

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – REGIONAL CATALÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ORGANIZACIONAL



Gustavo de Souza Neves

**ANÁLISE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA
VEÍCULOS ELÉTRICOS EXPERIMENTAIS DE BAIXO
CUSTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CATALÃO – GO, 2016

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

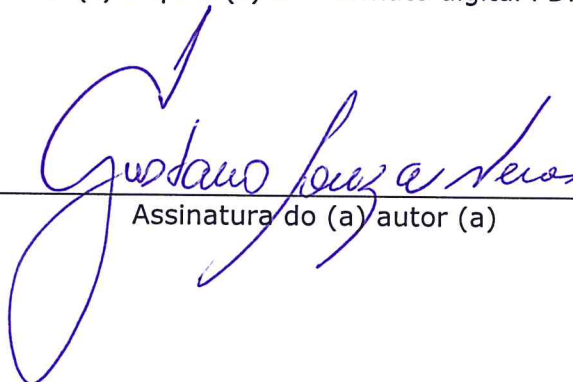
Nome completo do autor: Gustavo de Souza Neves

Título do trabalho: **ANÁLISE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO**

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor (a)

Data: 15 / 03 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

GUSTAVO DE SOUZA NEVES

ANÁLISE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA
VEÍCULOS ELÉTRICOS EXPERIMENTAIS DE BAIXO
CUSTO

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão Organizacional pela Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão.

Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Henrique Stoppa

CATALÃO – GO

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

De Souza Neves, Gustavo
ANÁLISE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA VEÍCULOS
ELÉTRICOS EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO [manuscrito] /
Gustavo De Souza Neves. - 2016.
LXXVII, 77 f.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Henrique Stoppa.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade
Acadêmica Especial de Gestão e Negócios, Catalão, Programa de Pós
Graduação em Gestão Organizacional (profissional), Catalão, 2016.
Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, símbolos, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Baixo Custo. 2. Veículo Elétrico. 3. Energia Fotovoltaica. I.
Stoppa, Marcelo Henrique, orient. II. Título.

CDU 621.3



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL CATALÃO

MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ORGANIZACIONAL

ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE EXAME DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO MESTRADO PROFISSIONAL NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM GESTÃO ORGANIZACIONAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS.

No dia dezesseis (16) de março de 2016, às 10:00 horas, na sala 104, Centro Integrado de Pesquisa, Regional Catalão da Universidade Federal de Goiás, **GUSTAVO DE SOUZA NEVES**, discente do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional (52001016061P6) da Universidade Federal de Goiás, expôs, em Sessão Pública o exame de defesa da dissertação intitulada **ANÁLISE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO**, para Comissão de Avaliação composta pelos (as) docentes: **Dr. Marcelo Henrique Stoppa** (Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás, Presidente da Comissão), **Dr. José dos Reis Vieira de Moura Jr.** (Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Otimização/ Universidade Federal de Goiás, Membro Convocado Externo), **Dr. José Waldo Martínez Espinosa** (Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás, Membro Convocado Interno), **Dr. Heber Martins de Paula** (Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Otimização/ Universidade Federal de Goiás, Membro Convocado Externo Suplente) e **Dr. Vastão Gonçalves da Costa** (Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional/Universidade Federal de Goiás, Membro Convocado Interno Suplente). O trabalho da Comissão de Avaliação foi conduzido pelo docente Presidente que, inicialmente, após apresentar os documentos integrantes da Comissão, concedeu 30 minutos o (a) discente candidato (a) para que este (a) expusesse o trabalho. Após a exposição, o docente Presidente concedeu a palavra a cada membro convocado da Comissão para que estes argüíssem o (a) discente candidato (a). Após o encerramento das argüições, a Comissão de Avaliação do trabalho de defesa avaliou a dissertação e o desempenho do (a) discente candidato (a) na exposição, considerando a trajetória deste no curso de mestrado profissional. Como resultado da avaliação, a Comissão de Avaliação deliberou pela:

Aprovação do trabalho de defesa

A Comissão de Avaliação declara o (a) discente candidato (a) **APROVADO NO EXAME DE DEFESA PÚBLICA**. A Comissão de Avaliação pode sugerir alterações de forma e/ou conteúdo consideradas aceitáveis, as correções, quando identificadas, devem ser realizadas no prazo máximo de 30 dias contados a partir do recebimento da Ata de Defesa. As alterações deverão ser indicadas no Anexo ao presente documento e/ou podem constar na versão lida pelo membro da Comissão de Avaliação para a sessão de defesa do trabalho de dissertação. Neste caso, a versão lida corrigida deverá ser entregue ao (a) discente candidato (a) no final da sessão.

Reprovação do trabalho de defesa

De acordo com a Resolução – CEPEC Nº 1109 é previsto a reprovação quando a Comissão de Avaliação determina que o trabalho apresentado não satisfaz as condições mínimas para ser considerado projeto de mestrado válido, em condições de se desenvolver um trabalho de conclusão de mestrado.

A Comissão de Avaliação:

Dr. Marcelo Henrique Stoppa
Membro Presidente
Universidade Federal de Goiás

Dr. José dos Reis Vieira de Moura Jr.
Membro Convocado Externo
Universidade Federal de Goiás

Dr. José Waldo Martínez Espinosa
Membro Convocado Interno
Universidade Federal de Goiás

Dr. Heber Martins de Paula
Membro Convocado Externo Suplente
Universidade Federal de Goiás

Dr. Vastão Gonçalves da Costa
Membro Convocado Interno Suplente
Universidade Federal de Goiás

Gustavo de Souza Neves
Discente Candidato (a)
Matrícula: 2013-2887

Para o(a) de Coordenação/Secretaria do PPGGO

Prof. Dr. Wagner Rosalem
Coordenador do Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional / Universidade Federal de Goiás
Coord. do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional-RC/UFG
CIBAPE-1563237 - Port. 0321

Prof. Dr. Geraldo Sadayama Leal
Vice-Coordenador do Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Gestão Organizacional
Universidade Federal de Goiás

Observações:

Visto Secretária
EX. Defesa nº 05/2016

Dedico este trabalho aos meus pais João Paulo (in memoriam) e Suzete, que foram meus formadores de caráter e motivadores no estudos. Dedico também a minha avó Tereza, que sempre recorro a suas sábias palavras. E finalmente dedico de forma sublime a minha esposa Eliana, que sempre compartilhou minhas dores e vitórias, e seu amor incondicional.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus, que nos concede o dom da vida e me chamou pelo nome quando ainda estava no útero de minha mãe, a Ele toda honra e toda glória. Ao meu pai, que me orientou e me ensinou, e por ter realizado o seu sonho de ser mestre. A minha esposa, que sempre está presente ao meu lado orando incansavelmente. A todos os meus familiares e amigos que me apoiaram e oraram por mim. Agradeço também, de forma especial, ao meu orientador Dr. Marcelo Stoppa, que me ensinou a ser não apenas um pesquisador, mas que a pesquisa seja algo transformador na qualidade de vida das pessoas. Não poderia deixar de agradecer a Direção do IFTM - Campus Paracatu, no apoio e incentivo para a capacitação profissional. E finalmente aos colegas de mestrado, Edson e Lísias, que compartilharam experiências, nas quais foram fundamentais para conclusão desta pesquisa.

Moisés estendeu a mão sobre o mar. Com um forte vento leste a soprar a noite toda, o Senhor repeliu o mar e o pôs a seco. As águas se fenderam e os filhos de Israel entraram no meio do mar a pé enxulto, enquanto as águas formavam uma muralha à direita e à esquerda deles.(Êxodo 14,21-22)

RESUMO

NEVES, G. S.. *ANÁLISE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO*. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Organizacional) – , Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão – GO.

Os meios de transportes convencionais têm impacto relevante na vida das pessoas, as quais dependem do modelo atual para realização de suas atividades rotineiras. Famílias de classe média dispõem até 20% de sua renda com transportes. Por outro lado, veículos de combustão interna emitem gases que contribuem para o efeito estufa, são de baixa eficiência, com no máximo 30% de aproveitamento. Em oposição, o veículo elétrico possui até 90% de eficiência e não emite gases de efeito estufa diretamente. Esses fatores contribuem com o aumento de desperdício financeiro e energético. Este estudo visa colaborar com a minimização destes impactos, por meio da análise de um sistema propulsor elétrico de baixo custo, alimentado por fonte fotovoltaica a ser instalado em um veículo de estrutura em PVC (Policloreto de Vinila). A utilização dessa fonte de energia renovável possibilita a implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica, armazenada em baterias de chumbo-ácido, utilizadas em veículos à combustão. Após análise por matriz de decisão, foi determinado o modelo mais adequado que atende à proposta de forma econômica e avaliados motores elétricos de corrente contínua, encontrados em veículos convencionais. Destes se verificou que os motores de limpadores de para-brisa podem ser empregados no sistema de propulsão do veículo. Para controlar todo o sistema elétrico foi utilizado o micro controlador PIC, responsável pelo acionamento dos motores através de ponte H, constituídas por transistores MOSFET. Foi realizada a simulação desse sistema de controle no programa Proteus®.

Palavras-chaves: Baixo Custo, Veículo Elétrico, Energia Fotovoltaica.

ABSTRACT

NEVES, G. S.. *ANÁLISE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS EXPERIMENTAIS DE BAIXO CUSTO*. 2016. 77 f. Master Thesis in Modelling and Optimization – , Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão – GO.

Conventional means of transportation have a significant impact on people's lives, which depend on the current model to perform their routine activities. Families can expend up to 20% of their income on transport. On the other hand, internal combustion vehicles emit gases that impair nature, have low efficiency reaching a maximum 30% yield. In contrast, the electric vehicle has up to 90% efficiency and does not emit harmful gases directly. These factors contribute to the increase of financial and energy waste. This study aims to contribute to minimizing these impacts through analysis of an electric propulsion system of low cost, powered by photovoltaic source to be installed in a vehicle structure of PVC (Polyvinyl Chloride). The use of this renewable energy source enables the implementation of a photovoltaic power generation system, stored in lead-acid batteries used in most of vehicles. After analysis of decision matrix, it was determined the most appropriate model that supports the proposal economically and evaluated electric DC motors found in conventional vehicles. These it was found that the engine of the windshield wipers can be used in vehicle propulsion system. To control the entire electrical system was used PIC micro controller, responsible for driving the motors through H bridge, consisting of MOSFET transistors. The simulation of this control system was held at the Proteus©.

Keywords: Low Cost, Electric Vehicle, Photovoltaic System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tempo Médio no deslocamento casa-trabalho (regiões metropolitanas no Brasil e no Mundo).	24
Figura 2 – Evolução dos Dados Socioeconômicos (universo considerado de 438 municípios).	24
Figura 3 – Custo médio de uma viagem de 7 km no Brasil, por diferentes modos. . . .	25
Figura 4 – Veículo elétrico I-MIEV da montadora Mitsubishi®.	26
Figura 5 – Motor de Corrente Contínua.	36
Figura 6 – Corte Motor CC	37
Figura 7 – O esquema de uma célula eletroquímica.	42
Figura 8 – Semicondutor Tipo N e Tipo P e o campo elétrico.	44
Figura 9 – Composição de um painel fotovoltaico.	45
Figura 10 – Painel Solar em Série.	45
Figura 11 – Painel Solar em Paralelo.	46
Figura 12 – Características da tensão e corrente em várias temperaturas de células. . .	47
Figura 13 – Características da tensão e corrente em alguns níveis de irradiância. . . .	47
Figura 14 – Vista lateral estrutura em PVC.	50
Figura 15 – Vista superior estrutura em PVC.	50
Figura 16 – Disposição do <i>powertrain</i>	51
Figura 17 – Motor Elétrico acionador de Vidro Elétrico.	53
Figura 18 – Motor de Ventoinha de Radiador.	53
Figura 19 – Motor de Limpador de para-brisa.	53
Figura 20 – Diagrama em blocos Sistema Fotovoltaico isolado.	59
Figura 21 – Levantamento de Coordenada Geográfica.	61
Figura 22 – Irradiação Solar Plano inclinado Catalão.	61
Figura 23 – Irradiação Solar no Plano Horizontal Catalão.	62
Figura 24 – Controlador de carga BSV20A.	66
Figura 25 – Circuito Esquemático do Sistema de Controle - Proteus®.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW)	29
Tabela 2 – Especificações Elétricas* (KYOCERA).	46
Tabela 3 – Dimensões previstas para a estrutura em PVC.	50
Tabela 4 – Análise do modelo do motor pela relação custo / torque.	54
Tabela 5 – Atribuição dos pesos aos critérios da bateria.	56
Tabela 6 – Definição do modelo da bateria através da Matriz de Decisão	57
Tabela 7 – Comparativo entre os modelos de maior pontuação.	58
Tabela 8 – Cálculo de demanda de carga Lcc.	63
Tabela 9 – Especificações Painel Solar 50W 12Vcc KM50 KOMAES	64
Tabela 10 – Especificações Controlador de Carga BSV20A	66
Tabela 11 – Descrição dos materiais recomendado no projeto com os custos.	68
Tabela 12 – Lista de Baterias Avaliadas e Valor Médio de Custo.	77

LISTA DE SÍMBOLOS

PVC — Policloreto de Vinia

ANTP — Associação Nacional de Transportes Públicos

CO₂ — Dióxido de Carbono

MW — Megawatts

MOSFET — Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

CA — Corrente Alternada

AC — Alternate Current

DC — Direct Current

CC — Corrente Contínua

m — Metro

CV — Cavalo-vapor

Kg — Quilograma

W — Watt

HP — Horse Power

I — Corrente Elétrica

Ef — Eficiência

A — Ampère

Pot — Potência Elétrica

V — Tensão Elétrica

Ah — Ampère-hora

Si — Silício

N — Negativo

P — Positivo

Wp — Watt de pico

Ih — Ampère hora

Ah — Watt hora

Ip — Ampère de pico

Ap — Ampère de pico

cm — Centímetro

N — Newton

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Motivação e Contextualização	23
1.2	Combustíveis Fósseis, Biocombustíveis e Fontes Renováveis de Energia	27
1.3	Energia Elétrica no Brasil	29
1.4	Delimitação da Pesquisa	30
1.5	Justificativa	31
1.6	Objetivos	31
1.7	Metodologia	32
2	MOTOR ELÉTRICO	35
2.1	Motor de Corrente Contínua (CC)	35
2.2	Constituição do Motor de Corrente Contínua (CC)	36
2.2.1	Estator	37
2.2.2	Rotor	38
2.2.3	Comutador	38
2.2.4	Vantagens do Motor CC	38
2.2.5	Cálculo da Potência Elétrica	39
3	GERAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	41
3.1	Baterias	41
3.1.1	Capacidade de armazenamento	42
3.2	Energia Fotovoltaica	43
3.2.1	Efeito Fotovoltaico	43
3.2.2	Módulo Fotovoltaico ou Painel Fotovoltaico	44
3.2.3	Dispositivos Fotovoltaicos Conectados em Série	45
3.2.4	Dispositivos Fotovoltaicos Conectados em Paralelo	46
3.2.5	Especificações Elétricas de Painel Solar	46
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	49
4.1	Veículo Tipo Space Frame em Tubos de PVC	49
4.2	Arranjo do Sistema Propulsor	51
4.3	Motorização do Veículo	53
4.4	Determinação da Bateria	55

4.5	Projeto do Sistema Fotovoltaico	59
4.5.1	Análise do recurso solar	60
4.5.2	Horas de pleno Sol	62
4.5.3	Levantamento da demanda de carga	62
4.5.4	Dimensionamento da Geração do módulo fotovoltaico	63
4.5.5	Dimensionamento Painei Fotovoltaico	64
4.5.6	Dimensionamento do Controlador de Carga	65
4.5.7	Dimensionamento do banco de baterias	66
4.5.8	Especificação Final de Projeto	68
4.5.9	Sistema de Controle	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS	73
ANEXO A	ANEXO 1	77

