₂;
- Geram energia até mesmo em dias nublados;
- Leves e compactos;
- São de simples instalação;
- Longa vida útil;
- Manutenção quase inexistente;
- Não produzem contaminação ambiental.

A figura a seguir demonstra um modelo de placa solar, com os seus componentes; fonte de corrente, resistência e diodo.

Figura 5. Modelo de painel fotovoltaica.



Fonte: FERREIRA (2008)

As equações para a figura 6 são:

$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (1)$$

Onde temos que:

V_T – Tensão correspondente à temperatura T;

k – Constante de Boltzmann ($1,3806505 \times 10^{-23}$ J/K);

q – Carga do elétron ($-1,602 \times 10^{-19}$ C);

T – Temperatura.

Temos também:

$$I_D = I_o \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{PV}}{mV_T}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

Onde:

I_D – Corrente no diodo;

I_o – Corrente de saturação;

V_{PV} – Tensão de célula PV;

m – Fator de idealidade.

$$I_{PV} = I_{SC} - I_P - I_D \quad (3)$$

Onde cada I destes correspondem há:

I_{PV} – Corrente na célula PV;

I_{SC} – Corrente de curto-circuito da célula PV;

I_P – Corrente no resistor;

I_D – Corrente no diodo.

$$V_{PV} = V_T \cdot \ln \left(\frac{I_{SC} - I_{PV}}{I_D} \right) + 1 \quad (4)$$

Onde temos que:

V_{PV} – Tensão de célula PV;

V_T – Tensão correspondente à temperatura T;

I_{SC} – Corrente de curto-circuito na célula PV;

I_{PV} – Corrente na célula PV;

I_D – Corrente do diodo.

3.1.1 TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES

- **Silício cristalino**

Painéis produzidos com esse material são responsáveis por maior produção na escala industrial, porem tem um fator que ameaça o crescimento da produção que é os elevados custos de fabricação de painéis de silício cristalino. Os cristalinos como já foi falado anteriormente se divide em: poli cristalinos e mono cristalino. Os monos cristalinos tem um custo de produção maior, porém tem uma maior eficiência na conversão de energia solar elétrica.

- **Silício amorfo**

Placas de silício amorfo foram as primeiras a serem produzidas, “no início dos anos 80, despondo como tecnologia ideal para aplicação em relógios e dispositivos de baixo custo” (SILVA, 2003). Placas com este material apresentam o efeito *Staebler-Wronski*, que é o

declínio ao longo do tempo do seu desempenho, Chegando a perder de 15 a 20% da sua capacidade produtiva.

- **Telureto de cádmio**

Este matéria tem características muito parecidas com o cristalino amorfo. Vem sendo usados há algum tempo em calculadora, porém mais recentemente se deu o emprego deste material em placas solares. Apresentam baixo custo de produção, porém, provavelmente placas com este material não atinjam uma grande escala de produção, pois a dificuldade em encontra-los e problemas tóxicos limitam o crescimento produtivo.

- **Disseleneto de cobre e índio**

As aparências estéticas por poderem ser fabricada em finas películas favorecem o uso destas placas em projetos de arquitetura. Sua eficiência está entre 9 e 10% e apresentam os mesmos problemas do telureto de cádmio.

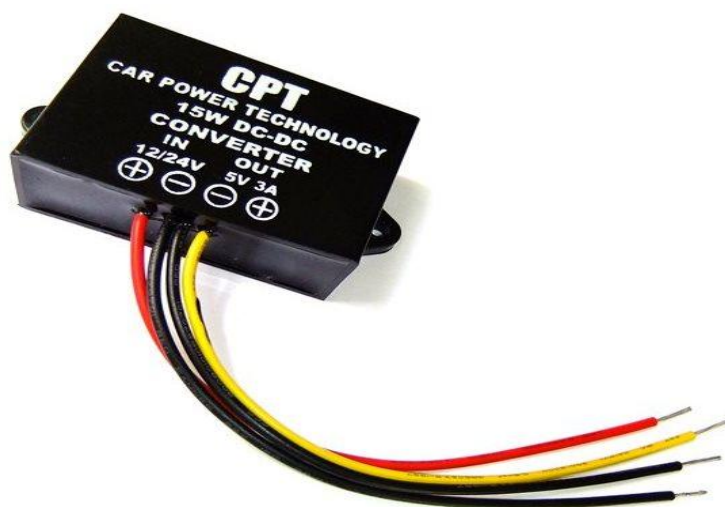
3.2 CONVERSORES

Os conversores são componente indispensável no desenvolvimento de um carro solar. O motor destes carros geralmente não pode receber a energia diretamente da bateria ou outra fonte, por isso usam-se conversores CC/CC, onde são responsáveis pela transferência de energia entre os painéis fotovoltaicos e as baterias. Assim como os conversores, no sistema existem também os inversores CC/CA, de maneira semelhante eles são responsáveis pela alternância da energia que sai do painel solar ou da bateria até o motor.

A energia que sai dos painéis solares e das baterias é do tipo CC, se essa energia for diretamente para o motor sem a utilização de um inversor o motor poderá ser danificado. Esta é a principal função dos inversores de corrente, sendo indispensáveis para o correto funcionamento do motor.

Segundo (FERREIRA, 2008) o conversor do tipo CC/CC é um dos elementos mais importantes no sistema fotovoltaico, ele é responsável por possibilitar o armazenamento da energia gerada pelos painéis solares em baterias. Este tipo de elemento é ilustrado na figura a seguir:

Figura 6. Conversor CC-CC.



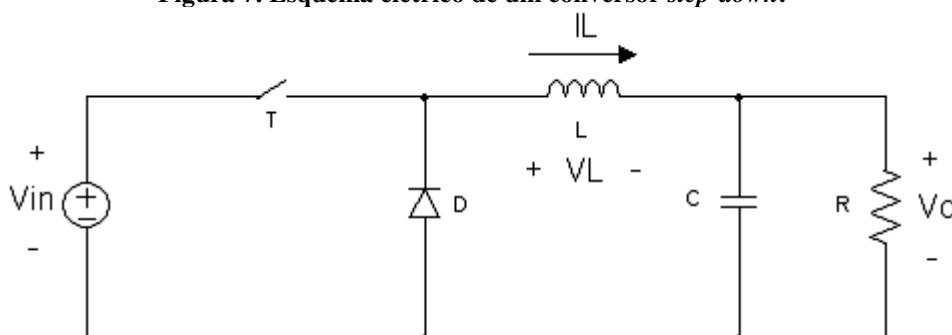
Fonte: <http://www.electro.net.br>

O conversor CC-CC da Figura 6 é chamado de *step-down*, sendo o mais aconselhado em projetos de carros solares. Tem características especiais, pois além de baixar a tensão ele também é capaz de aumentar caso necessário.

A tensão na entrada do conversor pode ser alterada, por isto que o *duty-cycle* terá que ser controlado, para através de controlador conservar a tensão de saída constante. Os conversores *step-down* como o nome já é bem sugestivo, apresenta tensão de entrada maior que a de saída ($V_i > V$).

A Figura 7 representa o esquema de um conversor *step-down*, onde se assume que tensão de entrada é constante ($V_i = \text{Constante}$), o transistor é ideal e a carga é resistiva.

Figura 7. Esquema elétrico de um conversor *step-down*.



Fonte: FERREIRA (2008).

Onde temos que;

V_L – É a tensão e a corrente na bobina;

V_0 – É a tensão de saída no conversor.

