

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Projeto de protótipo de veículo movido a energias  
renováveis**

Lorhan Veras Lourenço

Prof. Orientador: Fernando Ribeiro  
Profa. Coorientadora: Gisele Vieira

**Rio de janeiro  
Dezembro de 2017**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Projeto de protótipo de veículo movido a energias  
renováveis**

Lorhan Veras Lourenço

Projeto final apresentado em cumprimento às  
normas do Departamento de Engenharia Mecânica do  
CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Fernando Ribeiro  
Coorientadora: Gisele Vieira

**Rio de Janeiro  
Dezembro de 2017**

## RESUMO

O uso de veículos elétricos tem crescido cada vez mais, apesar da pequena frota, o número de carros elétricos emplacados no Brasil aumenta a cada ano. A busca e o uso de fontes de energias renováveis são temas cada vez mais presentes no nosso cotidiano. Somando-se esses fatores, o desenvolvimento de veículos elétricos alimentados por fontes de energias renováveis é um caminho natural a ser seguido. O protótipo de um veículo elétrico é apresentado neste projeto, a sua principal premissa é usar ao máximo fontes de energias renováveis para o seu funcionamento. Além disso, ele é projetado objetivando-se o uso mínimo de consumíveis e o máximo de eficiência energética. Por fim, foi possível criar um protótipo que consome *480 Wh* para percorrer uma distância de *19,7 km* rodando a uma velocidade máxima de *42 km/h*.

Palavras-chave: veículos elétricos, energias renováveis, eficiência energética

## **ABSTRACT**

The use of electric vehicles has grown more and more, despite the small fleet, the number of electric cars licensed in Brazil increases every year. The search and use of renewable energy sources are themes more common in our daily lives. Joining that factors, the development of electric vehicles powered by renewable energy sources is a natural way to go. The prototype of an electric vehicle is presented in this project, its main premise is to make maximum use of renewable energy sources for its operation. In addition, it is designed targeting the minimum use of consumables and maximum energy efficiency. Finally, it was possible to create a prototype that consumes *480 Wh* to travel a distance of *19,7 km* running at a maximum speed of *42 km/h*.

Key-words: electric vehicles, renewable energy, energy efficiency

## Sumário

Capítulo 1.....	1
Introdução .....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Justificativa.....	1
1.3 Objetivo.....	2
1.4 Metodologia e trabalho realizado.....	3
1.5 Organização do trabalho.....	3
Capítulo 2.....	5
Componentes do veículo.....	5
2.1 Estrutura .....	5
2.2 Motor elétrico.....	6
2.3 Bateria .....	8
Capítulo 3.....	11
Fontes de energia .....	11
3.1 Energia solar.....	11
3.2 Energia de frenagem.....	17
3.3 Energia das pedaladas .....	18
Capítulo 4.....	34
Resultados.....	34
4.1 Velocidade máxima.....	34
4.2 Autonomia.....	35
4.3 Sistema regenerativo de freios .....	37
4.4 Auxílio na partida com pedaladas .....	38
4.5 Circuito sem paradas .....	39
4.6 Carregador por pedaladas.....	40
4.7 Sistema fotovoltaico.....	41

Capítulo 5.....	45
Discussões sobre a viabilidade do projeto .....	45
5.1 Motor e sistemas de carga e alimentação .....	45
5.2 Melhorias estruturais .....	50
5.3 Legislação.....	53
Capítulo 6.....	55
Conclusão .....	55
APÊNDICE A: Desenho técnico do carregador por pedaladas .....	56
ANEXO A: Folha de especificação do módulo solar KM(P)20.....	77
ANEXO B: Relatório de inspeção do alternador.....	79
ANEXO C: Posição e largura das classes de tolerância para eixo e mancal para montagem com rolamentos SKF .....	81
ANEXO D: Folha de especificação do controlador de carga Phocos CX10 .....	83
ANEXO E: Folha de especificação do módulo solar KM(P)50 .....	85
Referências bibliográficas .....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fotografia do protótipo montado .....	5
Figura 2: Componentes eletrônicos que acompanham o motor .....	8
Figura 3: Bateria montada na cesta traseira .....	10
Figura 4: Esquema do sistema fotovoltaico para carregamento da bateria de 48 V .....	15
Figura 5: Esquema do sistema fotovoltaico para carregamento da bateria de 48 V através de uma bateria 12 V .....	16
Figura 6: Rota do circuito de rua usado para testes .....	18
Figura 7: Modelo do carregador com as rodas .....	19
Figura 8: Triciclo sobre o carregador construído .....	20
Figura 9: Curva de desempenho do alternador .....	21
Figura 10: Corte feito no modelo expondo a fixação do eixo à estrutura do carregador .....	22
Figura 11: Recomendação de ajustes para rolamentos da NSK .....	23
Figura 12: Coluna e viga que sustentam o triciclo .....	25
Figura 13: Área resistente da coluna de sustentação .....	25
Figura 14: Força atuando horizontalmente na coluna de sustentação .....	26
Figura 15: Diagrama de corpo livre da coluna de sustentação .....	26
Figura 16: Diagramas da viga .....	28
Figura 17: Diagramas dos esforços no tubo .....	30
Figura 18: Força atuando horizontalmente na coluna que sustenta o tubo .....	32
Figura 19: Diagrama de corpo livre da cantoneira .....	32
Figura 20: Estacionamento com painel solar na UFRJ .....	48
Figura 21: Protótipo com condutor .....	51
Figura 22: Garfo com amortecedor .....	52
Figura 23: Mola com amortecedor usado em bicicletas .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre baterias de chumbo ácido e íon de lítio .....	9
Tabela 2: Principais parâmetros do módulo solar KM(P)20 .....	13
Tabela 3: Principais parâmetros do controlador de carga usado na montagem para carregamento a 48 V .....	15
Tabela 4: Dados para cálculos de tensões da coluna de sustentação .....	27
Tabela 5: Dados para cálculos de tensões da viga horizontal .....	29
Tabela 6: Dados para cálculos de tensões no tubo .....	30
Tabela 7: Resultados dos testes para velocidade máxima .....	34
Tabela 8: Resultados dos testes de autonomia a velocidade máxima .....	35
Tabela 9: Resultados dos testes de autonomia a velocidade regulada em 34 km/h .....	36
Tabela 10: Resultados dos testes da influência do sistema regenerativo de freios com auxílio na partida .....	37
Tabela 11: Resultados dos testes da influência do sistema regenerativo de freios sem auxílio na partida .....	38
Tabela 12: Resultados dos testes da influência do auxílio na partida .....	39
Tabela 13: Resultados dos testes no circuito sem paradas .....	40
Tabela 14: Resultados dos testes do carregador por pedaladas .....	41
Tabela 15: Resultados da medição de eficiência do controlador de carga 48 V .....	42
Tabela 16: Resultados da medição de eficiência do controlador de carga 12 V .....	42
Tabela 17: Resultados da medição de eficiência do inversor .....	43
Tabela 18: Resultados da medição de eficiência do carregador de baterias .....	44
Tabela 19: Principais características do módulo KM(P)50 .....	47



# Capítulo 1

## Introdução

As ideias e hipóteses iniciais são apresentadas neste capítulo. O projeto surge com o desenvolvimento de uma alternativa de um veículo menos poluente e voltado para centros urbanos.

### 1.1 Motivação

Com o passar do tempo, constatou-se que, de uma forma geral, a matriz energética com o predomínio do uso de combustíveis fósseis é danosa, seja para o meio ambiente, seja para os seres vivos, inclusive o homem (BORSARI, 2009). Portanto a busca por fontes de energias menos prejudiciais e mais sustentáveis é um desafio da humanidade para o presente. Esse desafio inclui não somente a obtenção da energia, mas também a forma como ela é utilizada. O uso de veículos elétricos é visto atualmente como uma das melhores alternativas aos veículos com motores a combustão interna alimentados por combustíveis fósseis. O desenvolvimento de veículos elétricos se torna uma tendência mundial com foco na sustentabilidade.

Além das questões ambientais, as cidades vivem problemas de mobilidade urbana, onde existe uma quantidade muito grande de carros para as vias. Por exemplo, a cidade de São Paulo registra velocidades médias menores que 25 km/h nos horários de pico, segundo levantamento feito pela Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade. Além do longo tempo de viagem, com a tendência de locomoção aos grandes centros urbanos, onde há uma grande concentração de pessoas, o espaço físico para estacionamento acaba não comportando a grande quantidade de veículos, se tornando mais um fator dificultador.

### 1.2 Justificativa

A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera vem aumentando ao longo dos anos. Estudos recentes mostram que a concentração atingiu a marca de 400 ppm, quando no início da

Revolução Industrial era de aproximadamente 280 ppm. O aumento da concentração de gases estufa na atmosfera veio junto com o aumento da temperatura global. Atualmente, é quase unanimidade na comunidade científica que a grande emissão de gases estufa na atmosfera pela atividade humana é uma das maiores responsáveis pelo aquecimento global. O controle da emissão de gases estufa é uma preocupação global há décadas e, cada vez mais, os países vêm procurando uma maneira de regulamentar e controlar essa emissão. Segundo veículos de comunicação internacional, com os novos acordos climáticos, alguns países planejam eliminar totalmente os veículos a combustão nas próximas duas décadas. Com isso, os veículos elétricos serão de grande importância.

### **1.3 Objetivo**

A principal meta é o desenvolvimento de um veículo elétrico que use o máximo possível de energias renováveis como combustível, apoiando-se nos conceitos de sustentabilidade. Para tal, deseja-se que o veículo seja o mais eficiente possível nessa tarefa. O aproveitamento de energia de diversas fontes será usado para se ter um grande aporte final de energia. Com isso, o veículo contará com três sistemas de carregamento de bateria: um sistema de energia solar fotovoltaica, que será o principal, projetado para carregar a bateria totalmente em horas, de acordo com a disponibilidade de luz solar; e dois secundários, um sistema de carregamento que retira energia da frenagem do veículo e um carregador por pedaladas, projeto customizado para o veículo. Por último, ainda existe a possibilidade de carregar a bateria numa tomada convencional através de um carregador de baterias, caso ocorram fatores naturais, como a indisponibilidade de luz solar, ou pessoais, como a impossibilidade de pedalar para carregar a bateria.

O veículo deve ter baixo peso, necessitar de pouco espaço para estacionamento e ter boa acessibilidade, sendo de fácil direção e acessível a todos, inclusive a pessoas com mobilidade reduzida. Além disso, o veículo é projetado para demandar poucos serviços de manutenções e uma pequena quantidade de consumíveis para o seu funcionamento. O veículo não é destinado a percorrer grandes distâncias, nem atingir grandes velocidades. Inicialmente, deseja-se que ele tenha autonomia entre 25 e 30 km de distância percorrida com uma carga de bateria e velocidade máxima de 35 km/h. Por fim, pensando num produto comercial, espera-se que o seu custo seja acessível a grande parte da população.

## **1.4 Metodologia e trabalho realizado**

O protótipo foi montado com materiais disponíveis comercialmente nos dias de hoje, devido à pouca disponibilidade de maquinário industrial para a criação de um conceito. Após uma pesquisa inicial, verificou-se que havia disponibilidade de produtos para o consumidor final que combinados e adaptados seriam possíveis de se tornar um protótipo. Com os recursos disponíveis, o projeto foi feito evitando-se ao máximo a necessidade do uso de máquinas operatrizes e outros tipos de máquinas industriais.

O veículo foi testado quanto a sua capacidade de rodagem, nos quesitos de autonomia com uma carga de bateria e velocidade máxima atingida somente com o motor elétrico. Também foi verificada a capacidade de fornecimento de energia de outras fontes como a solar, a de frenagem e a do próprio condutor através de pedaladas. Inicialmente, a energia solar era a única fonte que poderia ser modelada para cumprir os requisitos de carga da bateria. A energia do próprio condutor através de pedaladas foi testada de duas maneiras: estática, com a pessoa pedalando no carregador desenvolvido para o veículo, onde o foco principal é converter a energia empregada nas pedaladas em energia elétrica; e dinâmica, onde a energia das pedaladas será convertida em movimento, como se pedalasse uma bicicleta comum. Nesse quesito, o condutor pedala somente na partida, para ajudar o veículo a sair da inércia.

## **1.5 Organização do trabalho**

O projeto foi iniciado com uma pesquisa de produtos disponíveis no comércio. Após o levantamento inicial de materiais disponíveis, uma lista definitiva foi feita, visando-se o objetivo, a adaptabilidade e o custo. O primeiro componente comprado foi a estrutura do veículo, um triciclo movido por pedaladas como uma bicicleta normal. De posse da estrutura, foi possível definir melhor os outros componentes a serem comprados, iniciar o projeto da construção do carregador por pedaladas e iniciar os primeiros testes de dirigibilidade, conforto e aceitação do público.

O motor elétrico e a bateria foram comprados, aproximadamente, um mês após a compra da estrutura, quando já se tinha total compreensão das adaptações necessárias para a construção final do veículo. Depois da montagem do motor e da bateria na estrutura principal, foi possível iniciar os testes de rodagem do veículo movido totalmente pelo motor elétrico. O veículo circulou em horários de pouca movimentação em vias normais durante os testes, afim

de ser mais seguro para o condutor e demais transeuntes. Por se tratar de um protótipo de um veículo que não existe comercialmente e por ser um veículo que não se espera atingir velocidades tão altas como a de carros, porém maiores que de pessoas caminhando ou até em bicicletas. Tal fato foi um limitador quanto a execução dos testes, pois eles foram realizados em um horário reduzido.

Ao mesmo tempo que os testes de rodagem foram feitos, uma versão inicial do projeto do carregador por pedaladas foi projetada e foi possível iniciar a construção do carregador. Com o passar do tempo, além dos testes de rodagem os testes com o carregador por pedaladas foram executados.

Por último, quando os sistemas de carregamento por frenagem e por pedaladas foram totalmente definidos e testados, o sistema de energia solar fotovoltaica foi montado para verificar a sua capacidade de carga e validar o dimensionamento feito no projeto. Como já existe grande embasamento teórico sobre tais sistemas, ele foi o último a ser experimentado, pois, esperava-se que não houvesse grandes diferenças entre os valores encontrados teoricamente e os dados experimentais.

## Capítulo 2

### Componentes do veículo

As principais partes que compõe o veículo são melhores detalhadas neste capítulo, incluindo as suas especificações técnicas e componentes. Além disso, é mostrado como as adaptações foram feitas para se obter o protótipo.

#### 2.1 Estrutura

A estrutura principal do veículo foi montada sobre um triciclo, comercialmente conhecido como “triciclo praiano”, que passou por modificações para a construção do protótipo. Esse modelo foi escolhido devido a sua construção, que apresenta algumas características: possibilita que uma pessoa com mobilidade reduzida possa conduzi-lo, não necessita que o condutor se equilibre para dirigir, possui um assento grande e confortável e apresenta espaço físico de sobra para a inclusão dos componentes eletrônicos necessários para a adaptação do motor elétrico. A Figura 1 mostra o protótipo montado com o motor na roda dianteira e a bateria na cesta traseira.



**Figura 1:** Fotografia do protótipo montado

Originalmente, para se locomover com o triciclo se utilizam pedais, como qualquer bicicleta, com uma relação de transmissão fixa, uma coroa com 28 dentes e um pinhão com

22 dentes. De início, foi pensando em utilizar-se um cassete, as marchas de bicicletas, para que fosse possível variar a relação de transmissão de acordo com o que for necessário. Porém a estrutura não apresenta condições de se inserir um esticador para a corrente, impossibilitando assim que a relação de transmissão fosse variável. Então, a coroa, que fica acoplada aos pedais, foi trocada por uma coroa tripla com 48, 38 e 28 dentes, a fim de se avaliar qual a melhor relação de transmissão dentre as disponíveis. Para tal, era necessário a mudança no comprimento da corrente. Os testes foram realizados com diferentes pessoas, sedentárias ou ativas fisicamente e de diferentes idades. Na ocasião, foi pedido para andassem com o triciclo e dissessem a sua sensação quanto ao esforço para sair da inércia e quando se tinha certa quantidade de movimento.

Inicialmente, a relação de transmissão foi montada com a maior coroa disponível, 48 dentes. De maneira geral, as pessoas acharam que o esforço para sair da inércia era muito grande. Em seguida, a transmissão foi montada com a coroa de 38 dentes e houve um certo impasse nessa configuração. No geral, as pessoas mais ativas fisicamente acharam que a saída da inércia não exigia muito esforço, porém as outras pessoas acharam que o esforço ainda era grande, mesmo que menor do que com a coroa maior. Por fim, a transmissão foi montada com a coroa de 28 dentes. Como esperado, foi considerada de forma unânime a que exigia menor esforço e aceita por todos como a melhor opção para a partida do veículo. Nessa configuração, é possível atingir uma velocidade média de 10 km/h. Tal velocidade, foi considerada suficiente quanto a saída da inércia e usada como referência para que se avaliasse a influência do uso da energia do condutor nos testes com auxílio na partida.

Durante a fase inicial do projeto, quando ainda não se possuía o veículo, foi pensado de avaliar a condição onde o condutor sempre auxilia. Ou seja, pedalando durante todo o tempo, não somente para auxiliar na partida. Depois que o motor foi adicionado ao veículo, constatou-se que a velocidade obtida com o motor era muito maior do que a velocidade obtida pedalando. Fazendo com que o movimento de pedalar se tornasse praticamente desprezível quanto a economia de energia, além de se tornar desconfortável.