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

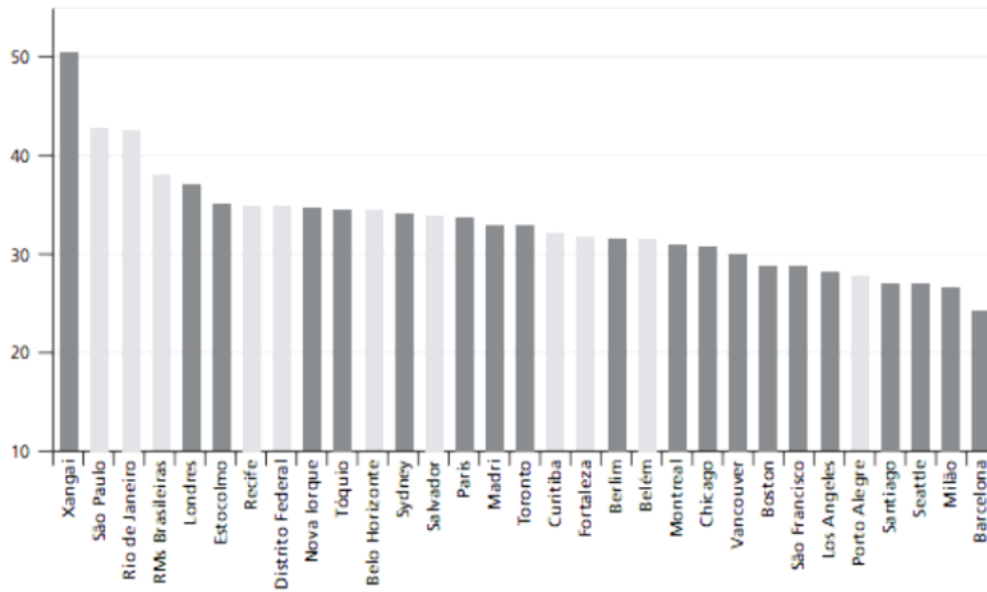
1.1 Motivação e Contextualização

O transporte de pessoas e objetos sempre esteve presente na vida humana. Desde o surgimento dos primeiros seres humanos, havia a necessidade de levar seus produtos e pertences de um local a outro. Esse estilo de vida é fatural atualmente, não há mudanças abruptas nesse comportamento e a distinção aparece apenas no fato de que em tempos atrás os entraves de locomoção eram mais significativos, contudo, ainda não dispunham de equipamento e ferramentas presentes nos dias atuais. Segundo o Museu Brasileiro do Transporte (MBT, 2015), as primeiras formas de locomoção no modal rodoviário foram por meio dos animais, tais como, cavalos e bois. Os meios de transportes eram muito arcaicos e levavam vários dias para que um traslado findasse, de modo que, comparados com a tecnologia disponível na atualidade essa mesma distância é percorrida em poucas horas. Com o passar do tempo, esse anseio fez com que os seres humanos se dedicassem cada vez mais na melhoria dos meios de transportes, dada a importância do deslocamento diário.

Por outro lado, a modernização de meios de transportes coletivos, individuais ou não motorizados buscava soluções para atender a necessidade de deslocamento diário de pessoas no cumprimento de suas tarefas rotineiras. Contudo, a expansão geográfica dos grandes centros urbanos impôs ao ser humano, um grande desafio onde diversos obstáculos foram tornando-se mais aparentes.

Um destes desafios para as pessoas é o trânsito caótico nos grandes centros urbanos. Para se chegar ao trabalho, depende-se mais tempo nas regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro do que no Japão, Londres e Nova York (Figura 1) (CRUZ; CALLEJAS; SANTOS, 2014).

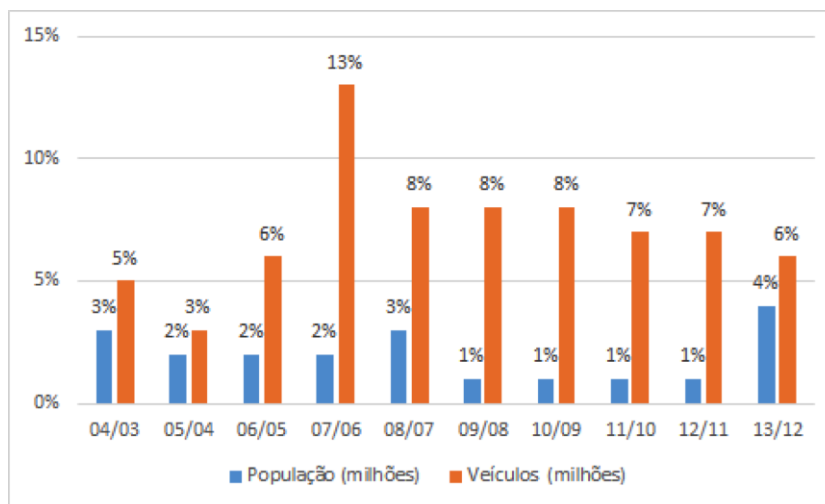
Figura 1 – Tempo Médio no deslocamento casa-trabalho (regiões metropolitanas no Brasil e no Mundo).



Fonte:(PEREIRA; SCHWANEN, 2013)

As vias não suportam o número de veículos que circulam em certos horários, considerados de pico. Estudo realizado pela Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) aponta que, em um período de 10 anos, o ritmo de crescimento de veículos é maior do que o ritmo de crescimento da população (Figura 2).

Figura 2 – Evolução dos Dados Socioeconômicos (universo considerado de 438 municípios).



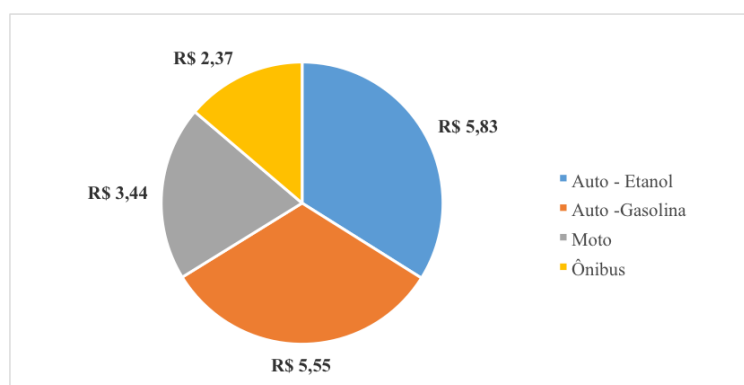
Fonte:(VASCONCELLOS *et al.*, 2015)

O aumento de veículos no trânsito não significa que mais pessoas têm acesso ao modal transporte terrestre, pois a conduta de utilização na maioria das vezes se dá apenas para transporte do motorista ou no máximo duas pessoas, apresentando um baixo rendimento, em torno de 40%. A baixa eficiência acarreta em menor economia, pois há desperdícios

energéticos e econômicos. Estima-se que famílias de classe média despendem em torno de 15% a 20% de sua renda em transporte (passagens e combustíveis) para trabalhar, estudar, passear ou outras atividades sociais (LARICA, 2003).

Esses valores comprometem a renda familiar, pois os custos se elevam devido a outros fatores que são evidenciados, por exemplo, consumo do espaço viário, tempo e energia, além dos custos relativos causados por acidentes de trânsito, pela utilização de automóveis, ônibus e motocicletas. Os custos mais impactantes estão relacionados ao tipo de motorização utilizado nos veículos, que no caso consomem os combustíveis líquidos, cujo custo é ainda muito elevado devido à sua baixa eficiência. O custo gerado em uma viagem por diferentes modos são apresentadas no estudo realizado em 2010 pela ANTP (Figura 3). Esse comparativo demonstra que, para uma viagem de 7 km, o custo médio no Brasil, para veículos que utilizam os combustíveis etanol e gasolina apresentam os maiores custos, comparada a outros tipos de meios de transporte, como as motocicletas e ônibus.

Figura 3 – Custo médio de uma viagem de 7 km no Brasil, por diferentes modos.



Fonte: o autor

O estudo da ANTP não considerou o consumo de combustível nos instantes em que os veículos automotores ficam parados no trânsito. Contudo, neste momento é notável o consumo de combustível, o qual poderia ser evitado em veículos que dispõem de motorização híbrida ou puramente elétrica. Isto acontece, pois, haveria apenas consumo de energia elétrica durante o movimento com conseqüente redução do custo e ainda seria possível a regeneração de energia através da energia cinética das rodas.

O custo elevado não é apenas devido ao tipo de combustível utilizado, mas também, à baixa eficiência dos veículos atuais. Para (ROCHA; ALBERTON; OLIVEIRA, 2014) a eficiência dos veículos convencionais chega, no máximo, a 30%, sendo que os 70% restantes são dissipados em forma de calor devido ao atrito dos componentes do motor.

Em 2010, o site de notícias UOL Economia, publicou uma reportagem sobre o custo rodado por Km do veículo i-MIEV, que seria produzido no Brasil pela montadora Mitsubishi® (Figura 4). Estimativas apontam que o custo por Km rodado do carro elétrico é cerca de um terço de um veículo convencional compacto (motor a combustão).

Figura 4 – Veículo elétrico I-MIEV da montadora Mitsubishi®.



Fonte: (MITSUBISHI, 2015)

Fatores históricos e socioeconômicos impostos determinaram disseminação dos veículos de combustão interna. Mesmo que o surgimento de veículos elétricos anteceda aos atuais, esta classe de veículos não se sustentou devido à sua autonomia. As baterias, naquela época, início do século XX, tinham pouca densidade energética e onerava o peso do veículo quando se desejava desenvolver maiores distâncias (INEE, 2015). O tempo de recarga também foi um fator impactante, pois o tempo para se reabastecer um veículo com combustível (gasolina ou etanol) beira os minutos, enquanto carregar as baterias demanda várias horas.

Assim, ao invés de investimento nos veículos elétricos a estratégia pautou-se no desenvolvimento de veículos de combustão interna, aumentando a demanda por combustíveis de origens fósseis como fonte de energia. Para tanto, (PIANEGONDA, 2014) relata que o consumo de combustível no Brasil em 2014 teve um aumento de 5,2% em relação ao ano anterior. Os combustíveis que sofreram o aumento de consumo foram o Diesel, de 2,4%, e a Gasolina de 7%. Esses combustíveis representam uma participação no mercado de 40% e 30%, respectivamente. Esse aumento de consumo por combustível de origem fóssil compromete ainda mais as reservas naturais.

1.2 Combustíveis Fósseis, Biocombustíveis e Fontes Renováveis de Energia

A matriz energética mundial está sustentada pelo petróleo, combustível de origem fóssil cujas reservas são insuficientes para manter o suprimento nas próximas quatro décadas (LIMA *et al.*, 2008). No Brasil, a tempos atrás, muito se afirmava que a nação seria autossuficiente para atender a demanda do Petróleo. Essa afirmação leva a concluir que o país, com seus recursos naturais, iria produzir uma quantidade de barris de Petróleo superior ao seu consumo interno. Na verdade tem-se muita cautela na afirmação dessa autossuficiência, por parte dos gestores públicos e da própria Petrobras (QUEIROZ, 2006).

A prudência em fazer tal afirmação é embasada na questão da insuficiência da quantidade disponível, dos recursos naturais internos, de óleo fino para o processamento. A própria Agência Nacional de Petróleo apresentou em seu anuário de 2015, que em 2014 o Brasil importou um volume de 144,2 milhões de barris. Isso representa um valor de US\$ 15,9 Bilhões de dispêndio para a nação. Medidas devem ser tomadas a fim de que encontre alternativas energéticas, pois há um acréscimo na demanda por combustíveis e também na produção de veículos (ANP, 2015).

A sociedade presume que a solução plausível seja buscar novas fontes de energia que atendam de forma mais acessível, que sejam renováveis, com baixa emissão de poluentes, levando em consideração que o mundo enfrenta e sofre com as consequências do aquecimento global, o que é resultado, principalmente da emissão de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera (LIMA *et al.*, 2008).

Os Biocombustíveis são produzidos a partir de produtos vegetais e animais, sendo considerada uma fonte renovável de energia (RODRIGUES *et al.*, 2014). O biocombustível que se apresenta como alternativa comparada ao de origens fósseis, é o Biodiesel. Segundo o Ministério de Minas e Energia, o biodiesel é um combustível biodegradável oriundo de fontes renováveis. Esse combustível foi desenvolvido com o intuito de ser adicionado ao diesel.

(COSTA, 2014), afirma que o biodiesel vem sendo acrescentado ao diesel com proporção de 5% desde 2010, e que no final de 2014 chegará a um percentual de 7%. A princípio esse combustível de origem renovável parece ser inovador, no entanto (COSTA, 2014) nos conta que em 1900 um combustível a partir de óleo de amendoim foi utilizado em motores diesel pelo inventor Rudolf Diesel. A produção de Biodiesel no Brasil é favorecida pelas condições climáticas, e de alto potencial produtivo. Segundo Guimarães (2014), a produção de biodiesel a base de soja, coloca o Brasil como sendo o segundo produtor mundial.

O etanol é um álcool, conhecido também como álcool etílico, composto por estrutura orgânica oxigenada. No Brasil, é utilizado como combustível automotivo de duas maneiras. Uma delas, álcool hidratado, para carros com motores que funcionam a etanol ou flexfuel, e na forma de álcool anidro, o qual é adicionado à mistura da gasolina, atualmente na propor-

ção de 27%. Nessas duas maneiras o que difere um do outro é a quantidade de água presente no combustível (NETTO; LEAL, 2012).

O Etanol é produzido a partir da fermentação do caldo da cana-de-açúcar. O Brasil possui um expressivo cultivo dessa cultura, com indústrias estruturadas de beneficiamento dos colmos (caule da cana-de-açúcar) para obtenção do combustível. São reaproveitados os resíduos do processo produtivo para obtenção de energia elétrica, suprimindo todo o processo produtivo e gerando energia excedente a ser utilizada para atendimento da demanda das concessionárias de energia elétrica.

No entanto, por mais que a sociedade e os órgãos ambientais clamem pelas mudanças nas leis e na redução da prática de queimadas dos canaviais no processo de colheita, observa-se que em enormes áreas produtoras de cana-de-açúcar no país a prática de queimadas é largamente utilizada. Apesar da técnica facilitar o trabalho dos cortadores, traz prejuízos enormes ao meio ambiente, agredindo os microrganismos presentes no solo e eradicando a macrofauna presente nas áreas produtivas. Prejudicando também a saúde da população residente nas imediações da usina, comprometendo o sistema respiratório (RIBEIRO; PESQUERO, 2010).

Os combustíveis renováveis seriam uma solução interessante para amenizar as questões ambientais. A opção por Biocombustíveis, como o Biodiesel e o Etanol, seria uma alternativa em questões de energia renovável, mas pesquisadores da área de química ambiental consideram esses combustíveis ainda poluidores do meio ambiente.

Sob o aspecto de contribuição de carbono para atmosfera, pode-se alegar que os Biocombustíveis são limpos, pois equilibram o balanço de carbono. Contudo, para que este combustível seja renovável, seria necessário que a biomassa se renovasse na safra seguinte. E existem outros elementos participantes na formação desse vegetal, biomassa, que são responsáveis pelo crescimento da cultura. O enxofre, nitrogênio, fósforo e potássio, que são principais elementos envolvidos no crescimento do vegetal, precisam ser reincorporados anualmente ao solo, através de adubação, equilibrando e devolvendo à natureza alguns elementos que extraem do solo (CARDOSO; MACHADO; PEREIRA, 2008). Além de poluir a natureza, não trazem a eficiência esperada aos motores de combustão interna.

A energia elétrica é uma fonte renovável e limpa que vem crescendo na utilização em veículos no mundo todo, podendo ser gerada por diversas fontes de recursos naturais que são naturalmente reabastecidos. A transformação dessa energia pode ser através do Sol, vento, chuva, marés, geotérmica, dentre outros (HERCULANO A. C. L.; AMARAL, 2011). Ao passo que os combustíveis fósseis dependem exclusivamente do Petróleo, fonte esta que não pode ser reabastecida, sendo passível de esgotamento. Percebidas inúmeras vantagens da energia elétrica, as pesquisas evoluem para que veículos elétricos atendam ou superem as qualidades dos métodos convencionais. Diante do exposto, esta pesquisa propõe a análise da utilização do motor elétrico, em função dos benefícios em relação ao motor de combustão interna.

1.3 Energia Elétrica no Brasil

O Brasil dispõe de um grande potencial de geração de energia elétrica. A Tabela 1 mostra que dos anos de 2010 a 2014, há uma crescente evolução do crescimento da capacidade de geração instalada no Brasil em Megawatts (MW).

No Brasil há um sistema de geração local e distribuição confiável de energia elétrica. O sistema é interligado, com um custo relativamente baixo, se comparada aos demais combustíveis líquidos (BARAN; LEGEY, 2011). Dispor de pontos de recarga pode ser mais simples, quando comparados aos postos de gasolina, devido esses últimos precisarem cumprir algumas exigências ambientais ficando limitados a locais específicos.

