

CARRO ELÉTRICO MOVIDO A ENERGIA SOLAR

Juliane Taise Piovani¹
Cleiton Thiago Pacheco Leite²
Genivaldo Francisco dos Santos³
Marcos Paulo da Silva⁴
Maurício Eduardo dos Santos⁵
Nilton Cesar Sophilio, Rafael Xavier⁶
Eduardo Bomeisel⁷.

RESUMO

A indústria automotiva cresce a cada ano e devido à necessidade de contribuir com a sustentabilidade do planeta, por meio de reduções de gases de efeito estufa, muitas tecnologias já existentes despertaram interesse, principalmente a de energia solar, aplicada em tecnologias automotivas. Assim foi realizada a construção de um protótipo em que toda energia solar é aproveitada, para que o veículo funcione em velocidades baixas e com um dispositivo de auxílio de carga em altas velocidades. O protótipo foi elaborado pelo software AutoCAD 2014 que apresentou resultados satisfatórios, além de um design simples e viável.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica; Carro Elétrico; Protótipo; Energia solar.

ABSTRACT

The automotive industry is growing every year and the necessity to contribute to sustainability of the planet by reducing greenhouse emissions, the technologies aroused interest in other applications, especially solar energy, applied in automotive technology. This paper presents a prototype in which solar energy is used, so that the vehicle runs at low speeds and as a loading aid device at high speeds. The prototype was developed by the software AutoCAD 2014 showed satisfactory results, as well as a simple and feasible design.

Keywords: Photovoltaic Energy; Electric Car; Prototype; Solar Energy.

¹Doutoranda em Energia da Universidade Federal do ABC (UFABC). Docente na Universidade Paulista (UNIP) no curso de engenharia mecânica, automação e elétrica. Rua Francisco Bautista, 300 – km 12 da Via Anchieta – São Paulo – SP – CEP 04182-020. E-mail: jtpiovani@hotmail.com.

² Aluno de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Paulista (UNIP) de São Paulo

³ Aluno de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Paulista (UNIP) de São Paulo

⁴ Aluno de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Paulista (UNIP) de São Paulo

⁵ Aluno de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Paulista (UNIP) de São Paulo

⁶ Aluno de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Paulista (UNIP) de São Paulo.

⁷Engenheiro Mecânico Aeronáutico pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e consultor na EBEA-Engenharia.

1 Introdução

De acordo com diversas pesquisas realizadas pela ONU (Organização das Nações Unidas), as fontes de energias não renováveis têm se tornado cada vez mais escassas, no Brasil e no mundo, o que tem gerado preocupações entre especialistas. Assim, devido à necessidade de se combater o aquecimento global, vários países implementaram políticas de incentivo ao uso de fontes alternativas, dentre elas, a energia solar que também contribui para redução de CO₂ na atmosfera, considerado um dos principais gases causadores do efeito estufa (ONUBR, 2011; SILVA, 2015).

Mesmo com o esgotamento das energias não renováveis em um futuro próximo, a tendência é aumentar a procura e evolução das energias renováveis na matriz energética mundial. Para que isso ocorra de maneira sustentável é necessário apoio governamental (ONUBR, 2011).

No Brasil, a produção primária de energia solar por painéis fotovoltaicos aumentou 395% entre 2003 e 2013. A produção primária total de energia cresceu 17% no mesmo período, frente a 56% das fontes renováveis. Somente o crescimento da geração de energia eólica superou a energia solar. Em 2003, a energia solar a partir de painéis fotovoltaicos obteve 0,0001% da produção total de energia primária no mundo e em 2013, teve um aumento de 0,0004% (EIA, 2004 *apud* SILVA, 2015).

É importante ressaltar que com o crescimento das metrópoles teve-se um aumento de veículos nas ruas que contribui para o aumento do efeito estufa. São Paulo é a cidade com maior frota de veículos no Brasil. Com isso, a indústria automotiva caminha cada vez mais para um futuro, onde diversos itens voltados para a redução de poluição em veículos, não serão mais considerados opcionais, mas sim obrigatórios, visando preservar o meio ambiente e oferecer mais qualidade de vida. Com essas transformações, muitas das tecnologias existentes ganharam seu espaço, principalmente a energia solar aplicada em tecnologias automotivas (CNI, 2012; PISANTI, 2014).