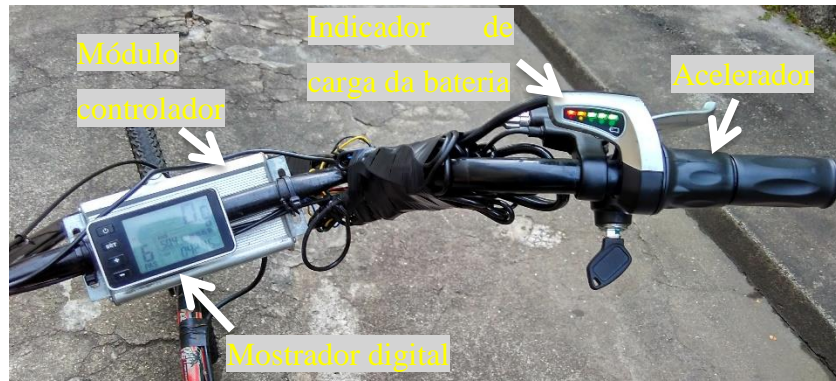
## **2.2 Motor elétrico**

O motor do veículo é um modelo elétrico síncrono sem escovas de acionamento direto com potência nominal de 1000 W e tensão nominal de 48 V em corrente contínua. A escolha foi baseada na velocidade máxima disponível, informação disponibilizada pelos comerciantes.

Os motores síncronos apresentam a característica de funcionamento de seu estator possuir um campo magnético girante, onde o campo do rotor tende a se alinhar com o campo do estator, sem nunca conseguirem se alinhar de fato, gerando movimento (CHAPMAN, 2009). Esse princípio de funcionamento permite a construção de um motor de acionamento direto, ou seja, o motor não precisa de elementos de transmissão para as cargas. Com isso, o modelo de motor escolhido é montado diretamente na roda dianteira. Nos motores sem escovas não existe desgaste entre as suas partes, o que reduz a sua necessidade de manutenção, ocorrendo somente quando existe alguma falha. Normalmente, não existe preventiva, o que condiz com uma das premissas conceituais do veículo que é a baixa necessidade de manutenção e uso reduzido de consumíveis. Assim, essa construção de motores aplicada a veículos elétricos possibilita a criação de modelos praticamente sem manutenção, boa confiabilidade, alta eficiência, baixo ruído e longa vida útil. Porém com custo mais elevado que os motores convencionais com escovas, devido ao seu processo de fabricação. Já que dependendo da geometria do motor, o uso de máquinas para automatização e consequente produção em larga escala não é aplicável. Além da necessidade de controle mais sofisticado através de circuitos integrados. Apesar de um custo inicial mais alto, pensando-se a longo prazo, motores de acionamento direto sem escovas tornam-se mais vantajosos porque, tipicamente, sistemas convencionais após 5 anos de uso apresentam um custo acumulado maior, devido a manutenções e menor vida útil (SANTOS, 2006).

A escolha de o motor ser montado na roda dianteira foi feita a partir das seguintes considerações: primeiramente, o motor pôde ser montado sem adaptações, sendo necessária apenas a substituição da roda normal pela roda com motor. Também foi considerado que o triciclo possui duas rodas traseiras e se o motor fosse montado em apenas uma delas haveria um desequilíbrio. Portanto, as rodas traseiras são movidas quando se usa apenas o motor e também são motoras quando se pedala. Devido ao baixo peso na porção dianteira do triciclo, o acionamento do motor de forma brusca causa derrapagem da roda. Fazendo com que o uso de pedaladas para auxiliar o veículo na saída da inércia seja mais relevante.

O motor escolhido é parte de um conjunto vendido comercialmente, que acompanha, dentre outros componentes, um módulo controlador que monitora constantemente os parâmetros de tensão e corrente elétrica fornecidas pela bateria, evitando assim que ocorram sobrecargas no motor e na bateria. Um mostrador digital que mostra velocidade, tensão na bateria, tempo em uso, odômetro parcial e total também faz parte do conjunto. A Figura 2 mostra os principais componentes de controle.



**Figura 2:** Componentes eletrônicos que acompanham o motor

## 2.3 Bateria

As baterias são acumuladores de energia muito utilizados no dia a dia. Elas são compostas de células eletroquímicas que transformam energia química em energia elétrica através de reações de oxidação e redução. As características de uma bateria são dadas principalmente pelo material de que são feitas, sendo as de íon de lítio e de chumbo ácido mais usuais atualmente (PINHO, 2014).

Alguns parâmetros são muito importantes quando se especifica uma bateria para qualquer aplicação, dentre eles se destacam o tipo de célula, capacidade de carga, taxa de descarga, profundidade de descarga, ciclos e vida útil. Esses parâmetros são melhor explicados nos parágrafos a seguir.

A célula é a unidade eletroquímica básica das baterias, podendo uma bateria ter desde apenas uma célula a até várias delas combinadas em série e/ou paralelo. A célula possuirá diferentes características de acordo com o material utilizado na fabricação.

A capacidade nominal de carga de uma bateria é dada tipicamente em unidade de ampère-hora pela indústria de baterias, porém também é possível encontrar em termos de energia como watt-hora e potência em watt.

A taxa de descarga, taxa C, normalmente, é dada pela C20, que é a capacidade de fornecimento de corrente elétrica de forma contínua por um período de vinte horas a 25 °C. Por exemplo, uma bateria de capacidade nominal de 120 Ah, é capaz de fornecer 6 A continuamente durante 20 h. Após esse período, considera-se que não há mais carga útil e a bateria pode ser danificada, caso continue em uso. Existem ainda outras taxas de descarga como C10, C5 e C1. Quanto maior for a taxa de descarga menor será a quantidade de energia



fornecida. Segundo o catálogo de um fabricante de baterias, uma bateria de capacidade nominal de 120 Ah a C20, possui capacidades de 111,6 Ah a C10, 102 Ah a C5 e 72 Ah a C1.

A profundidade de descarga é a medida percentual da quantidade de carga, a partir da carga plena, que pode ser usada sem prejudicar o desempenho da bateria. Dependendo do tipo de bateria e aplicação, ela pode chegar a valores altos como 80% ou mais, porém em baterias comuns como a de chumbo ácido, a profundidade de descarga não deve ultrapassar 50%, tendo como consequência a redução da vida útil da bateria.

Ao atingir determinada profundidade de descarga e ser novamente carregada, uma bateria completa um ciclo. Os ciclos são importantes, pois, em geral, a vida útil de uma bateria é medida pelo número de ciclos disponíveis. Quanto maior o número de ciclos disponíveis, maior é a vida útil. Portanto a vida útil de uma bateria é influenciada também pela sua forma de uso, quanto mais descargas profundas são feitas, menos vida ela possui. Isso ocorre, pois, a cada novo ciclo, uma pequena quantidade de material ativo dos eletrodos são desprendidos. Uma vez separados, esse material não consegue voltar ao eletrodo, resultando assim numa menor vida útil e capacidade da célula. Um outro fator de grande influência é a temperatura de operação.

Atualmente, as baterias de chumbo ácido são mais acessíveis em termos de custo quando comparadas com as de íon de lítio. Porém apresentam algumas desvantagens, principalmente nas aplicações em veículos elétricos. Um comparativo com as principais características das duas tecnologias é mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Comparativo entre baterias de chumbo ácido e íon de lítio

Tecnologia	Densidade energética (Wh/kg)	Eficiência (%)	Vida útil (ciclos)
Chumbo ácido	20-40	80-90	250-500
Íon de lítio	90-150	90-95	500-1000

A principal desvantagem está na menor densidade de energia, que é a razão entre a quantidade de energia por massa da célula, isso impacta diretamente no peso final da bateria. As baterias de íon de lítio são mais leves que as de chumbo ácido entre três a quatro vezes. Além de apresentar maiores eficiência, vida útil, taxas de carga e descarga e não possuir o chamado “efeito memória”. Essa característica faz as baterias perderem a sua capacidade de carga prematuramente, devido a ciclos de carga e descarga inapropriados à tecnologia usada. Por outro lado, as baterias de íon de lítio necessitam de um melhor controle eletrônico sobre

as suas cargas e descargas. Geralmente, ele é feito por um “sistema de gerenciamento de bateria” ou “*battery management system*”, BMS, na sigla em inglês. Já que o uso descontrolado pode acarretar em sérios acidentes, como até a explosão da bateria caso ela atinja altas temperaturas. O alto custo das baterias de íon de lítio é o maior impedimento para o seu uso, sendo o seu preço, em geral, três vezes maior quando comparado aos outros tipos.

A bateria foi escolhida tentando ao máximo equilibrar o custo, as premissas e as tecnologias empregadas no projeto. Pensando-se na máxima eficiência do veículo, quanto menor for o seu peso, melhor. Como o veículo apresenta ciclos de carga intermitentes, devido ao carregamento através da energia de frenagem, a tecnologia utilizada não deve perder rendimento, por causa dessa condição. O uso em veículos elétricos exige altas descargas, já que em certos momentos é necessário dar partida no motor de forma brusca. Por fim, foi encontrada uma bateria de íons de lítio com custo acessível e ela foi utilizada no projeto. O modelo escolhido possui capacidade nominal de 10 Ah e tensão nominal de 48 V. Apesar da pequena capacidade, a menor dentre as baterias utilizadas em veículos elétricos com tensão de 48 V, foi possível se ter noção do que essa capacidade energética fornece em termos de autonomia. A Figura 3 mostra a bateria montada na parte traseira do protótipo.



**Figura 3:** Bateria montada na cesta traseira

## Capítulo 3

### Fontes de energia

A principal fonte de energia é a solar fotovoltaica, pois ela é a única que possuía capacidade energética para carregamento total da bateria em algumas horas. Além de possuir informações suficientes que puderam ser analisadas previamente e definir um sistema fotovoltaico com capacidade para a necessidade levantada. As demais fontes, energias de frenagem e das pedaladas, só puderam ser analisadas a partir dos dados experimentais. Entretanto, desde o início, não era esperado que elas fornecessem energia suficiente para carregamento total da bateria em algumas horas.

O carregador por pedaladas também visa levantar o questionamento se a energia humana pode ser usada para geração de energia elétrica e posterior aproveitamento. Levando até o questionamento se a energia humana pode ser considerada uma energia renovável, partindo do conceito da palavra renovável, já que se espera que a raça humana continue se perpetuando, podendo, assim, ser vista como uma fonte de energia inesgotável.

A referência de demanda energética usada para o carregamento da bateria foi o próprio carregador que a acompanha. Ele foi escolhido, pois, é a fonte de carregamento especificada pelo fabricante. Os parâmetros elétricos do carregador foram tomados como base para os cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico. O consumo do carregador está no entorno de 120 W. Tal potência foi usada como base para a potência requerida nas pedaladas quando se utilizar o carregador customizado.

#### 3.1 Energia solar

O Sol é a fonte primária de energia do planeta Terra. As plantas obtêm energia através da fotossíntese, onde a energia luminosa é parte da reação química para formação de glicose. Portanto combustíveis obtidos da cana-de-açúcar, por exemplo, são oriundos da energia solar, mesmo que indiretamente. Ainda falando sobre as plantas, elas são a base de cadeias alimentares, logo os combustíveis fósseis, como petróleo e carvão, que são gerados a partir

dos resíduos de animais e plantas através de longos períodos de tempo, também podem ser considerados como derivados da energia solar. Além disso, o calor do Sol é responsável pela evaporação da água, que origina o ciclo da água e possibilita que ela seja represada e trabalhada em hidrelétricas. Os ventos, que são gerados a partir de diferenças de pressão na atmosfera originadas pelo aquecimento do ar devido à radiação solar, são usados em aerogeradores para a obtenção de energia elétrica. Portanto, o Sol pode ser considerado como a origem de todas as fontes energéticas utilizadas na atualidade.

O Brasil é um país com grande incidência solar, porém com baixo aproveitamento de todo seu potencial. Os primeiros leilões públicos de contratação de energia solar de geração pública centralizada ocorreram no ano de 2014. A energia solar representa uma pequena parcela da matriz energética brasileira, podendo chegar a 1% do total em 2024, segundo estimativa do Ministério de Minas e Energia.

### **3.1.1 Sistema fotovoltaico**

A tensão de trabalho do motor, 48 V, é pouco comum, existindo uma pequena variedade de componentes eletrônicos, tanto para o uso, quanto para controle de sistemas. Portanto a montagem de um sistema nessa tensão será praticamente exclusiva para o carregamento da bateria do protótipo. Por outro lado, o trabalho na tensão de 12 V é bastante difundido e consolidado, existindo uma grande gama de componentes e acessórios, que são facilmente encontrados no mercado. Com isso, duas hipóteses serão confrontadas: um sistema fotovoltaico que trabalha na tensão da bateria do protótipo e outro operando na tensão de 12 V, onde o sistema fornece energia a uma bateria que não é a do protótipo primeiramente.

O sistema montado é isolado, ou seja, não atrelado a rede elétrica, logo funciona apenas para o carregamento de baterias. Para a sua montagem, foram usados recursos disponíveis na instituição e alguns componentes foram comprados. Um sistema fotovoltaico isolado é composto na sua forma mais simples por módulo solar, controlador de carga e bateria.

Os módulos são responsáveis pela transformação da energia da luz solar, o fóton, em energia elétrica. Essa transformação acontece nas células fotovoltaicas, que são células de materiais semicondutores, geralmente silício, onde ocorre um movimento de elétrons, corrente elétrica, ao receberem luz solar. As células podem ser arranjadas em série e/ou paralelo pelo seu fabricante, de acordo com a potência do módulo desejada. Da mesma forma, os módulos

também podem ser arranjados em série e paralelo de acordo com a carga que fornecem energia (PINHO, 2014).

Neste trabalho, é definido como: módulo, o componente unitário formado por um conjunto de células fotovoltaicas; painel solar ou fotovoltaico o conjunto de módulos; e sistema fotovoltaico o conjunto formado pelo painel e os demais itens eletrônicos necessários para utilização.

Os módulos utilizados são da marca Komaes Solar, modelo KM(P)20, eles possuem potência máxima de 20 W e foram disponibilizados pela instituição. A Tabela 2 mostra as principais especificações do módulo, a folha de especificação completa está no Anexo A.

**Tabela 2:** Principais parâmetros do módulo solar KM(P)20

Parâmetro	Unidade	Valor
Potência máxima	W	20
Tensão em máxima potência	V	17,56
Corrente em máxima potência	A	1,14
Eficiência das células	%	13,7
Eficiência do módulo	%	10,39
Coefficiente de temperatura da potência	%/°C	-0,5
Comprimento	m	0,55
Largura	m	0,34
Peso	kg	2,6

Devido à baixa potência de cada módulo o tempo de carga será maior do que o desejado, já que idealmente uma carga completa deva ocorrer nas horas de sol de um dia. Dessa forma, o veículo poderia rodar com sua total autonomia a cada dia.

O controlador de carga possui algumas funções, a principal delas é regular a tensão fornecida pelo painel solar, já que a tensão gerada varia de acordo com a incidência solar e a temperatura da célula principalmente. A regulação é feita de acordo com a tensão da bateria, evitando assim uma sobretensão. Além disso, ele protege a bateria contra sobrecargas e sobredescargas, evitando que a corrente que entra ou sai da bateria cause algum dano. Portanto, o controlador de carga é um item vital para um sistema fotovoltaico isolado, pois ele aumenta a vida útil da bateria e evita possíveis acidentes causados por tensões ou descargas elevadas.

Os dois controladores de carga usados são do tipo “modulação por largura de pulso” ou “*pulse width modulation*”, PWM na sigla em inglês. A principal característica desse tipo de controlador é limitar a tensão fornecida pelo painel solar de acordo com a tensão da bateria. Tipicamente, baterias variam a sua tensão em mais ou menos 15 % da tensão nominal, ou seja, quando a bateria apresenta 115 % da sua tensão nominal, ela está com a carga completa e quando apresenta 85 %, está sem carga. Por exemplo, uma bateria com tensão nominal de 12 V, deve variar entre 13,8 V e 10,2 V. Essa bateria ao ser carregada com um controlador de carga PWM com um dos módulos solares utilizados em máxima potência receberia 1,14 A e 10,2 V quando descarregada e a mesma corrente e 13,8 V quando próxima da carga completa, mesmo que o módulo possa fornecer 17,56 V. Em outras palavras, por mais que o módulo forneça 20 W em máxima potência, o uso desse tipo de controlador limita a potência máxima fornecida a 15,7 W ou 78,5 % da potência máxima aproximadamente. Um outro tipo de controlador é o de “seguimento de ponto de potência máxima” ou “*maximum power point tracker*”, MPPT na sigla em inglês. Esse tipo de controlador possui um conversor cc-cc na sua entrada que converte a potência de entrada para a tensão da bateria. Esse tipo de controlador tem eficiência na faixa entre 92 e 97 %.

