



CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE UMA BICICLETA ELÉTRICA E COMPARAÇÃO DO SEU USO COM OUTROS MEIOS DE TRANSPORTE.

Caroline Fernandes da Silva Andrade Campanati

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de
Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de
Janeiro para obtenção do título de Engenheiro Mecânico,

Orientador: Mauricio Oliveira

Macaé- RJ

2016

CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE UMA BICICLETA ELÉTRICA E COMPARAÇÃO DO SEU USO COM OUTROS MEIOS DE TRANSPORTE

Caroline Fernandes da Silva Andrade Campanati

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO DO CAMPUS MACAÉ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO.

Examinado por :

Prof. Maurício Aguilar Nepomuceno de Oliveira

Prof. Diego Cunha Malagueta

Prof. Elisa Pinto Rocha

MACAÉ, RJ –BRASIL
SETEMBRO DE 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo aos meus pais que sempre priorizaram a minha educação com apoios irrestritos durante toda a minha vida junto com todo o carinho e amor.

Ao meu esposo por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, me ajudando a realizar as decisões mais difíceis. Obrigada pelo incentivo e por nunca me deixar abandonar uma disciplina por mais difícil que ela parecesse.

Ao meu orientador, pelo permanente apoio, e por sempre estar disponível para sanar minhas dúvidas, pela inteligência e sabedoria que encaminhou a execução desse projeto.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de engenheiro mecânico

CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE UMA BICICLETA ELÉTRICA E COMPARAÇÃO DO SEU USO COM OUTROS MEIOS DE TRANSPORTE

Caroline Fernandes da Silva Andrade Campanati

Setembro/2016

Orientador: Maurício Oliveira

Curso: Engenharia Mecânica

Buscar maneiras de fazer uma economia financeira nos dias atuais se tornou rotineiro na vida de muitas pessoas. Esse trabalho de conclusão de curso tem como intuito, mostrar uma alternativa de economia no dia a dia dos cidadãos. Será abordado as características de projeto de uma bicicleta elétrica a partir de uma bicicleta convencional, analisando a bateria e o motor selecionados.

Através da seleção da bateria, é quantificada a autonomia deste meio de transporte de acordo com a variação de alguns parâmetros (velocidade do condutor, aceleração da bicicleta, grau de inclinação da ladeira, etc.). Com a seleção do motor, e conforme a curva torque x rotação fornecida pelo fabricante, é possível saber se o motor irá funcionar na situação desejada. Para que haja o funcionamento é necessário que o valor do fabricante seja maior que o valor real.

Também será feita uma comparação o uso da bicicleta com veículos de combustão, utilizando como bases um modelo de carro e moto popular. A comparação será feita em relação a trajetos curtos, quanto as velocidades alcançadas, a emissão de CO₂ na utilização

dos veículos, os custos e a energia gasta na locomoção. Também será abordado os valores referente a economia financeira que uma bicicleta elétrica é capaz de gerar ao utilizá-la como meio de transporte. Todos as contar contas efetuadas neste estudo foram feitas através do programa Excel.

Com os resultados obtidos dos estudos, a autonomia da bicicleta será maior para condutores de massas menores e com velocidades mais baixas, quando há presença de ladeiras a autônima da bicicleta elétrica diminui conforme aumenta a inclinação. A bicicleta elétrica possui vantagem de ser um veículo mais barato e menos poluente conforme será visto nos resultados posteriormente, e além disso seu custo por quilometro andado é menor que o carro e moto.

Palavras chave: bicicleta elétrica, parâmetros, bateria, CO₂ emissões e custo

Abstract of Undergraduate Project presented to UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

DESIGN FEATURES OF AN ELECTRIC BIKE AND ITS USE
COMPARISON WITH OTHER MEANS OF TRANSPORT

Caroline Fernandes da Silva Andrade Campanati

September/2016

Advisor: Maurício Oliveira,

Course: Mechanic engineering

Looking for financial economy has become routine to many people. This paper is intended to show an economy alternative to people in the daily basis. The paper will present the design characteristics of an electric bicycle from a conventional bicycle, and the analysis of the selected battery and motor.

By the selection of the battery, the autonomy of the bicycle is quantified according to the variety of some parameters (driver speed, bicycle acceleration, slope, etc). According to the motor selection, and to the torque x rotation curve provided by the manufacturer, it is possible to conclude that the motor will operate in the desired situation. For good operation, the manufacturer's value must be greater than the actual value.

There will also be made a comparison between the use of the bicycle and the combustion vehicles, based on a popular car and motorcycle characteristics. The comparison will be related to short distances, the speeds attained, the CO₂ emission by vehicles, the costs and the energy spent. It will also be approached the values referring to the financial economy that the use of an electric bicycle is able to generate. All the calculus were done with the Excel.

By the results obtained from the studies, this paper concludes that the autonomy of the bicycle will be greater for lighter drivers and at lower speeds. Also, when there is slopes the autonomy of the electric bicycle decreases as the inclination increases. The electric bike has the advantage of being the cheaper and less polluting vehicle.