Tabela 1 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW)

Geradoras	2010	2011	2012	2013	2014	Participação % (2014)
Hidrelétricas	77.090	78.347	79.956	81.132	84.095	62,8
Termelétricas	29.689	31.243	32.778	36.528	37.827	28,2
Pequena Central Hidrelétrica	3.428	3.896	4.101	4.620	4.790	3,6
Central Hidrelétrica	185	216	263	266	308	0,2
Nucleares	2.007	2.007	2.007	1.990	1.990	1,5
Eólicas	927	1.426	1.426	1.894	2.202	3,7
Solar	1	1	2	5	15	0,0
Total	113.327	117.136	120.974	126.743	133.913	100

Fonte: (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2015)

Conforme a Tab. 1, a capacidade instalada de geração de energia solar no Brasil não chega a 1% da capacidade total de geração de energia. Mas é observado que houve um crescimento expressivo. Saiu de 1MW em 2010 para 15MW em 2015. Crescimento de 1400%. Visto que a capacidade de geração de energia solar é grande e pouco explorada. Segundo GREENPEACE (2015), demonstra que no Brasil possui um grande potencial energético. Para tanto, a pesquisa sugere que ao se instalar painéis fotovoltaicos em 1,5% dos domicílios brasileiros, a energia seria suficiente para desligar por completo as termoeletricas de Piratinga, em São Paulo, e Candiota, no Rio Grande do Sul. As termoeletricas utilizam combustíveis fósseis, e com o desligamento haverá maior contribuição para o meio ambiente. Essa energia elétrica disponível será aproveitada através de painéis fotovoltaicos.

1.4 Delimitação da Pesquisa

Com o intuito de dar continuidade à pesquisa desenvolvida por Souza (2015), que propôs uma estrutura veicular do tipo *Space Frame* construída com tubos de PVC, suporte para um projeto de um veículo elétrico com propulsão subsidiada por sistema fotovoltaico, pretende-se ater ao seguinte questionamento, objeto de estudo desta pesquisa:

- Ao analisar um sistema de propulsão elétrica alimentado por células fotovoltaicas, em um veículo com estrutura tubular de PVC (baixo custo), haverá alguma contribuição para o transporte?

Hipóteses

- A análise de um sistema elétrico alimentado por células fotovoltaicas em veículos experimentais, com estrutura em PVC do tipo *Space Frame*, será uma alternativa para o transporte de pessoas, consideradas pequenas cargas e distâncias.
- A análise do funcionamento do sistema de controle por microcontrolador PIC, através de simulação executada no programa Proteus®, poderá auxiliar a definição do sistema real.

A pesquisa contribui para a análise de um sistema propulsor elétrico movido a energia fotovoltaica em veículos do tipo *Space Frame*, fabricado em material PVC. Um veículo que utiliza essa estrutura é algo inovador, pois a estrutura de chassis convencionais utiliza ligas de metal. Será apresentada uma alternativa para o transporte de pessoas e cargas, com foco em pequenas distâncias, atendendo uma necessidade específica da população.

1.5 Justificativa

A pesquisa se faz importante diante da constatação de que a sociedade utiliza meios de transportes de baixa eficiência e a implantação de fontes de energias renováveis aos veículos de transporte, contribui para manutenção das reservas de combustíveis de origens fósseis por mais tempo. Com a utilização da energia elétrica, oriunda de fonte renovável, há contribuição para redução da emissão dos gases de efeito estufa na Terra. O veículo com propulsão puramente elétrica praticamente não emite ruídos. É uma tecnologia que dispensa a utilização de caixas de marchas e cárter com óleo para lubrificação. Esses fatores contribuem com o meio ambiente e com a qualidade de vida das pessoas que habitam em áreas urbanas. Para tanto, essa pesquisa servirá de estudos futuros para aprimorar os conceitos de utilização de sistemas elétricos como propulsores de veículos.

1.6 Objetivos

Geral Avaliar através de simulação de circuitos um sistema elétrico que irá promover mobilidade ao veículo de estrutura em PVC, com baixo custo.

Específicos

- Analisar os critérios, Torque e Custo, dos possíveis motores elétricos que serão empregados no sistema propulsor do veículo;
- Avaliar dentre as bateria de chumbo-ácido, que se enquadra dentre os critérios de análise como: Capacidade de Armazenar Energia; Manutenção e Custo de aquisição, utilizando uma matriz de decisão como ferramenta eficaz na determinação do modelo que atenda os critérios de análise;
- Analisar os painéis fotovoltaicos que podem ser empregados no sistema elétrico do veículo, para geração de energia elétrica através da exposição à luz solar;
- Propor um sistema de controle que irá utilizar o microcontrolador PIC para acionar os motores por pontes H, utilizando o software de simulação Proteus®.

1.7 Metodologia

Os procedimentos metodológicos utilizados nessa pesquisa serão descritos a seguir. A definição de a estrutura veicular foi levada em consideração o baixo custo com a utilização da estrutura tubular de PVC (Policloreto de Vinila), conforme pesquisa elaborada por [Souza \(2015\)](#);

Os requisitos apontados no projeto são:

- Peso da Estrutura
- Peso total suportado pelo Chassi
- Quantidade de pessoas a ser transportadas
- Locais definidos para alocação de carga, passageiros e sistema motor.
- Altura do solo
- Possíveis locais nos que pode ser utilizados o veículo
- Aplicabilidade

O estudo buscou analisar sobre os combustíveis fósseis e os biocombustíveis que são utilizados pelos veículos que utilizam motores de combustão interna. A definição da energia elétrica como fonte renovável de energia, foi baseada em atendimento a questões ambientais e econômicas. Foi analisada a capacidade dos recursos brasileiros em geração de energia elétrica, salientando a crescente capacidade fotovoltaica.

Além disso, se procurou desenvolver um sistema elétrico que apresentasse uma melhor eficiência e que atendesse alguns requisitos como, torque, autonomia, densidade energética, tipo de tração, potência, consumo energético, manutenção. A motivação dessa pesquisa surge da necessidade de avaliação de um sistema elétrico de baixo custo a ser acoplado em uma estrutura, já definida, construída em tubos de PVC.

De posse desses elementos, a pesquisa foi delineada, onde o primeiro passo é definir o motor. A proposta é utilizar um motor elétrico de corrente contínua, devido a características apresentadas posteriormente.

Propõe-se utilizar motores disponíveis de fácil aquisição e baixo custo que podem ser adquiridos em lojas, ou até mesmo reutilizar motores que atendam um a outro fim e estejam em desuso (sucata). A proposta é trabalhar com motores comumente utilizados na linha automotiva, por serem de mais fácil acesso e também encontrados em locais que reaproveitam as peças de veículos que foram inutilizados. Esses motores por serem oriundos de veículos que não tenham mais utilidade, e agora podem ser aplicados a esse tipo modal de veículo. Deste modo, esse estudo almeja contribuir sensivelmente para o meio ambiente, pois o descarte desses materiais apresenta elevado tempo para total decomposição na natureza.

É avaliada a utilização de motores de limpadores de para-brisas e de alternadores de veículos, pois apresentam um grande torque, comparados aos acionadores de vidro e ventoinhas de radiador. Com pequenas adaptações podem ser utilizados como propulsores dos veículos.

É necessário utilizar um sistema de controle para esses motores, de modo que estes possibilitem tração para frente, para trás e freio, por meio de pontes H. Este sistema é constituído por semicondutores tipo transistores MOSFET, que acionam os motores. Os transistores dependem de um pulso fornecido por um sistema de controle (construído com um Microcontrolador PIC), de modo que eles sejam acionados, e todo processo seja gerenciado via software. O sistema é alimentado por corrente contínua fornecida por baterias, as quais são avaliadas referentes a características alinhadas com os objetivos propostos. A bateria deve ser de baixo custo e de fácil aquisição. A proposta tem foco na utilização de baterias também utilizadas em automóveis. Estas são avaliadas comparativamente, levando em consideração os requisitos de peso em relação à capacidade de carga, ciclos de recarga e tempo de vida útil.

As baterias possuem a característica de poderem ser recarregadas pela rede elétrica, ou por um sistema de captação de energia através de painéis solares (fotovoltaica). Esses painéis são projetados a fim de atender os objetivos propostos, com intuito de adicionar carga à bateria nos períodos que o veículo está exposto à luz solar. Com isso tem-se mais economia na obtenção de energia elétrica. Foi utilizada a ferramenta Matriz de Decisão para determinar a bateria a ser empregada no sistema elétrico.

Portanto, na busca pelos elementos integrantes do sistema elétrico do veículo, que atendam os requisitos de relação custo/torque, densidade energética e custo benefício, há uma constante preocupação com o foco do projeto, de modo que a ideia se apresente como uma alternativa de transporte, seja de baixo custo e de pouco impacto na natureza.

A avaliação do funcionamento do sistema elétrico é realizada através de um simulador de circuitos, denominado Proteus®. Esse software proporciona a utilização e substituição de componentes do esquema elétrico e a visualização do comportamento funcional do sistema, com isso se torna mais fácil a obtenção de parâmetros que poderão ser aplicados à prática, ou seja, na elaboração do projeto real.

Capítulo 2

MOTOR ELÉTRICO

O motor elétrico é peça chave para o desenvolvimento do sistema elétrico do veículo. É um dispositivo que transforma energia elétrica em cinética, por meio de corrente elétrica, seja essa corrente contínua ou alternada, irá promover rotação em seu eixo (FRANCHI, 2007). Essa força motora desenvolvida pelo eixo do motor poderá ser transmitida às rodas para que o veículo se movimente.

É possível realizar o controle da velocidade de rotação do eixo do motor em qualquer sentido, promovendo movimentos, nos sentidos horário e anti-horário, produzindo deslocamento para frente e para trás, com velocidade controlada.

Os motores podem ser caracterizados, basicamente, por CA (Corrente Alternada) ou CC (Corrente Contínua), é comum encontrar também, a terminologia inglesa que utiliza as siglas AC (*Alternate Current*) e DC (*Direct Current*) (FRANCHI, 2007).

O foco desse estudo é avaliar as possibilidades de instalação, em um veículo leve com estrutura de tubos de PVC, um gerador de energia fotovoltaica e um sistema de armazenagem dessa energia gerada. As células fotovoltaicas, ao transformar a energia solar em elétrica, entregam corrente contínua em seus terminais, a qual é armazenada na bateria, para que seja utilizada pelo motor elétrico. Portanto, para que não seja necessária outra transformação da corrente fornecida, é natural a utilização de um motor de corrente contínua.

2.1 Motor de Corrente Contínua (CC)

As máquinas de corrente contínua podem ser utilizadas tanto como motor quanto como gerador. Os motores de corrente contínua (CC) são largamente empregados, desde carrinhos de brinquedos infantis até em veículos elétricos. A denominação motor CC está condicionada a maneira de como é dada a alimentação, ou seja, através de corrente contínua. A tensão aplicada ao motor tem a finalidade de energizar os enrolamentos, produzindo polos eletromagnéticos que formam a força magnetomotriz (FRANCHI, 2007).

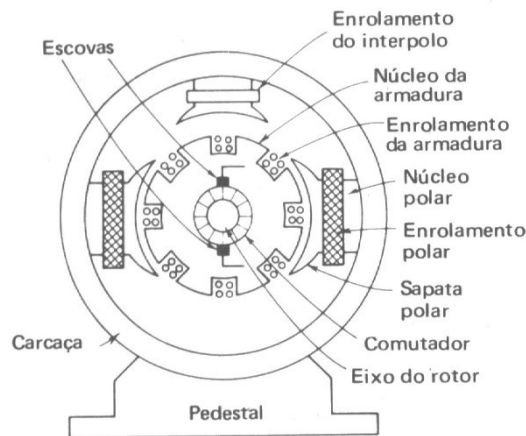
A principal aplicação do motor de corrente contínua está relacionada ao controle de velocidade com uma grande exigência de torque, mesmo com a variação da velocidade (CHAPMAN, 2013). É possível variar a velocidade dos motores de corrente alternada, através de inversores de frequência, mas, em algumas situações, esse tipo de acionamento não atende as condições de torque exigidas. Os motores de correntes contínuas são empregados em situações que exijam precisão no torque e acionamento de controle de velocidades em aplicações específicas, como por exemplo: em guindaste elevadores (PETRUZELLA, 2013).

2.2 Constituição do Motor de Corrente Contínua (CC)

De modo geral, o motor de corrente contínua (Figura 5) é composto por três estruturas ferromagnéticas:

- Estator (enrolamento de campo ou ímã permanente);
- Rotor (enrolamento de armadura);
- Comutador (tubo de cobre axialmente segmentado).

Figura 5 – Motor de Corrente Contínua.



Fonte: (GAMBOA, 2014).

2.2.1 Estator

O Estator é composto de uma carcaça, constituída de polos salientes aos quais estão acopladas as bobinas que formam o campo, ou de um ímã permanente. Esse elemento é a parte estática da máquina, montada ao redor do rotor, de maneira que permita este último girar.

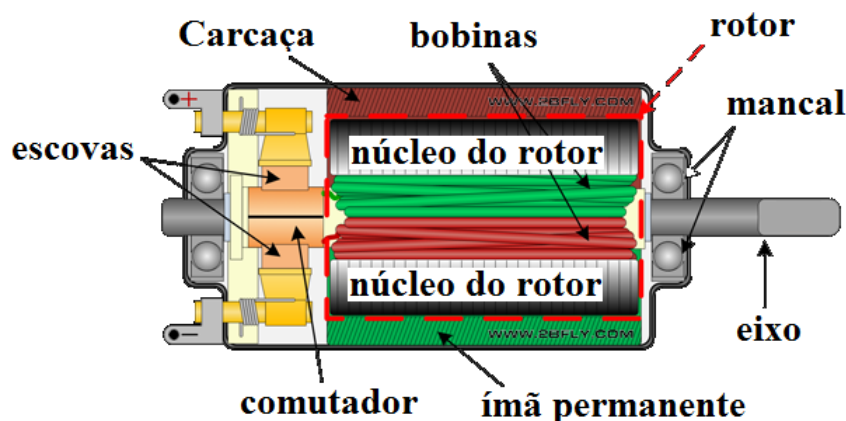
A carcaça tem um formato cilíndrico, que conduz um campo magnético elevado, de modo que sua estrutura suporte toda a massa da máquina. Também possui resistência mecânica elevada de forma a suportar a máquina sem deformações nem vibrações sensíveis. Geralmente é constituída de ferro fundido, que é um material ferro magnético e possui uma elevada permeabilidade magnética, o que proporciona melhor fluxo magnético. A carcaça envolve as bobinas que magnetizam o circuito da máquina, forçando a transformação da energia elétrica em cinética, entregue ao rotor. Estas bobinas são espiras constituídas por fios de cobre, que estão em torno do núcleo dos polos. Percorrida por pequena intensidade de corrente contínua, que produz uma alternância de polos, norte e sul (FRANCHI, 2007).

Os polos são constituídos pela sapata polar e o núcleo. Segundo Gamboa (2014), os polos são em formato de curva nas extremidades a fim de direcionar as linhas de força do campo magnético em direção ao rotor. Tanto o núcleo quanto a sapata polar, são compostos por uma superposição de lâminas de aço silício.

O atrito entre as escovas e o coletor produz faiscamento (DINIZ, 2009). Este efeito é amenizado pelos interpolos, reduzindo este efeito no coletor do motor elétrico (FITZGERALD; JR; UMANS, 2006).

Tanto as escovas quanto os interpolos, são elementos que constituem parte do circuito da armadura. As escovas geralmente são constituídas de carvão e grafite, e são impulsionadas em direção ao comutador por molas, para que os contatos sejam firmemente mantidos, e fixadas no estator pelo suporte em formato de anel (Figura 6).

Figura 6 – Corte Motor CC



Fonte: adaptado de ([HTTP://2BFLY.COM/](http://2BFLY.COM/), 2015).

2.2.2 Rotor

O Rotor é a parte girante, fixada em torno do eixo da máquina, fabricado por material ferromagnético envolto em um enrolamento de armadura e o anel comutador. Por este enrolamento percorre alta corrente comparada ao enrolamento de campo e é o circuito que possui a função de transformar a energia proveniente da fonte em energia cinética. O eixo da armadura é fixado por meio de rolamentos e mancais internos. É através dele que a energia mecânica é transmitida para prover algum trabalho (FITZGERALD; JR; UMANS, 2006).