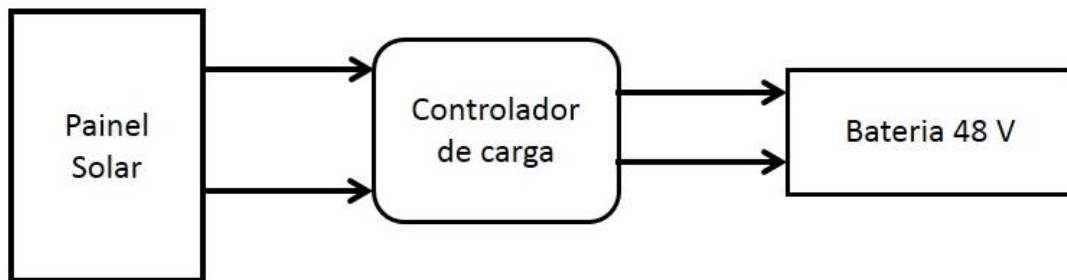
O carregamento direto na tensão de 48 V permite um sistema mais enxuto, ou seja, com menos etapas e conseqüentemente menos componentes. Logo é esperado que ele possua uma eficiência maior. Porém será uma montagem praticamente exclusiva para o carregamento da bateria do veículo. O carregamento na tensão de 12 V permitirá que a energia gerada seja usada de diversas formas, não somente para a bateria do veículo. Com os dados experimentais, será possível saber se a maior eficiência esperada do sistema em 48 V será grande o suficiente para que o carregamento em 12 V não se torne interessante.

### **3.1.1.1 Montagem para 48 V**

Para se definir a tensão do sistema, foi tomada como base a tensão de corte do carregador da bateria, ou seja, a tensão em que o carregador para de carregar por considerar a bateria com carga plena, que é de 54,6 V. Para esse valor ser atingido, quatro módulos solares ligados em série são necessários. Com isso, de acordo com as especificações do fabricante, a tensão em máxima potência é de 70,42 V e a corrente em máxima potência de 1,14 A. Apesar de a tensão dos quatro módulos ser consideravelmente maior que o necessário, a ligação de três módulos em série resultaria em 52,68 V, ou seja, abaixo do necessário. Vale ressaltar

também que tais valores são obtidos em máxima potência, quando há uma grande incidência solar direta, situação que não ocorre em todo o tempo.

O sistema foi o mais simples possível, sendo composto por quatro módulos solares, um controlador de carga e a própria bateria do veículo. O esquema do sistema fotovoltaico é mostrado na Figura 4, as setas indicam o sentido do fluxo de energia.



**Figura 4:** Esquema do sistema fotovoltaico para carregamento da bateria de 48 V

O controlador de carga foi importado diretamente da China, pois na época da compra, não foi encontrado no mercado brasileiro um controlador de carga que trabalhasse na faixa de tensão da bateria. Ele é da marca Wincong, modelo SL03-4810A e as suas principais características são mostradas na Tabela 3.

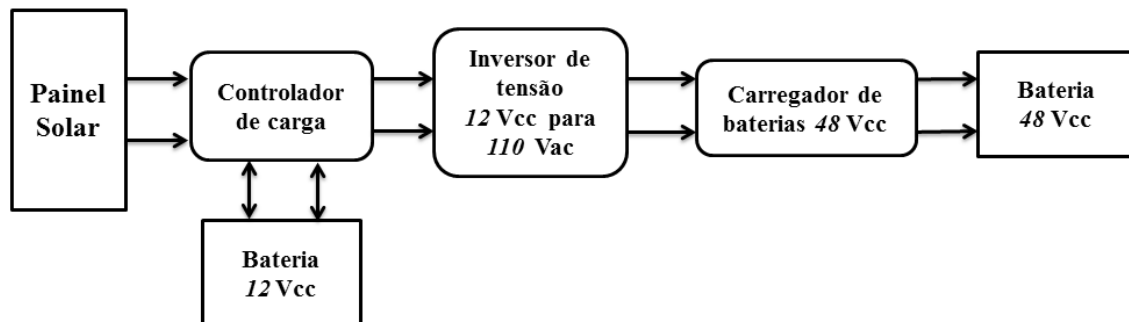
**Tabela 3:** Principais parâmetros do controlador de carga usado na montagem para carregamento a 48 V

Parâmetro	Unidade	Valor
Tensões de trabalho	V	36, 48 ou 60
Corrente máxima	A	10
Máxima tensão do painel solar	V	100

Os principais fatores que influenciam na escolha de um controlador de carga são trabalhar na tensão e suportar a corrente do painel. O controlador trabalha em três faixas de tensão, onde reconhece automaticamente a tensão de trabalho de acordo com a bateria conectada. Outro parâmetro importante é a tensão máxima suportada, já que o painel fornece um valor superior ao necessário na sua máxima potência. Como o controlador de carga atende a todos os requisitos, ele se mostrou como uma ótima escolha para projeto.

### 3.1.1.2 Montagem para 12 V

O sistema usará os mesmos quatro módulos solares, para que haja a mesma potência de geração, um controlador de carga diferente, uma bateria automotiva de 12 V, um inversor de tensão 12 Vcc para 110 Vac e o carregador da bateria de 48 V. A Figura 5 mostra o esquema do sistema montado, as setas indicam o sentido do fluxo de energia.



**Figura 5:** Esquema do sistema fotovoltaico para carregamento da bateria de 48 V através de uma bateria 12 V

O controlador de carga usado foi disponibilizado pela instituição. Ele é da marca Phocos, modelo CX10. Segundo informação do fabricante, que consta no Anexo D, a tensão de trabalho é 12 V ou 24 V, selecionada automaticamente de acordo com a bateria e a corrente máxima é de 10 A. Ao ligar quatro módulos solares em série, uma corrente máxima de 4,56 A pode ser atingida. Portanto, o controlador de carga é adequado para o painel montado, já que tensão e corrente máxima do painel solar estão dentro das suas faixas de trabalho.

A bateria de 12 V é a mesma utilizada no carregador por pedaladas. Ela é da marca Kraft, modelo KFR50D, possui capacidade de 50 Ah com a taxa de descarga C20. Ela foi escolhida por ter capacidade suficiente para manter a carga da bateria de 48 V por algumas horas quando não está sendo carregada. Além disso, como foi comprada para o projeto, ela apresentou um custo acessível dentro da sua faixa de capacidade.

O inversor de tensão foi disponibilizado pela instituição. Ele é parte integrante de um conjunto de equipamentos utilizados no estudo de energias renováveis. O manual do conjunto aponta que o inversor possui tensão de entrada de 12 Vcc e de saída de 110 V. Porém, ele não possui alguma identificação, não sendo possível saber fabricante ou modelo. Entretanto, ele possui fusíveis de 35 A para sua proteção, o que indica que a sua corrente máxima está abaixo



disso. Logo, pode-se presumir que a sua potência máxima de trabalho esteja entre 300 e 400 W, ou seja, suporta a potência requerida pelo carregador de baterias.

### **3.2 Energia de frenagem**

Um recurso interessante, entretanto, não disponível em todos os motores pesquisados, é a capacidade de inversão do motor em gerador. Motores e geradores síncronos são fisicamente iguais, assim como toda a sua modelagem e equacionamento. Onde a única diferença entre eles é o sentido do fluxo de potência, enquanto que potência é consumida para gerar movimento nos motores, o movimento gera potência nos geradores (CHAPMAN, 2013).

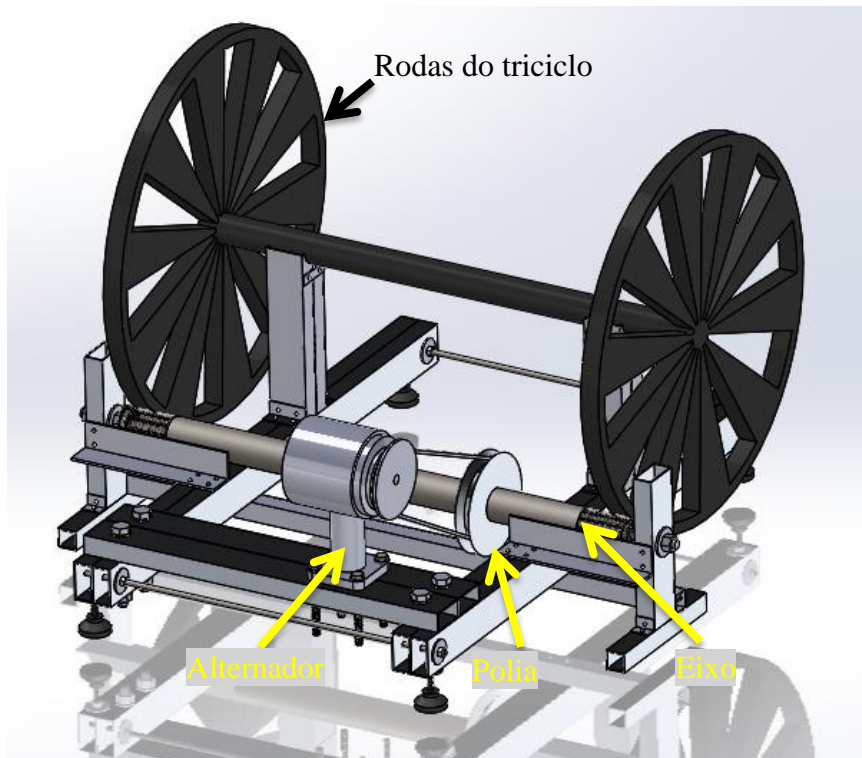
O motor escolhido possui a capacidade de inversão em gerador quando os freios são acionados, assim é esperado que a autonomia do veículo aumente quando esse recurso é utilizado. Infelizmente, devido à falta de informações do fabricante, não é possível estimar o ganho energético com o uso dessa função, sendo possível medir apenas com dados experimentais.

Um circuito de rua foi pensado a fim de haver maior compatibilidade entre os dados levantados, já que seria sempre o mesmo trajeto, sendo feito repetidas vezes. Tal circuito deveria cumprir alguns requisitos, como a disponibilidade de se trafegar com o veículo sem grandes interferências do trânsito normal de carros e com segurança para o condutor e os pedestres. Para tal, os testes foram executados em horários de pouco tráfego, como no início do dia e em fins de semana, numa via com pouca circulação de automóveis.

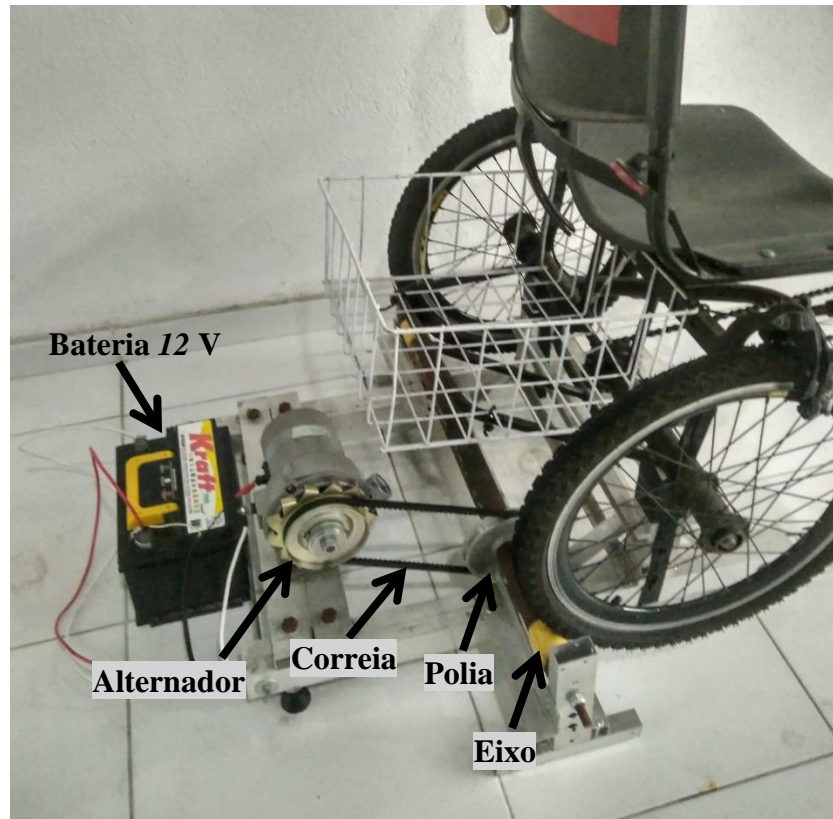
O protótipo foi testado no circuito de rua com o recurso ativo e inativo. Cada volta possui 1,5 km de comprimento, sendo o seu início no ponto vermelho da Figura 6. O percurso total é de 9 km, ou seja, composto por seis voltas. O veículo foi submetido a parada total no meio e no fim de cada volta, totalizando doze paradas totais. A tensão da bateria foi medida no início e no fim do percurso para se avaliar a variação do nível de carga da bateria.



eixo. Ao pedalar, as rodas movimentam o eixo, que possui uma polia acoplada que transmite movimento a um alternador automotivo através de uma correia. O alternador carrega uma bateria também utilizada em automóveis. A Figura 7 mostra um modelo do carregador com as rodas do triciclo feito com o programa SolidWorks. Os desenhos técnicos do carregador estão no Apêndice A. A Figura 8 é uma fotografia do carregador construído com o triciclo sobre ele.

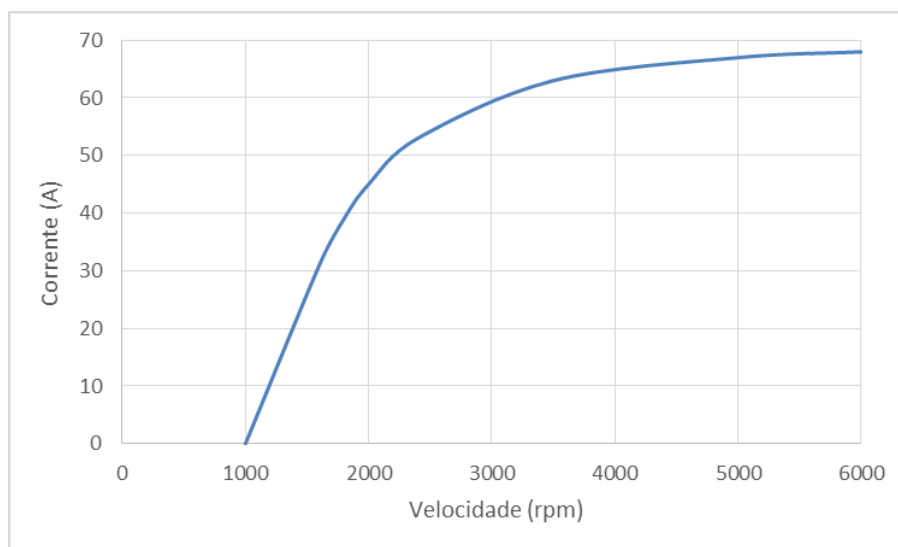


**Figura 7:** Modelo do carregador com as rodas



**Figura 8:** Triciclo sobre o carregador construído

Alternadores são geradores síncronos que possuem a mesma construção de motores síncronos, porém são modelados para converter energia cinética em elétrica e armazená-la em uma bateria. O alternador escolhido é da marca Euro, possui tensão nominal de trabalho de 12 V e gera uma corrente máxima de 55 A. A Figura 9 ilustra a curva de desempenho testada pelo fabricante, o eixo horizontal mostra a velocidade do alternador em rpm e o eixo vertical a corrente fornecida em A. Essas informações foram retiradas do relatório de inspeção do alternador fornecido pelo fabricante que consta no Anexo B.



**Figura 9:** Curva de desempenho do alternador

O alternador escolhido não é ideal para a aplicação, pois a faixa de velocidade alvo está muito próxima do início da geração de energia, por volta de  $1000$  rpm. Um alternador que começasse a gerar energia em velocidades menores seria mais indicado, porque seria possível operar numa porção mais intermediária da sua faixa de trabalho. Entretanto o custo de tais geradores é muito alto, sendo inviável a compra para o projeto, restando assim o modelo de alternador escolhido como a única opção economicamente viável no momento.

A partir do consumo do carregador de bateria  $48$  V medido, estima-se que o alternador necessite gerar entre  $10$  e  $15$  A para suprir a demanda energética do carregador. Com a análise da curva de desempenho, conclui-se que necessita atingir uma velocidade de aproximadamente  $1250$  rpm.