Key words: electric bicycle, parameters, battery, CO₂ emissions, cost.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Características da e-bike-d Lev.....	25
QUADRO 2 - Características e-bike-l Lev	26
QUADRO 3 - Característica Biobike JS 72.....	26
QUADRO 4 - Característica Biobike Max	27
QUADRO 5 - Características Biobike JS 50	28
QUADRO 6 - Coeficiente de rolamento.....	31
QUADRO 7 - Valores típicos para o coeficiente de resistência aerodinâmica para veículos de duas rodas.	32
QUADRO 8 - Valores da velocidade de rotação das rodas.	39
QUADRO 9 - Parâmetros do projeto.....	39
QUADRO 10 - Valor da Força de resistência ao rolamento (N) para diferentes condutores sem plano inclinado e com de diferentes pisos.....	40
QUADRO 11 - Valor da Força de resistência ao rolamento (N) para um condutor de massa 70kg em planos inclinados de diferentes pisos.....	41
QUADRO 12 - Valor da Força de resistência ao rolamento (N) para um condutor de massa 50kg em planos inclinados de diferentes pisos.....	41
QUADRO 13 — Valores da Força de Resistência aerodinâmica (N) conforme variação de velocidade do veículo e área frontal.	42
QUADRO 14 - Valores da Força de Resistência aerodinâmica (N) conforme variação de velocidade do veículo e velocidade do vento	43
QUADRO 15 - Valores da Força de Resistência aerodinâmica (N) conforme variação de velocidade do veículo e coeficiente de resistência aerodinâmico (CD).	43
QUADRO 16 - Valores da força de Gravidade para diferentes inclinações e massas	44
QUADRO 17 - Dados da roda ARO 26.....	46
QUADRO 18 - Valores da força de inercia de rotação das rodas	46
QUADRO 19 - Força de inercia das coroas.....	48
QUADRO 20 - Força de inercia das coroas.....	48
QUADRO 21 - Força de inercia de translação	49
QUADRO 22 - Força de Inercia Total.....	50

QUADRO 23 - forças atuantes na bicicleta e potência elétrica para o caso 1	51
QUADRO 24 - forças atuantes na bicicleta e potência elétrica para o caso 2.....	52
QUADRO 25 - forças atuantes na bicicleta e potência elétrica para o caso 3.....	52
QUADRO 26 - características da bateria.....	53
QUADRO 27 - Autonomia da bicicleta elétrica	55
QUADRO 28 - Características do motor selecionado	55
QUADRO 29 - dados do motor	55
QUADRO 30 - Dados dos percursos.	58
QUADRO 31 - Potência elétrica para aceleração de 1m/s^2	60
QUADRO 32 - Forças atuantes na bicicleta elétrica	60
QUADRO 33 - Forças que atuam na bicicleta elétrica para uma inclinação de 5 graus	62
QUADRO 34 - Energia consumida em Wh/min para diferentes inclinações.....	62
QUADRO 35 - Energia consumida em Wh/min para diferentes valores η_M	63
QUADRO 36 - Energia consumida em Wh/min para quadros de alumínio e aço	64
QUADRO 37 - Energia consumida em Wh/min para condutores de massas diferentes.	64
QUADRO 38 - custo financeiro de locomoção da bicicleta elétrica	69
QUADRO 39 - custo financeiro de locomoção dos veículos.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Protótipo do Leonardo da Vinci.	13
Figura 2 - Celífero.	14
Figura 3 - Draisiana	14
Figura 4 - Grand Bi.	15
Figura 5 - Motor elétrico alojado junto a catraca.	18
Figura 6 - comparação dos motores elétricos	18
Figura 7 - Esquemático de um motor CC com escovas.....	19
Figura 8 - Motor elétrico alojado direto no cubo.	20
Figura 9 - Motor elétrico alojado direto no movimento	20
Figura 10 - Classificação de motores elétricos	21
Figura 11 - Componentes do quadro uma bicicleta convencional.	22

Figura 12 - Bateria alojada no rack traseiro	23
Figura 13 - Bateria alojada no quadro	23
Figura 14 - Bateria alojada no tubo inferior.	24
Figura 15 - Descarga de uma bateria de chumbo ácido em função da profundidade.....	24
Figura 16 - e-bike-d Lev.....	26
Figura 17 - e-bike-l Lev.....	26
Figura 18 - Biobike JS 72.....	27
Figura 19 - Biobike Maxx.	27
Figura 20 - Biobike JS 50.....	28
Figura 21 - Forças atuando em um plano inclinado.	33
Figura 22 - Movimento de rotação e translação e sua soma.....	33
Figura 23 – momento de inercia de um cilindro anular.....	45
Figura 24 - rodas de uma bicicleta	45
Figura 25 - momento de inercia um disco circular fino.	47
Figura 26 - coroa de uma bicicleta	47
Figura 27 - Potência elétrica x velocidade para os três casos.....	53
Figura 28 - potência x rotação x torque.....	57
Figura 29 - Emissão de CO ₂ x Distância percorrida.....	67
Figura 30 - autonomia da bicicleta sem pedalada.	68
Figura 31 - Comparativo do custo x distância percorrida para diferentes meios de transporte.	70
Figura 32 - Comparativo energia x distância percorrida para diferentes meios de transporte.	71