O Núcleo do rotor construído em lâminas de material ferromagnético, dispostas em camadas conectadas ao eixo. Conforme (CHAPMAN, 2013), as perdas por corrente parasita são perdas devidas ao aquecimento resistivo no núcleo do rotor. E as perdas por histerese estão associadas à ao circuito magnético entre o estator e o rotor. Esses efeitos são indesejáveis, e amenizados pelas lâminas. Este núcleo do rotor contém ranhuras axiais na sua periferia para colocação do enrolamento, condutores de cobre isolados, da armadura do rotor que são ligadas às lâminas do comutador.

2.2.3 Comutador

O comutador, também denominado de coletor, é afixado ao eixo do motor CC sendo todos os segmentos de cobre, individuais isolados entre si e do eixo, eletricamente conectados às bobinas do enrolamento da armadura. Devido à rotação do eixo, providencia o necessário chaveamento para o processo de comutação (FITZGERALD; JR; UMANS, 2006).

2.2.4 Vantagens do Motor CC

Segundo OTTOBONI (2012), os motores de corrente alternada, de forma geral, não desenvolvem potência e torque para diversos tipos de carga. Por outro lado, os motores de corrente contínua atendem a esse requisito de forma mais satisfatória. Os motores CC são largamente empregados, principalmente em condições que exigem maior torque e variação de velocidade. Os pontos fortes do motor CC são a robustez, os níveis bem satisfatórios de velocidades e com grande torque de saída. Por outro lado, os motores CC que possuem escovas a carvão apresentam desgaste e precisam de manutenção constante, apesar desta ser bem simples.

Os motores CA, de forma geral, apresentam menor frequência de manutenção e com a evolução da eletrônica se consegue um bom controle de velocidade. Porém, aplicações onde há necessidade de maior torque são empregados motores CC. Portanto, a escolha do motor está condicionada à aplicação e o tipo de carga de trabalho. No caso particular dessa pesquisa, propõe-se a utilização do motor CC, devido ao sistema de armazenamento e geração de energia, conforme mencionado anteriormente.

A especificação do motor utilizado em um projeto deve ser estimada de acordo com as condições dinâmicas do chassi. Para tanto, segundo Souza (2015) a estrutura em PVC foi

projetada para suportar um peso de 350 kg, dispensando a utilização de sistema de suspensão. Sem o sistema de absorção de impactos, o veículo é projetado para desenvolver baixa velocidade.

2.2.5 Cálculo da Potência Elétrica

A potência elétrica de um motor pode ser expressa em CV (cavalo-vapor), denominação mais comum no Brasil, HP (*Horse Power*), mais comum em países de origem Inglesa, ou em W (Watt). No S.I. (sistema internacional), a unidade de potência é o Watt. Um CV representa o equivalente a $75 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, em que $1 \text{ kg} \cdot \text{m}$, corresponde ao trabalho gasto para alçar uma massa de 1 Kg a uma altura de 1 metro. Um HP é definido como a potência necessária para elevar verticalmente a uma velocidade de $1 \frac{\text{pé}}{\text{min}}$ uma massa de 33.000 libras. Considerando a representação de CV e HP em Watts, tem-se que $1 \text{ CV} = 735,5 \text{ W}$ e $1 \text{ HP} = 745,7 \text{ W}$, de forma que, $1 \text{ CV} = 0,9863 \text{ HP}$, e $1 \text{ HP} = 1,0139 \text{ CV}$.

O cálculo da potência é dada por Braga (2015):

$$Pot = V.I.Ef \quad (2.1)$$

onde Pot é a potência elétrica dada em W (watts), V é a tensão elétrica dada em V (volts), I é a corrente elétrica dada em A (ampères) e Ef. é a eficiência que é uma grandeza adimensional.

Capítulo 3

GERAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

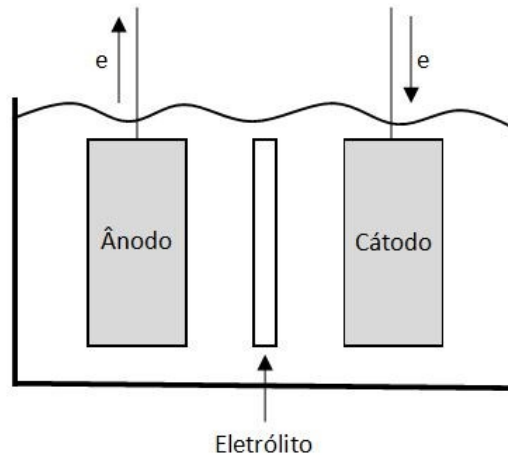
Neste capítulo serão abordados os sistemas de geração e armazenamento de energia elétrica. O painel fotovoltaico que irá prover a geração de energia terá suas características elétricas apresentadas. As baterias serão descritas de modo a fornecer subsídios para a determinação de um modelo que atenda os requisitos do projeto elétrico.

3.1 Baterias

Uma bateria é constituída por células eletroquímicas que podem ser conectadas em série, paralelas ou mistas. As células são basicamente formadas por eletrodos, de polaridades opostas, separados por um eletrólito. Os eletrodos são denominados de acordo com sua polaridade, Ânodo, polaridade positiva e Cátodo, polaridade negativa. Através dos eletrodos que é possível conectarem ao meio externo, onde será fornecida corrente elétrica ao algum dispositivo que interligado ao mesmo. A corrente é produzida através da reação eletroquímica, que transforma a energia química armazenada nos eletrodo sem energia elétrica (PORCIUNCULA, 2012).

No momento do fornecimento de corrente elétrica da bateria para um circuito ou sistema, o ânodo libera elétrons para o circuito e o cátodo recebe elétrons do circuito, sendo que estes elétrons são originados por reações eletroquímicas dentro da bateria, e são chamados de espécies eletroativas (Figura 7). Segundo Rendelucci (2005), eletrólitos são soluções que permitem a passagem dos elétrons, na forma de íons. A quantidade de energia armazenada por uma bateria eletroquímica pode ser obtida pelo produto das grandezas Tensão Elétrica, medida em volts (V) e Capacidade, medida em ampères-hora (Ah) (PORCIUNCULA, 2012).

Figura 7 – O esquema de uma célula eletroquímica.



Fonte: o autor.

3.1.1 Capacidade de armazenamento

A capacidade do armazenamento da bateria especifica a quantidade de carga elétrica de uma bateria pode fornecer antes de estar totalmente descarregada. Em geral, a Capacidade de uma bateria eletroquímica é expressa em de amperes-hora (Ah). Uma bateria com 9Ah, por exemplo, tem a capacidade de fornecer 1A (ampère) durante 9h, ou 3A em 3h e teoricamente 9A durante uma hora. Mas na prática, são observados outros fatores não lineares, durante o processo de descarga de uma bateria, ocorridos nela própria, que afetam diretamente seu tempo de vida útil.

A bateria possui um determinado valor que limita o fornecimento de tensão necessário para um sistema. Se o valor de tensão nos polos da bateria atingir um valor inferior ao valor limite, definido como nível de *cutoff*, a bateria se torna incapaz de fornecer energia ao sistema. Esse efeito acontece quando as reações eletroquímicas são impossibilitadas de ocorrerem. Não significa que a energia da bateria se esgotou, e está descarregada, mas que se encontra indisponível para alimentar o sistema (PORCIUNCULA, 2012).

O tempo de vida de uma bateria é o período que a mesma despende para atingir uma condição onde não ser capaz de fornecer energia elétrica ao sistema. Essa condição e quando a bateria atinge um nível inferior a carga, ou seja, nível de *cutoff*.

3.2 Energia Fotovoltaica

O termo fotovoltaico está inserido em todo um contexto de tecnologias que possibilitam a obtenção da energia elétrica através da incidência da luz solar, e de componentes eletrônicos denominados de células solares. Este efeito já havia sido observado no século XIX por um físico francês, mas as aplicações se tornaram mais importantes nos tempos atuais. O setor de telecomunicações desenvolveu sistemas fotovoltaicos a fim de suprir equipamentos de telecomunicações instalados em locais remotos. Os satélites também foram precursores da utilização dessa tecnologia, devido à corrida espacial iniciada por volta da década de 60 (CABRAL, 2006).

As baterias podem ser carregadas, utilizando pontos específicos de recarga, além de poder aproveitar-se da energia solar disponível no meio ambiente para obtenção de energia elétrica, de modo a atender a maior autonomia do veículo.

Um sistema de recarga de baterias, por energia fotovoltaica, será avaliado nesse trabalho a fim de aproveitar a energia solar disponível e transformá-la em energia elétrica, durante a exposição do veículo à luz solar, nos momentos que estiver em trânsito ou estacionado.

3.2.1 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico de transformação de energia solar em corrente elétrica (GREENPRO, 2004). Este efeito também pode ser observado, e explicado, através do aparecimento de uma diferença de potencial nas extremidades de uma célula solar, estrutura de material semicondutor, após a absorção da luz (CAMACHO; VILEFORT, 2011).

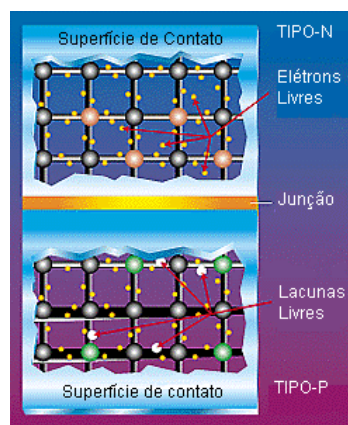
Um dos materiais mais utilizados como semicondutor é o silício. A disponibilidade do elemento Silício na Terra é praticamente ilimitada, apresentando-se na forma associada a areia sílica (GREENPRO, 2004). O silício no seu estado natural possui diversas outros elementos químicos que impede seu funcionamento como semicondutor. Para o silício torna-se um semicondutor, que irão ser aplicados em células solares (silício purificado em grau solar – Si - GS) é necessário realizar um processo de retirada dos elementos indesejáveis, e atingindo teores de 99,9999% pureza. Os silícios com teores de 99,9999999% de pureza são utilizados na indústria de eletrônicos (silício purificado em grau eletrônico – Si-GE) (ESPOSITO; FUCHS, 2013).

Os átomos de silício possuem uma camada de valência com quatro elétrons. Quando os átomos se agrupam formam uma estrutura cristalina e ordenada. A estrutura é composta de união de átomos, cada átomo une-se a quatro outros átomos através de ligações covalentes. Com a influência da luz ou calor, pode ocorrer a quebra das ligações covalentes, podendo então os elétrons, que estão livres, se movimentarem de forma desordenada, surgindo uma lacuna no arranjo cristalino. Este efeito é denominado de auto-condução (GREENPRO, 2004). Por mais que haja essa movimentação dos elétrons, ainda a estrutura não está apta a gerar energia elétrica.

Para que o silício seja aplicado para fins de geração de energia elétrica, deverá ser submetido a processo de dopagem e disposição das placas de silício de forma alternada pelo tipo de dopagem. A dopagem são processos de inserção de “impurezas” na estrutura cristalina do silício, realizada com elementos químicos que possuem na camada externa em seus átomos um elétron a mais (fósforo) ou um a menos (boro), do que o silício na camada externa de valência. O silício dopado com fósforo torna-se um semiconductor do tipo N (Negativo) devido ao seu excesso de elétrons livres, e o silício que foi acrescido o boro torna-se um semiconductor do tipo P (Positivo) devido a possuir um excesso de lacunas (Figura 8) (MALVINO; BATES, 2011).

A união dos semicondutores tipo P e N surge então uma junção PN. Essa estrutura denominada de Célula Solar é composta de material semiconductor como silício, o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. A mais abundante é a célula de silício cristalina, cerca de 95% de todas as células solares do mundo são de silício (GREENPRO, 2004).

Figura 8 – Semiconductor Tipo N e Tipo P e o campo elétrico.

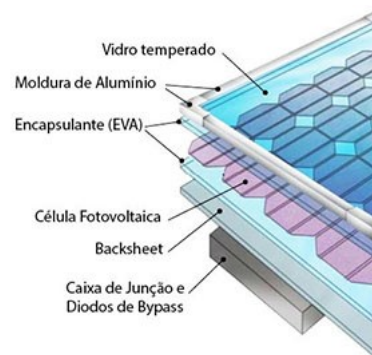


Fonte: (UFPR, 2015).

3.2.2 Módulo Fotovoltaico ou Painel Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é a unidade composta por células, envolvidas por um encapsulamento a fim de protegê-las dos efeitos climáticos, conectadas em série ou paralelo, garantindo o fornecimento de tensão e corrente capaz para a utilização da energia. Antes do processo de encapsulamento, as células são interligadas uma a uma, em série, por tiras de metal soldadas na parte de trás das células e na face frontal da seguinte. A parte frontal, a face que recebe a radiação solar, deve apresentar um baixo índice de refração, resistência à degradação por radiação ultravioleta e boa resistência mecânica. Os lados restantes são cobertos com materiais planos que fornecem proteção para os módulos como mostra a Figura 9. Por último, uma estrutura metálica é instalada, geralmente de alumínio, ou material galvanizado, para auxiliar na fixação do painel.

Figura 9 – Composição de um painel fotovoltaico.



Fonte:(SOLAR, 2015).

3.2.3 Dispositivos Fotovoltaicos Conectados em Série

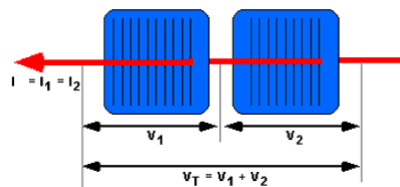
A conexão em série dos dispositivos é realizada unindo o terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro módulo (Figura 10). As tensões são somadas e a corrente se mantém a mesma:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (3.1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (3.2)$$

onde V é tensão total de um dispositivo em volts (V) e I é a corrente do dispositivo, que de acordo com a 2ª Lei de Kirchoff, é a mesma em cada componente série do dispositivo, medida em ampères (A).

Figura 10 – Painel Solar em Série.



Fonte: (VERA, 2004).

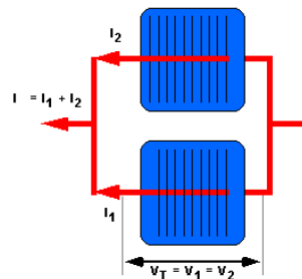
3.2.4 Dispositivos Fotovoltaicos Conectados em Paralelo

Os dispositivos conectados em paralelo são realizados interligando os terminais entre si com a mesma polaridade (Figura 11). Esse arranjo mantém as tensões com valores constantes e as correntes são somadas.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (3.3)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (3.4)$$

Figura 11 – Painel Solar em Paralelo.



Fonte: (VERA, 2004).

3.2.5 Especificações Elétricas de Painel Solar

As especificações elétricas dos painéis fotovoltaicos são primordiais para se dimensionar sistema que irá carregar as baterias do veículo. Para exemplificar o dimensionamento de um painel fotovoltaico, dentro de um projeto elétrico, foi considerado o modelo Kyocera KD135SX-UPU, onde a Tabela 2 apresenta os dados extraídos do *datasheet* deste painel solar.

Tabela 2 – Especificações Elétricas* (KYOCERA).

Máxima potência	135 Wp
Tolerância	±5%
Tensão de Máxima Potência	17,7 V
Corrente de Máxima Potência	7,63 A
Tensão de Circuito Aberto	22,1 V
Corrente de Curto Circuito	8,37 A
Coefficiente de Temperatura da Corrente (Icc)	$5,02 \times 10^{-3} \frac{A}{^{\circ}C}$
Coefficiente de Temperatura da Tensão (Vca)	$-8,0 \times 10^{-2} \frac{V}{^{\circ}C}$

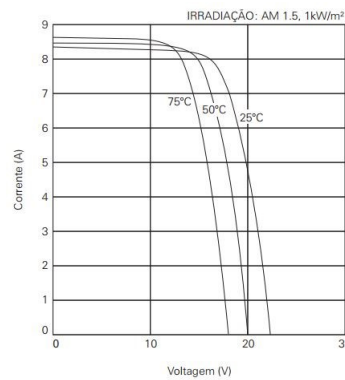
Fonte: (KYOCERA, 2015).