O Brasil apresenta vantagens para o estabelecimento de uma indústria fotovoltaica, pois se concentra uma das maiores reservas mundiais de quartzo de onde o silício é extraído

para a fabricação dos painéis e células fotovoltaicas e também por ser um país tropical, onde predomina energia solar (EPE, 2014; SILVA, 2015).

Diante dessas necessidades, o objetivo desse trabalho é elaborar um protótipo de um sistema fotovoltaico integrado a um veículo, para ser movimentado à energia solar, pois os meios de transporte são um dos principais causadores da poluição nas cidades e por ser considerada um produto que exige uma mudança de comportamento dos consumidores e do mercado para sua implementação em grande escala (DUTRA, *et. al.*, 2013; EPE, 2014).

2 Dimensionamento do Projeto

Foram realizadas medições e avaliações de parâmetros visando criar o *design* do veículo para dimensionamento das medidas do chassi, do suporte para a placa que contém as células fotovoltaicas e do suporte e posição de baterias e acessórios.

A conversão de energia solar em energia elétrica baseou-se no princípio básico do efeito ou teoria Seebeck, onde ocorre a produção de um potencial elétrico junto a outro potencial gerador ou condutor elétrico, onde a energia solar aplicada em células fotovoltaicas foi convertida em energia elétrica que unida a outro circuito gerador de energia formou o conjunto de baterias estacionárias. Para aplicação utilizou-se um motor 100% elétrico (KAKIMOTO, 2013; MOURA; ALMEIDA, 2014).

O trabalho mecânico é gerado pelo motor que transfere para o eixo um trabalho de forças fornecendo movimentação ao veículo. Geralmente motores elétricos possuem de 95% a 98% de eficiência, calculados e somados a eficiência das células fotovoltaicas, que favorece uma boa autonomia ao veículo (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009; KAKIMOTO, 2013).

Foi utilizado um motor do tipo CC série, por apresentar um bom desempenho no controle de velocidade e também para gerar potência e torque que serão transmitidas as rodas para a movimentação. Normalmente as unidades utilizadas nestas curvas são: potência (P) em cavalos (CV), torque (M) em quilograma-força vezes metro (kgf.m) e rotação (n) em giros por minuto (rpm).

Os valores de potência e torque podem ser obtidos segundo a Equação (1):

$$M = \frac{P_{cv} \cdot 716,2}{\eta} \quad (1)$$

Onde: M é o torque (kgf x m); P_{cv} é a Potência (cv) e η é a rotação (rpm).

Segundo Halliday, Resnick, Walker (2009), pode-se dizer que o torque pode ser definido conforme a Equação (2).

$$M = Fd \quad (2)$$

Onde: M é o torque (kgf x m); F é a Força (N ou kgf); d é o comprimento do braço (m).

2.1 Controlador de Tração

Para a ocorrência de um trabalho de um motor CC devem-se associar alguns equipamentos ou acessórios de controle de proteção, como por exemplo, acessórios para o motor contra sobrecargas de longas partidas ou duração, proteção contra correntes de partidas excessivas e controle de danos físicos durante o período de partida (CHAPMAN, 2013).

Esses controladores de tração são geralmente acoplados a eixos e apresentam uma resistência de saída que restringe o fluxo de corrente. A tensão opõe-se a tensão do terminal do motor fazendo com que a tensão interna gerada diminua o fluxo de corrente do motor.

2.2 Forças de movimentação

O movimento longitudinal de um automóvel, obedecendo às leis clássicas da física, é regido pela Equação (3):

$$F = ma \quad (3)$$

Onde: F é a força resultante das forças atuantes (N); m é a massa do veículo (kg); a é a aceleração (m/s^2).