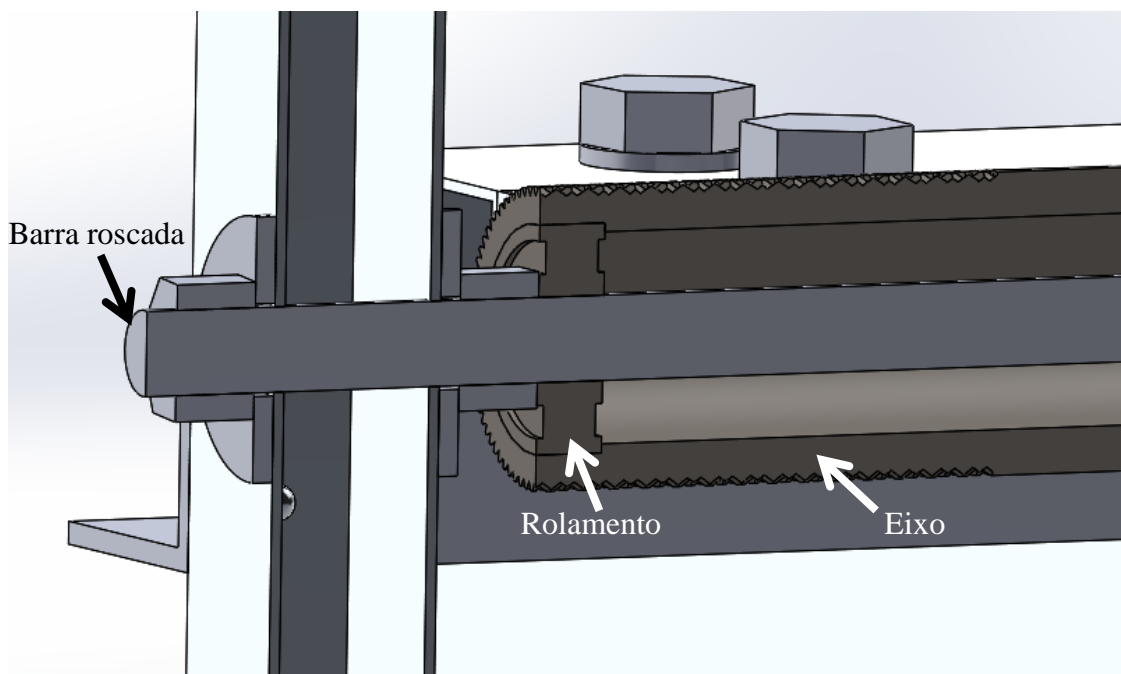
O diâmetro dos pneus traseiros do triciclo é  $500$  mm, como a transmissão montada atinge-se uma velocidade média de  $10$  km/h pedalando com o triciclo, a velocidade angular da roda é de  $107$  rpm aproximadamente. Portanto, para atingir uma velocidade de  $1200$  rpm no alternador, é necessário montar uma transmissão das rodas para o alternador que aumente o número de rotações por minuto em mais de onze vezes.

O alternador é comercializado em um conjunto com todos os acessórios necessários para o seu uso. Para o projeto, são utilizados: a base, que fixa o alternador a estrutura; a polia de  $100$  mm de diâmetro que fica acoplada ao eixo do alternador; e a correia, da marca Continental, modelo AVX10x913, que tem  $913$  mm de comprimento. Com os componentes

que já vêm com o alternador, resta apenas definir o eixo que fica em contato com os pneus do triciclo e a polia que fica acoplada a ele.

Se essa polia possuir o mesmo diâmetro da polia do alternador, para que exista uma relação de transmissão superior a onze vezes, o diâmetro do eixo deve ser onze vezes menor que o diâmetro dos pneus, ou seja, ter por volta de 45 mm.

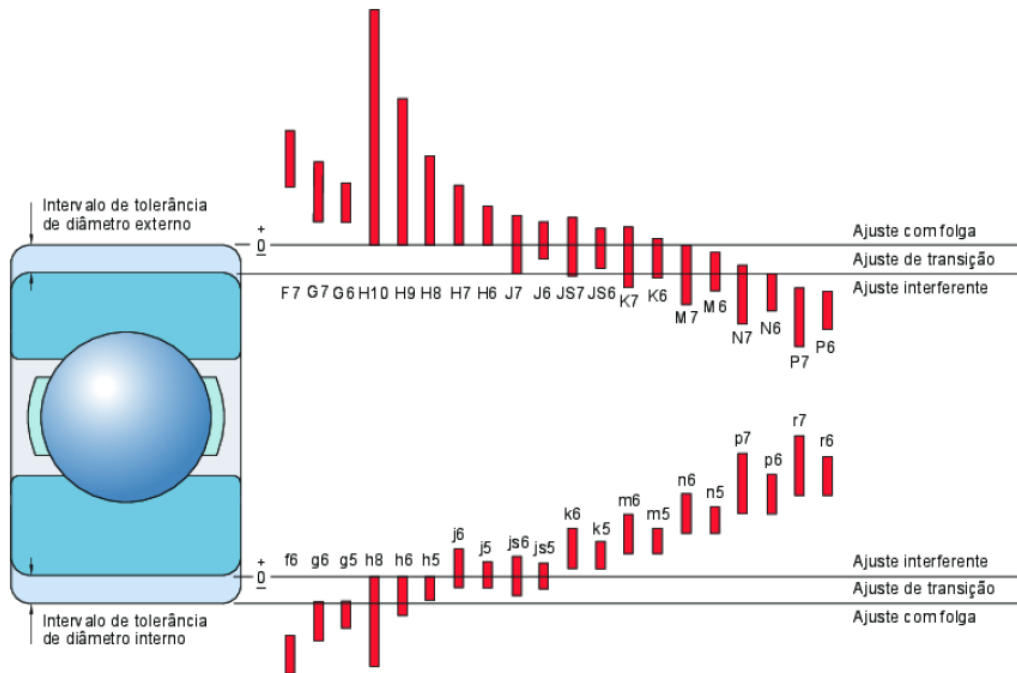
O eixo trabalha como um rolete, para tal, ele fica fixo à estrutura do carregador com dois rolamentos e uma barra roscada. A Figura 10 mostra um corte do modelo criado em programa de computador. Portanto a escolha do eixo está atrelada a escolha de rolamento e barra roscada com dimensões compatíveis.



**Figura 10:** Corte feito no modelo expondo a fixação do eixo à estrutura do carregador

Por mais que o protótipo fique apoiado na estrutura do carregador, é desejado que o eixo tenha resistência suficiente para suportar o peso total do protótipo, ou seja, o peso do triciclo com motor e bateria e do condutor. A carga total varia de acordo com o peso do condutor, portanto, é estimado que fique entre 90 e 120 kg. Ao avaliar os requisitos de resistência e dimensão, dentre os tubos disponíveis comercialmente, um tubo de aço sem costura que segue a norma ABNT NBR 5590:2015 foi escolhido. Ele possui diâmetro nominal de 1.1/4", diâmetro externo de 42,2 mm, interno de 29,50 mm e comprimento de 720 mm.

Dois rolamentos de esfera 6201ZZ da marca SKF foram comprados, eles possuem diâmetro externo de 32 mm, interno de 12 mm, largura de 10 mm e são blindados. Seguindo as recomendações de ajuste do fabricante mostradas no Anexo C, foi escolhido um ajuste M7 para o diâmetro interno do tubo. Esse ajuste se encontra nas faixas de transição e de interferência, como pode ser visto na Figura 11. Com isso, a tolerância dimensional do diâmetro é  $0/-25 \mu\text{m}$ , ou seja, entre 32,000 e 31,975 mm.



**Figura 11:** Recomendação de ajustes para rolamentos da SKF

Por fim, uma barra roscada M12 foi utilizada para ligação com a estrutura. A escolha da barra roscada ao invés de um eixo maciço se deu devido a não necessidade de qualquer outro processo de fabricação. Uma vez que, se um eixo maciço fosse utilizado, ele deveria ser trabalhado de alguma forma. Dessa maneira, somente dois componentes tiveram que passar por usinagem: o tubo para alojar o rolamento e a polia para montagem no tubo. Toda a estrutura do carregador foi feita com perfis de alumínio, o material foi escolhido devido a sua trabalhabilidade e fácil acesso no comércio. Ela foi construída usando máquinas manuais como furadeira e arco de serra.

Como a relação entre os diâmetros da roda traseira e do tubo é de 11,8 aproximadamente, a polia que fica acoplada ao eixo pode ser de diâmetro igual ou levemente superior a 100 mm (diâmetro da polia do alternador). De acordo com a disponibilidade encontrada no comércio na época da compra, uma polia de alumínio de 130 mm de diâmetro

foi escolhida. Com ela, a relação de transmissão final é de 15,4 aproximadamente. Por ser superior ao mínimo necessário, tal relação de transmissão possibilita que a pessoa pedale a uma velocidade menor que 10 km/h e consiga atingir 1250 rpm no alternador. Por outro lado, caso a pessoa consiga atingir os 10 km/h pedalando, é esperado que o alternador gere uma corrente elétrica maior que a necessária, resultando em um excedente de carga, que seria acumulada na bateria.

A fim de evitar o uso de chaveta e a demanda de fabricação de mais um componente, a polia foi acoplada ao eixo com um ajuste por interferência. Tal ajuste permite que os elementos fiquem unidos sem haver movimento entre eles e sem necessidade de qualquer componente adicional. Como a polia seria usinada de acordo com o tubo, foi adotado o sistema eixo-base. Um ajuste M7 h6 foi escolhido, tendo em vista o uso em polias com correias (AGOSTINHO, 1977).

Com a definição dos elementos de transmissão, é possível calcular a distância entre eixos das polias do alternador e da que fica acoplada ao tubo. Numa transmissão por correia essa distância é dada pela Equação 1 (BUDYNAS, 2011).

$$C = 0,25 \left\{ \left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right] + \sqrt{\left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\} \quad (1)$$

Onde: C é a distância entre eixos,  $L_p$  é o comprimento da correia, D é o diâmetro da polia maior e d é o diâmetro da polia menor. Todas as medidas em mm.

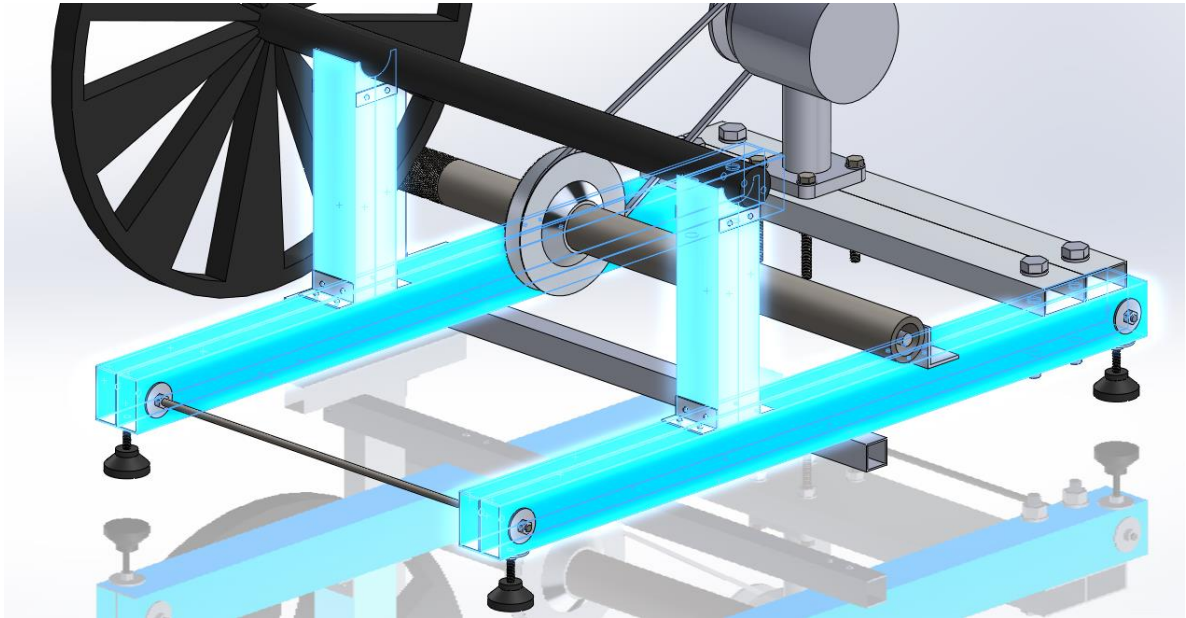
Resolvendo a Equação 1 com as dimensões dos componentes escolhidos, a distância entre eixos é de 275,45 mm.

### 3.3.2.1 Cálculos de resistência dos materiais das partes principais

As partes principais do carregador são aquelas que estão sujeitas aos maiores esforços. Como o carregador trabalha como um suporte para o triciclo e o condutor, a sua principal função é resistir a essa carga. Os elementos que suportam o triciclo são basicamente a coluna de sustentação e a viga destacadas na cor azul na Figura 12. Tanto a coluna quanto a viga são compostas de dois perfis retangulares de alumínio de 2" por 1" com espessura de parede de 1/16". Todos os elementos foram unidos com rebites cegos de alumínio. É recomendado que o diâmetro do rebite seja uma vez e meia a espessura da chapa mais fina dentre as que serão unidas (GORDO, 2000). Como a menor espessura é de 1/16", os rebites usados são de

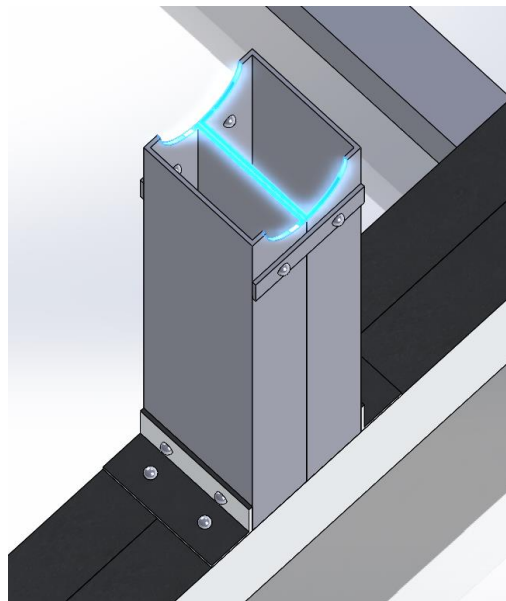


diâmetro  $1/8''$ , já que é o diâmetro encontrado comercialmente que mais se aproxima do recomendado. Além desses elementos, o tubo que fica em contato com os pneus e a sua coluna de sustentação também foram analisados. Para o dimensionamento de todas as partes, uma carga de  $1200\text{ N}$  foi considerada.



**Figura 12:** Coluna e viga que sustentam o triciclo

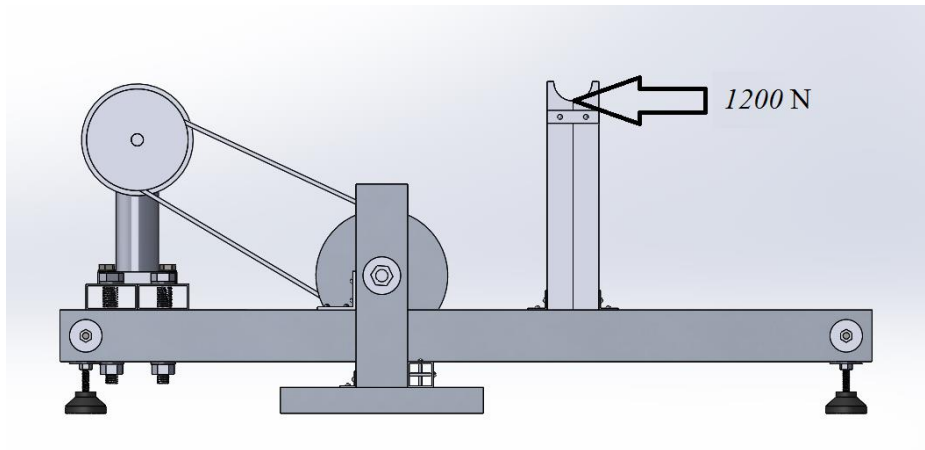
A coluna de sustentação sofre o esforço de  $1200\text{ N}$  em compressão. A área resistente considerada nos cálculos é a região de contato com o eixo do triciclo, que possui um diâmetro de  $1.1/2''$ . Essa área está destacada em azul na Figura 13.



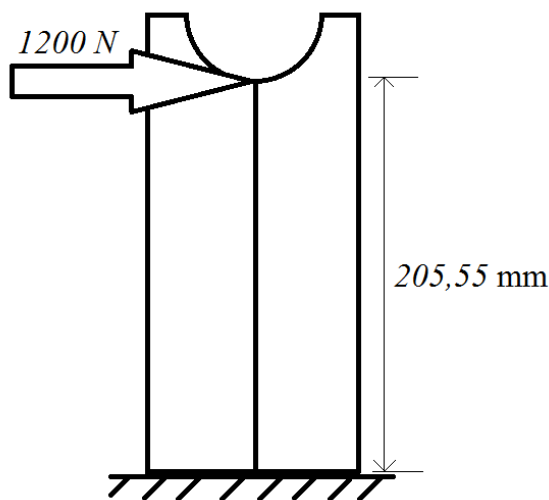
**Figura 13:** Área resistente da coluna de sustentação

Ao considerar que ocorre apenas compressão, a tensão resultante foi calculada dividindo-se a força pela área resistente, que nas duas colunas é de  $544 \text{ mm}^2$ . Dessa maneira, a tensão resultante é de  $2,2 \text{ MPa}$ , que é muito menor que a tensão de escoamento do alumínio que é  $255 \text{ MPa}$  (HIBBELER, 2010).

Por mais que a força peso atue verticalmente, pode haver algum desequilíbrio ou mau uso. A fim de atestar que a coluna também resistirá a essas situações adversas, foi analisado o caso onde uma carga de  $1200 \text{ N}$  atua horizontalmente no ponto central de contato do triciclo com a coluna. A Figura 14 ilustra a situação no modelo criado em computador e a Figura 15 é o diagrama de corpo livre do caso. A análise foi feita em duas ênfases, uma onde é considerado que a coluna está engastada e a sua resistência é calculada e outra onde a resistência dos rebites que unem a coluna à viga horizontal é verificada.