Onde temos que:

$$V_0 = \frac{1}{T_s} \cdot \int_0^{t_s} V_0(t) \cdot dt = \frac{1}{T_s} \cdot \int_0^{t_{on}} V_{in} \cdot dt + \int_{t_{on}}^{t_s} 0 \cdot dt = \frac{t_{on}}{T_s} \cdot V_{in} = D \cdot V_{in} \quad (5)$$

Onde as variáveis se apresentam como:

t_{on} – O tempo em que o transistor T se encontra ativo durante o período de comutação T_s ,

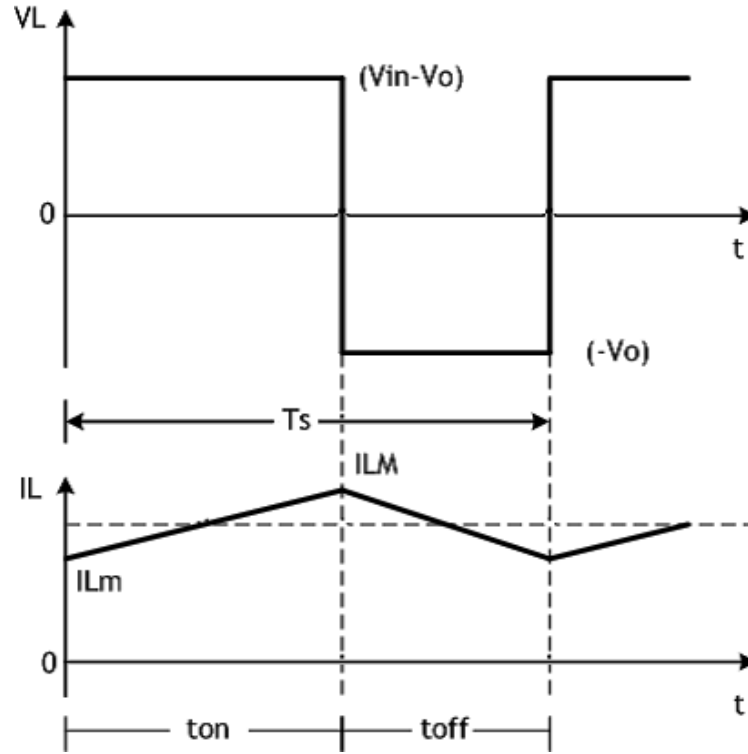
D – Representa o *duty-cycle*, onde através da variação dele pode-se controlar a tensão de saída.

Com relação ao funcionamento do conversor, podem-se identificar dois tipos de estado de funcionamento, sendo estes; período de condução (t_{on}) e de não condução do transistor (t_{off}).

Em estado de funcionamento, parte-se do princípio de que a capacidade seja suficiente e elevada quanto deseje com a finalidade de que a ondulação de saída possa ser desconsiderada. Durante o período o fluxo de elétrons na bobina (I_L) se mantém positiva durante o período T_s . Onde temos que ($I_L(t) > 0$), significando que a forma de condução será contínua.

Durante os trechos de passagem da corrente, o diodo estará polarizado e a energia de saída será gerada pelas placas ou pela rede elétrica. A energia será armazenada na bobina para em caso de não condução, a energia acumulada ser liberada, passando pelo diodo até sair. A figura a seguir representa as formas de ondas para este caso.

Figura 8. Formas de ondas no conversor *step-down*.



Fonte: FERREIRA (2008).

No conversor, quando o interruptor estiver ligado no intervalo de tempo t_{on} ($0 < t_1 < t_{on}$), a corrente na bobina sai de um valor mínimo I_{Lm} para um valor máximo I_{LM} . Desse modo a tensão nas extremidades é dada pela seguinte equação:

$$V_L = V_{in} - V_o = L \cdot \frac{di}{dt_1} = \frac{I_{LM} - I_{Lm}}{t_{on}} \cdot L \quad (6)$$

Da mesma forma, quando o interruptor estiver desligado no intervalo de tempo t_{off} ($t_{on} < t_2 < t_s$), temos que a tensão passará a ser:

$$V_L = -V_o = L \cdot \frac{di}{dt_2} = \frac{I_{Lm} - I_{LM}}{t_{off}} \cdot L \quad (7)$$

Pode-se calcular a resistência de entrada do conversor pela seguinte equação:

$$D = \frac{V_o}{I_o} \quad (8)$$

Onde a resistência de carga é dada por:

$$R_c = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_o/D}{I_o \cdot D} = \frac{R_o}{D^2} \quad (9)$$

3.3 CONTROLADOR DE CARGA/DESCARGA DA BATERIA

O controlador é responsável por dar mais potencia ao motor para atrair maior velocidade ou reduzir a potencia para diminuir a velocidade. Ele também contribui para a conversão de energia mecânica em elétrica, tendo em vista que o motor funciona também como conversor, pode transformar a energia recebida em cinética ao realizar o movimento do carro e vice versa.

3.4 BATERIAS

Segundo Ferreira, (2008) as baterias correspondem ao sistema de armazenamento sendo utilizadas para armazenar a energia gerada pelos painéis, após isto a energia poderá ser posteriormente utilizável pelo motor. O armazenamento em baterias é feito quando não há a conversão necessária da energia pelos painéis solares para o uso direto do motor. A energia proveniente da fonte antes de chegar à bateria passa por processo de controle e inversão de corrente, com a finalidade de manter o sistema em bom funcionamento.

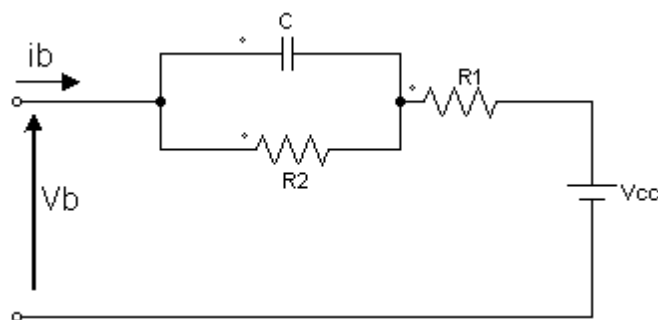
Os tipos de baterias variam de acordo com a finalidade e autonomia exigida, onde se encontram projetos com baterias de chumbo-ácido, baterias de geo, níquel-cádmio, polímero de lítio, entre outras. Existem diversas opções de agrupamentos de baterias para gerar maior autonomia, sendo que podem ser interligadas em série ou paralelo. Podem ser conectadas varias baterias de pequeno porte ou uma única de maior autonomia. Na realização dos cálculos garantirem o funcionamento do motor mesmo em ausência total de energia das placas solares. As baterias serão alimentadas pelos painéis fotovoltaicos através de um processo de conversão e controle de carga, com a finalidade de maximizar o armazenamento.

Existem dois tipos principais de baterias, sendo com capacidade interna e com capacidade externa.

- **Capacidade interna:** o armazenamento da bateria se concentra na massa dos elétrons, contribuindo para que a capacidade e a potencia seja aproximadamente proporcional ao seu peso. Baterias deste tipo são baratas e de certa forma fácil de produzir, tem uma considerável eficiência e demonstram serem seguras. Porém apresentam vida útil reduzida e concentração de baixos níveis de energia. Sendo um exemplo deste tipo de bateria, as de Chumbo- Ácido.
- **Capacidade externa:** sua composição de armazenamento é dada por liquido e gasoso, onde à medida que se modifica o tamanho do reservatório, a capacidade de armazenamento aumenta ou diminui. Este tipo de bateria caracteriza-se por uma boa eficiência, grande duração de uso, além de ambientalmente favorável por não utilizar em sua composição elementos nocivos ao meio ambiente. Porém são mais caras e de construção complexa. Um exemplo deste tipo são as baterias híbridas, como a de Níquel-Metal.

Para poder saber que modelo de bateria será a melhor opção para ser utilizado no projeto, deve ser realizado um estudo do circuito equivalente de Thévenin dos elementos. Este circuito aparece na figura a seguir.