Condições padrões de testes: Irradiação a $1000 \frac{W}{m^2}$ @25°C . Onde, Wp (Watt de pico) é a máxima potência gerada pelo painel solar em uma condições ideais, Wh (Watt hora) é

a potência gerada ou consumida por hora, A_p ou I_p (Ampère de pico) é a corrente máxima possível em uma dada condição especial e A_h ou I_h (Ampère hora) é a corrente máxima obtida ou consumida por hora.

A variação de temperatura é um fator que influencia consideravelmente o desempenho de um painel fotovoltaico. Como exemplo, as curvas características da tensão e corrente do painel Kyocera KD135SX-UPU em três temperaturas diferentes são mostradas na Figura 12. Quanto maior a temperatura menor a tensão do painel, deslocando o ponto de máxima potência para valores inferiores ao nominal, que estão situados em 25°C.

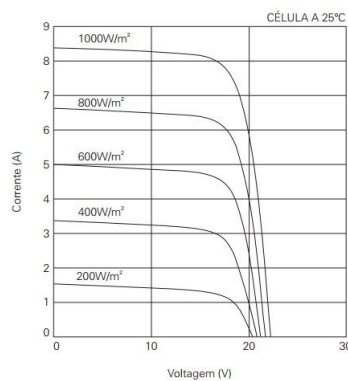
Figura 12 – Características da tensão e corrente em várias temperaturas de células.



Fonte: (KYOCERA, 2015).

A Figura 13 mostra as curvas características da tensão e corrente em diferentes níveis de irradiação @25°C. Segundo (ALMEIDA-LOPES, 2004), irradiação é a densidade de potência em $\frac{Watts}{cm^2}$ óptica do laser. A potência gerada pelo painel é proporcional à irradiação, ou seja, quanto maior a irradiação, maior será a corrente fornecida pelo painel e, consequentemente, maior será a potência gerada.

Figura 13 – Características da tensão e corrente em alguns níveis de irradiação.



Fonte: (KYOCERA, 2015).

Capítulo 4

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Nesse capítulo serão apresentadas as análises sobre o projeto do sistema elétrico a ser acoplada ao veículo de estrutura em PVC.

Inicialmente, definido o tipo de estrutura veicular a compor o projeto, considerando suas especificações construtivas e posicionamento dos motores e baterias, o tipo de motor de corrente contínua foi baseado em aplicações elétricas dos veículos convencionais, elegendo o de melhor custo benefício. O sistema de armazenamento de energia foi escolhido aplicando a matriz de decisão para determinar qual o modelo de bateria a ser empregado no veículo. As baterias são recarregadas através de sistema fotovoltaico, cujo projeto foi estabelecido seguindo as recomendações adequadas a este tipo de geração energética.

O sistema de controle do veículo foi desenhado e simulado no programa de simulação, Proteus®, utilizando microcontroladores PIC e Ponte H para realizar o acionamento com conseqüente movimento dos motores.

4.1 Veículo Tipo Space Frame em Tubos de PVC

O projeto do sistema elétrico tem a finalidade de locomover um veículo com estrutura do tipo *Space Frame*, que é um sistema estrutural do tipo 'gaiola' com característica monobloco, ou seja, suporta todos os componentes do veículo, inclusive os passageiros. O material utilizado na fabricação dessa estrutura é o PVC na forma de tubos e conexões comercialmente usadas na construção civil. O projeto estrutural desse veículo foi proposto na dissertação de mestrado intitulada de 'Desenvolvimento de Estrutura Veicular do tipo *Space Frame* construída com tubos de PVC, (SOUZA, 2015). O veículo é de pequeno porte, comporta até dois ocupantes, com as dimensões apresentadas na Tabela 3.

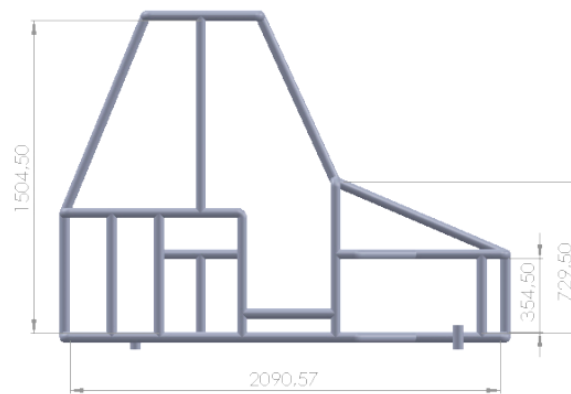
Tabela 3 – Dimensões previstas para a estrutura em PVC.

Compr. Máx.	Largura Máx.	Altura do Solo	Altura do banco	Diâmetro das rodas	a	b	c	d	e
230 - 240	100 - 110	20	40 - 50	43 (golfe)	210 - 220	210 - 220	40 - 45	45 - 50	10° - 20°
F	g	H	i	j	l	m	Largura		
40 - 45	40 - 45	40 - 45	55 - 65	60 - 70	20	0 - 5	100 - 110		

Fonte: (SOUZA, 2015)

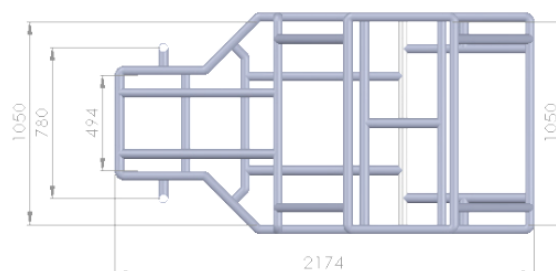
A estrutura tipo *Space Frame* proposto não possui sistemas de suspensão, valendo-se da característica relativamente flexível do PVC. Para não sofrer deformações permanentes, conforme a características dos polímeros, estes não põem estar sob a ação de carregamentos por longos períodos. Deste modo, o veículo é projetado para utilização em pequenas distâncias com baixa velocidade, pequena carga e em locais controlados, em ciclovias, por exemplo, ou para uso em grandes corporações e universidades. As vistas lateral e superior da estrutura são exibidas a seguir (Figura 14 e Figura 15), apresentando as principais dimensões. O estudo levou em consideração o peso referente à composição estrutural, dois ocupantes e o sistema de motorização. Para isso foi considerada uma carga máxima de 1800 N para o veículo.

Figura 14 – Vista lateral estrutura em PVC.



Fonte: (SOUZA, 2015).

Figura 15 – Vista superior estrutura em PVC.

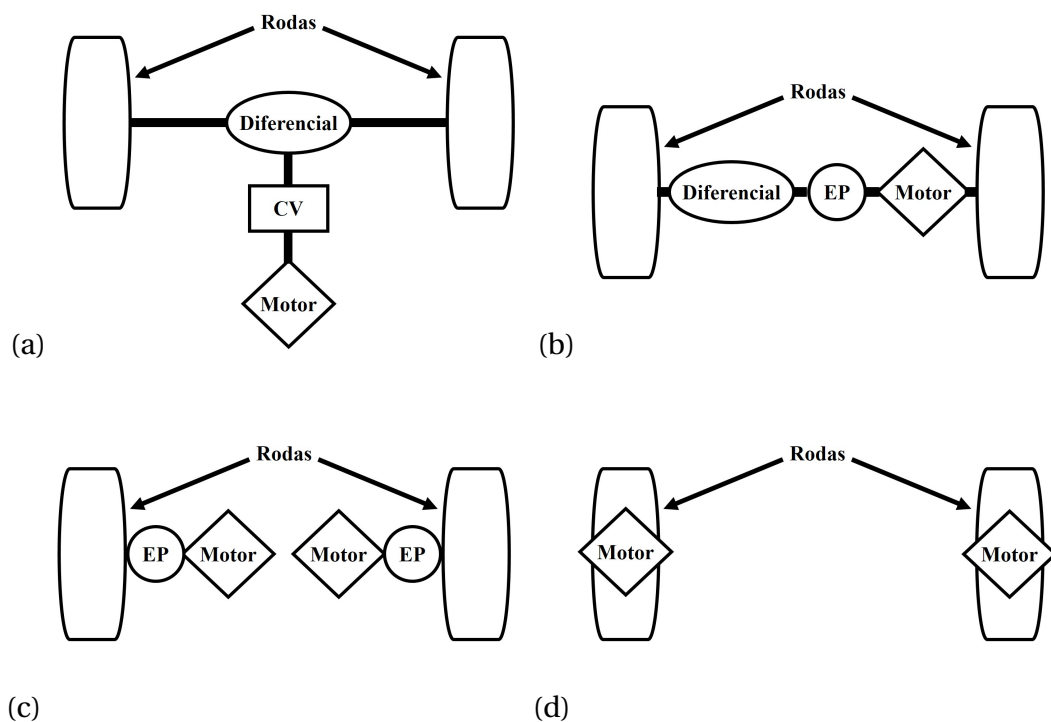


Fonte: (SOUZA, 2015).

4.2 Arranjo do Sistema Propulsor

O local destinado à instalação e o tipo de sistema propulsor foram analisados a fim de atender os requisitos do projeto. Segundo Souza (2015), o projeto estrutural prevê o posicionamento do motor e bateria, na parte frontal do veículo. A partir daí, é necessário dispor das configurações possíveis do sistema motriz. Tem-se basicamente, quatro formas para dispor os elementos responsáveis pelo sistema motriz (*powertrain*), a saber: Motor, Diferencial, Caixa de Redução de Velocidade (CV), Engrenagens Planetárias (EP), conforme apresenta a Figura 16.

Figura 16 – Disposição do *powertrain*.



Fonte: o autor.

Uma vez dispostas as configurações do *powertrain*, sistema de motor e transmissão, seguem as descrições detalhadas de cada um:

- Utilizando-se de um motor elétrico com torque constante para várias velocidades, uma caixa de redução de velocidade e um diferencial acoplado ao eixo das rodas (acoplamento transversal ao eixo).
- Nessa configuração, semelhante à alternativa (a), há a possibilidade de colocar os elementos alinhados. Juntar motor, redução fixa e diferencial em uma montagem em linha, com ambas as pontas de eixo ligadas às rodas, tornando o sistema mais simplificado e compacto.

- (c) Dois motores de tração, um para cada roda, vinculados pela engrenagem planetária, operando em velocidades diferentes. Neste caso, o veículo executa curvas sem necessidade de diferencial.
- (d) Motores *'in-wheel'* (Motores na Roda), funciona como se o motor fosse a própria roda.

Analisando as disposições apresentadas, verifica-se que nas condições (a) e (b) se assemelha muito aos veículos tradicionais que utilizam motores a combustão interna. O diferencial realiza a compensação de velocidade nas rodas acopladas ao eixo durante uma curva, mas se uma das rodas ao perder a aderência ao solo o diferencial irá fornecer a essa roda mais potência. Para que de fato ocorra a compensação de potência nas rodas, utiliza-se o diferencial autoblocante, que fornecerá mais potência à roda que tem aderência (POYDO, 2015). Mesmo com essa implementação o sistema continua complexo, adicionando mais peso e uma perda de energia mecânica, devido ao diferencial, e então não ganho relevante a fatores relacionados à relação peso/potência.

casos (c) e (d) retirou-se o diferencial reduzindo o peso, dos quais o item (c) será escolhido devido à possibilidade acoplamento de motor à roda, ampliando o leque de possibilidades de tipos de motores quem podem ser utilizado. Em oposição ao caso (d) que a roda já é confeccionada no próprio motor, certamente inviabilizando a obtenção do sistema em sucata e onerando o projeto.

4.3 Motorização do Veículo

O arranjo do sistema propulsor é composto por dois motores, de corrente contínua, acoplados às rodas dianteiras (esquerda e direita) do veículo, por um sistema direto de corrente/engrenagem.

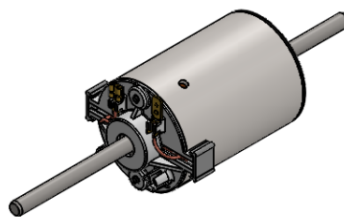
motores elétricos escolhidos são de corrente contínua, devido ao sistema de geração e armazenagem operarem com esse tipo de corrente, e são comumente empregados em veículos convencionais. Em geral, têm função de realizar acionamentos de: Vidros elétricos (Figura 17), Ventoinhas de radiadores (sistema de arrefecimento, Figura 18) e Limpadores de para-brisas (Figura 19). A fonte de alimentação para esses motores é produzida por baterias de chumbo-ácido com tensão de 12V ou 24V. Estes elementos foram selecionados como elemento de estudo, devido à sua disponibilidade e direta aplicabilidade.

Figura 17 – Motor Elétrico acionador de Vidro Elétrico.



Fonte:(BOSH, 2015).

Figura 18 – Motor de Ventoinha de Radiador.



Fonte:(IMOBRA, 2015).

Figura 19 – Motor de Limpador de para-brisa.



Fonte:(BOSH, 2015).

Os motores apresentam especificações importantes a serem analisadas como: tensão de operação, torque, custo, potência, dentre outros. Um dos norteadores dessa pesquisa é o baixo custo, conseqüentemente, deve ser avaliada a relação custo benefício. Uma forma de medir o custo benefício é relacionar o valor do custo e o torque, por meio de uma relação custo/torque (RCT), para cada motor em estudo, utilizando a Eq. 4.1.

$$RCT = \frac{\text{custo}[\text{R\$}]}{\text{torque}[\text{N.m}]} \quad (4.1)$$

A Tabela 4, traz as relações para 3 tipos de motores analisados.

Tabela 4 – Análise do modelo do motor pela relação custo / torque.

Modelo do motor	Tensão (V)	Torque (N.m)	custo (R\$)	RCT (R\$/N.m)
Limpador de para-brisa (WSM3-IK)	24	6	200,00	33,30
Vidro Elétrico (FPGEVO)	12	1	100,00	100,00
Ventoinha de Radiador (101104824)	27	0,2	250,00	1.250,00

Fonte: o autor

Nestas condições, o modelo de motor utilizado no Limpador de para-brisa apresentou a melhor relação custo benefício (RCT), ou seja, enquanto o limpador de para-brisa tem um custo de R\$33,30 por unidade de torque, enquanto o modelo de motor de Ventoinha de radiador apresenta R\$1.250,00 por unidade de torque.

Outro parâmetro relevante é o valor absoluto do torque, uma vez que o maior valor pode levar mais carga por metro (N.m). Também neste quesito, se confirma que o motor de Limpador de para-brisa é mais adequado em relação aos demais, pois apresenta o maior valor de torque (N.m) absoluto.

4.4 Determinação da Bateria

O sistema elétrico prevê a geração energética por meio de sistemas fotovoltaicos, porém seu funcionamento é associado à exposição de luz solar. Em situações que não há a presença de luz, é necessária a utilização de acumuladores de carga, as baterias. Serão utilizadas baterias de chumbo-ácido, pois segundo [Garrido \(2010\)](#), são os modelos mais empregados em sistemas fotovoltaicos devidos ao seu baixo custo e nível de desempenho.

Foram levantadas informações referentes a 34 modelos diferentes de baterias, cuja capacidade de armazenagem varia de 36 Ah até 70 Ah. Os valores de cada bateria foram orçados em três estabelecimentos especializados no setor, e posteriormente aplicou-se a média aritmética desses três valores, com um custo variando de R\$125,00 a R\$418,97.

Para auxiliar na escolha da bateria, considerando as características mais importantes ao projeto, é empregada uma matriz de decisão. Deve ser levado em conta o baixo custo, além dos quesitos capacidade de armazenamento e manutenção, os quais também são importantes para que o sistema funcione adequadamente. Deve-se ressaltar que existem baterias isentas de manutenção, de acordo com sua característica construtiva, selada ou não selada.

Para tanto se faz necessário à utilização de uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão, onde foram considerados os seguintes critérios:

- Capacidade de armazenamento de energia em Ampére-hora;
- Custo de manutenção; e
- Custo de aquisição.

Também foram atribuídas notas de acordo com regras que delimitam as características intrínsecas de cada critério, conforme:

- i. Insatisfatória, nota 0;
- ii. Pouco satisfatória, nota 1;
- iii. Satisfatória, nota 2;
- iv. Muito satisfatória, nota 3.

Assim, essas notas são atribuídas a cada critério, conforme descrito a seguir:

- **Capacidade de Armazenamento de Carga (Ah):**

dividida em 04 faixas conforme,

- 30 Ah a 40 Ah nota 0;
- 41 Ah a 50 Ah nota 1;
- 51 Ah a 60 Ah nota 2; e
- 61 Ah a 70 Ah nota 3.