**Figura 14:** Força atuando horizontalmente na coluna de sustentação



**Figura 15:** Diagrama de corpo livre da coluna de sustentação

A partir do diagrama de corpo livre, verifica-se que a força atuante resulta em um momento interno de 247 N.m e uma força cortante de 1200 N. É possível calcular as tensões normal e de cisalhamento da coluna engastada com as Equações 2 e 3 respectivamente.

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{V * Q}{I * t} \quad (3)$$

Onde: M é o momento interno resultante dos esforços, em N.m; c é a distância perpendicular do eixo neutro ao ponto mais afastado dele, em m; I é o momento de inércia de área da seção, em m<sup>4</sup>; V é a força cortante interna resultante dos esforços, em Pa; t é a largura da área da seção transversal do elemento, medida do ponto onde  $\tau$  deve ser determinada, em m; Q é o produto da porção superior ou inferior área da seção transversal do elemento, definido pela seção onde t é medida pela distância até o centroide da área dita anteriormente, medida em relação ao eixo neutro, em m<sup>3</sup>.

A fim de facilitar os cálculos, a geometria analisada foi de apenas um perfil retangular de alumínio. A Tabela 4 apresenta os parâmetros calculados para a seção analisada.

**Tabela 4:** Dados para cálculos de tensões da coluna de sustentação

Momento (N.m)	Cortante (N)	c (m)	I (m <sup>4</sup> )	t (m)	Q (m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)
247	1200	0,0127	2,88*10 <sup>-8</sup>	0,0032	1,16*10 <sup>-6</sup>	121	17

A Equação 4 é o critério de falha de von Mises para o caso onde há somente tensões normal e de cisalhamento. Ela é usada para combinar as tensões com a finalidade de comparar o resultado com a tensão de escoamento do material.

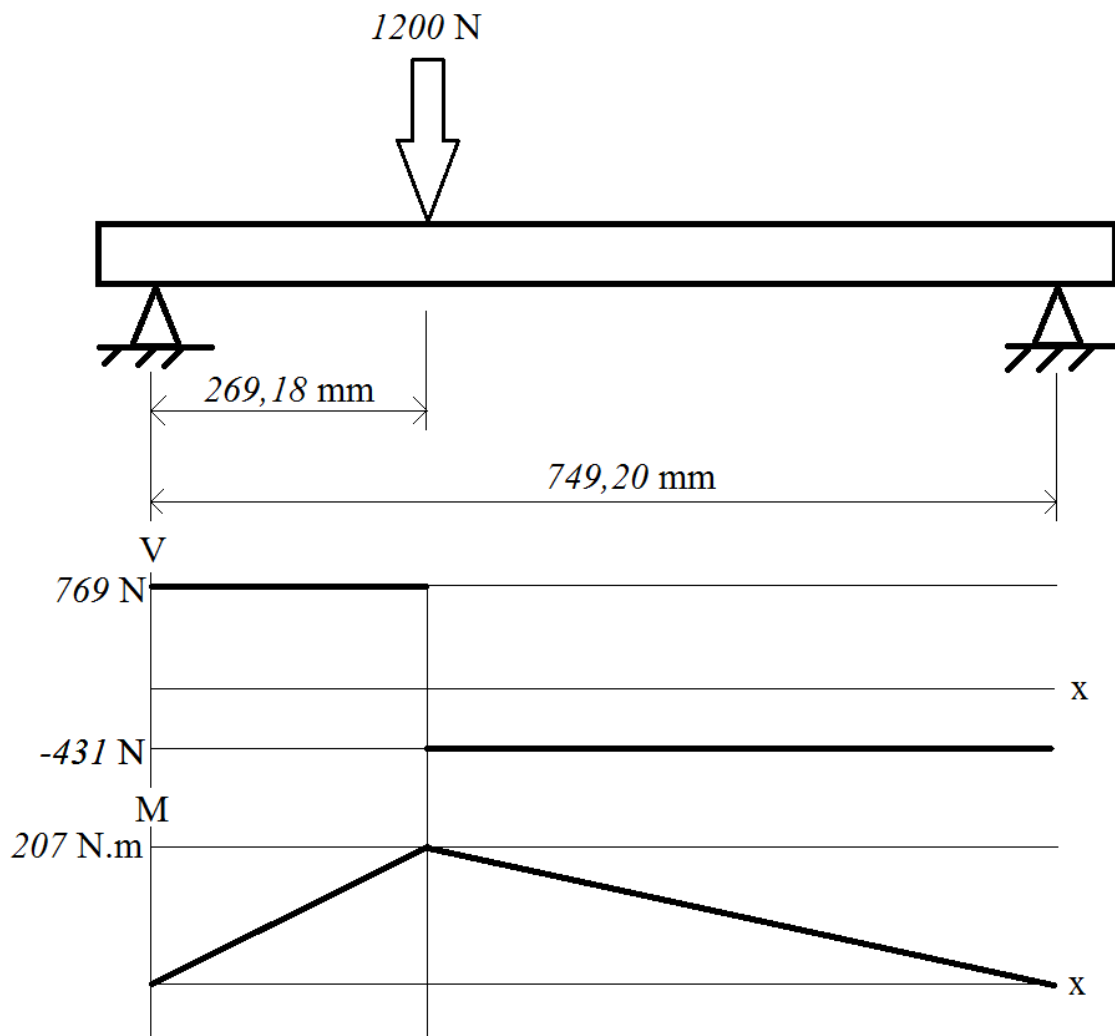
$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau^2)} \quad (4)$$

Ao calcular a Equação 4 com os dados da Tabela 4, a tensão equivalente resultante é de 125 Mpa. Verifica-se que a tensão equivalente é a metade da tensão de escoamento do material. Como as colunas são compostas no total por quatro perfis retangulares, conclui-se que as colunas possuem resistência bem maior que o suficiente.

Segundo a norma DIN 7337, cada um dos rebites utilizados deve resistir, no mínimo, a uma força cisalhante de 600 N e uma força normal de 500 N. Considerando que dezesseis

rebites unem as colunas às vigas no total. Quando a força atua horizontalmente, oito rebites resistem à força de cisalhamento. E os outros oito rebites resistem quando a força atua verticalmente. Portanto, a resistência mínima dos oito rebites é de  $4000\text{ N}$ , que é superior a força de  $1200\text{ N}$  requisitados no projeto. Na parte superior das colunas, oito rebites mantêm os perfis de alumínio unidos. Da mesma maneira, os rebites possuem uma resistência superior a requisitada.

A viga horizontal que suporta as colunas possui o diagrama de corpo livre da parte superior da Figura 16. Os pontos de apoio são os pés reguláveis que ficam em contato com o solo. A partir da análise do diagrama de corpo livre, é possível fazer os diagramas de força cortante e momento fletor da parte inferior da Figura 16.



**Figura 16:** Diagramas da viga

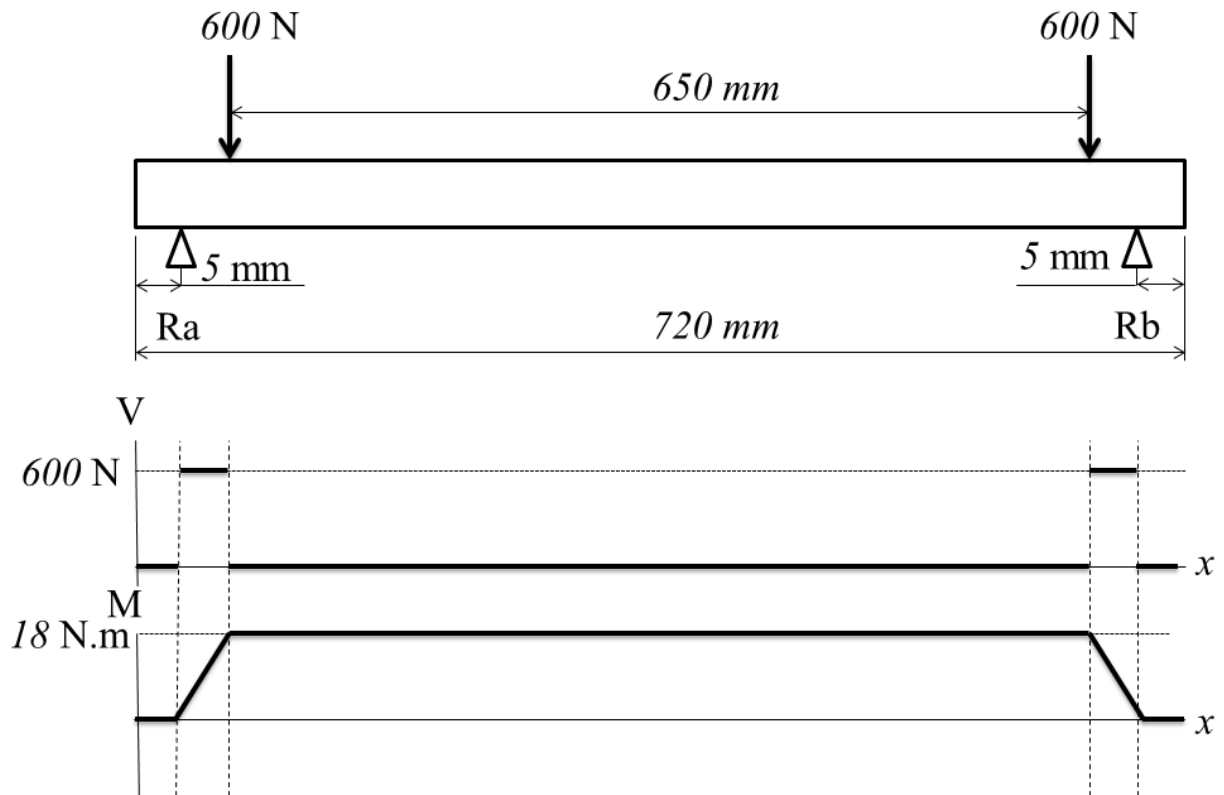
Verifica-se que a seção com maiores esforços está no ponto onde a força peso atua. A fim de facilitar os cálculos, a geometria analisada foi de apenas um perfil retangular de alumínio. A Tabela 5 apresenta os parâmetros usados para a análise da seção e os resultados dos cálculos das tensões com as Equações 2, 3 e 4.

**Tabela 5:** Dados para cálculos de tensões da viga horizontal

Momento (N.m)	Cortante (N)	c (m)	I (m <sup>4</sup> )	t (m)	Q (m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)	$\sigma_{eq}$ (MPa)
207	769	0,0254	$7,74 \cdot 10^{-8}$	0,0032	$1,89 \cdot 10^{-6}$	68	6	69

A tensão equivalente é quase quatro vezes menor que a tensão de escoamento do material. Como as vigas são compostas por quatro perfis de alumínio no total, a tensão equivalente se divide por quatro. Portanto, as vigas possuem resistência suficiente e uma boa margem de segurança para a carga definida.

No tubo, ao distribuir a carga igualmente nas duas rodas, considerar que o triciclo está devidamente centralizado, os rolamentos estão alojados nas extremidades do tubo e que a distância entre os pontos de contato das rodas é de 650 mm, obtém-se o diagrama de corpo livre da parte superior da Figura 17. Os pontos Ra e Rb são os centros dos rolamentos. A partir do diagrama de corpo livre, é possível fazer os diagramas de força cortante e momento fletor da parte inferior da Figura 17.



**Figura 17:** Diagramas dos esforços no tubo

A partir dos diagramas, verifica-se que as seções com maiores esforços internos estão nos pontos de contato dos pneus com o tubo. Além delas, as seções onde os rolamentos ficam alojados também serão avaliadas, já que elas possuem uma seção menor.

A Tabela 6 reúne os dados para os cálculos de tensões das seções. Onde os pneus estão apoiados, chamada de seção 1, possui diâmetros externo de 42,2 mm e interno de 29,5 mm e da seção onde os rolamentos estão alojados que possui diâmetros externo de 42,2 mm e interno de 32,0 mm, chamada de seção 2.

**Tabela 6:** Dados para cálculos de tensões no tubo

Seção	Momento (N.m)	Cortante (N)	c (m)	I (m <sup>4</sup> )	t (m)	Q (m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (MPa)	$\tau$ (MPa)
1	18	600	0,021	$1,18 \cdot 10^{-7}$	0,013	$4,07 \cdot 10^{-5}$	3,21	16,22
2	3	600	0,021	$1,04 \cdot 10^{-7}$	0,010	$3,49 \cdot 10^{-5}$	0,61	19,68

Calculando a Equação 3 com os dados da Tabela 4, obtém-se uma tensão equivalente de 28 MPa para a seção 1 e 34 MPa para a seção 2. Comparada com a tensão de escoamento

típica do aço, que é 250 MPa (HIBBELER, 2010), a tensão equivalente de cada seção é muito menor, comprovando que o tubo suporta a carga definida inicialmente.

Também é desejado avaliar a resistência à fadiga, já que o tubo trabalha girando. É possível calcular o limite de resistência à fadiga,  $S_e$ , com a Equação 5.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (5)$$

Os fatores considerados nos cálculos são os de acabamento superficial e tamanho,  $k_a$  e  $k_b$ , respectivamente, dados pelas Equações 6 e 7. Além do  $S'_e$ , que é o limite de resistência de teste de uma viga rotativa, dado pela metade do limite de resistência do material,  $S_{ut}$ . Os demais fatores são iguais a um, devido à peça trabalhar em temperatura ambiente, haver somente carregamento de flexão e não haver maiores informações que possam definir os demais fatores.

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (6)$$

Onde:  $a$  é 4,51 e  $b$  é -0,265, ambos para o caso de acabamento superficial usinado.

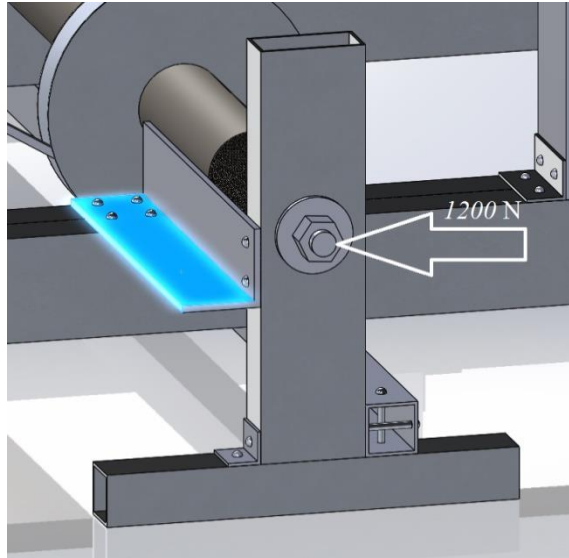
$$k_b = 1,24 d^{-0,107} \quad (7)$$

Onde:  $d$  é o diâmetro da seção analisada.

Considerando que o limite de resistência do material é 400 MPa e que o diâmetro da seção é 42,2 mm, o limite de resistência à fadiga é 153 MPa, que é maior do que a tensão equivalente calculada anteriormente. Logo, o tubo também resistirá à fadiga.

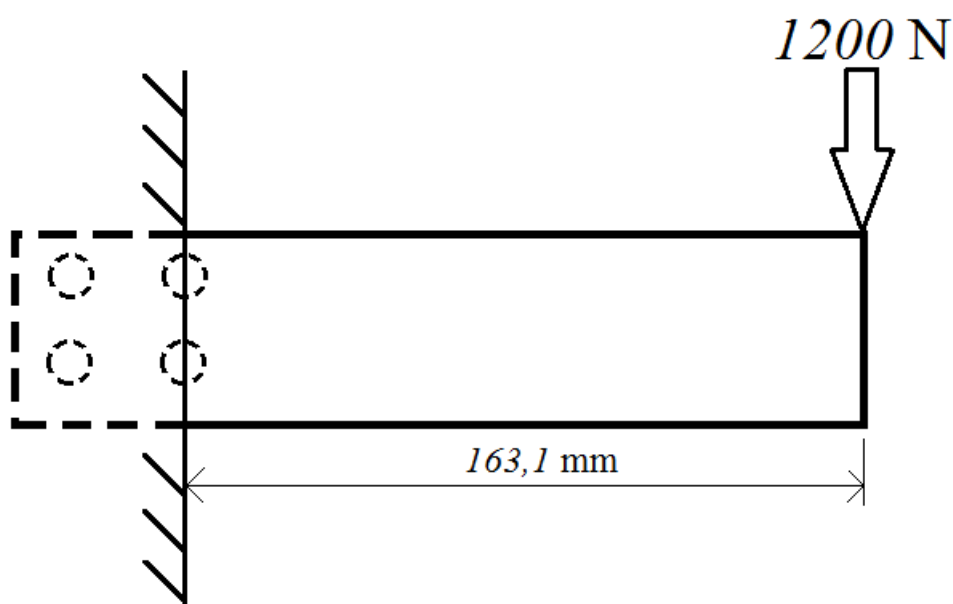
Idealmente, um tubo com aproximadamente o mesmo diâmetro externo e parede mais fina deveria ter sido usado para evitar superdimensionamento. Entretanto, não havia disponibilidade do comércio de outros tubos que cumprissem a combinação de tubo, rolamento e barra roscada na época da compra.