Figura 9. Circuito equivalente de Thévenin de uma bateria.



Fonte: FERREIRA, (2008)

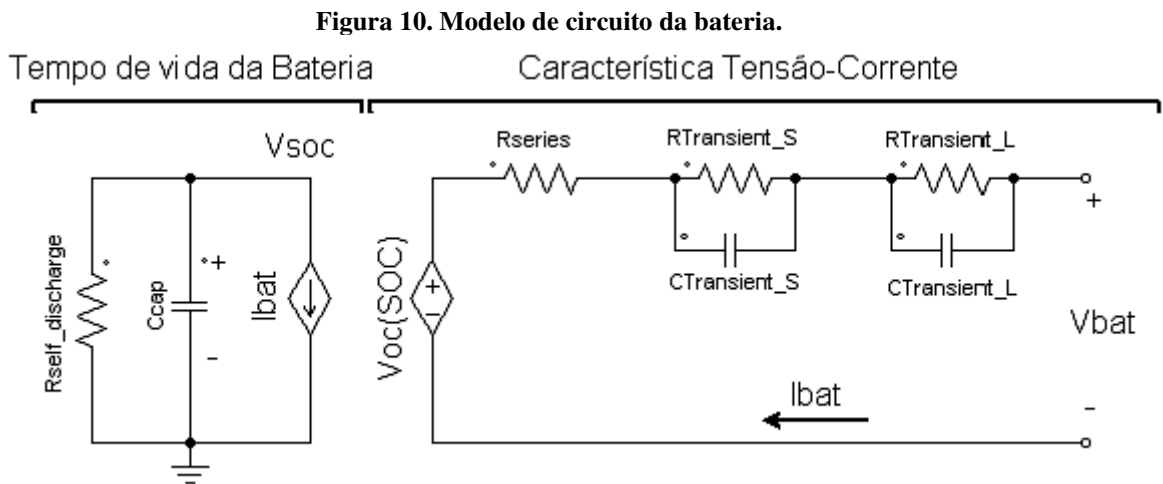
Este modelo admite o estudo do desempenho da tensão em baterias durante sua vida útil. Este é um sistema que apresenta as grandezas elétricas como; tensão em circuito aberto

(V_B), resistência interna (R_1) e a tensão em sobre tensão, dado pela junção em paralelo da resistência R_1 e o condensador C .

3.4.1 MODELO IMPLEMENTADO

Os modelos implementados consistem em visão o aperfeiçoamento de modelos que se tem no mercado, com a finalidade de eliminar aspectos negativos que alguns modelos apresentam.

Tendo em vista a dificuldade da realização de cálculos para que se tenham parâmetros da bateria, como vida útil, eficiência, aptidão. A observação puramente algébrica não da característica correta da relação I-V. Atentando para isto, há a necessidade de desenvolver um circuito capaz de reduzir está problemática.



Fonte: FERREIRA, (2008)

No circuito temos na parte esquerda o condensador C_{cap} , onde a fonte de corrente controlada e a resistência à elevada descarga amoldar-se a capacidade, o estado de carga e a vida útil da bateria. Para poder fazer uma relação com do estado de carga com a tensão em circuito é necessário ter uma fonte com diferença de potencial controlada.

Por não haver de realizar testes precisos para estimar os parâmetros da bateria, usam-se aproximações matemáticas que poderão descrever estes parâmetros. A capacidade C_{cap} da bateria pode ser calculada pela seguinte equação:

$$C_{cap} = 3600 \cdot capacity \cdot f_1 cycle \cdot f_2 temp \quad (10)$$

Capacity – Significa a capacidade nominal em Ahr;

f_1cycle – É o fator de correção com relação ao número de ciclos;

f_2temp – É o fator de correção com relação à temperatura.

Pelo fato de toda bateria reduzir sua capacidade à medida que a temperatura diminui, tem-se outra forma de calcular a capacidade em função da temperatura como mostrado na equação 6.

$$C_{cap} = Capacity \cdot 1 + \delta_c \cdot T_{Bat} - 298.15 \quad (11)$$

δ_c – Fator de correlação no valor de 0.006, mudando somente quando especificado pelo fabricante,

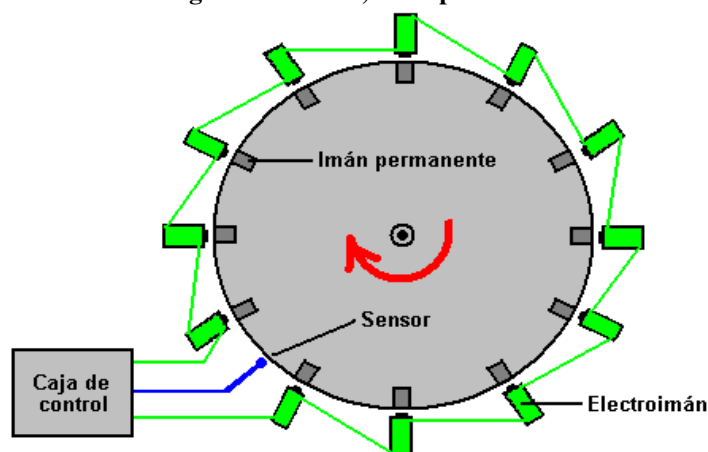
T_{Bat} – Temperatura da bateria.

3.5 MOTORES

Os motores mais utilizados em indústrias são os chamados motores trifásicos, onde a corrente elétrica que o alimenta é alternada. Alguns fatores como a vida útil longa e facilidade de se trabalhar com ele contribuem para o uso destes motores.

Quando se quer escolhe-los para uso em um carro elétrico deve-se escolher motores do tipo sem escovas como o motor a indução, chamados motores de ímãs permanentes ou *Brushless* DC. Estes motores apresentam rotores robustos e por não terem escovas a manutenção não precisa ser periódica. A figura a seguir ilustra um motor de ímãs permanentes.

Figura 11. Motor, ímã permanente.



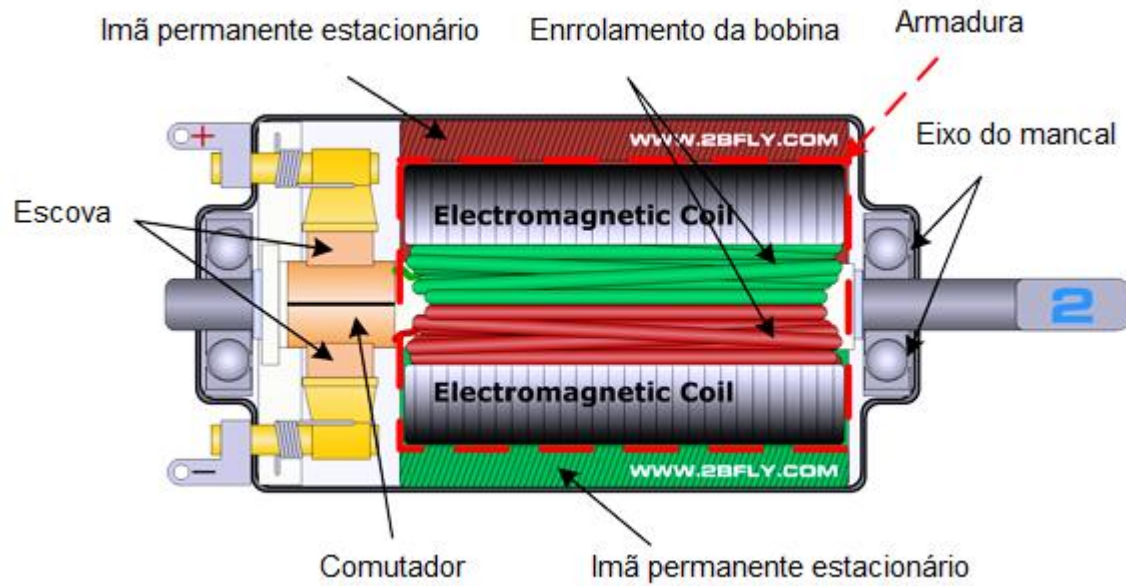
Fonte: <http://www.inbras.com.br>

O motor a ser utilizado no projeto, deverá ser escolhido após um detalhado estudo das variáveis, bem como o princípio de funcionamento. “Com base neste estudo é proposto um método de controle que permita conferir ao motor o funcionamento desejado para a aplicação em análise” (FERREIRA, 2008).