- **Manutenção:**

- sem manutenção nota 3;
- com manutenção nota 0.

- **Custo de aquisição:**

dividida em faixa de valores médios (R\$70,00) conforme,

- R\$120,00 a R\$192,00 nota 3;
- R\$193,00 a R\$2652,00 nota 2;
- R\$266,00 a R\$338,00 nota 1; e
- R\$339,00 a R\$411,00 nota 0.

Após a definição das notas em cada critério, é necessário atribuir o impacto que cada um destes critérios tem no projeto. Os pesos foram definidos, conforme Tabela 5:

Tabela 5 – Atribuição dos pesos aos critérios da bateria.

Critério	Peso
Manutenção	1
Capacidade	2
Custo	3

Fontes: o autor

O custo de aquisição da bateria obteve maior peso devido fator baixo custo, foco desse estudo, quanto menor o custo maior é o peso, a capacidade apresenta uma importância intermediária, pois impacta na autonomia do veículo e a manutenção apresenta o menor impacto, sendo que o custo para reposição de água destilada, nos modelos de baterias carentes de manutenção é relativamente baixo.

Nestas condições foi aplicada a matriz de decisão, cujas notas foram atribuídas a cada critério de acordo com as especificações de cada modelo de bateria, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Definição do modelo da bateria através da Matriz de Decisão

Bateria	Capacidade	Manutenção	Custo	Capacidade*2	Manutenção*1	Custo*3	Total
B2	1	3	1	2	3	3	8
B3	1	3	1	2	3	3	8
B8	1	3	1	2	3	3	8
B9	1	3	1	2	3	3	8
B1	3	3	0	6	3	0	9
B4	3	3	0	6	3	0	9
B10	0	3	2	0	3	6	9
B17	0	3	2	0	3	6	9
B18	0	3	2	0	3	6	9
B20	0	3	2	0	3	6	9
B29	0	0	3	0	0	9	9
B5	2	3	1	4	3	3	10
B6	2	3	1	4	3	3	10
B7	2	3	1	4	3	3	10
B11	2	3	1	4	3	3	10
B12	2	3	1	4	3	3	10
B13	1	3	2	2	3	6	11
B14	1	3	2	2	3	6	11
B15	1	3	2	2	3	6	11
B16	3	3	1	6	3	3	12
B24	0	3	3	0	3	9	12
B28	0	3	3	0	3	9	12
B33	0	3	3	0	3	9	12
B19	2	3	2	4	3	6	13
B21	2	3	2	4	3	6	13
B22	2	3	2	4	3	6	13
B27	2	0	3	4	0	9	13
B32	1	3	3	2	3	9	14
B31	1	3	3	2	3	9	14
B25	1	3	3	2	3	9	14
B26	1	3	3	2	3	9	14
B34	1	3	3	2	3	9	14
B23	2	3	3	4	3	9	16
B30	2	3	3	4	3	9	16

Fonte: o autor

Ali pode-se observar que os modelos B23 e B30 apresentaram a maior pontuação (16), seguidas pelas baterias B25, B26, B31, B32 e B34, com 14 pontos. Dentre essas, o modelo de bateria B30 foi escolhido devido à maior capacidade de armazenamento de carga, 60 Ah, e o menor custo, R\$211,41 (Tabela 7). Foram analisadas 34 baterias, cujas marcas e custos médios são apresentados no Anexo A.

Tabela 7 – Comparativo entre os modelos de maior pontuação.

Bateria	Fabricante	Modelo	Capacidade (Ah)	Livre de Manutenção	Média (R\$)
B23	ZETTA	Z2	60	Sim	232,63
B30	ELETRAN	60P	60	Sim	211,41
B32	DURALIGHT	DL250	50	Sim	198,00
B31	ELETRAN	47P	47	Sim	179,91
B25	HERBO	HF45NSV	45	Sim	212,45
B26	CRAL	CL45V	45	Sim	203,13
B34	REIFOR	RP45VKS	45	Sim	175,41

Fonte: o autor

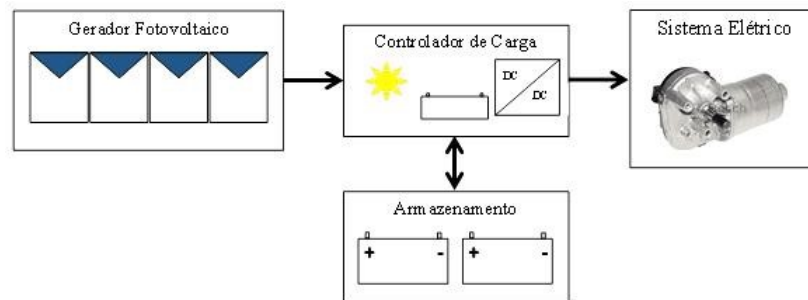
4.5 Projeto do Sistema Fotovoltaico

A função do sistema fotovoltaico é gerar a energia elétrica durante período de exposição ao sol, repondo a energia que foi consumida pelo veículo. O armazenamento energético será realizado por baterias de chumbo-ácido.

Segundo PINHO e GALDINO (2014), o projeto de um sistema fotovoltaico leva em considerações os fatores: orientação dos módulos, recurso solar, demanda de energia dentre outros fatores. É importante salientar que o sistema fotovoltaico é isolado (SFi) da rede elétrica. A energia fornecida é exclusivamente do painel fotovoltaico, para tanto, é de fundamental importância estimar com relativa precisão, a demanda energética.

O projeto do sistema fotovoltaico segue determinadas etapas evolução, apresentadas no diagrama de blocos, exibido na Figura 20.

Figura 20 – Diagrama em blocos Sistema Fotovoltaico isolado.



Fonte: o autor.

Cada estrutura possui uma determinada função, detalhadas conforme abaixo:

- Gerador Fotovoltaico: fornece energia elétrica a partir da energia solar;
- Controlador de Carga: a partir da energia disponível oriunda dos módulos fotovoltaicos, o controlador regula a tensão necessária para recarga das baterias e para o suprimento do sistema elétrico, de acordo com a demanda de cada um;
- Armazenamento: o banco de baterias recebe a tensão regulada pelo controlador, de forma a armazenar a energia. De acordo com a demanda do sistema elétrico fornece a energia previamente armazenada.

Para sequenciamento das etapas, ou fases do projeto, segundo PINHO e GALDINO (2014), recomendam seguir um roteiro, de modo que se obtenha êxito no projeto final, conforme:

1. Definir, de forma adequada o recurso solar disponível na região em que será aplicado o sistema elétrico;
2. Calcular a demanda e consumo de energia elétrica;
3. Dimensionar o sistema gerador fotovoltaico;
4. Dimensionar o controlador de carga;
5. Dimensionar o sistema de armazenamento;

4.5.1 Análise do recurso solar

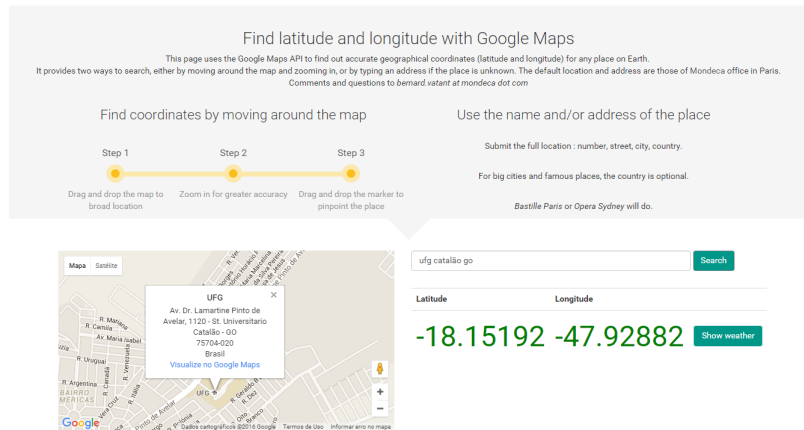
Nesta etapa do projeto, mede-se a quantidade da radiação solar incidente sobre os módulos fotovoltaicos. Esse valor depende de fatores sazonais, ou seja, dependendo da época do ano, estação climática, e local geográfico, produzindo variações na incidência da radiação solar durante o ano. A forma mais comum de expressar as informações referentes à radiação solar é através de valores médios mensais para a energia acumulada ao longo do dia (PINHO; GALDINO, 2014). A unidade que representa os valores da radiação solar, utilizados nesta pesquisa é dada em KWh/m².

O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (PINHO; GALDINO, 2014), disponibiliza o programa SunData, que fornece valores de radiação solar de acordo com as coordenadas geográficas, Latitude e Longitude, do local onde se almeja obter esses valores. O SunData é baseado em diversas fontes de dados, dentre elas estão (CRESESB/CEPEL, 2015):

1. SIEMENS
2. GRUNDFOS
3. CENSOLAR, 1993. Valores Medios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal - Centro de Estudios de la Energia Solar. Sevilla.
4. Duffie, John A., Beckman, William A., 2006. Solar Engineering of Thermal Processes. ISBN: 978-0-471-69867-8, 3 ed. John Wiley and Sons, New York, USA, 928 p..
5. Guimarães, Ana P. C., 1995. Estudo Solarimétrico com base na definição de mês padrão e sequência de radiação diária. Dissertação de M.Sc., Departamento do Engenharia Mecânica, EE/UFMG, Rio de Janeiro, Brasil.

O local do estudo desta pesquisa concentra-se na Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão – GO, e com a finalidade de encontrar as coordenadas geográficas, Latitude e Longitude, utilizou-se do site mondeca.com, que se baseia nas informações do Google Maps. Ao localizar o endereço pretendido no mapa, são obtidas as coordenadas geográficas (Figura 21).

Figura 21 – Levantamento de Coordenada Geográfica.



Fonte: (MONDECA, 2015).

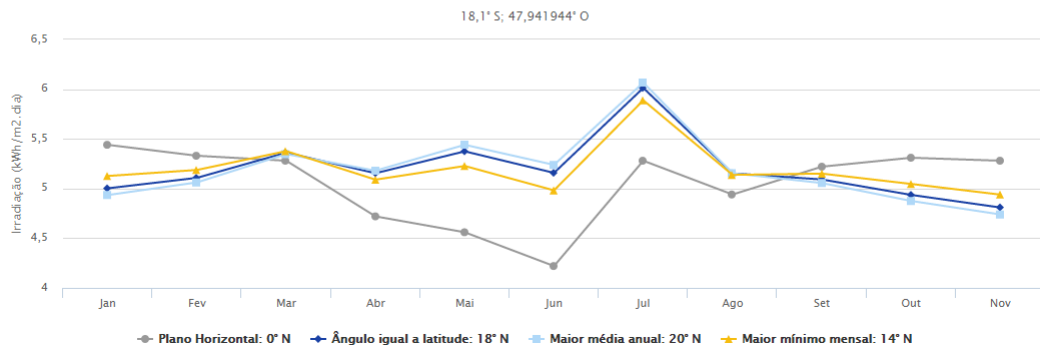
Em posse dessas informações, Latitude $18,15192^{\circ} S$ e Longitude $47,92882^{\circ} O$, as mesmas foram utilizadas na ferramenta SunData, disponibilizada pelo site CRESESB, que fornece as radiações solares em valores de KWh/m^2 , de acordo com o ângulo e inclinação Figura 22.

Figura 22 – Irradiação Solar Plano inclinado Catalão.

Estação: Catalao
Município: Catalão , GO - BRA
Latitude: 18,1° S
Longitude: 47,941944° O
Distância do ponto de ref. (18,15192° S; 47,92882° O): 5,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	5,44	5,33	5,28	4,72	4,56	4,22	4,72	5,28	4,94	5,22	5,31	5,28	5,03	1,22
✓	Ângulo igual a latitude	18° N	5,00	5,11	5,36	5,15	5,37	5,16	5,73	6,01	5,15	5,09	4,94	4,81	5,24	1,20
✓	Maior média anual	20° N	4,93	5,06	5,35	5,18	5,44	5,24	5,82	6,07	5,15	5,06	4,88	4,74	5,24	1,33
✓	Maior mínimo mensal	14° N	5,13	5,19	5,38	5,09	5,23	4,98	5,54	5,89	5,14	5,15	5,05	4,94	5,22	,95

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Catalão–Catalão, GO-BRA



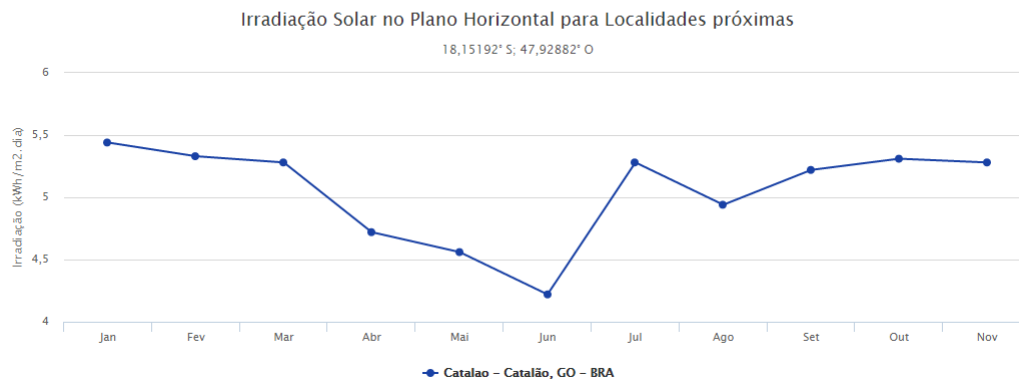
Fonte: (CRESESB/CEPEL, 2015).

O ângulo atribuído ao projeto é de $0^\circ N$, ou seja, plano horizontal, uma vez que os módulos solares estarão fixados na parte superior do veículo, em paralelo ao solo. Foi considerado o valor de irradiação solar média de menor valor, $4,22 \text{ KWh}/\text{m}^2$ (Figura 23). Esta escolha é devida ao fato que o SFi atenderá a recarga nesse período do ano, considerado o pior caso, de acordo com as definições do projeto. Desta forma, não haverá prejuízos devido a questões sazonais, ao passo que em épocas de maior incidência o SFi terá maior rendimento, levando menor tempo para recarregar as baterias.

Figura 23 – Irradiação Solar no Plano Horizontal Catalão.

Latitude: 18,15192° S
Longitude: 47,92882° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [KWh/m ² .dia]												Média	Delta				
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set			Out	Nov	Dez	
✓	Catalao	Catalão	GO	BRA	18,1° S	47,941944° O		5,9	5,44	5,33	5,28	4,72	4,56	4,22	4,72	5,28	4,94	5,22	5,31	5,28	5,03	1,22
	Ipameri	Ipameri	GO	BRA	17,7° S	48,159722° O		55,9	5,25	5,56	5,44	4,50	4,19	4,61	4,72	5,06	4,75	5,42	5,08	5,25	4,99	1,37
	Monte Alegre de Minas	Monte Alegre de Minas	MG	BRA	18,8° S	48,880833° O		123,7	5,25	4,92	5,31	4,83	4,47	3,94	4,36	4,94	5,08	5,19	6,11	5,42	4,99	2,17



4.5.2 Horas de pleno Sol

Uma forma de estimar o valor acumulado de energia solar ao longo do dia é Horas de Pleno Sol (HSP). O HSP informa o número de horas em que a radiância solar deve permanecer constante e igual a $1 \text{ KW}/\text{m}^2$ ($1.000\text{W}/\text{m}^2$), sendo que essa energia equivale à energia fornecida pelo Sol naquela região, acumulada durante o dia.

Para obter o HSP para o projeto em questão, divide-se o valor de irradiação $4,22 \text{ KWh}/\text{m}^2$ (Figura 23) pela constante $1 \text{ KW}/\text{m}^2$, conforme Eq. 4.2:

$$HSP = \frac{(4,22[\text{KW}/(\text{m}^2 * \text{dia})])}{(1[\text{KW}/\text{m}^2])} = 4,22[\text{h}/\text{dia}] \quad (4.2)$$

4.5.3 Levantamento da demanda de carga

No caso de SFi, deve-se considerar que o sistema deve gerar mais energia do que o limite estabelecido pelo consumo. Considera-se um período de tempo e a geração de energia elétrica neste período deve ser maior do que a demanda elétrica nesse mesmo período, repetindo-se em ciclos subsequentes.