A força de rolamento pode ser determinada empiricamente pela Equação (4) (RIGHI, 2010; NICOLAZZI, 2004):

$$F_r = CrP \cos \alpha \quad (4)$$

Onde Cr é o coeficiente de atrito de rolamento; G é o peso do veículo; P é o peso total do carro com o piloto; α é o ângulo entre o pneu e a pista.

O efeito aerodinâmico em um veículo cria uma força de sustentação na direção vertical, na transversal, chamada de efeito de ventos laterais e na axial originando o arraste aerodinâmico (NICOLAZZI, 2004).

Para um sistema eficiente é necessário que os módulos fotovoltaicos realizem a remoção de calor de modo uniforme ou pelo menos, previsível, de modo que o circuito elétrico possa ser projetado com controle de temperatura. O design do veículo influencia no aumento da remoção de calor e a potência gerada pelos módulos fotovoltaicos (VINNICHENKO, *et. al.*, 2014).

O arraste aerodinâmico foi determinado por simulações CAD/CAM. Também foram determinados o coeficiente de penetração, a aerodinâmica, que está relacionado à forma do veículo que possui valores típicos de C_x para automóveis entre 0,28 (esportivos) e 0,38 (conversíveis). O valor da resistência aerodinâmica pode ser determinado pela Equação (5) (NICOLAZZI, 2004; VINNICHENKO, *et. al.*, 2014):

$$Q_a = \frac{1}{2} \rho V C_D A^2 \quad (5)$$

Sendo Q_a a força de resistência aerodinâmica; ρ a densidade do ar ($1,2 \text{ kg/m}^3$); V a velocidade do veículo; C_D o coeficiente de penetração aerodinâmica; A é a área frontal do veículo.

Para simplificar as cargas admissíveis de um sistema de tração de um veículo elétrico pode-se converter as forças encontradas para potência mecânica (P) que é o produto da força tangencial pela velocidade conforme Equação (6) (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2009):

$$P = FV \quad (6)$$

Onde: P é a potência (watts); F é a Força (Newton); V é a velocidade em m/s.

2.3 Sistema de Transmissão Mecânica

A transmissão mecânica é responsável pelo movimento de corpos sólidos como, por exemplo, as engrenagens, correntes, acoplamentos e as correias de transmissão (COLLINS, 2006).

O cálculo do número de dentes da coroa ou pinhão foi identificado de acordo com a Equação (7). A distância entre eixos e a velocidade da corrente foram identificadas de acordo com as Equações (8) e (9) respectivamente:

$$(i) = \frac{z_2}{z_1} \quad (7)$$

Onde: i é a relação de transmissão; z_2 é o número de dentes da coroa e z_1 é o número de dentes do pinhão.

$$C = \frac{P}{8} \left[2L - z_2 - z_1 + \sqrt{(2L - z_1 - z_2)^2 - \left(\frac{\pi}{3,88}\right)(z_2 - z_1)^2} \right] \quad (8)$$

Onde: C é o comprimento da corrente (mm); P é o passo da corrente (mm); L é o comprimento da corrente.

$$v = \frac{z_1 \times P \times N_1}{60000} \quad (9)$$

Onde: v é a velocidade da corrente (m/s); z_1 é o número de dentes do pinhão; P é o passo da corrente (mm); N_1 é a rotação do pinhão (rps).

Para a modelagem em 3D foi incluso um suporte para a placa solar, composto por tubos metálicos e um painel fotovoltaico composto por 60 células com tensão entre 28 a 36 Vdc, adotando um banco de três baterias de 12 V.

Para melhorar o desempenho de um carro solar é necessário aumentar a geração de energia por meio do arrefecimento dos módulos fotovoltaicos. Uma célula pode ter eficiência de 15% a 25%, sob iluminação do sol e sabe-se que a temperatura e a eficiência são afetados de acordo com o *design* aerodinâmico do carro. A área frontal também influencia diretamente no movimento e fluxo das forças (VINNICHENKO, *et. al.*, 2014).