Motores a indução ou ímãs permanentes representam uma melhor opção para o uso no projeto de um carro elétrico, são melhores, pois podem ser utilizados métodos de controle que possibilita altas performances de tração dinâmica. Porém os motores por ímãs permanentes apresentam melhor eficiência, pois as perdas no enrolamento do rotor são muito pequenas em comparação aos motores à indução, além de serem mais leves.

Quando se fala de tração podem ser exemplificados dos motores de ímãs permanentes que servem para esta aplicação, sendo o motor síncrono de ímãs permanentes e motor *Brushless* DC de ímãs permanentes. A diferença entre ele é que o motor *Brushless* DC é alimentado por correntes trapezoidais e o motor síncrono é alimentado por correntes sinusoidais. A Figura 12 demonstra os componentes internos de um motor *Brushless*.

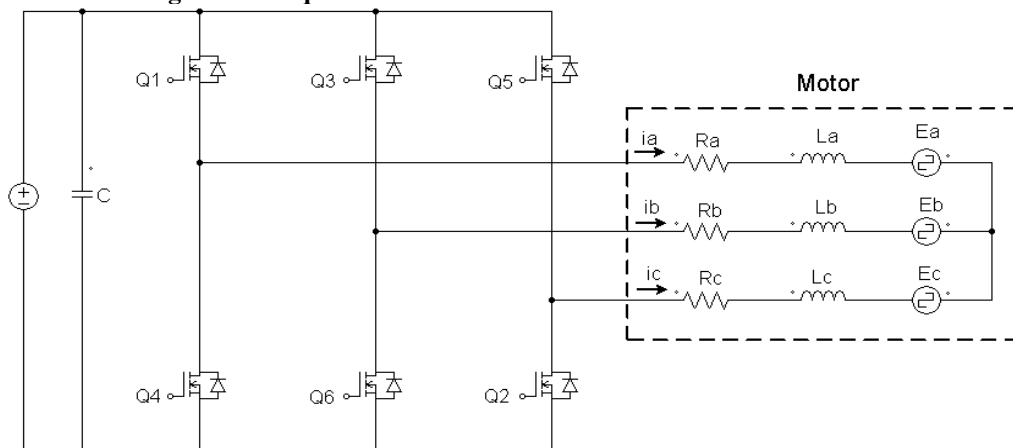
Figura 12. Motor, *Brushless* DC.



Fonte: <http://www.transmotec.com>

Dentre os motores falados acima os motores *Brushless* DC, são mais utilizados em projetos de carros solares, por motivos já citados anteriormente e pela facilidade de se trabalhar com este tipo de máquina.

Figura 13. Esquema elétrico de um motor *Brushless* com inversor.



Fonte: FERREIRA (2008)

Os transistores, como mostrado Figura 13 tem a função de controlar a amplitude e frequência da tensão, contribuindo para o perfeito funcionamento do motor.

Ao analisar Figura 13 pode-se observar que o esquema elétrico é constituído por três fases, sendo cada uma composta por resistência relativa ao tipo de enrolamento, indutância por fase e tensão alusiva a força eletromotriz.

A partir do esquema do motor, pode-se deduzir uma equação na forma de matriz capaz de diagnostica o funcionamento do motor *Brushless* DC imãs permanente.

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + p \cdot L_s & 0 & 0 \\ 0 & R_b + p \cdot L_s & 0 \\ 0 & 0 & R_c + p \cdot L_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (12)$$

A equação deve-se pelo fato de que em cada fase se verifica a relação seguinte:

$$V = R_i + L \cdot \frac{d_i}{d_t} + E \quad (13)$$

Onde na equação 7;

p – Representa a derivada da função,

v_a, v_b, v_c – Representam as tensões por fase,

L_s – É encontrado através da subtração da indutância por fase e a indutância mútua por fase.

Tendo em vista que as três fases são simétricas, então se tem a seguinte relação:

$$L_{ab} = L_{ba} = L_{ac} = L_{ca} = L_{bc} = L_{cb} = M \quad (14)$$

Onde L representa a indutância e M representa a indutância mútua.

$$T_e = \frac{e_a \cdot i_a + e_b \cdot i_b + e_c \cdot i_c}{\omega_m} \quad (15)$$

A equação 15 representa o binário eletromagnético do motor, onde ω_m é a velocidade angular.

3.6 SISTEMAS DE CONTROLE

“O sistema realiza uma sequência de inicialização e finalização, possibilita o controle de torque ou de velocidade, possui um computador de bordo para monitoramento do sistema” (FRANSCECHETTI, 2010).

Através de controladores o sistema extrai a máxima potência das placas solares. Existe também um sistema de propulsão, onde ele é composto por duas rodas que são responsáveis pelo movimento e duas rodas dianteiras responsáveis pelo direcionamento. O sistema completo de controle é composto por:

- Controladores;
- Rastreador de ponto de potência máxima (RPPM);
- Elevador de potência;
- Circuito analógico;
- Potenciômetro;
- Chave analógica;
- Sistema de propulsão;
- Sensores;
- Computador de bordo.

3.6.1 POTENCIÔMETRO

Um potenciômetro é um resistor a qual se pode variar o valor da sua resistência. Com este advento pode-se controlar a intensidade de corrente quando ligado em paralelo ou mudar a diferença de potencial quando ligado em série.

Os potenciômetros tem a capacidade de aumentar a potência da corrente no circuito, por isso normalmente são utilizados em circuitos com pouca intensidade de corrente, pois não dissipam apenas potência na troca dos resistores que são de maior tamanho, circula mais corrente e dissipa mais potência. A figura a seguir ilustra um potenciômetro usado em projetos deste tipo.

Figura 14. Potenciômetro.



Fonte: <http://www.aliexpress.com>

Entre os tipos de potenciômetros dois são mais usuais como:

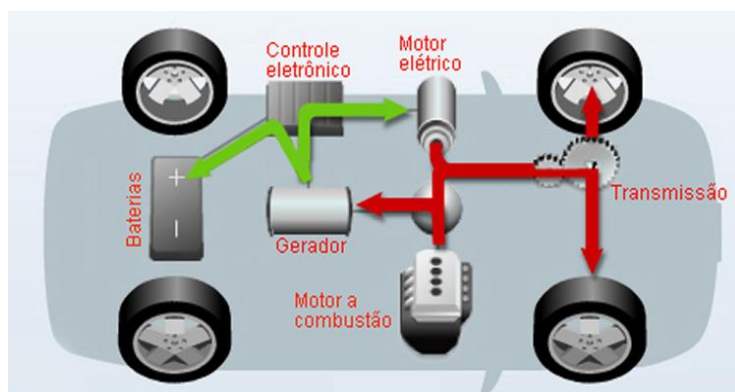
- **Potenciômetros impressos**, feitos com carvão e cermet sobre um suporte duro como, por exemplo, papel baquelita, fibras e alumínio.
- **Potenciômetro embobinado**, consiste em uma bobina torcida de um fio resistente, com cursor de movimento.