Na coluna de sustentação do tubo, foi considerado que a carga de 1200 N atua horizontalmente no furo onde fica a barra roscada, conforme ilustrado na Figura 18. Dessa maneira, a força é transmitida para a cantoneira de alumínio que fixa a coluna à viga do carregador e essa cantoneira que foi analisada.



**Figura 18:** Força atuando horizontalmente na coluna que sustenta o tubo

A fim de facilitar os cálculos, a área resistente considerada foi a região destacada em azul da Figura 18. Essa área foi considerada, pois ela apresenta uma resistência muito maior à outra parte da cantoneira, a região perpendicular a ela. A cantoneira está fixada com dois rebites em cada perfil retangular da viga horizontal do carregador, com isso, foi suposto que ela está engastada e o engaste ocorre na linha de centro dos rebites mais próximos à extremidade onde a força atua. Dessa forma, a área resistente é de uma chapa com  $163,1$  mm de comprimento,  $38,1$  mm de largura e  $3,2$  mm de espessura. A Figura 19 apresenta o diagrama de corpo livre da parte da cantoneira analisada.



**Figura 19:** Diagrama de corpo livre da cantoneira



A partir da análise do diagrama de corpo livre, verifica-se que a força atuante resulta em um momento interno de  $196 \text{ N.m}$  e uma força cortante de  $1200 \text{ N}$ . Ao calcular as tensões normal e de cisalhamento com as Equações 2 e 3, encontra-se  $255 \text{ MPa}$  e  $15 \text{ MPa}$  respectivamente. Assim, a tensão equivalente calculada com a Equação 4 é de  $256 \text{ MPa}$ . Supondo que a força atuante é dividida igualmente nas duas colunas, a resistência das duas é quase o dobro do necessário. Considerando que cada cantoneira é fixada com quatro rebites, totalizando oito rebites, a resistência ao cisalhamento total é de  $4800 \text{ N}$  ou  $2400 \text{ N}$  por cada lado. Sendo assim, os rebites são resistentes o suficiente.

A coluna de sustentação do tubo também é fixada à estrutura do carregador por um perfil quadrado de alumínio de  $1''$ . Esse perfil não passou por análise de resistência dos materiais, por que foi adicionado para dar mais rigidez a estrutura, a fim de reduzir a vibração causada pelo giro do tubo. Ele foi adicionado depois de a primeira versão do carregador ter sido construída. Nos testes iniciais, verificou-se que a coluna vibrava além do desejado, então foi necessário adicionar rigidez a estrutura.

A união com rebites é bastante simples e prática, entretanto, adiciona concentradores de tensão à estrutura. Como todos os elementos apresentaram fatores de segurança relativamente altos, os concentradores de tensão não foram considerados nos cálculos de resistência de materiais.

## Capítulo 4

### Resultados

Nos testes de rodagem iniciais, verificou-se a autonomia e velocidade máxima obtidas com o protótipo. Depois, as influências do auxílio na partida e do sistema regenerativo de freios foram experimentadas.

Além dos testes de rodagem, o carregador por pedaladas também foi posto em teste a fim de se verificar a sua capacidade de geração energética e o esforço humano necessário na geração. Verificando-se assim a sua viabilidade quanto a um gerador de energia humano.

Por último, o sistema fotovoltaico projetado inicialmente foi testado de forma proporcional com os recursos disponíveis na instituição, validando-se a estimativa de geração de energia.

Unindo-se os resultados obtidos, é possível estabelecer parâmetros que relacionam geração de energia com capacidade de distância a ser percorrida pelo veículo.

#### 4.1 Velocidade máxima

A velocidade máxima foi medida com um velocímetro usado normalmente em bicicletas, ele mede e guarda a velocidade máxima alcançada. Essa velocidade também foi validada com a velocidade exibida no mostrador digital, porém esse não guarda o valor máximo obtido, podendo somente ser feita a leitura enquanto se está em movimento. Para se obter melhores dados estatísticos os testes foram feitos três vezes, já que ocorreram em dias diferentes com condições diferentes, como temperatura e vento ambientes. A Tabela 7 traz os resultados obtidos.

**Tabela 7:** Resultados dos testes para velocidade máxima

Teste	Vel. Max
1	40,97 km/h
2	43,44 km/h
3	42,74 km/h
Média	42,38 km/h
Desvio padrão	1,04

Verifica-se que a velocidade máxima foi maior do que a esperada, já que a ideia inicial era que o veículo tivesse velocidade máxima de 35 km/h. Dentre os motores disponíveis no mercado na época da compra, aquele com a potência logo abaixo do escolhido possuía 800 W. Pensando-se apenas em números, ele teria 80 % da potência do motor usado, o que poderia acarretar em não ser possível atingir a velocidade desejada e o motor trabalharia na sua potência máxima, sem margem. Além disso, esse motor não dispunha de freio regenerativo, o que eliminava uma das fontes de energia.

É possível regular eletronicamente a velocidade máxima do motor escolhido, através do módulo controlador, numa faixa entre 20 e 34 km/h. Como o intuito do veículo é rodar com velocidades menores do que as máximas registradas e conseqüentemente obter uma maior autonomia, essa função pode ser útil.

## 4.2 Autonomia

A autonomia foi medida com o veículo rodando no circuito a velocidade máxima. Com o objetivo de parar o menos possível, evitando paradas totais e apenas reduzindo a velocidade nas curvas. A distância mostrada é a distância percorrida até que o nível de carga da bateria atinja um valor baixo o suficiente para que o módulo controlador entre no modo de economia de energia, onde passa a limitar a velocidade a 25 km/h. A partir daí, foi considerado que a carga disponível não é mais suficiente para que se continue a rodar com o veículo. O teste foi executado duas vezes, porque os resultados obtidos foram muito próximos um do outro, portanto concluiu-se que não haveria grande variação, a Tabela 8 apresenta os resultados.

**Tabela 8:** Resultados dos testes de autonomia a velocidade máxima

Teste	Distância (km)	Tempo (min)	Vel. Média (km/h)
1	19,7	38	31,1
2	19,7	42	28,1
Média	19,7	40	29,6

A velocidade média pode ser interpretada como a taxa de descarga da bateria já que maiores velocidade médias implicam em descargas mais rápidas. Apesar de os testes apresentarem velocidades médias um pouco diferentes a autonomia foi igual.

Como a ideia original do projeto era que o veículo rodasse no máximo a 35 km/h, a sua velocidade máxima foi ajustada no mostrador digital para 34 km/h, o que é bem próximo do valor desejado. Na prática, verificou-se que a velocidade máxima passava dos 34 km/h chegando próximo dos 35 km/h, porém sem atingi-los. A Tabela 9 mostra os resultados obtidos, novamente foram feitos dois testes.

**Tabela 9:** Resultados dos testes de autonomia a velocidade regulada em 34 km/h

Teste	Distância (km)	Tempo (min)	Vel. Média (km/h)
1	23,0	45	30,7
2	23,0	44	31,4
Média	23,0	44	31,0

Ao contrário do teste a velocidade máxima, a autonomia registrada não foi obtida quando a bateria atingia um nível de carga baixo o suficiente para ativar a economia de energia. Na verdade, quando o motor foi configurado para atingir ao máximo 34 km/h, mesmo com um baixo nível de carga, ele ainda não era baixo o suficiente para ativar a economia de energia. Teoricamente, era possível continuar rodando com o veículo, porém os testes foram interrompidos ao se atingir 23 km de distância percorrida. Pois, o nível de carga já era baixo demais, podendo causar algum dano à bateria e a distância já era suficientemente maior para se atestar o resultado esperado.

Observa-se que apenas com a redução na velocidade houve um aumento de 16,75 % na autonomia e a velocidade média ligeiramente maior. Acredita-se que isso ocorra devido ao fato de o motor não trabalhar sempre na sua potência máxima, tendo uma sobra de potência para casos como subidas e irregularidades na pista.

Apesar de a autonomia média ser menor que o esperado, a bateria possui uma capacidade relativamente pequena. Então acredita-se que o uso de uma bateria com capacidade maior, mais condizente com a potência do motor, traga resultados melhores. Já que a adição de baterias influenciaria apenas no peso total do veículo. Tendo em vista que o conjunto com veículo e condutor é maior que 100 kg e uma bateria pesa por volta de 5 kg, a inclusão de mais uma bateria resultaria num acréscimo de peso total muito pequeno em comparação com o potencial ganho de capacidade energética, já que praticamente poderia dobrar a autonomia.

### 4.3 Sistema regenerativo de freios

Um dos fatores cruciais na escolha do motor foi a possibilidade de ele usar a energia de frenagem para carregamento da bateria. Desde a fase inicial do projeto, não era esperado que essa fonte de energia fornecesse um grande aporte de energia, porém esse recurso era bastante desejado, já que ele cumpria bem as premissas do projeto, quanto a ser uma fonte renovável. Como o próprio motor é o gerador, nenhum componente adicional ou construção de qualquer tipo seria necessário. Por outro lado, a adição desse recurso aumentou consideravelmente o custo do motor, fazendo com que seja avaliado se o investimento realmente é válido ou não.

Os testes foram feitos analisando quatro situações diferentes com cinco experimentos para cada situação. Além de comparar quando o sistema regenerativo de freios estava ligado ou não, também foi analisado quando o condutor auxiliava ou não na partida. Como a tensão da bateria reflete o nível de carga, ela foi medida antes e depois dos experimentos a fim de se comparar qual situação consumia mais energia. A Tabela 10 mostra o comparativo quando houve auxílio do condutor na partida.

**Tabela 10:** Resultados dos testes da influência do sistema regenerativo de freios com auxílio na partida

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão final (V)	Variação de tensão (V)	Freio
1	53,7	50,4	3,3	Não
2	53,6	50,4	3,2	Não
3	53,7	50,3	3,4	Não
4	53,7	50,4	3,3	Não
5	53,7	50,5	3,2	Não
Média	53,7	50,4	3,3	
Desv. Pad.	0,0	0,1	0,1	
1	53,7	50,5	3,2	Sim
2	53,7	50,6	3,1	Sim
3	54	50,7	3,3	Sim
4	53,9	50,6	3,3	Sim
5	53,8	50,5	3,3	Sim
Média	53,8	50,6	3,2	
Desv. Pad.	0,1	0,1	0,1	

Como era esperado, houve uma menor queda de tensão quando o sistema estava ligado. A queda foi 3,1 % menor, na média, quando o recurso estava ativo. Por outro lado, levando o desvio padrão em consideração, os resultados são inclusivos. É esperado que o uso

combinado do sistema regenerativo de freios e o auxílio na partida resulte na forma mais econômica possível.

A Tabela 11 mostra os resultados quando não houve auxílio do condutor na partida.

**Tabela 11:** Resultados dos testes da influência do sistema regenerativo de freios sem auxílio na partida

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão final (V)	Variação de tensão (V)	Freio
1	53,9	50,2	3,7	Não
2	53,7	50,5	3,2	Não
3	53,9	50,3	3,6	Não
4	53,7	50,1	3,6	Não
5	53,9	50,4	3,5	Não
Média	53,8	50,3	3,5	
Desv. Pad.	0,1	0,1	0,2	
1	53,9	50,3	3,6	Sim
2	53,8	50	3,8	Sim
3	53,9	50,4	3,5	Sim
4	53,8	50	3,8	Sim
5	53,8	50,4	3,4	Sim
Média	53,8	50,2	3,6	
Desv. Pad.	0,0	0,2	0,2	

Nesta hipótese, ao contrário do esperado, a queda de tensão foi 2,8 % maior, na média, quando o sistema estava ativo em comparação quando ele estava inativo. Novamente, considerando o desvio padrão, os resultados são inconclusivos. Esse resultado pode ser explicado devido a fatores ambientais como altas temperaturas durante alguns dias de teste e vento contra em partes do circuito.

Apesar dos resultados inclusivos em relação ao real ganho de energia quanto ao uso do sistema regenerativo. Pode-se concluir que o uso do sistema fornece uma pequena quantidade de energia. Já que ela foi da ordem de 3 % quando houve alguma economia perceptível. Quando houve mais dificuldade para se percorrer o circuito, o ganho não foi grande o suficiente para se tornar algo positivo, resultando em um gasto maior de energia com o sistema ligado.

#### 4.4 Auxílio na partida com pedaladas

Uma das principais premissas do projeto é a avaliação do uso da energia humana. Como os motores elétricos consomem uma grande quantidade de energia na sua partida e

como a transmissão montada não exige grande esforço ao pedalar, o condutor auxiliar na saída da inércia foi uma das hipóteses levantadas para aumentar a eficiência. A fim de evitar a interferência de a bateria ser carregada durante as frenagens, os testes foram feitos com o sistema regenerativo de freios desligado. A Tabela 12 mostra os dados obtidos.

**Tabela 12:** Resultados dos testes da influência do auxílio na partida

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão final (V)	Variação de tensão (V)	Assistência
1	53,9	50,2	3,7	Não
2	53,7	50,5	3,2	Não
3	53,9	50,3	3,6	Não
4	53,7	50,1	3,6	Não
5	53,9	50,4	3,5	Não
Média	53,8	50,3	3,5	
Desv. Pad.	0,1	0,1	0,2	
1	53,7	50,4	3,3	Sim
2	53,6	50,4	3,2	Sim
3	53,7	50,3	3,4	Sim
4	53,7	50,4	3,3	Sim
5	53,7	50,5	3,2	Sim
Média	53,7	50,4	3,3	
Desv. Pad.	0,0	0,1	0,1	

Verifica-se que a queda de tensão foi 6 % maior, na média, quando o condutor não auxiliou na partida. Como esperado o consumo de energia foi maior quando não houve auxílio do condutor. Por outro lado, por mais que o circuito tenha sido padronizado, outros fatores ambientais não puderam ter sido controlados, como o vento contra em alguns dias de teste, o que também influenciou nos resultados. Enfim, pode-se concluir que há uma economia de energia de 6 % no mínimo.

Era esperado que o cenário onde o condutor não auxilia nas partidas e o sistema regenerativo de freios desligado fosse o de maior consumo, ou seja, o que apresentasse a maior queda de tensão.

## 4.5 Circuito sem paradas

Para se obter um maior conhecimento sobre o consumo do veículo, um teste de rodagem foi feito sem que houvesse paradas e consequentes retomadas. Ele visa medir somente o consumo numa situação de descarga contínua, porém sem que o veículo tenha que

sair da inércia constantemente. Portanto, objetiva-se manter a velocidade média o mais alto possível, dentro das limitações da via, como o tráfego normal e pedestres. Algo parecido com a medição de consumo em estrada usada normalmente em carros.

Para haver compatibilidade entre os testes, o circuito é mesmo dos testes anteriores, ele foi feito três vezes a fim de se obter melhores dados estatísticos, como não houve paradas totais, somente uma no fim do circuito, e nem partidas frequentes, somente uma no início do circuito, não há influência do uso sistema regenerativos de freios, nem do auxílio do condutor nas partidas, de qualquer maneira, para garantir que houvesse somente descarga, o sistema de freio estava desligado durante os testes. A Tabela 13 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 13:** Resultados dos testes no circuito sem paradas

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão final (V)	Varição de tensão (V)
1	53,7	50,5	3,2
2	53,7	50,6	3,1
3	53,7	50,6	3,1
Média	53,7	50,6	3,1

Os resultados mostram que a queda de tensão média da bateria no circuito sem paradas é próxima da média do cenário onde o condutor auxilia nas partidas, mostrando que o auxílio na partida reduz efetivamente os efeitos inerciais, aumentando assim a eficiência.

## 4.6 Carregador por pedaladas

Os testes do carregador por pedaladas visam averiguar se é possível gerar energia suficiente para alimentar o carregador de baterias a partir da energia humana e medir o esforço necessário para tal. Os testes tiveram duração de 5 min e foram realizados cinco vezes por uma mesma pessoa que tentou manter o esforço o mais constante possível. Durante alguns momentos, a pessoa aumentou o esforço no máximo que pôde para verificar a potência máxima gerada pelo alternador. As medições foram feitas com um medidor de energia de corrente contínua que também guarda a potência de pico e a energia gerada durante o tempo de medição. Dividindo-se a energia gerada pelo tempo de teste é possível calcular a potência média. A Tabela 14 mostra os resultados obtidos.



**Tabela 14:** Resultados dos testes do carregador por pedaladas

Teste	Potência de pico (Wp)	Energia (Wh)	Potência média (W)
1	99,9	3,5	42,0
2	120,3	2,8	33,6
3	121,6	2,8	33,6
4	118,1	3,0	36,0
5	130,7	3,0	36,0

Verifica-se que a potência média fornecida é inferior à necessária para manter o carregador de baterias funcionando, por volta de  $120\text{ W}$ , quando se fez um esforço razoável. Conforme esperado, foi possível gerar energia suficiente e até algum excedente nos momentos de pico, porém o esforço necessário para manter o alternador gerando essa potência é muito grande. Consequentemente, muito desgastante para a pessoa que pedala. Pessoas com melhor condicionamento físico podem conseguir manter uma boa faixa de geração. Por outro lado, é difícil afirmar que qualquer pessoa conseguiria manter o esforço requerido. Principalmente, pessoas menos preparadas, mesmo que usem o carregador para ganhar condicionamento.