Para melhorar a aerodinâmica, foram determinadas as áreas dos equipamentos de potência e de controle, otimizando o espaço do motorista.

Foi utilizado um motor de 36 Vdc, conforme Figura 1.

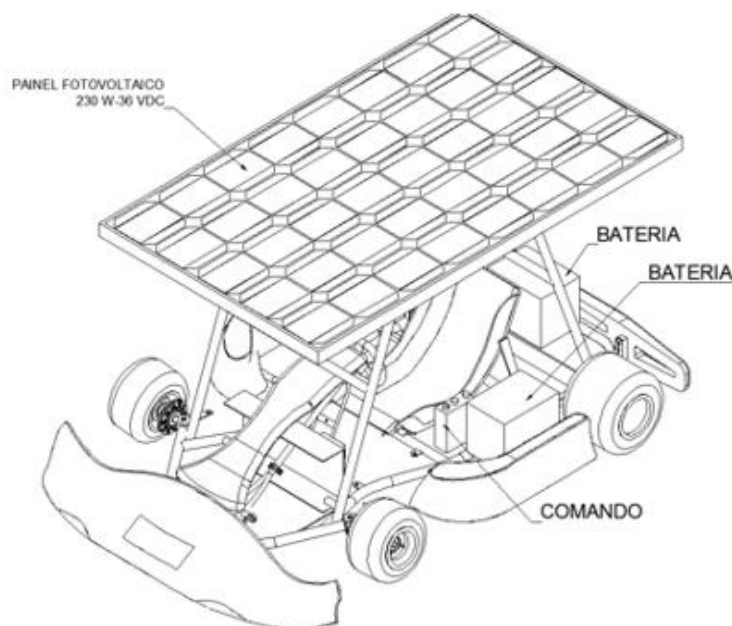


Figura 1 - Modelagem do Veículo em 3D – Sketch.

O conjunto de vistas ortogonais em 1º diedro para a explanação das principais dimensões é apresentado na Figura 2. A potência do painel é de 230W.

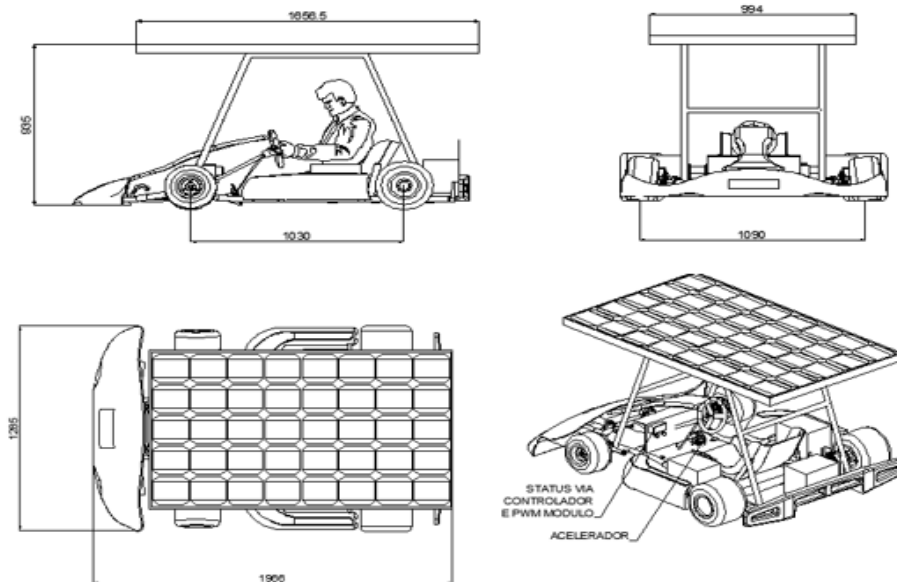


Figura 2 - Principais vistas do veículo.

O atrito de roda e a variação do atrito com a velocidade foram calculados, de acordo com os dados utilizados por Righi (2010) e dados já ensaiados por fabricantes.