3.7 SISTEMA DE PROPULSÃO

É o sistema responsável pelo movimento do carro, onde o mesmo é formado por fonte elétrica, motor, sistema de acionamento e controle de velocidade. A imagem a seguir dá os detalhes do sistema de propulsão de um carro elétrico do tipo híbrido, onde se utiliza dos motores sendo um a combustão e outro puramente elétrico.

Quando se fala de propulsão o princípio é o mesmo, a força gerada pelo motor chega até a transmissão, à transmissão por sua vez é responsável pelo tracionamento das rodas gerando o movimento. A figura a seguir demonstra um sistema de propulsão. O sistema da figura é da forma híbrida, porém, obedece ao mesmo sistema, o que vai diferir é a forma de produção da energia para alimentar o motor.

Figura 15. Descrição de um sistema de propulsão do carro.



Fonte: <http://www.360graus.terra.com.br>

3.8 SENSORES

Os sensores de modo geral são dispositivos que recebem e enviam informações. Sensores também podem ser agrupados a transdutor, onde é convertida uma parte da energia resultante em um sinal de comando. Alguns comandos nos carros elétricos são feitos a partir de sensores.

Aplicados à bateria do carro os sensores funcionam como uma espécie de protetor, evitando que a bateria fique carregada totalmente gerando assim, um desgaste dos componentes ou um superaquecimento. Desse modo os sensores contribuem para o aumento da vida útil da bateria.

A figura 19 mostra um sensor, onde este é um importante componente no sistema de controle, responsável por varias aplicações como as já faladas anteriormente.

Figura 16. Ilustração de um sensor de temperatura.



Fonte: <http://www.easyaut.com.br>

3.9 COMPUTADOR DE BORDO

O computador de bordo tem a finalidade de dar informações sobre tudo que está acontecendo com o veículo, autonomia, velocidade entre outras. As informações chegam ao computador de bordo através de sensores, onde a partir das informações, comandos são acionados automaticamente ou manualmente.

4 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO

Através de estudos e tendo como referência outros trabalhos já desenvolvidos nesta área, será desenvolvido um protótipo de carro movido à energia elétrica. Esta ideia surge da necessidade de substituir combustíveis fósseis por energia renovável, além da inserção da Universidade Federal Rural do Semiárido no contexto de pesquisa relacionado à geração e utilização de energia solar fotovoltaica ou elétrica. Neste capítulo serão detalhados os componentes necessários para a boa execução e funcionamento do protótipo. Estes componentes serão estudados e descritos de maneira separada de forma didática. O projeto se tornou viável por se tratar de um protótipo, pois a produção de um carro convencional seria inviável pelo alto preço e complexidade.

O projeto consiste-se no desenvolvimento de um carro movido através da conversão de energia solar em elétrica realizada pelos módulos solares fotovoltaicos e pela rede elétrica convencional para o carregamento de uma bateria para ser fonte energética do motor.

A captação será feita através de painéis que serão colocados na estrutura superior do protótipo, com a finalidade de não haver perda na captação. O armazenamento da energia convertida será feito por Baterias. O carregamento das baterias será feito exclusivamente pelos painéis solares e pela rede elétrica convencional.

4.1 MÉTODOS

De acordo com Gil (1999 apud ALMEIDA, 2008, p.7), a pesquisa tem um caráter pragmático, é um “processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos”.

Ainda neste contexto, Lakatos (2001) afirma que o método de procedimento é uma etapa mais concreta da investigação, uma vez que pressupõe uma atitude real em relação ao fenômeno.

Assim, para alcançar os objetivos propostos na pesquisa foi utilizado o método dedutivo, tendo como tipologias de pesquisa a exploratória e bibliográfica sob a abordagem qualitativa. Conforme Godoy (1995), na pesquisa qualitativa os dados não são analisados por meio de instrumentos estatísticos, uma vez que o objetivo neste tipo de pesquisa não é a mensuração e a quantificação.

Portanto, a pesquisa objeto deste trabalho foi elaborar um protótipo de um carro, sendo este movido a energia solar, com baixo custo para desenvolvimento.

4.2 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

Inicialmente, na primeira etapa da pesquisa, realizou-se revisão da literatura acerca dos carros movida à energia solar já existentes desenvolvidos no Brasil e no mundo, bem como sua história. Na segunda etapa, foi feito o levantamento dos componentes. Em seguida, foi feito um detalhamento dos componentes, com características a ser desenvolvido.

Após definido as especificações, foi elaborado o projeto com todo o processo a ser executado.

4.3 PROTÓTIPO DE UM CARRO MOVIDO À ENERGIA ELÉTRICA

O projeto será desenvolvido com base no que já foi visto anteriormente e pelo incremento de novos componentes por se tratar de uma miniatura de um carro comum, onde se tem que de maneira similar usam-se componentes com mesmas funções, respeitando as proporcionalidades entre um carro comum e um protótipo.

Os principais componentes para o funcionamento do carro elétrico será:

- Placas solares;
- Conversor *Buck*;
- Bateria;
- Regulador linear;
- Motor.

Estes componentes serão descritos de maneira didática, onde serão expostas as razões pelas suas escolhas. No levantamento serão considerados alguns fatores como a eficiência e viabilidade econômica de cada componente.

4.3.1 PLACAS SOLARES

No projeto serão utilizadas três mini placas de 87x57 mm, com tensão de 4.5 V e 300 mA cada, elas serão ligadas em série para poder chegar a tensão de carregamento da bateria, pois a bateria é do tipo 11.1 V e 2.8 A. A partir de uma relação matemática simples, sabendo-se que no caso de placas em serie as tensões serão somadas, pode-se saber qual a tensão de entrada no conversor:

$$V_{in} = 3 \cdot 4.5 = 13.5 \text{ V} \quad (16)$$

Pela relação anterior pode-se ter a certeza que o uso de três painéis será suficiente para alimentar o carregamento de uma bateria de 11,1 V e 2,8 A, pois a tensão de entrada no conversor passará a ser de 13.5 V.

Pela relação a seguir encontraremos os valores do diodo D.

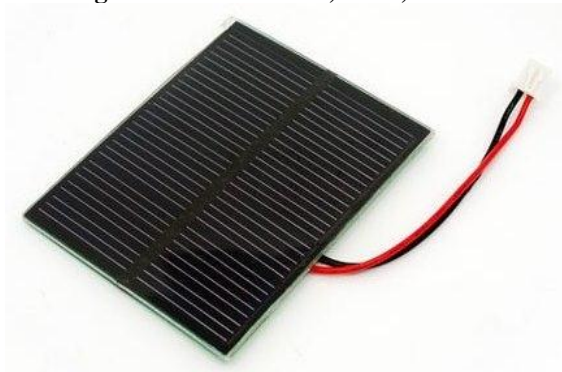
$$V_o = DV_{in} \quad (17)$$

Logo, pela equação (8) temos que:

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{11.5}{13.5} = 0.85 \quad (18)$$

Como sugestão para o projeto, tem-se o painel de 4.5 V e 300 mA como a da figura a seguir:

Figura 17. Paine solar, 4.5 V, 300 mA.