## 4.7 Sistema fotovoltaico

Para se comparar as duas hipóteses levantadas, carregamento a  $48\text{ V}$  e a  $12\text{ V}$ , a eficiência de cada componente foi medida. Com o conhecimento cada uma, é possível definir o rendimento global de cada sistema de carregamento.

### 4.7.1 Carregamento a $48\text{ V}$

O único componente a ser analisado no sistema de  $48\text{ V}$  é o controlador de carga. Como o controlador de carga regula a tensão elétrica de todo sistema de acordo com a tensão da bateria, a eficiência foi medida comparando a corrente que entrava com a que saía do controlador. As correntes foram medidas no mesmo momento com um intervalo de trinta minutos entre cada medição e cinco medições foram feitas durante o teste. As correntes foram medidas com multímetros disponibilizados pela instituição. A Tabela 15 apresenta os resultados.

**Tabela 15:** Resultados da medição de eficiência do controlador de carga 48 V

Entrada (A)	Saída (A)	Eficiência (%)
1,12	1,09	97,3
1,20	1,17	97,5
1,18	1,15	97,5
1,17	1,14	97,4
1,15	1,12	97,4

Conclui-se que o controlador de carga possui uma eficiência média de 97,4 %. Tal valor pode ser atribuído diretamente a eficiência do carregamento a 48 V, já que o controlador de carga é o único componente do sistema.

#### 4.7.2 Carregamento a 12 V

As eficiências de três componentes foram medidas: do controlador de carga 12 V, do inversor 12 Vcc para 110 Vca e do carregador de baterias.

A eficiência do controlador de carga 12 V foi medida da mesma maneira que a do controlador 48 V, através da comparação da corrente elétrica que entrava com a que saía. Também foi realizado um teste com cinco medições com intervalo de trinta minutos entre elas. A Tabela 16 apresenta os resultados.

**Tabela 16:** Resultados da medição de eficiência do controlador de carga 12 V

Entrada (A)	Saída (A)	Eficiência (%)
4,08	4,03	98,8
4,03	3,98	98,8
3,84	3,79	98,7
3,93	3,87	98,5
3,50	3,45	98,6

Pode-se concluir que o controlador de carga possui uma eficiência média de 98,7 %. É válido ressaltar que a corrente de entrada é a que vem diretamente do painel solar.

O inversor teve a sua eficiência medida através da comparação da energia consumida com a energia fornecida durante uma carga da bateria. Além disso, a potência foi registrada cinco vezes ao longo da carga, a fim de avaliar a eficiência nesses momentos. Os testes foram feitos duas vezes, em dois dias diferentes. A Tabela 17 apresenta os resultados. Os dados

foram obtidos com medidores de energia para corrente contínua (na entrada) e corrente alternada (na saída).

**Tabela 17:** Resultados da medição de eficiência do inversor

	Entrada		Saída		Eficiência da	
	Potência (W)	Energia (Wh)	Potência (W)	Energia (Wh)	Potência (%)	Energia (%)
Teste 1	121,2	0	102,4	0	84,5	---
	121,9	65	105,6	56	86,6	---
	124,7	137	108,2	118	86,8	---
	135,2	243	117,0	210	86,5	---
	32,0	307	24,2	266	75,6	86,6
Teste 2	123,1	5	100,3	3	81,5	---
	121,5	52	102,6	43	84,4	---
	118,2	84	103,8	70	87,8	---
	115,2	184	107,6	155	93,4	---
	120,1	222	105,4	187	87,8	84,2

A partir dos dados da Tabela 17, conclui-se que o inversor possui uma eficiência média de 85,4 %. A menor eficiência registrada no último momento do primeiro teste bateria se deve ao fato de a bateria já estar carregada. Apesar de fornecer uma pequena corrente elétrica, o carregador continua consumindo potência. Isso explica a recomendação geral de sempre retirar qualquer carregador da tomada quando a carga está completa.

O carregador de baterias teve a sua eficiência medida de forma similar a do inversor. A única diferença é que o medidor de energia para corrente alternada estava na entrada e o de corrente contínua na saída. Dois testes foram feitos em dias diferentes, a potência foi medida cinco vezes durante cada carga e as quantidades de energia consumida e fornecida foram comparadas para a definição de uma eficiência geral. A Tabela 18 apresenta os resultados.

**Tabela 18:** Resultados da medição de eficiência do carregador de baterias

	Entrada		Saída		Eficiência da	
	Potência (W)	Energia (Wh)	Potência (W)	Energia (Wh)	Potência (%)	Energia (%)
Teste 1	102,1	2	89,4	3	87,6	---
	103,2	30	90,6	24	87,8	---
	106,4	103	93,3	88	87,7	---
	109,6	167	95,3	144	87,0	---
	115,2	223	96,8	192	84,0	86,1
Teste 2	104,8	1	92,5	0	88,3	---
	107,7	57	94,7	50	87,9	---
	110,5	116	96,0	101	86,9	---
	115,5	165	97,2	143	84,2	---
	116,8	193	98,3	167	84,2	86,7

Com os dados da Tabela 18, conclui-se que o carregador de baterias possui uma eficiência média de 86,4 %.

A eficiência média do sistema é calculada multiplicando-se as eficiências medidas de cada componente. Conclui-se que ela é 72,8 %.

A energia gerada pelo painel solar pode ser maior, menor ou igual à necessária para alimentar o inversor. Com isso, a bateria de 12 V pode trabalhar em três situações diferentes. Quando a energia gerada pelo painel é maior que a necessária, o controlador de carga direciona a energia necessária para alimentar o inversor e o excedente é armazenado. Nessa situação, pode-se incluir caso onde o inversor nem esteja sendo utilizado, ou seja, toda a energia gerada é armazenada. Quando a energia gerada é menor, toda a energia gerada é direcionada para o inversor e a bateria também é descarregada. O processo de carga e descarga da bateria possui uma eficiência relacionada. Como não há disponibilidade de instrumentos adequados, medir tal eficiência se torna complexo. A eficiência de baterias de chumbo varia entre 80 e 90 % tipicamente. Entretanto, como o valor exato não pode ser medido, o valor de 72,8 % do sistema será considerado nas discussões do próximo capítulo.

## Capítulo 5

### Discussões sobre a viabilidade do projeto

Os dados experimentais e a vivência de uso do protótipo dão uma melhor visão sobre as especificações de um projeto piloto. Pensando em um produto comercial, o uso das tecnologias está atrelado a custos, viabilidade técnica, aceitação do público, legislação em vigor, entre outros. Com isso em mente, os componentes podem ser mais bem definidos.

#### 5.1 Motor e sistemas de carga e alimentação

##### 5.1.1 Motor

O motor utilizado no protótipo apresenta uma ótima potência e o diferencial de possuir o recurso de sistema regenerativo de freios. Na época da compra dos materiais para o projeto, maio de 2016, existia no mercado um conjunto com motor de 800 W, sem sistema regenerativo de freios e com bateria de lítio com 10 Ah, além dos itens essenciais para funcionamento, por um preço de R\$2555,00. O valor pago pelo conjunto usado no protótipo sem bateria foi de R\$2000,00.

Unindo o conhecimento sobre velocidade máxima, autonomia, eficiência do sistema regenerativo de freios e os custos, o conjunto com motor de 800 W seria a opção mais recomendada na época. Já que a diferença de potência entre os motores não era tão significativa para a velocidade máxima desejada e o freio regenerativo pouco eficiente. Apesar de se mostrar como algo positivo, o custo associado ao motor possuir o recurso é muito alto, comparado ao seu benefício, que é muito baixo. Logo a escolha de um motor com esse recurso está vinculada diretamente ao seu custo total, se houver no mercado um motor com o recurso com o preço muito próximo ao motor sem o recurso, o investimento pode ser válido, caso contrário, a escolha deve ser evitada.

Em outubro de 2017, a loja onde o motor foi comprado não possuía estoque, mas o preço do conjunto usado no protótipo sem bateria subiu para R\$2290,00. A loja que vendia o motor de 800 W o substituiu por um motor de 500 W com picos de 1000 W. O valor do conjunto com bateria de lítio de 10,5 Ah é R\$2840,50 e do conjunto sem baterias é

R\$1515,25. Da mesma forma que no passado, o conjunto do motor comprado não tem um bom custo x benefício. Sendo assim, a escolha do outro conjunto é mais recomendada.

Um benefício não esperado do sistema regenerativo, que se mostrou de grande valia, foi o aumento na eficiência de frenagem. Originalmente o triciclo possui freios à sapata somente nas rodas traseiras. Com o sistema ligado, a roda dianteira também passou a frear, já que o motor se tornava gerador. Isso se tornou um ponto muito positivo do uso do sistema e que vai de encontro a uma das premissas do projeto, que é o baixo uso de consumíveis, já que com o motor servindo de freio também, as sapatas de freio se desgastam muito menos. Entretanto, tal benefício ainda não compensa o alto custo relacionado.

Mesmo utilizando um motor com potência menor que o testado, é aconselhável que a bateria usada possua mais capacidade. O motor utilizado no projeto necessita de 20,8 A para atingir a sua potência de 1000 W. Dessa maneira, a bateria de 10 Ah trabalha com uma taxa de descarga C0,5, que é altíssima. Para ela trabalhar com uma taxa C1, ainda alta, o motor deveria ser de 500 W no máximo.

### **5.1.2 Sistema fotovoltaico**

Supondo que a capacidade energética nominal da bateria de 48 V e 10 Ah é 480 Wh, é possível calcular a demanda energética a ser fornecida por cada sistema fotovoltaico com as eficiências medidas. É válido lembrar que tal capacidade energética é capaz de trazer uma autonomia entre 19,7 e 23 km, dependendo da velocidade máxima do veículo.

No sistema que trabalha a 12 V, para uma carga completa da bateria de 48 V, o consumo do carregador de baterias é 555,6 Wh. A bateria de 12 V deve fornecer 650,5 Wh ao inversor para ele suprir a demanda energética do carregador. Por fim, o painel solar deve fornecer 659,4 Wh à bateria 12 V.

No carregamento a 48 V, o painel solar deve fornecer 492,7 Wh à bateria para uma carga completa. Esse valor é 74,7 % da energia necessária para o sistema a 12 V.

O fabricante dos módulos utilizados no projeto possui uma grande linha de módulos solares. Após a análise dos módulos disponíveis, o modelo KM(P)50 foi tomado como exemplo para comparação entre os sistemas de carregamento. Suas principais características estão na Tabela 19 e todas as informações estão no Anexo E,

**Tabela 19:** Principais características do módulo KM(P)50

Potência máxima (W)	50
Tensão em máxima potência (V)	17,74
Corrente em máxima potência (A)	2,84
Eficiência do módulo (%)	11,81
Comprimento (m)	0,75
Largura (m)	0,51
Peso (kg)	4,9

No carregamento a 12 V, com quatro módulos em série, supondo que as baterias trabalham na tensão nominal, ou seja, o controlador de carga limita a tensão fornecida pelo painel em 12 V. Para gerar 659,4 Wh, seriam necessárias 4 h e 50 min na condição de máxima potência, ou seja, tensão de 12 V com corrente de 11,36 A. Segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil, na cidade do Rio de Janeiro, os meses com menor insolação possuem entre 3 e 4 h de insolação diária média. Enquanto os meses com maior insolação apresentam entre 6 e 7 h. Portanto tal quantidade de horas em máxima potência é difícil de ser alcançada em meses de menor insolação, então, pode-se concluir que o sistema de carregamento a 12 V necessitaria de módulos solares com maior potência para conseguir uma carga de bateria completa por dia nesses meses. Mesmo que a bateria trabalhasse próxima da tensão quando carregada, ou seja, a 13,8 V, ainda seriam necessárias 4 h e 12 min.

No carregamento a 48 V, com o painel solar montado com quatro módulos ligados em série. Na prática, a tensão será sempre maior que a necessária, já que a tensão máxima do painel é consideravelmente maior que a da bateria. Assim, o tempo de carga dependerá somente da corrente fornecida pelo painel. Supondo a condição de máxima potência, considerando a eficiência do controlador de carga, seriam necessárias 3 h e 36 min para uma carga completa de uma bateria de 10 Ah em um dia. Tal quantidade de horas de sol é mais plausível de ser alcançada nos meses de inverno.

Por outro lado, o carregamento a 48 V exige certos requisitos para funcionar. Supondo que o usuário use o veículo para ir e voltar ao trabalho que inicia às oito horas da manhã e termina às cinco horas da tarde. A bateria estaria no local de trabalho durante todo o período do dia com boa irradiação solar. Dessa maneira, o local de estacionamento deveria fornecer um espaço destinado à carga de baterias, como um estacionamento coberto com painel solar. O triciclo ocupa uma área de 2 m de comprimento por 0,8 m de largura. Um painel composto por quatro módulos KM(P)50 ocuparia uma área de 2,01 m de comprimento por 0,75 m de

largura. Sendo assim, cada painel solar seria uma vaga. A Figura 20 mostra um estacionamento coberto com painel solar na UFRJ. Para o triciclo cada vaga ocupada teria área suficiente para carregamento de cada bateria.



**Figura 20:** Estacionamento com painel solar na UFRJ

Uma outra possibilidade seria o usuário ter um sistema fotovoltaico em casa. Dessa maneira, no mínimo, duas baterias seriam necessárias para a carga direta na bateria. Assim, uma permaneceria em casa carregando enquanto a outra é utilizada. Idealmente, a bateria a ser carregada deve possuir capacidade além da capacidade de geração do painel. Para evitar que a bateria complete a carga durante o dia e a energia que seria gerada passasse a ser desperdiçada.

O carregamento direto na tensão da bateria do veículo tem maior eficiência, entretanto, o uso praticamente para apenas uma finalidade é um grande limitador. Outros fatores como ser uma tensão de trabalho com poucos acessórios e a obrigatoriedade de montar um painel com quatro módulos também são limitadores.

Um quesito importante a ser analisado é o custo. Pesquisado em lojas virtuais em outubro de 2017, o preço de quatro módulos de 50 W é R\$880,00. Enquanto o preço de um módulo de 270 W é R\$600,00. Esse módulo possui uma área de 1,64 x 0,99 m, tensão de 31,2 V e corrente de 8,65 A, ambos em máxima potência. Para melhor aproveitamento da potência gerada, o módulo deve trabalhar na tensão de 24 V. Dessa maneira, seria necessário 3 h e 11 min na condição de máxima potência para gerar 659,4 Wh. Tal quantidade de horas é possível



de ser alcançada até nos meses de menor insolação. Nos meses com maior insolação, teria capacidade de gerar energia suficiente para uma autonomia de 40 km aproximadamente para um motor de 1000 W trabalhando na sua velocidade máxima.

Pode-se concluir que é possível ter maior capacidade de geração com um custo menor quando se comparam os dois sistemas de carregamento. Em relação aos sistemas testados no projeto, a principal diferença seria a tensão de trabalho de 24 V ao invés de 12 V. Esse fato não é um limitador, já que a disponibilidade de acessórios eletrônicos, como controladores de carga e inversores, em ambas as tensões é grande. O que não ocorre com a tensão de 48 V.

### 5.1.3 Bateria

A loja onde a bateria de lítio de 48 V foi comprada para o projeto a substituiu por outra com capacidade de 10,5 Ah, ela custa R\$1756,55. Por outro lado, novamente em lojas virtuais, um conjunto de quatro baterias de chumbo de ciclo profundo para veículos elétricos de 12 V e 15 Ah custa R\$765,00. Uma bateria estacionária de chumbo de 12 V e 105 Ah é encontrada por R\$560,00, tal bateria seria utilizada no sistema que não carrega a bateria do veículo diretamente para armazenar a energia do painel. Supondo que o módulo de 270 W fosse utilizado, duas baterias estacionárias seriam necessárias. Dessa forma, o conjunto formaria uma bateria de 24 V e 105 Ah com capacidade energética nominal de 2520 Wh. Com essa capacidade seria possível atingir uma autonomia de 75 km num motor de 1000 W trabalhando na sua velocidade máxima. Vale ressaltar que essa capacidade de autonomia não é das baterias do veículo e, sim, das baterias que ficam fixas no local onde o módulo solar fica instalado. É possível entender essa capacidade como um reserva para dias onde não há geração, como dias sem sol.

Por fim, analisando os custos, o valor de quatro baterias de 12 V e 15 Ah e duas baterias estacionárias de 12 V e 105 Ah é R\$1.885,00. Esse valor é um pouco superior ao de uma bateria de lítio de 48 V e 10,5 Ah. Porém, o custo x benefício é muito maior, tendo em vista que a bateria utilizada no veículo teria capacidade 50 % maior, além da bateria estacionária que também poderia fornecer energia a outros aparelhos através do inversor. Se a bateria estacionária for usada somente para carregar a bateria do veículo, considerando que o consumo do inversor está entre 115 e 135 W, menor e maior valor encontrado na Tabela 17, ela trabalharia numa taxa de descarga próxima da C20. O que é algo muito bom, já que ela deve apresentar maior vida útil por causa da baixa descarga.