Inicialmente foram calculadas as potências consumidas por uma velocidade definida, para satisfazer a condição de consumo do sistema de até 230 Wp que é a energia fornecida pela placa solar. A potência consumida devido ao atrito de rolamento é calculada pela Equação (10):

$$P_R = NV(P \cos \theta C_R) + (V \Delta_{ATR}) \quad (10)$$

Onde P_R é a Potência de Rolamento (watts); N é o número de rodas; V é a Velocidade (m/s); P é o peso do veículo (N); θ é o ângulo de inclinação (graus); C_R é o atrito de rolamento das rodas; Δ_{ATR} é a variação do atrito da roda com a velocidade.

No cálculo de aerodinâmica foi desconsiderada a força tangencial exercida pela ação do vento. O consumo aerodinâmico é calculado pela Equação (11).

$$P_A = \rho C_d A \left(\frac{V + V_{VE}}{2} \right)^2 V \quad (11)$$

Onde P_A é Potência Aerodinâmica Consumida (watts); ρ é a densidade do ar (1,2 kg/m³); V é a Velocidade (m/s); C_d é o coeficiente de arraste; A é a Área Frontal; V_{ve} é a velocidade do vento frontal.

O consumo total do veículo, desconsiderando os atritos da transmissão é calculado pela Equação (12),

$$P_T = \sum P = P_A + P_R \quad (12)$$

Onde: P_A é a potência aerodinâmica consumida (watts); P_R é a potência de rolamento (watts); P_T é a potência total consumida (watts).

Com a somatória das potências, o consumo total do veículo foi de 226 watts, que foi menor que a potência fornecida pelo módulo, sendo suficiente apenas o módulo fotovoltaico para a movimentação. Por isso foi dimensionado o módulo de baterias para uma eventual falha do painel e para velocidades mais altas, definindo-se um padrão de uma hora de autonomia.

Com o valor da força necessária para movimentar o veículo, pode-se calcular o torque e a rotação da roda e verificar o torque transmitido pelo motor com a inserção de um sistema de transmissão de uma moto CG 150, onde o pinhão possui 16 dentes e a coroa 43 dentes, tendo uma relação final de 1:0.37 no motor – eixo de roda.

A rotação em rps pode ser descrita pela Equação (13):

$$\eta \text{ (rps)} = \frac{V}{((\pi * d)/1000)} \quad (13)$$

Onde η é a rotação (rps); V é a velocidade (m/s); d é o diâmetro (mm).

A seguir, calcula-se a rotação em rps, convertendo-a em rpm, conforme Equação (14).

$$\eta \text{ (rps)} = rps/60 \quad (14)$$

De modo análogo e usando a relação de transmissão, foram encontrados os valores do torque real transmitido pelo motor à roda de 10,95 Nm e rotação de 3,29 rps, ou seja, foi reduzida a velocidade, porém foram elevados o torque e a capacidade de movimentar cargas mais pesadas.

Para o cálculo das baterias necessárias utilizou-se a Equação (15):

$$E = P\Delta t \quad (15)$$

Onde E é a energia do processo; P é a potência utilizada ou dissipada do processo; Δt é a variação do tempo.

A energia nominal da bateria se dá pela Equação (16).

$$E_N = \frac{E}{pc} \quad (16)$$

Onde: E é a energia nominal da bateria; E_N é a Energia necessária (Wh); PC é a profundidade de carga.

Para o dimensionamento da capacidade nominal em Ah (Ampère- hora) foi usada a Equação (17).

$$C_B = \frac{E_N}{V_B} \quad (17)$$

Onde: C_B é o consumo calculado das baterias; E_N é a energia necessária (Wh); V_B é a tensão do banco de baterias.

Utilizaram-se duas baterias de 12 V em ligação em série, tendo capacidade mínima de 47,13 Ah. O dimensionamento do veículo é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensionamento veículo movimentado apenas pelo painel fotovoltaico.