Fonte: <http://www.aliexpress.com>

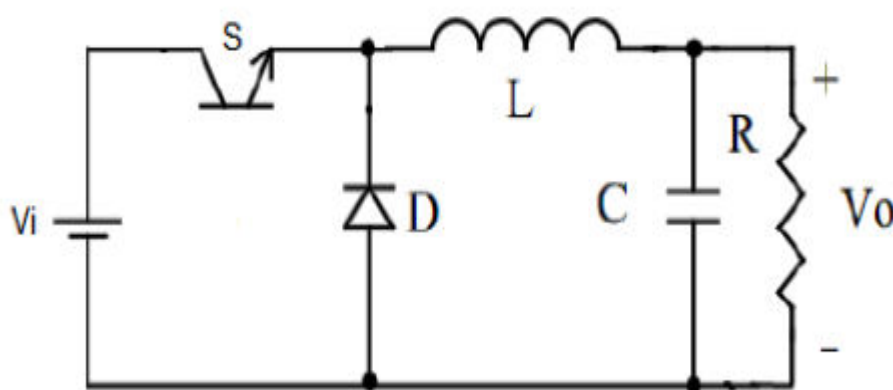
4.3.2 CONVERSOR

Como sugestão para o projeto tem-se o conversor *Buck* CC-CC, este tipo pode receber corrente tanto de uma fonte contínua (CC) ou alternada (CA), por este motivo deve-se usar este componente, tendo em vista que a tensão que sai das placas solares não é contínua. O *Buck* terá a função de filtrar a corrente que chega à bateria, para que se mantenha contínua e em dimensões aceitáveis para que não danifique a bateria.

O controle do fluxo será feito por componentes semicondutores como diodos, transistores, resistores e etc. A eficiência deste tipo de conversor é de aproximadamente 90%, tendo uma baixa dissipação de energia pelo processo.

O conversor proposto é ilustrado pelo circuito a seguir, com detalhes de seus componentes como chave S, diodo D, indutor L, capacitor C e resistor R.

Figura 18. Circuito de um conversor *Buck*.

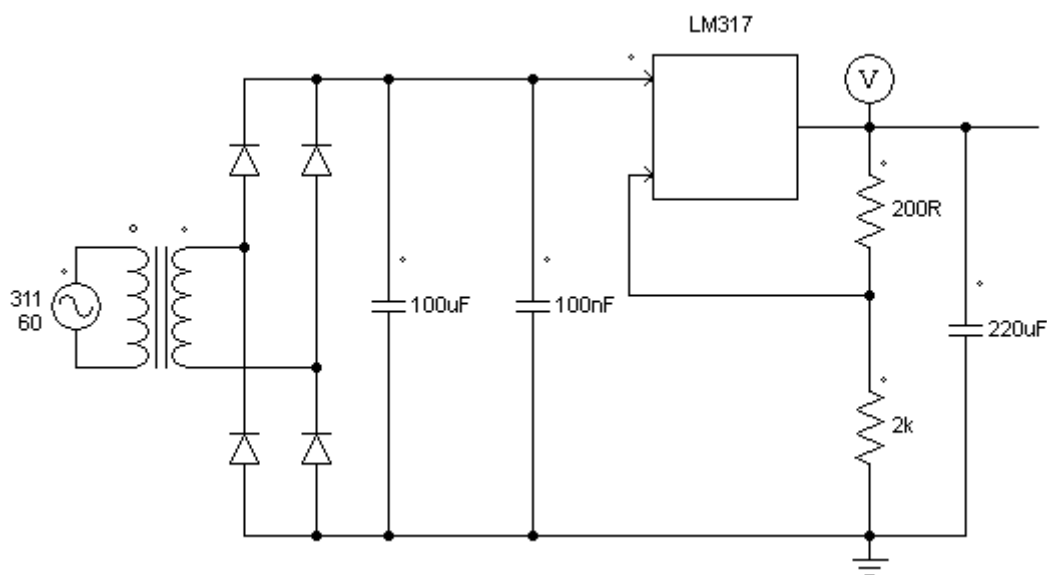


Fonte: PINHEIRO, (2010)

4.3.3 PROJETO DO CARREGADOR LINEAR

O carregador linear terá a mesma função do conversor *buck*, sendo responsável por possibilitar o uso da rede elétrica no projeto desenvolvido. O carregador linear é o mais comum, são utilizados em todos os equipamentos eletrônicos com finalidade de evitar problemas com a descontinuidade da energia.

Figura 19. Sistema do carregador linear.



4.3.4 BATERIAS

As baterias são responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica ao carrinho. Certamente, quanto maior a capacidade da bateria maior a autonomia do sistema, também o peso do protótipo contribui consideravelmente para o consumo da carga armazenada. Atualmente, o principal tipo de bateria utilizada é a de polímero de lítio (Li-PO) por apresentar a melhor relação peso x capacidade de armazenamento de energia em comparação com suas concorrentes. São recarregáveis e encapsuladas em um invólucro conhecido como PACK que serve para agrupar as células padrão com tensão nominal de 3,7 Volts em corrente contínua.

Uma bateria é identificada pelo número de células contidas em seu PACK (2S, 3S, 4S, etc.), onde as células padrão são conectadas em série para suprir cargas com tensões múltiplas de uma célula padrão.

A capacidade de armazenamento de energia para recarga é expressa pela letra “C” (do inglês Charge), e define a taxa de carga em mil ampère. Exemplo: 10C, 20C, 30C. Apesar das vantagens expressas, as baterias de Li-PO apresentam elevado risco de incêndio quando sujeitas a curtos-circuitos em conectores, recargas inadequadas, ou sobrecarga por uso fora das especificações da bateria, entre outros. O protótipo poderá receber um circuito de

detecção de nível de tensão individual por célula, sendo esta opção muito útil para monitorar a carga ainda existente em cada célula da bateria.

Como sugestão para alimentação do protótipo poderá ser utilizada uma bateria de Li-PO, 11.1V, 2800mAh, 30C, 3S semelhante a mostrada na figura a seguir.

Figura 20. Bateria Li-Po, 11.1 V, 30 C, 3S, 2800 mAH.



Fonte: <http://www.aliexpress.com>

4.3.4.1 MONITOR DE BATERIAS

Um indicador de nível de bateria torna-se bastante útil quando se trabalha com baterias do tipo Li-PO uma vez que as células padrão apresentam tensão máxima de 3,7 Volts e não devem chegar a um nível inferior a 3 Volts.

O modelo de indicador de nível de tensão de bateria sugerido é exemplificado, conforme a figura 32. Este modelo permite a visualização individual do nível de tensão em cada célula da bateria Li-PO além de fornecer a tensão total do conjunto de células padrão na configuração em série.

Figura 21. Indicador de nível de baterias.



Fonte: <http://www.ebay.com>

Podem ser conectadas baterias de 2 a 6 células (2S a 6S). A Tabela 2 apresenta mais detalhes técnicos.

Tabela 2. Indicador de nível de tensão da bateria.

Tipos de baterias compatíveis:	Li-PO; Li-ion; LiMn; Li-Fe
Precisão da detecção de tensão:	+/- 0.01 volts
Variação exibida no display:	0.5 – 4.5V
Variação total (soma das células):	0.5 – 27 V
Unidade de medição:	Volts

Fonte: <http://www.ebay.com>

4.3.5 MOTOR

O motor é responsável pelo movimento do carro a través da conversão da energia em força eletromotriz. Como sugestão para o projeto, pelo fato do carro ser pequeno e não exigir um motor grande sugere-se o micro motor com caixa de redução de metal 5:1 HP, por satisfazer as exigências de eficiência, fácil aquisição e preço viável para o projeto. Na imagem a seguir tem-se o motor HP.

Figura 22. Micro motor HP.



Fonte: <http://www.robocore.net>

Este motor tem as seguintes descrições: 600 RPM com 0,12 A sem carga, 0,01 Nm de torque em *stall*, 1,6 A de corrente *stall*, tensão de operação pode variar de 3 à 9 V, peso igual a 10 g.