### **5.1.4 Carregador por pedaladas**

O carregador consegue ser um ótimo exercício físico e ainda aproveitar a energia gasta pela pessoa. Os resultados obtidos mostram que é possível gerar energia suficiente para alimentar o sistema de carregamento da bateria, porém com um esforço relativamente grande. O uso de um gerador adequado à aplicação pode trazer melhores resultados para o carregador. Segundo o Preparador físico Bruno Rangoussis em entrevista a um programa de televisão, uma pessoa pode gastar entre 300 e 550 kcal pedalando 1 h numa bicicleta ergométrica. Considerando que o carregador por pedaladas funciona de forma similar, se ele aproveitasse 39 % da estimativa mínima de energia gasta pela pessoa, seria possível alimentar os 135 W requeridos pelo sistema de carregamento durante a 1 h de pedalada.

## **5.2 Melhorias estruturais**

Como a estrutura do triciclo não foi fabricada especificamente para o protótipo, ela apresentou alguns inconvenientes durante o seu uso. Além das especificações puramente técnicas, a estrutura deve apresentar itens que dão maior conforto e segurança ao condutor.

A maior parte do peso fica sobre as rodas traseiras. Como pode ser visto na Figura 21, praticamente todo o peso do condutor fica na parte de trás, restando apenas o motor com um peso considerável na frente. Devido à má distribuição de peso, o motor deve ser acionado levemente, caso contrário, a roda derrapa enquanto ganha movimento. Essa derrapagem causa um desgaste excessivo no pneu. Durante os testes de rodagem o pneu da frente desgastou muito mais do que os traseiros. Foram usados pneus comuns de aro 20 ”, tais pneus são usados em bicicletas que rodam a baixas velocidades. Logo, o uso de pneus adequados à aplicação é essencial.



**Figura 21:** Protótipo com condutor

Adicionar peso ou distribuir melhor os componentes do protótipo se mostra como algo de grande valia. Independente do tipo, colocar as baterias numa parte fixa na frente da estrutura é uma das primeiras alternativas. Cada bateria de chumbo de 12 V e 15 Ah pesa 4,425 kg segundo o comerciante. Se quatro delas forem usadas, somando ao peso do motor, 8 kg, a roda dianteira teria por volta de 25 kg sobre ela. As principais vantagens das baterias de lítio sobre as de chumbo são o menor peso e não possuir “efeito memória”. Como o uso do freio regenerativo foi pouco benéfico, as cargas e descargas podem ser regulares, ou seja, o usuário pode carregar quando a bateria chegar num determinado nível, sem cargas intermediárias, evitando assim o “efeito memória”. Portanto, o uso de baterias de chumbo é benéfico tanto do ponto de vista econômico, como estrutural.

A estrutura do triciclo é totalmente rígida, ou seja, sem algum amortecimento. Dessa forma, o condutor sente toda irregularidade do terreno. Isso causa certo desconforto, principalmente nas ruas em piores condições. Uma modificação que pode ser feita diretamente é a troca do garfo por um com amortecedor, como o modelo ilustrado na Figura 22. A substituição do garfo também adicionaria peso à estrutura, o garfo original pesa 1 kg, enquanto o com amortecedor pesa 2,75 kg.



**Figura 22:** Garfo com amortecedor

Uma modificação mais brusca seria a adição de um sistema mola-amortecedor na parte traseira do triciclo, substituindo as colunas rígidas que ligam o eixo traseiro à estrutura de apoio do banco por amortecedores como o mostrado na Figura 23. Esses amortecedores são usados na traseira de bicicletas, portanto, são facilmente encontrados no comércio. Sendo a modificação estrutural propriamente dita, a maior dificuldade dessa modificação. Já que os amortecedores devem ser devidamente posicionados.



**Figura 23:** Mola com amortecedor usado em bicicletas

Certamente, a inclusão de suspensão traz mais conforto ao condutor, porém deve mudar o comportamento do veículo quanto à autonomia e velocidade máxima alcançados nos testes.

A impossibilidade de variar a relação de transmissão dos pedais também se mostrou como um limitador. Principalmente, no uso do carregador por pedaladas, já que o esforço para manter o alternador gerando a energia necessária para alimentar o sistema de carregamento foi consideravelmente grande. O uso de uma transmissão que exija menos esforço pode fazer com que uma pessoa menos preparada fisicamente ganhe condicionamento, mesmo que resulte em menor geração de energia. Enquanto uma pessoa com melhor condicionamento pode usar uma transmissão que até gere excedente de energia.

A inclusão de para-lamas também traria um conforto a mais ao condutor. Pequenos detritos e água, principalmente, são projetados no condutor pela roda dianteira. Isso não ocorre sempre, depende da limpeza do terreno. Porém, o uso veículo não deve estar sujeito a tal condição.

A inclusão de outros itens como retrovisor, buzina, luzes indicadoras de direção, luz de freio, farol e lanterna traseira traz mais segurança e conforto na direção. Tais itens são facilmente encontrados no comércio e são de fácil instalação. Os itens eletrônicos podem ser alimentados pela própria bateria ou veículo ou uma bateria externa.

### **5.3 Legislação**

O veículo deve atender às normas de trânsito para rodar em vias públicas. A resolução nº 465 do CONTRAN estabelece a equiparação de veículos ciclo-elétricos aos ciclomotores, ou seja, veículos que não necessitam de registro e o condutor não necessita de carteira de habilitação para conduzir. Para tal, os equipamentos de mobilidade individual autopropelidos devem circular somente em áreas de circulação de pedestres e ciclovias ou ciclo faixas à velocidade máxima de 6 km/h e 20 km/h respectivamente, dentre outras condições. Excepcionalmente, para a equiparação, as bicicletas elétricas devem ter potência nominal máxima de 350 W, velocidade máxima de 25 km/h, dentre outras condições. Dessa forma, o protótipo não se enquadra nessas condições, sendo necessário o seu licenciamento.

A portaria nº 190 do DENATRAN estabelece que o órgão deve conceder código de marca/modelo/versão do Registro Nacional de Veículos Automotores - RENAVAL e

emissão do Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito - CAT, para efeito de pré-cadastro, registro, e licenciamento no Sistema Nacional de Trânsito. Para tal concessão, a empresa responsável pelo veículo deve requer ao órgão, encaminhando as informações pertinentes a ele: Identificação Veicular, Dados Técnicos, Legislação Complementar, Certificado de Segurança, dentre outras. A resolução nº 129 do CONTRAN estabelece os requisitos, inclusive equipamentos obrigatórios, para licenciamento de triciclos.

Apesar das restrições legais, é comum ver veículos com motores de 800 ou 1000 W à venda como bicicletas elétricas. Numa pesquisa feita com alguns vendedores, eles afirmaram que a fiscalização é falha, geralmente, inexistente. Além disso, eles relatam que nunca ouviram um caso de fiscalização, mesmo possuindo uma grande quantidade de vendas.

O Brasil não dispõe de legislação específica para veículos elétricos. Dentro em vista o porte do veículo do projeto e a sua proposta, o seu licenciamento poderia ser diferenciado e talvez menos burocrático que o modelo atual. Com uma legislação adequada, veículos que hoje rodam ilegalmente podem ser legalizados, trazendo benefícios para o os usuários e até para o país.

## Capítulo 6

### Conclusão

O uso combinado dos itens resultou num protótipo funcional e que ainda conseguiu se integrar aos sistemas de carga como o fotovoltaico e o carregador por pedaladas. Mesmo que os itens encontrados no comércio não tivessem sido projetados para trabalhar em conjunto.

O sistema fotovoltaico que trabalha na tensão de 48 V com bateria de lítio tem uma eficiência muito superior, porém o seu custo é praticamente igual de um sistema que trabalha a 24 V com baterias de chumbo e com capacidade energética muito superior. Portanto, o sistema a 24 V é mais aplicável em todas as situações, seja uma instalação residencial ou comercial.

Para que o carregador por pedaladas se torne realmente funcional, é necessário que um alternador adequado à aplicação seja utilizado. Mesmo com essa modificação, ainda é esperado que pelo menos 5 horas de pedaladas sejam necessárias para uma carga de bateria.

De acordo com a legislação em vigor, o veículo poderia tomar duas vertentes: usar um motor de 350 W com velocidade máxima limitada a 25 km/h. Dessa forma, não necessitaria de licenciamento e nem o condutor de habilitação; ou usar um motor com potência maior que 350 W. Nesse caso, o fabricante deve fazer todo o registro junto aos órgãos responsáveis e o condutor ter habilitação. Se usada uma bateria com a mesma capacidade, o uso de um motor de 350 W resultaria numa autonomia bastante superior, já que tal potência é quase um terço da do motor testado. Além disso, é esperado que o veículo tenha menor custo total. De qualquer maneira, as melhorias estruturais do item 5.2 são altamente recomendadas, por trazerem mais segurança, conforto e estabilidade ao veículo.

## **APÊNDICE A: Desenho técnico do carregador por pedaladas**















































**ANEXO A: Folha de especificação do módulo solar KM(P)20**



**ANEXO B: Relatório de inspeção do alternador**



T-98 Computerized Test Report

**PASS**

2016-9-25 8:18

: **1350**  
 : **12V, 55A, NEG**

al voltage regulator.  Plug Code  
 0

Terminals / Application: Universal-J plug with 5 wires (JBT-Series) Field is protected by "in-line" Fuse

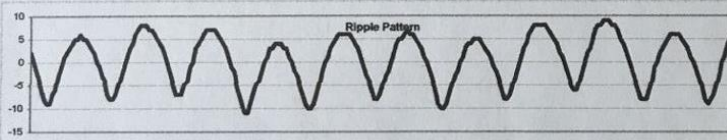
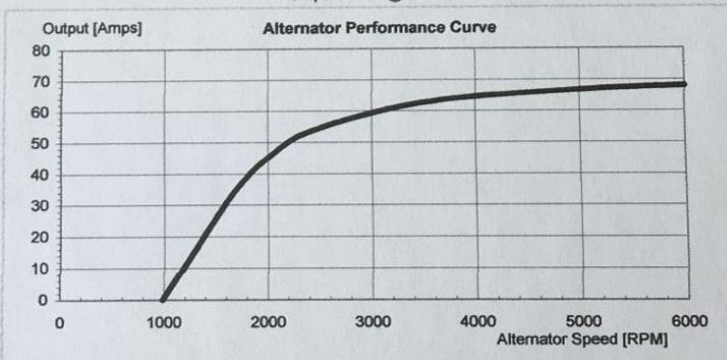
Test Results Table:

Maximum Alternator Output:	Amps	68
Maximum Output Power:	Watts	919
Voltage Set Point	Volts	14.68
Leakage Current	mAmps	0.82
Ripple Current	Amps	20
Alternator Turn On Speed	RPM	1206
Regulator Activation Speed	RPM	1077
Secondary Regulation	Volts	-
Tachometer Frequency	Hz	-
Stator Voltage	Volts	-
Field Current	Amps	-
Lamp Style	-	Active
Lamp Type	-	Standard
LRC Delay	Sec.	-
Feedback (Full Load)	Volts	-
Feedback (Minimum Load)	Volts	-
Maximum Vacuum Generated	Kps	0.00
Maximum Air Leakage	%	0.00
Regulator Voltage (at Computer Control Function Test)	Volts	-

Output Current Table:

Output Current at 1600 RPM	Amps	31
Output Current at 1800 RPM	Amps	39
Output Current at 2000 RPM	Amps	45
Output Current at 2400 RPM	Amps	53
Output Current at 3500 RPM	Amps	63
Output Current at 5000 RPM	Amps	67
Output Current at 6000 RPM	Amps	68
Output Current at 0 RPM	Amps	0

Output tested @ 13.5 V



Batch:  
 Operator:  
 Remark:

Tech Tip:

V21



**ANEXO C: Posição e largura das classes de tolerância para eixo e mancal para montagem com rolamentos SKF**



**ANEXO D:** Folha de especificação do controlador de carga Phocos  
CX10



**ANEXO E: Folha de especificação do módulo solar KM(P)50**



## Referências bibliográficas

BORSARI, V. Caracterização das emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores leves no Estado de São Paulo. 2009. 189p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CHAPMAN, Stephen J. Fundamentos de máquinas elétricas / Stephen J. Chapman ; tradução: Anatólio Laschuk. – 5. Ed. – Porto Alegre : AMGH, 2013.

PINHO, J. et al. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, Vasco. Complementos de máquinas eléctricas - Instituto Politécnico de Viseu. Viseu, 2006.

Atlas Rio Solar : atlas solarimétrico do Estado do Rio de Janeiro / organização: IEPUC - Instituto de Energia da PUC-Rio; [realizado pela EGPEnergia e PUC-Rio]. - Rio de Janeiro : Ed. PUC-Rio, 2016.

BOLINHA, M. Z., Análise Experimental do Consumo Energético de um Motor Elétrico Com Fracionamento de Carga na Partida. 2011. 24 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GORDO, N. ; FERREIRA, J. Mecânica: Elementos de Máquina. (Coleção Telecurso 2000 profissionalizante, volumes 1 e 2). São Paulo, Ed. Globo S.A

HIBBELER, Russell Charles, Resistência dos materiais / Russell Charles Hibbeler ; tradução Arlete Simille Marques ; revisão técnica Sebastião Simões da Cunha Jr. – 7. Ed. – São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2010.

BUDYNAS, R. Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica / Richard Budynas, J. Keith Nisbett ; tradução técnica João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar. – 8. Ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : AMGH, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5590: Tubos de aço-carbono com ou sem solda longitudinal, pretos ou galvanizados - Requisitos. Rio de Janeiro. 2015.

Deutsches Institut für Normung. DIN7337: Break mandril blind rivets. Berlin. 1991.

Resolução nº 465, de 27 de novembro de 2013 do CONTRAN.

Portaria nº 190, de 29 de junho de 2009 do DENATRAN.

Resolução nº 129, de 06 de agosto de 2001 do CONTRAN.

#### Sites

<http://acotubo.com.br/produtos/tubos-de-aco/tubos-de-conducao-com-e-sem-costura-nbr-5590-astm-53-a106-api-51-b/> acessado em 13 de agosto de 2016

<http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/design-considerations/radial-location-bearings/recommended-fits/index.html> acessado em 13 de agosto de 2016

<http://www.abve.org.br/noticias/brasil-tem-frota-de-so-25-mil-carros-eletricos-e-hibridos> acessado em 20 de novembro de 2016

<http://www.exame.abril.com.br/brasil/em-4-anos-velocidade-media-no-transito-de-sp-caiu-10/> acessado em 25 de novembro de 2016

[http://brasil.elpais.com/brasil/2016/10/24/ciencia/1477318189\\_309369.html](http://brasil.elpais.com/brasil/2016/10/24/ciencia/1477318189_309369.html) acessado em 25 de novembro de 2016

<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris> acessado em 25 de novembro de 2016

<http://exame.abril.com.br/mundo/alemanha-quer-proibir-carros-a-combustao-ate-2030/> acessado em 25 de novembro de 2016

[https://moura-portal.s3.amazonaws.com/uploads/2016/10/catalogo\\_nobreak.pdf](https://moura-portal.s3.amazonaws.com/uploads/2016/10/catalogo_nobreak.pdf) acessado em 10 de dezembro de 2016

<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/01/brasil-estara-entre-os-20-paises-com-maior-geracao-solar-em-2018> acessado em 10 de dezembro de 2016

<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/07/reino-unido-vai-banir-carros-movidos-gasolina-e-diesel-ate-2040.html> acessado em 27 de julho de 2017



[http://kraftbaterias.com.br/pt\\_br/produtos/automotiva-leve](http://kraftbaterias.com.br/pt_br/produtos/automotiva-leve) acessado em 1 de agosto de 2017

<http://www.komaes-solar.com/products-1.asp> acessado em 29 de setembro de 2017

<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/08/ufrrj-inaugura-o-maior-estacionamento-solar-do-brasil.html> acessado em 29 de setembro de 2017

<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar.html> acessado em 5 de outubro de 2017

<https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria.html> acessado em 5 de outubro de 2017

<https://www.minhacasasolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico> acessado em 5 de outubro de 2017

<https://www.minhacasasolar.com.br/baterias> acessado em 5 de outubro de 2017

[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-808531658-kit-converso-bike-eletrica-1000w-48v-diant-lcd-wind-bikes-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-808531658-kit-converso-bike-eletrica-1000w-48v-diant-lcd-wind-bikes-_JM) acessado em 5 de outubro de 2017

<http://www.bicimoto.com.br/kit-bicicleta-eletrica> acessado em 5 de outubro de 2017

[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-767556015-kit-bateria-4un-6-dzm-14-12v-15ah-ciclo-profundo-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-767556015-kit-bateria-4un-6-dzm-14-12v-15ah-ciclo-profundo-_JM) acessado em 5 de outubro de 2017

[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-924713828-garfo-suspensao-amortecedor-aro-20-trust-mega-gordo-dh-preto-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-924713828-garfo-suspensao-amortecedor-aro-20-trust-mega-gordo-dh-preto-_JM) acessado em 5 de novembro de 2017

[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-862591596-garfo-dream-bike-aro-20-over-aheadset-vbrake-drift-trike-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-862591596-garfo-dream-bike-aro-20-over-aheadset-vbrake-drift-trike-_JM) acessado em 5 de novembro de 2017

<http://globoesporte.globo.com/al/noticia/2014/09/esteira-ou-bicicleta-ergometrica-confira-dicas-de-personal-trainer.html> acessado em 7 de novembro de 2017