Cd			0,4	
AREA FRONTAL			1	m ²
CdA			0,4	m ²
PESO			2597	N
ATRITO DE ROLAMENTO/RODA			0,00188	
VARIAÇÃO DO ATR/RODA COM VELOCIDADE			0,055	Ns/m
RODAS			4	
DIAMETRO DA RODA			250	mm
VELOCIDADE	25		6,94	m/s
	km/h			
VENTO FRONTAL	0		0,00	m/s
	kt			
INCLINAÇÃO	0,00	0,00	0,00	RAD
	%	deg		
CONSUMO DEVIDO A INCLINAÇÃO			0	W
CONSUMO ATRITO DE ROLAMENTO			146	W
CONSUMO AERODINAMICA			80	W
POTENCIA NECESSARIA			226	W
FORÇA			32,58	N
TORQUE NA RODA			4,07	Nm
ROTAÇÃO DA RODA	531		8,84	rps
	rpm			
RELAÇÃO DE TRANSMISSAO		1 :	0,37	
ROTAÇÃO DO MOTOR	197		3,29	rps
TORQUE NO MOTOR			10,95	Nm
Autonomia	h		1	
Energia necessária	Wh		226,245	
Profundidade de CARGA			0,2	
Energia nominal bateria	Wh		1131,2	
Quantidade de baterias em série	pç		2	
Quantidade de baterias em paralelo	pç		1	
Total de baterias	pç		2	
Tensão da bateria	VCC		12	
Tensão do sistema	VCC		24	
Ah do sistema	Ah		47,13	
Ah/bateria	Ah		47,13	

Por questão de custos foi necessário estabelecer a compra de baterias com 115 Ah para a velocidade constante máxima do kart durante o período de uma hora, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensionamento de velocidade máxima e baterias de 115 Ah.

Cd			0,4	
AREA FRONTAL			1	m ²
CdA			0,4	m ²
PESO			2597	N
ATRITO DE ROLAMENTO/RODA			0,00188	
VARIAÇÃO DO ATR/RODA COM VELOCIDADE			0,055	Ns/m
RODAS			4	
DIAMETRO DA RODA			250	mm
VELOCIDADE	39,4		10,94	m/s
	km/h			
VENTO FRONTAL	0		0,00	m/s
	kt			
INCLINAÇÃO	0,00	0,00	0,00	RAD
	%	deg		
CONSUMO DEVIDO A INCLINAÇÃO			0	W
CONSUMO ATRITO DE ROLAMENTO			240	W
CONSUMO AERODINAMICA			315	W
POTENCIA NECESSARIA			554	W
FORÇA			50,63	N
TORQUE NA RODA			6,33	Nm
ROTAÇÃO DA RODA	836		13,93	rps
	rpm			
RELAÇÃO DE TRANSMISSAO		1 :	0,37	
ROTAÇÃO DO MOTOR	311		5,18	rps
TORQUE NO MOTOR			17,01	Nm
Autonomia	h		1	
Energia necessária	Wh		554,147	
Profundidade de CARGA			0,2	
Energia nominal bateria	Wh		2770,7	
Quantidade de baterias em série	pç		2	
Quantidade de baterias em paralelo	pç		1	
Total de baterias	pç		2	
Tensão da bateria	VCC		12	
Tensão do sistema	VCC		24	
Ah do sistema	Ah		115,45	
Ah/bateria	Ah		115,45	

3 Construção do Protótipo

O veículo solar projetado possui um tamanho pequeno e um *design* simples por ter como base, o projeto de um chassi de kart conforme Figura 3. É composto por quatro rodas, freios, motor elétrico, controladores de carga e tração, placa fotovoltaica e baterias.

Na confecção do protótipo foi necessário modificar o suporte da placa solar em relação ao projeto, para facilitar a entrada do piloto e ter um ganho de tempo e custo.



Figura 3 - Veículo com suporte do painel fotovoltaico.

Foram retirados os eixos danificados e usinados novos eixos. Foi feita uma medição minuciosa e posterior usinagem com o objetivo de atender as dimensões exigidas no projeto e evitar folgas de montagem dos eixos. O maquinário utilizado para confecção das peças foi o Torno convencional ROMI.