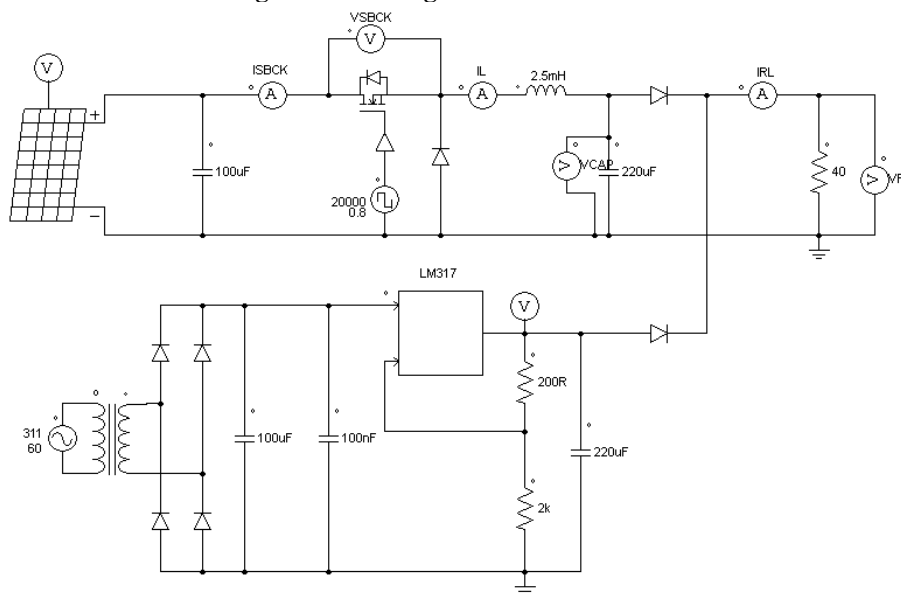
5 RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

Ao final do presente trabalho, teve-se como resultado o estudo de um sistema capaz proporcionar movimento ininterrupto do protótipo pelo uso de baterias carregáveis durante até mesmo o movimento ou por rede elétrica convencional de 220 V. O projeto teve todo o embasamento teórico, mas também se realizou testes e simulação pratica através osciloscópio e Visio. Com isto obteve-se um sistema eficiente de boa autonomia diante da necessidade de torna-lo mais viável.

5.1 RESULTADOS

A tensão na saída das placas solares não se mantem continua, por isto é necessário a incrementação do conversor *Buck*, com a finalidade de manter a tensão na entrada da bateria continua. Pela necessidade de maior eficiência no carregamento da bateria, também será utilizado um carregador linear na rede. A Figura 23 ilustra o sistema de carregamento da bateria.

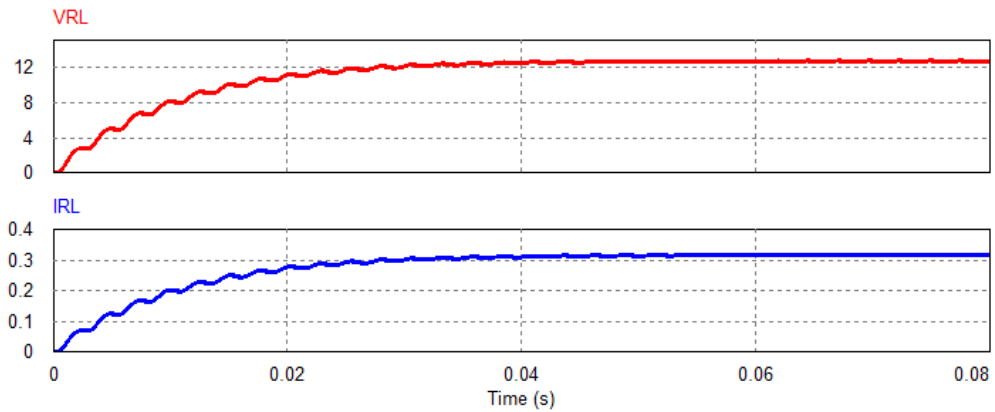
Figura 23. Carregador de bateria híbrido.



Com a simulação dos componentes do circuito da figura 25, obtiveram-se os seguintes resultados:

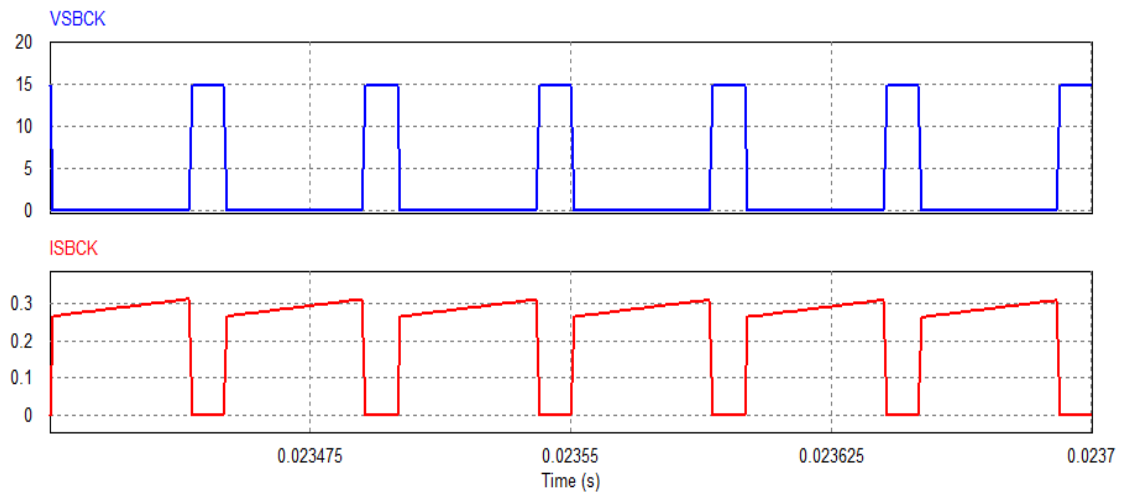
A Figura 24 ilustra a tensão e a corrente na entrada do conversor, onde através da simulação a tensão no conversor pelo gráfico da figura varia do zero oscilando até 12 V, se manter constante o resto do percurso.

Figura 24. Tensão e corrente na carga utilizando o conversor *Buck*.

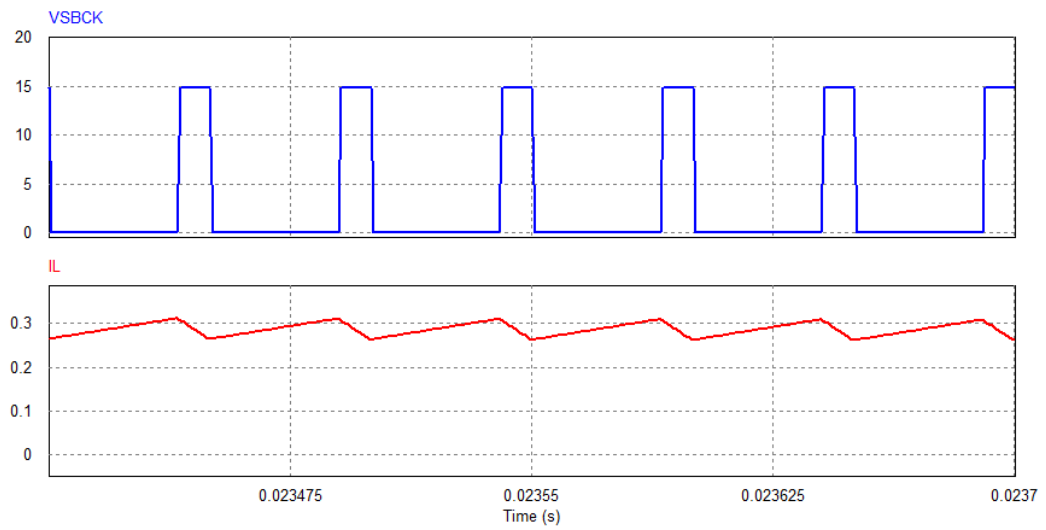


A Figura 25 ilustra graficamente o comportamento da tensão e da corrente na chave do *buck*, variando entre picos a partir do abrir e fechar da chave.