A demanda de energia é determinada através da soma das energias consumidas por cada elemento ou conjunto do sistema elétrico, e a quantidade de tempo diário que equipamento ficou ligado.

Neste projeto é considerado que todos os equipamentos ficarão ligados ao mesmo tempo, simulando uma situação de pico de consumo, pois os motores podem variar seu consumo devido ao controle de velocidade, mas haverá uma relativa folga no consumo.

Uma vez que o veículo é projetado para trafegar por vias controladas, em baixas velocidades e curtas distâncias (SOUZA, 2015), considera-se que o veículo irá funcionar diariamente por um período médio de 2 horas.

Os motores são os componentes que mais consomem energia no circuito, segundo dados do fabricante, cada um apresenta potência de 35W (Tabela 8). Pode-se desprezar o consumo do sistema de controle, uma vez que o mesmo está sendo avaliado em simulação. Uma maior precisão deverá ser obtida numa montagem real do circuito, para testes experimentais de funcionamento. A quantidade de energia consumida diariamente é exibida na tabela 8.

Tabela 8 – Cálculo de demanda de carga Lcc.

Dispositivo consumidor	Quantidade	Potência (W)	Tempo ligado (h/dia)	Potência Lcc (W)
Motor direito	1	35	2	1*35*2 = 70
Motor esquerdo	1	35	2	1*35*2 = 70
Consumo Total (Wh/dia)				140

Fonte: o autor

4.5.4 Dimensionamento da Geração do módulo fotovoltaico

Para o cálculo da energia ativa necessária diária (L) é considerado a soma do tipo de carga para um sistema em corrente alternada e em corrente contínua (PINHO; GALDINO, 2014).

$$L = \left(\frac{L_{cc}}{\eta_{bat}} \right) + \left(\frac{L_{ca}}{\eta_{bat} * \eta_{inv}} \right) \quad (4.3)$$

onde L_{cc} (Wh/dia) é a quantidade de energia consumida diariamente em corrente contínua; η_{bat} (%) é o percentual de eficiência global da bateria; L_{ca} (Wh/dia) é a quantidade de energia consumida diariamente em corrente alternada e η_{inv} (%) é o percentual de eficiência do inversor. O projeto considera aqui, apenas carga com alimentação em corrente contínua, desprezando a parte do cálculo em corrente alternada. Uma vez obtido o valor de L_{cc} (Tabela 8). O valor da eficiência global da bateria é de 86%, conforme a sugerido por PINHO e GALDINO (2014). Assim, da Eq. 4.3, obtém-se o valor:

$$L = \frac{140}{0,86} = 162,80(Wh/dia) \quad (4.4)$$

A potência do painel fotovoltaico (P_m) será correspondente ao valor do mês de pior radiação. Como já foi calculado o valor de HSP (Eq. 4.2), considerando o valor crítico de radiação, é utilizada a fórmula para o cálculo de P_m dado em watts, que deve ser equiparado ao valor do painel fotovoltaico:

$$P_m = \frac{L}{HSP * Red} \quad (4.5)$$

onde P_m é a potência do painel fotovoltaico; L (Wh/dia) é a quantidade de energia consumida diariamente; Red (%) é o percentual de fator de redução da potência (*derating*) dos módulos fotovoltaicos, devido a perdas no sistema (fiação, controlador, diodos, dentre outros). (PINHO; GALDINO, 2014) sugerem o valor de 0,9 para Red . Aplicando estes valores, a potência do painel fotovoltaico é dada por:

$$P_m = \frac{140}{4,22 * 0.9} = 42,86W \quad (4.6)$$

4.5.5 Dimensionamento Painel Fotovoltaico

Deve-se selecionar os painéis cuja potência seja igual ou maior à calculada. Para tanto, a potência calculada ($P_m = 42,86W$), possui um valor aproximado para 50W.

Considerada a tensão de alimentação do sistema (V_{sis}) foi adotado o painel solar KM50 KOMAES, que atende o projeto com as especificações (Tabela 9):

Tabela 9 – Especificações Painel Solar 50W 12Vcc KM50 KOMAES

Potência de pico	50W
Tensão de Máxima Potência	17,74 V
Corrente de Máxima Potência	2,84 A
Tensão de Circuito Aberto	21,56V
Corrente de Curto Circuito	3,04A

Fonte: (KOMAES, 2015) adaptado pelo autor.

Conforme (PINHO; GALDINO, 2014), a determinação do número de módulos em série (N_{ms}), em sistemas utilizando controlador de carga, leva em consideração a (V_{sis}) e a tensão de máxima potência dos módulos (V_{mpTmax}) (Tabela 9).

O módulo fotovoltaico deve carregar o banco de baterias a uma tensão 20% superior à nominal. Para tanto, é considerado o coeficiente 1,2 na Eq. 4.7.

$$N_{ms} = \frac{1,2 * V_{sis}}{V_{mpTmax}} \quad (4.7)$$

onde N_{ms} é o número de painéis em série; V_{sis} é a tensão do sistema; V_{mpTmax} é a tensão de máxima potência. Com os valores da Tabela 9 na Eq. 4.8:

$$N_{ms} = \frac{1,2 * 24}{17,74} = 1,62 \quad (4.8)$$

Deve ser arredondado o valor para cima, desde que não ultrapasse 0,5. Neste caso, o número de painéis em série será $N_{ms} = 2$ painéis.

O cálculo de corrente gerada pelo painel, na condição de máxima potência (I_m), será o valor mínimo que o painel deverá fornecer, a partir do valor de potência, conforme:

$$I_m = \frac{P_m}{V_{sis}} \quad (4.9)$$

onde I_m (A) é corrente da carga; P_m (Wp) é o potencia do painel fotovoltaico e V_{sis} (V) é a tensão nominal do sistema (a mesma do banco de baterias). Aplicando os valores de $P_m = 42,86W$ e $V_{sis} = 24V$ em (4.9) tem-se:

$$I_m = \frac{42,86}{24} = 1,79A \quad (4.10)$$

Conhecido o valor mínimo de corrente para carga (I_m), encontra-se o número de módulos fotovoltaicos a serem conectados em paralelo (N_{mp}). Pois conforme descrito no capítulo 3.2.3, as correntes se somam quando há módulos em paralelo. Esse cálculo verifica a quantidade de módulos, em paralelo, necessária para drenar a mínima corrente de carga:

$$N_{mp} = \frac{i_m}{i_{mp}} \quad (4.11)$$

onde N_{mp} é o número de módulos em paralelo; I_m (Ap) é a corrente mínima de carga e I_{mp} (A) é a corrente de máxima potência do módulo fotovoltaico.

Através dos dados do painel KRPF-30P Kript (Tabela ??), o valor da corrente é $I_{mp} = 1,25$ A, e encontra-se o número de painéis em paralelo:

$$N_{mp} = \frac{1,79}{1,25} = 1,43 \quad (4.12)$$

O valor obtido da equação deve ser arredondado para acima, respeitando o valor máximo do arredondamento de 0,5. Caso contrário, a orientação é escolher um novo painel para compor o sistema, evitando o sobre dimensionamento (PINHO; GALDINO, 2014). Assim, têm-se um painel em paralelo, e conseqüentemente, será necessária a aplicação de apenas dois painéis em série, cuja a corrente de dreno atende o projeto.

4.5.6 Dimensionamento do Controlador de Carga

O dimensionamento do controlador de carga deve respeitar os limites máximos relacionados à tensão do sistema e os valores de corrente, que podem atingir níveis prejudiciais ao sistema.

Para que não haja problemas no dimensionamento, a corrente máxima do controlador é o valor de corrente em curto circuito (ISC) do módulo, vezes o número de módulos em paralelo. A Equação 11 fica estabelecida da seguinte forma:

$$I_c = 1,25 * N_{mp} * ISC \quad (4.13)$$

onde I_c é a corrente do controlador; N_{mp} é o número de módulo em paralelo e ISC é a corrente de curto circuito do painel (Tabela 10). Então,

$$I_c = 1,25 * 1 * 3,04 = 3,08A \quad (4.14)$$

O modelo de controlador de carga é o BSV20A (Figura 24), cujas especificações (Tabela 10) atende os valores encontrados.

Tabela 10 – Especificações Controlador de Carga BSV20A

Voltagem DC	12V / 24V
Corrente de Carga Máxima	10mA
A proteção da tensão Sobrecarga	14,4V/28,8V
Over discharge	10,8V/21,6V
Temperatura de operação:	-20°C a +50°C
Max.tensão de operação	25V/36V

Nota: Over discharge é o efeito semelhante ao cutoff, mencionado no capítulo 3.1.1.

Fonte: (KOMAES, 2015) adaptado pelo autor.

Figura 24 – Controlador de carga BSV20A.



Fonte: (MERCADOLIVRE, 2015).

4.5.7 Dimensionamento do banco de baterias

Para dimensionar o banco de baterias que compõe o sistema elétrico, é necessário conhecer o valor máximo de L_{cc} (Wh/dia), o número de dias de autonomia, N , e a profundidade de descarga, P_d . O valor de L_{cc} é de 140Wh/dia (Tabela 8), N varia de 2 a 4 dias, não podendo ser inferior a 2, segundo PINHO e GALDINO (2014). Será considerado então, $N = 3$ dias, um valor intermediário.

A profundidade de descarga, P_d , é um parâmetro utilizado pelos fabricantes para estimar a vida útil da bateria em relação aos ciclos de recarga. São estabelecidos pelo fabricante, mas também são estabelecidos valores típicos, para baterias de ciclo raso são entre 20 e 40 % e, para as de ciclo profundo, de 50 a 80 % (PINHO; GALDINO, 2014).

$$CB1(Wh) = \frac{L_{cc} * N}{P_d} \quad (4.15)$$

$$CB2(Ah) = \frac{CB1}{V_{sis}} \quad (4.16)$$

onde CB1 é a capacidade do banco de baterias em Wh para um regime de descarga em 20 horas; CB2 é a capacidade em Ah, nesse mesmo período; N é o número de dias de autonomia; P_d é a profundidade de descarga e V_{sis} é a tensão de alimentação do sistema.

Segundo as orientações de PINHO e GALDINO (2014), N varia de 2 a 4, não sendo inferior a 2, $P_d = 40\%$, aplicando as fórmulas:

$$CB1 = \frac{140 * 3}{0,4} = 1050Wh \quad (4.17)$$

$$CB2 = \frac{1050}{24} = 43,75Ah \quad (4.18)$$

Para encontrar o número de baterias em série (N_{bs}) e em paralelo (N_{bp}) aplicam-se:

$$N_{bs} = \frac{V_{sis}}{V_{bat}} \quad (4.19)$$

$$N_{bp} = \frac{CB_s}{CB_c} \quad (4.20)$$

onde V_{sis} (V) é a tensão do sistema, V_{bat} (V) é a tensão da bateria, CB_s é a capacidade da bateria selecionada em (Ah) e CB_c é a capacidade em Ah calculados em regime de descarga. Com os valores nas equações (4.21) e (4.22) tem-se:

$$N_{bs} = \frac{24}{12} = 2 \quad (4.21)$$

$$N_{bp} = \frac{60}{43,75} = 1,37 \quad (4.22)$$

Considerando os valores encontrados para N_{bs} e N_{bp} , é preciso um banco com 2 baterias em série, pois o valor de baterias em paralelo não poderá ser arredondado para cima, pois seu valor excede 0,50.

4.5.8 Especificação Final de Projeto

Após as diversas análises de cada etapa do projeto, são apresentados os elementos a serem empregados no sistema elétrico. Vale ressaltar que o sistema de controle foi avaliado por simulação, devendo ser levada em conta a precisão da aplicação dos componentes, e com isso não são incluídos na planilha de custo. O projeto visa análise de um sistema elétrico, proposta como protótipo inicial, de modo que os custos de instalação e manutenção serão desconsiderados não contribuindo, neste momento, com o custo total.

A Tabela 11 apresenta os itens e respectivos custos, sugeridos para aplicação no projeto.

Tabela 11 – Descrição dos materiais recomendado no projeto com os custos.

Materiais	Valor unitário (R\$)	Subtotal (R\$)
02 Baterias ELETRAN 60	211,41	422,82
02 Motores WSM3-IK	200,00	400,00
02 Painéis Fotovoltaico 50W Komoes	414,00	828,00
Controlador de Carga BSV20A	80,00	80,00
Total		1.730,00

Fonte: o autor.

4.5.9 Sistema de Controle

Esse sistema é constituído por um Microcontrolador PIC16F876A, fabricante Microchip®, destinado a responder aos comandos realizados pelo motorista do veículo. Para seu funcionamento, o circuito será composto de duas Pontes – H, formada por Transistores BC548 e relés, Transistores MOSFET modelo IRF540 que fará o controle de potência através de sinais PWM (*Pulse Width Modulation*), modulação de largura de pulso, e por quatro botões que farão o acionamento do veículo. Através dessa modulação, realizada pelo PIC, controla a tensão média que alimenta os motores, nos movimentos em curva. O veículo em movimento retilíneo, frente ou ré, as tensões mantém em 24V em cada motor, para realização de curvas a tensão diminui gradativamente para 12V para o motor do lado do movimento, esquerda ou direita. Na sequência foi realizada uma simulação para obter uma análise do funcionamento do circuito.

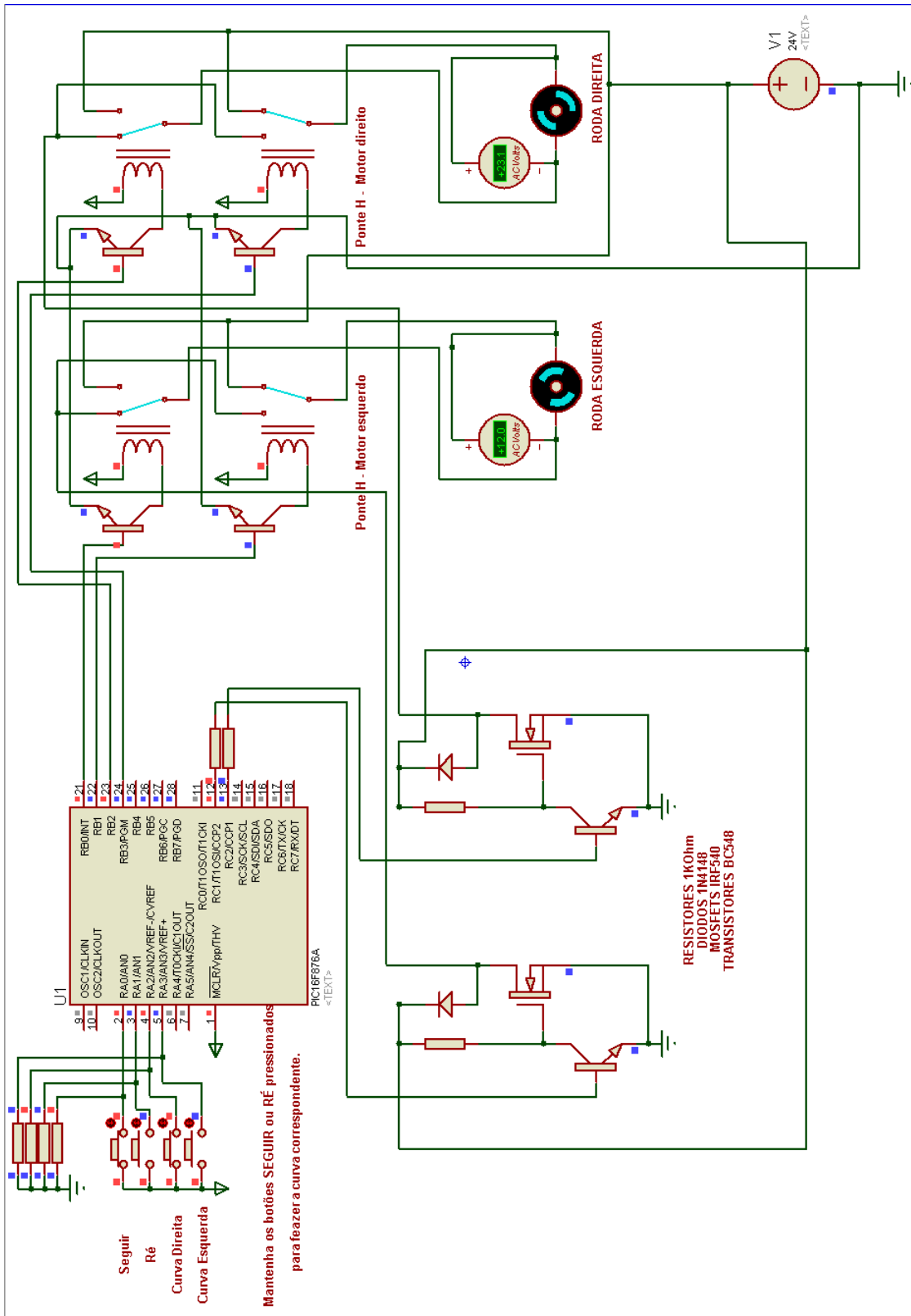
O circuito (Figura 25) foi desenvolvido em um programa de simulação, Proteus® versão 7.0, que permitiu realizar os acionamentos dos motores dos veículos

. Os comandos de acionamento dos motores são realizados através de botões, nomeados de acordo com o movimento. Ao pressionar as chaves, que estão interligadas aos pinos de entrada do microcontrolador PIC, o estado muda de 0V para 5V. Com isso o PIC realiza alguma ação pertinente ao que foi estabelecido no programa, desenvolvido em linguagem C.