Após a usinagem dos eixos, foram dimensionados rolamentos da série, de acordo com dados do fabricante do Catálogo Rolmax UC 206 (2015), para os eixos, capazes de resistir até 1500 kgf a 5300 rpm em conjunto com os Mancais de aço estampado SLFE.

Para os cubos de roda dos eixos foram dimensionados rolamentos 6203 DDU sendo que a referência DDU refere-se à vedação das esferas existentes no rolamento, obtidas no Catálogo NSK (2015).

Para confecção do suporte de fixação do motor e baterias foram utilizados ferro chato de (1" x ¼") e tubos de aço retangular 30 x 20 mm soldados conforme Figura 4.



Figura 4 - Suporte de fixação do motor.

Para o suporte das baterias foi utilizado uma chapa de 50 x 50 x 2 mm e barras de rosca de Ø5/16" x 300 mm, para alojar e fixar as baterias conforme Figura 5.



Figura 5 - Suporte de fixação das baterias.

Para o sistema de transmissão do veículo foi utilizado um kit relação (transmissão) Honda CG 150 (04-13) 43z x 16z - c/ corrente 428H X 118L.

Para adaptação do pinhão no motor elétrico tipo excitação série foi usinado um adaptador conforme Figura 6, para acoplar o pinhão especificado ao eixo do motor.



Figura 6 - Adaptador do eixo do motor e corrente de transmissão.

A ligação elétrica entre os componentes (bateria, controlador de tração e motor) foi realizada, conforme manual do controlador de tração Curtis PMC 1204 aplicado a sistemas que utilizam o motor tipo série. Ao invés do POTBOX, foi utilizado um pedal com potenciômetro adaptado de 0 - 5 k Ohms que controlaria a velocidade por meio da limitação da tensão do motor.

O sistema elétrico básico foi elaborado de acordo com a empresa Curtis (2008), fabricante do controlador de tração utilizado.

No dimensionamento dos cabos foram seguidas as recomendações do fabricante conforme instruções de montagem do esquema elétrico, sendo utilizados cabos de 25 mm² para potência e 2,5 mm² para controle.

Com a ligação elétrica elaborada, foram inseridos os componentes do sistema fotovoltaico no veículo. Primeiramente foi fixado o controlador de carga no módulo de controle em suporte construído em chapa de aço conforme Figura 7.



Figura 7- Suporte de fixação dos controladores.

Posteriormente, seguiu-se o manual do controlador de carga, que indica que a primeira ligação elétrica a ser elaborada deve ser do controlador com a bateria, para evitar correntes de curto-circuito e surtos de tensões transientes.

Após a ligação e a confirmação da bateria em perfeito funcionamento e com a indicação de LED verde do controlador foi inserido o painel fotovoltaica na estrutura soldada à carcaça conforme Figura 8 e foram realizadas as ligações de seus terminais negativo e positivo nas respectivas entradas indicadas no controlador de carga.



Figura 8 - Montagem do painel fotovoltaico.

Foram realizadas medições para verificação das propriedades elétricas e funcionamento dos componentes.

A tensão encontrada foi de 29,5 V. Posteriormente foi realizada a medição de tensão na entrada do controlador de carga, onde verificou-se a tensão de 29,3 V, devido

a queda de tensão existente nos cabos. As medições foram realizadas seguindo o fluxo de energia do circuito elétrico.

O valor medido no banco de baterias pelo multímetro foi de 24,3 volts. Com o valor de tensão definido pelo banco de baterias, foi preciso verificar a corrente elétrica consumida pelo motor. Obteve-se 130 A, de acordo com a especificação técnica do motor.

Com todos os testes dos componentes elétricos efetuados, foi realizado um último teste para comprovação da autonomia do veículo. Conforme Figura 9, o veículo foi testado e constatou-se que o tempo estimado de projeto de uma hora foi maior do que o medido em avaliação prática.



Figura 9 - Teste da autonomia do veículo.

O tempo de autonomia medido foi de 42 minutos.