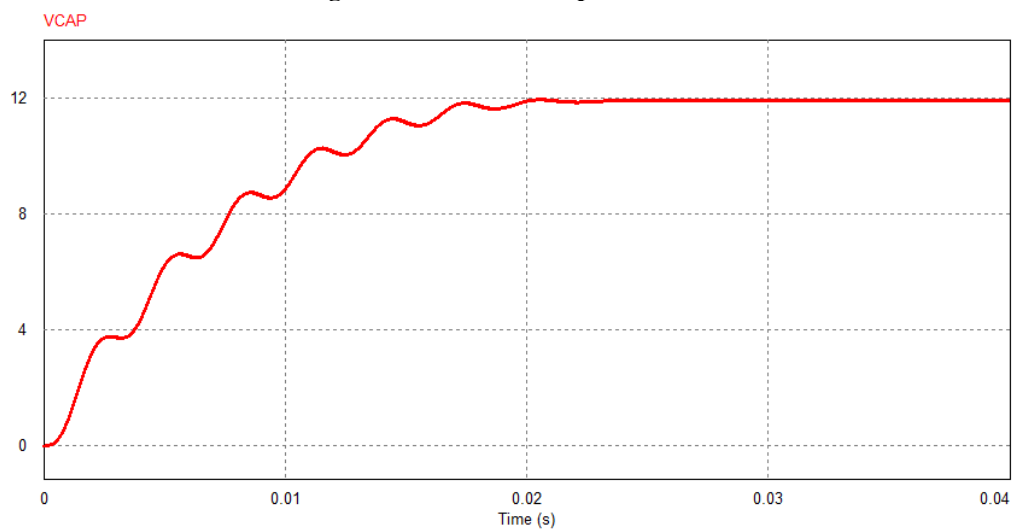
Figura 25. Tensão e corrente na chave do *buck*.



A Figura 26 ilustra o comportamento da corrente no indutor, onde a mesma fica oscilando em momentos de carga e descarga semelhante ao capacitor.

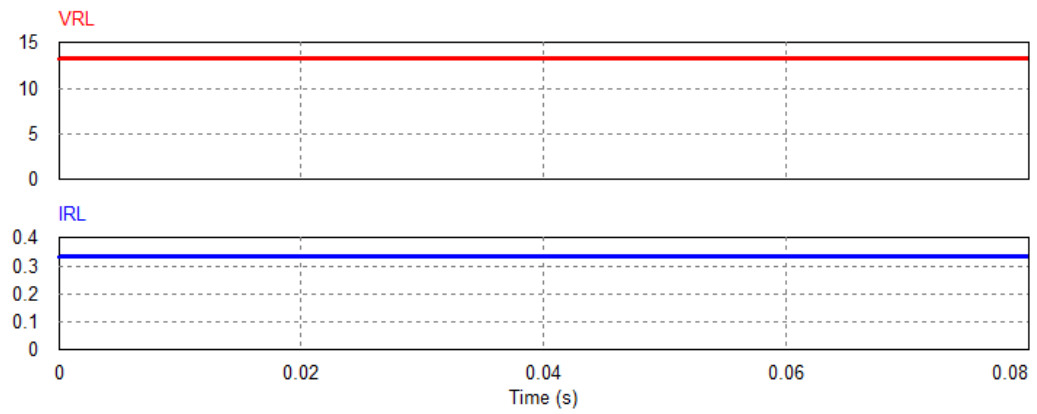
Figura 26. Tensão na chave e corrente no indutor.

Na Figura 27 tem-se o comportamento da tensão do capacitor, onde a tensão oscila entre 0 e 12 V entre momentos de carga e descarga até se manter constante ao decorrer do tempo.

Figura 27. Tensão no capacitor.

Na ausência de sol, o carregamento das baterias fica impossibilitado via energia solar. Como o sistema proposto é híbrido, a carga também poderá ser realizada através da rede elétrica 220 VCA/ 60 HZ. A Figura 28 ilustra tensão e carga no regulador linear.

Figura 28. Tensão e corrente na carga utilizando o regulador linear.



O regulador satisfaz as exigências de tensão e corrente como mostrado na Figura 28, mantendo a tensão e corrente de entrada na bateria nunca superior a 13 V e 0,4 A respectivamente de maneira contínua.

6 CONCLUSÃO GERAL E RECOMENDAÇÕES

O trabalho proposto demonstrou a significativa participação global em pesquisas ligadas ao desenvolvimento de carros movidos à energia elétrica, assim como os avanços alcançados. Permitiu verificar a importância e os benefícios perante a inclusão da UFRSA neste contexto, não somente para aquisição de um modelo viável em virtude dos custos envolvidos, mas também pela forma didática como foram especificados os componentes, com características acessíveis que seja desenvolvido e usado por qualquer pessoa da área acadêmica por meio da especificação indicada neste trabalho. Por ser projeto bem detalhado, o protótipo especificado proporciona o desenvolvimento de diversas atividades de modo prático e garantido, para contribuir no aprimoramento do ensino, da pesquisa e extensão.

O projeto teve todo o embasamento teórico, mas também se realizou testes e simulação prática do conversor/ carregador. Como resultados obteve-se um sistema eficiente de capaz de gerar uma boa autonomia, pois diante da necessidade de tornar mais viável, agregou-se ao sistema a possibilidade de alimentação da bateria pela rede elétrica comum.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15014: Conversor e Semicondutor – Sistema de Alimentação de potência Ininterrupta, com saída em corrente alternada (nobreak) – Terminologia**, 2003.

BARAN, R. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: a avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade**. 2012. 139f. Tese (Doutorado em ciências e planejamento energético). Departamento de pós-graduação e pesquisa. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012.

CARMO, et al. **Construção de protótipo didático: Uma abordagem diferenciada no processo de ensino/ aprendizagem de engenharia**. Disponível em: <<http://www.deec.ufpa.br/~petelettrica/artigos/>> Acesso em: 06 maio 2013.

DEMONTI, R. **Sistema de co-geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos**. 1998. 106f. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica). Programa de pós-graduação em engenharia elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 1998.

FERREIRA, R. J. A. **Carro a energia solar**. 2008. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Automação). Faculdade de engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2008.

FRANCESCHETTI, N. N.; ADAMOWSKI, J. C.; SIMÕES, M. G. **Controle do Sistema de acionamento energético de um veículo elétrico movido à energia solar**.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GODOY, Arilda S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **In: Revista de Administração de Empresas**. V.35, n 2, Mar/ABR. 1995, p.57-63.

Instructables – Projetos DIY. Disponível em: <<http://www.instructables.com/>>. Acesso em: 20/02/2013.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentação de Metodologia Científica**. 4. Ed. Ver. e ampl. São Paulo: Atlas, 2001.

MARQUES, D. D. **Conversor CC-CC bidirecional de alto ganho para aplicação em pequenos sistemas de geração de energia elétrica.** 2012. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 2012.

PINHEIRO, D, D.; SANTOS, F, C.; SBEGHEN, M. **Projeto de implementação de um conversor Buck.**

SILVA, D. P. **Sistema eletrônico para processamento de energia solar fotovoltaica, operando na máxima transferência de potência, com aplicação na alimentação de refrigeradores convencionais.** 2003. 225f. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica). Departamento de engenharia elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2003.

VESENTINI, J. W. **Geografia Geral e do Brasil.** Ática, 2008. 472f. 44º edição.