Para o melhor entendimento dos acionamentos, é descrito o funcionamento de acordo com o movimento:

- **Seguir em frente:** botão **Seguir** pressionado, demais botões desligados
- **Ré:** botão **Ré** pressionado, demais botões desligados.
- **Freio (desliga os motores):** botões **Seguir** e **Ré** pressionados, simultaneamente, independente da ordem e do estado dos outros botões.
- **Curvas:** para realizar a curva o botão **Seguir** ou **Ré** deverão estar pressionados primeiro, e então acione o botão correspondente ao movimento desejado, de forma independente, Curva a direita ou Curva a Esquerda, caso ambos sejam pressionados o veículo continuará o movimento retilíneo, segue em frente ou Ré, dependendo da ação inicial.

Figura 25 – Circuito Esquemático do Sistema de Controle - Proteus®.



Fonte: Proteus® adaptado pelo autor.

Capítulo 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É indiscutível o papel que os meios de transportes influenciam na vida das pessoas. Contudo, os meios utilizados para transportes, em geral, são ineficientes quanto ao potencial energético, uma vez que efetivamente aproveitam baixo percentual da energia consumida. Em paralelo, afetam de forma negativa o meio ambiente por meio da emissão de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa.

Este estudo colabora na busca pela redução dos impactos financeiros e ecológicos, apresentando uma proposta de sistema propulsor elétrico de baixo custo, alimentado por fonte fotovoltaica a ser instalado em um veículo de estrutura em PVC (Policloreto de Vinila).

Foi proposta a utilização de um sistema de energia renovável por meio de placas fotovoltaicas, cuja energia gerada é armazenada em baterias de chumbo-ácido, comumente utilizadas em veículos à combustão.

Este sistema fotovoltaico, aplicado a veículos com estrutura de PVC pode trazer sensíveis benefícios para o transporte. Um veículo que utiliza de uma fonte de energia renovável, que não agride diretamente o meio ambiente, é uma vertente de desenvolvimento para produção de veículos de baixo custo. Utilizar a energia solar, através de painéis fotovoltaicos, como fonte de propulsão para o veículo, traz economia e independência, ao passo que ainda é uma fonte de energia inexplorada, com várias vertentes ainda a serem avaliadas.

Na sequência foi realizada uma análise para escolha, por matriz de decisão, do modelo de bateria motores elétricos de corrente contínua, encontrados em veículos convencionais, que fossem mais adequados à proposta de projeto. Foi verificado que os motores de limpadores de para-brisa atendem a este quesito e podem ser empregados no sistema de propulsão do veículo.

A utilização de motores de corrente contínua, oriundos de partes em desuso de veículos convencionais, se mostra viável para acionamentos do veículo elétrico. Caso seja utilizada uma estrutura que contenha elementos de amortecimento de impactos, podem ser avaliados e utilizados outros tipos de motores capazes de desenvolver maiores velocidade.

A proposta de utilização do sistema de controle, através de microcontrolador, demonstra uma diversidade útil para o desenvolvimento. Avaliações de software embarcado podem criar novas configurações de controle e supervisão. Além do que, um circuito elaborado em um simulador, fornece uma prévia do funcionamento real, o que certamente enriquece a análise do projeto.

Todas as avaliações realizadas em ambiente de simulação, são sugestões de validação experimental de modo a se obter um circuito real e concluir de forma fidedigna o levantamento dos custos reais para a implementação do protótipo.

- **Artigo publicado:**

BERNARDES JUNIOR, E.; NEVES, G. S.; STOPPA, M. H.. Veículos Híbridos como Oportunidade de Eficiência Logística. Enciclopédia Biosfera, v. 10, p. 535-544, 2014.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-LOPES, L. Laserterapia na odontologia. *Biodonto*, v. 1, n. 1, p. 1–51, 2004. Citado na página 47.
- ANP. *Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo 2015 ? ANP*. 2015. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 15/12/2015. Citado na página 27.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil. *BNDES Setorial, Rio de Janeiro*, n. 33, p. 207-224, mar. 2011., Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2011. Citado na página 29.
- BOSH. *Motores de corrente contínua com transmissão*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.bosch-ibusiness.com>>. Acesso em: 05/10/2015. Citado na página 53.
- BRAGA, N. *Clculo Com Motores*. 2015. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/176-automacao/automacao-industrial/3479-mec133>>. Citado na página 39.
- CABRAL, C. V. T. Análise de dimensionamento estocástico e determinístico de sistemas fotovoltaicos isolados. Universidade Federal de Viçosa, 2006. Citado na página 43.
- CAMACHO, J. R. J.; VILEFORT, L. S. *ESTUDO DIRIGIDO: SISTEMA FOTOVOLTAICO COMPLETO COM DOIS ESTOS INTERCONECTADOS A REDE*. 2011. Citado na página 43.
- CARDOSO, A. A.; MACHADO, C. d. M. D.; PEREIRA, E. A. Biocombustível, o mito do combustível limpo. *Química nova na escola*, v. 28, p. 9–14, 2008. Citado na página 28.
- CHAPMAN, S. J. *Fundamentos de máquinas elétricas*. [S.l.]: AMGH Editora, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 38.
- COSTA, J. O. *O combustvel vai ter 6% do biodiesel*. 2014. Disponível em: <http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?tit=combustivel_vai_ter_6%_de_biodiesel&id=136334>. Acesso em: 17/12/2015. Citado na página 27.
- CRESESB/CEPEL. *Potencial Solar - SunData*. 2015. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 16/12/2015. Citado 3 vezes nas páginas 60, 61 e 62.
- CRUZ, S. R. S.; CALLEJAS, A. G. H.; SANTOS, M. Em busca de cidades ativas: a prática da corrida como mobilidade urbana. *Revista Cultura e Extensão USP*, v. 12, p. 67–81, 2014. Citado na página 23.

DINIZ, A. W. *Motor ELtrico*. 2009. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_&18/2014/04/22/6281&/Motor_eletrico.pdf>. Acesso em: 16/12/2015. Citado na página 37.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015*. 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 12/05/2015. Citado na página 29.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no brasil. *Revista do BNDES, Rio de Janeiro*, n. 40, p. 85–113, 2013. Citado na página 43.

FITZGERALD, A. E.; JR, C. K.; UMANS, S. D. *Máquinas Elétricas: Com introdução à eletrônica de potência. Tradução de Anatólio Laschuk*. [S.l.]: Porto Alegre: Bookman, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.

FRANCHI, C. M. Acionamentos elétricos. *São Paulo: Érica*, v. 5, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 37.

GAMBOA, A. *Industrial*. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.

GARRIDO, E. L. *Concepção e certificação de nova geração de candeeiros de iluminação pública*. Tese (Doutorado) — Universidade do Porto, 2010. Citado na página 55.

GREENPEACE. *Solariza simula um Brasil movido a energia solar*. 2015. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Solariza-simula-um-Brasil-movido-a-energia-solar/>>. Acesso em: 14/12/2015. Citado na página 29.

GREENPRO, A. P. C. Energia fotovoltaica-manual sobre tecnologias, projecto e instalação. *Europa: Comissão Europeia*, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 44.

GUIMARÃES, C. F. *Biodiesel consome parcela da soja produzida no Brasil e Argentina*. 2014. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/especiais/forum-de-agricultura/biodiesel-consome-parcela-da-soja-produzida-no-brasil-e-argentina-85sccs92580l2jjil7jf73z7v>>. Acesso em: 17/12/2015. Citado na página 27.

HERCULANO A. C. L.; AMARAL, S. *ENERGIA RENOVL*. 2011. Acesso em: 16/12/2015. Citado na página 28.

HTTP://2BFLY.COM/. *Brushed DC Motor - Anatomy*. 2015. Disponível em: <<http://2bfly.com/knowledgebase/powerplants/brushed-dc-motors/>>. Acesso em: 20/11/2015. Citado na página 37.

IMOBRA. *Eletroventiladores modelo 101104824*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.imobras.ind.br>>. Acesso em: 10/11/2015. Citado na página 53.

INEE. *SOBRE VEÍCULOS ELÉTRICOS*. 2015. Disponível em: <http://www.inee.org.br/veh_sobre.asp?Cat=&veh>. Citado na página 26.

KOMAES. *Painel Solar Fotovoltaica 50w Komaes - Inmetro*. 2015. Disponível em: <<http://www.nobreakcerto.com>>. Acesso em: 18/12/2015. Citado 2 vezes nas páginas 64 e 66.

KYOCERA. *Módulo Policristalino de Alta Eficiência (KD135SX-UPU)*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.kyocerasolar.com.br/site/arquivos/produtos/68.pdf>>. Acesso em: 20/10/2015. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 47.

- LARICA, N. J. Design de transportes: arte em função da mobilidade. *Rio de Janeiro: 2AB*, v. 2033, 2003. Citado na página 25.
- LIMA, D. O. *et al.* Uma análise sobre o mercado mundial do biodiesel. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRACAO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER). *46th Congress, July 20-23, 2008, Rio Branco, Acre, Brasil*. [S.l.], 2008. Citado na página 27.
- MALVINO, A.; BATES, D. *Eletrônica: Diodos, Transistores e Amplificadores - 7ed - Série Tekne*. McGraw Hill Brasil, 2011. (Tekne). ISBN 9788580550504. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=x2Fl3NnI5RUC>>. Citado na página 44.
- MBT. *OS PRIMEIROS MEIOS DE TRANSPORTE HUMANOS*. 2015. Disponível em: <[http://www.mbt.org.br/?\\$p=19](http://www.mbt.org.br/?$p=19)>. Acesso em: 15/12/2015. Citado na página 23.
- MERCADOLIVRE. *Controlador de Carga BSV20A*. 2015. Disponível em: <<http://www.com.br>>. Acesso em: 15/12/2015. Citado na página 66.
- MITSUBISHI. *I-MIEV*. 2015. Disponível em: <<http://www.mitsubishicars.com/imiev/gallery>>. Acesso em: 16/11/2015. Citado na página 26.
- MONDECA. *Find coordinates*. 2015. Disponível em: <<http://labs.mondeca.com/geo/anyplace.html>>. Acesso em: 16/12/2015. Citado na página 61.
- NETTO, E. F. da S.; LEAL, F. P. da S. Biocombustíveis: uma vantagem para o futuro. *Bolsista de Valor*, v. 2, n. 1, p. 11–16, 2012. Citado na página 28.
- OTTOBONI, A. *Comparativo entre os Motores Eletricos CA e CC Vantagens e Desvantagens dessas duas tecnologias*. 2012. Disponível em: <http://www.sabereletronica.com.br/files/file/SE461_web.pdf>. Acesso em: 22/12/2015. Citado na página 38.
- PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T. Tempo de deslocamento casa-trabalho no brasil (1992 – 2009): diferenças entre regiões metropolitanas, níveis de renda e sexo. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2013. Citado na página 24.
- PETRUZELLA, F. *Motores Elétricos e Acionamentos: Série Tekne*. [S.l.]: Bookman Editora, 2013. Citado na página 36.
- PIANEGONDA, N. *Consumo de combustíveis cresce 5,2% no Brasil, em 2014*. 2014. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas/Agencia_Noticia.aspx?n=10073>. Acesso em: 22/12/2015. Citado na página 26.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. *Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb*, 2014. Citado 7 vezes nas páginas 59, 60, 63, 64, 65, 66 e 67.
- PORCIUNCULA, C. M. D. *Aplicação de modelos elétricos de bateria na predição do tempo de vida de dispositivos móveis*. Tese (Doutorado) — Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.
- POYDO, P. R. *Diferencial autobloqueante: trao em curvas*. 2015. Disponível em: <<http://bestcars.uol.com.br/ct/difer.htm>>. Acesso em: 16/10/2015. Citado na página 52.
- QUEIROZ, J. de F. *Introdução do veículo híbrido no Brasil: evolução tecnológica aliada à qualidade de vida*. Tese (Doutorado), 2006. Citado na página 27.

- RENDELUCCI, F. *Eletrólitos: Soluções que permitem a passagem de corrente elétrica*. 2005. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/eletrolitos-solucoes-que-permitem-a-passagem-de-corrente-eletrica.htm>>. Acesso em: 12/12/2015. Citado na página 41.
- RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. Queimadas de cana-de-açúcar: Avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. *estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 24, n. 68, p. 255–271, 2010. Citado na página 28.
- ROCHA, B. P. da; ALBERTON, H. B. de S.; OLIVEIRA, L. B. de. Frenagem regenerativa. 2014. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/projenergia3/projetos/trabalhos-2014/trabalhos-2014-2/GRUPOB.pdf>>. Acesso em: 10/01/2016. Citado na página 25.
- RODRIGUES, G. T. *et al.* Estudo da viabilidade econômica de implantação de uma indústria de produção de biodiesel utilizando óleo de cozinha saturado no município de campos dos goytacazes. *PerspectivasOnLine 2007-2010*, v. 5, n. 17, 2014. Citado na página 27.
- SOLAR. *A construção do Painel Solar Fotovoltaico*. 2015. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/>>. Acesso em: 15/12/2015. Citado na página 45.
- SOUZA, L. R. d. S. *Desenvolvimento de estrutura veicular do tipo space frame construída com tubos de pvc*. Tese (Doutorado), 2015. Citado 7 vezes nas páginas 30, 32, 38, 49, 50, 51 e 63.
- UFPR. *Semicondutor tipo-N, tipo-P e o Campo Elétrico*. 2015. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/luischan/comofunciona.htm>>. Acesso em: 10/12/2015. Citado na página 44.
- VASCONCELLOS, E. A. *et al.* *Sistema de Informa??es da Mobilidade Urbana Relat?rio Comparativo 2003-2014*. 2015. Disponível em: <http://files.antp.org.br/2016/9/3/sistemasinformacao-mobilidade--comparativo-2003_2014.pdf>. Citado na página 24.
- VERA, L. H. Programa computacional para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos autônomos. 2004. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.

ANEXO A

ANEXO 1

Tabela 12 – Lista de Baterias Avaliadas e Valor Médio de Custo.

Bateria	Valor Médio (R\$)	Bateria	Valor Médio (R\$)
ACDELCO-22SO70	418.97	TUDOR-TFR60NS	269.99
CRAL-CL70V	377.91	TUDOR-TFR42NS	251.91
HELIAR-SL60H	332.96	CRAL-CL60V	250.95
MOURA-M60GX	332.50	HERBO-HF60	249.99
HELIAR-HL52G	329.25	MOURA-M40F	242.96
HELIAR-SL50J	324.00	ZETTA-Z2	232.63
HELIAR-SL60D	323.45	HERBO-HF40NSF	214.95
ACDELCO-22SO60	320.30	HERBO-HF45NSV	212.45
MOURA-M60G	320.25	ELETRAN-60P	211.41
ACDELCO-22S65F	314.91	CRAL-CL45V	203.13
MOURA-M50E	313.00	DURALIGHT-DL250	198.00
MOURA-M50JD	312.55	ZETTA-Z1	179.91
ACDELCO-22SO48	290.80	ELETRAN-47P	179.91
HELIAR-SL48B	287.80	REIFOR-RP45VKS	175.41
HELIAR-SL38J	279.97	BRM-60P	170.91
MOURA-M48F	279.50	DURALIGHT-DL138	166.50
MOURA-M40S	270.63	BRM-40P	125.91

Fonte: o autor