4 Conclusão

Com este trabalho pode-se verificar que é possível construir um veículo para pequenos períodos de trabalho. O protótipo funcionou conforme cálculos estabelecidos no projeto, porém para aproveitamento total da potência do motor foi necessário criar módulos mais eficientes por metro quadrado de área, ou seja, aumentar a eficiência dos painéis atuais. Pode-se dizer que o armazenamento é a parte crítica do processo, pois as baterias oferecidas no mercado não acompanharam a evolução tecnológica dos demais componentes.

Nas premissas de projeto foi estabelecida uma autonomia de uma hora de duração, porém, durante a realização dos cálculos matemáticos foram extrapolados alguns valores, que resultou na prática em uma autonomia final de 42 minutos. Este tempo foi menor do que o calculado em projeto, devido a não consideração da incidência de vento no cálculo, o que aumentou o coeficiente de arrasto e o consumo pela aerodinâmica. Também foi desprezada a inclinação de piso e sua irregularidade, além das quedas de tensão e impedâncias dos componentes elétricos.

Assim a aplicação da energia solar fotovoltaica em veículos pode ser considerada como um investimento com retorno a longo prazo, considerando fatores atuais de investimento e pesquisa e tornando-se uma alternativa vantajosa que visa a contribuição para um planeta sustentável.

Assim, os resultados desse projeto foram satisfatórios, pois comprovou que é possível aproveitar a energia solar em nosso planeta, num kart e enfatizar a importância de sua utilização e desenvolvimento no Brasil, por ser um país tropical.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Paulista e as contribuições da EBEA-Engenharia.

6 Referências

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 684 p.

COLLINS, J. A., **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas – Uma Perspectiva de Prevenção de Falha**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA E SUSTENTABILIDADE. Encontro da Indústria para a Sustentabilidade**. Brasília: CNI, 2012, 44p.

DUTRA, J. C. N.; BOFF, V. A.; SILVEIRA, J. S. T.; ÁVILA, L. V. Uma Análise do Panorama das Regiões Missões e Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul sob o Prisma da Energia Eólica e Solar Fotovoltaica como Fontes Alternativas de Energia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v.34, n.124, p. 225-243, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Série Recursos Energéticos. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribuidas%20no%20Brasil%20%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20%28Revisada%29.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2016.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER; **Fundamentos da Física**, 8ª Edição, São Paulo: LTC, 2009, V. 1.

KAKIMOTO, L. C. **Efeito Peltier-Seebeck: gerando eletricidade por diferença de temperatura**. Relatório Final de Atividades, UNICAMP, 2013. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2013_semi1/LuisC_Siervo_F609_RF3.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2016.

MOURA, P. R.; ALMEIDA, D. Refrigerador termoelétrico de peltier usado para estabilizar um feixe laser em experimentos didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1308, 2014.

NICOLAZZI, Lauro C.: **Análise dinâmica: Curso de especialização em engenharia automotiva**. Florianópolis: UFSC, 2004.

NSK (2015). **ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (ONUBR). Fontes de energia renováveis podem atender maior parte da demanda global. 2011.**

Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/fontes-de-energia-renovaveis-podem-atender-maior-parte-da-demanda-global/>> Acesso em: 25 de abril de 2015.

PISANTI, C. Design and energetic evaluation of a mobile photovoltaic roof for cars. **Energy Procedia**, n. 8, p. 182-192, 2015.

RIGHI, L. A.; COSTA, L. H.; MOLENDIA, C. H. A. Projeto de veículo elétrico para competição de eficiência energética. In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica; 2010, Campina Grande, PB: CONEM, 2010.

ROLMAX. **Manual de rolamentos e mancais monoblocos autocompensadores**. São Paulo, 2014.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

VINNICHENKO, N. A., UVAROV, A. V.; ZNAMENSKAYA, I. A; AY, H.; WANG, T. Solar car aerodynamic design for optimal cooling and high efficiency. **Solar Energy**, n. 103, p. 183–190, 2014.