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo	11
1.2 Justificativa	12
1.2 Evolução da bicicleta	13

1.3 A bicicleta elétrica no Brasil	15
2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DE UMA BICICLETA ELETRICA	17
2.1 Introdução	17
2.2 Motor elétrico	17
2.2.1 Alojamento	20
2.3 Controlador de motor	21
2.3 Quadro	21
2.4 Bateria	22
2.4.2 Tipos de bateria	24
3 CINEMÁTICA DO VEÍCULO DE DUAS RODAS	29
3.1 Introdução	29
3.2 Forças contrárias ao deslocamento	29
3.2.1 Força de resistência ao rolamento	30
3.2.2 Força de resistência aerodinâmica	31
3.2.3 Força da gravidade	32
3.2.4 Força de Inercia	33
3.3 Potência mecânica - P_m	38
3.4 Potência elétrica - P_e	38
3.5 Velocidade de rotação das rodas	38
4 PROJETO	39
4.1 Introdução	39
4.2 Parâmetros	39
4.4 Valores para a força de resistência aerodinâmica	42
4.5 Valores para a Força da Gravidade	44
4.6 Valores para a força de inercia	44
4.6.1 Força de inercia dos corpos em rotação	45
4.6.2 Força de inercia dos corpos em translação	49
4.6.3 A soma das forças de inercia	50
4.7 Análise da potência elétrica consumida para diferentes situações	51
4.8 Escolha da bateria	53
4.9 Autonomia	54
4.6 Motor selecionado	55
5. CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE ENERGIA DE UMA BICICLETA ELÉTRICA	57
5.1 Introdução	57

5.2 Etapas de um percurso	58
5.2. 1 Limitações da bicicleta	59
5.2.2 Análise das etapas	59
6 VEÍCULOS ELÉTRICOS X VEÍCULOS A COMBUSTÃO	65
6.1 Introdução	65
6.2 Eficiência dos motores	66
6.3 Emissão de CO ₂	66
6.4 Custo financeiro para aquisição e realizar percursos	68
6.5 Energia Gasta por distância percorrida.	70
6.5 Velocidades alcançadas e tempos de percurso	71
6.6 Massas dos meios de transporte	72
CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

Esse trabalho tem como intuito abordar as características de projeto de uma bicicleta elétrica a partir de uma bicicleta convencional, selecionando o motor e bateria já existente no mercado consumidor. Será comparado seu uso em trajetos curtos com veículos de combustão interna quanto as velocidades alcançadas, a emissão de CO₂, os custos, a energia gasta na locomoção. Também será abordado a economia financeira que uma bicicleta elétrica é capaz de gerar ao utilizá-la como meio de transporte. Esse trabalho de conclusão de curso possui seis capítulos que são divididos da seguinte maneira.

Capítulo 1: No primeiro capítulo será abordado a justificativa de projetar uma bicicleta elétrica a partir de uma bicicleta convencional e mostrar que ela pode ser um meio de transporte eficiente quando comparado a outros veículos. Será abordado o histórico da bicicleta junto com seu desenvolvimento e como seu uso é permitido conforme o conselho nacional de transito (CONTRAN).

Capítulo 2: Na segunda parte será feita uma apresentação de alguns elementos constituintes de uma bicicleta elétrica. Entre eles o motor elétrico, o quadro, a bateria e controlador.

Capítulo 3: Esta seção contempla a parte teórica do projeto. Tais como as forças que atuam na bicicleta elétrica, a potência elétrica da bateria, a potência mecânica do motor.

Capítulo 4: Foram definidos valores dos parâmetros (área, massa, coeficientes) para o projeto, juntos com as forças contrárias ao movimento da bicicleta elétrica e as potências mecânica e elétrica.

Capítulo 5: No penúltimo capítulo é feita uma análise do consumo de energia da bateria para um modelo de percurso, para diferentes massas envolvidas no sistema, diferentes eficiências do motor e diferentes inclinações de ladeira.

Capítulo 6: No último capítulo é feita uma comparação de custo, energia e emissão de CO₂ entre o carro, a moto e a bicicleta elétrica.

1.2 Justificativa

Atualmente o Brasil enfrenta uma crise econômica, e o brasileiro está buscando formas de redução de custos. O uso da bicicleta elétrica é uma excelente opção ao comparar o seu custo com o de um carro. A bicicleta elétrica, não obriga a detenção de registro de propriedade, seguro ou licença de condução, o que a torna um veículo bastante acessível. A bicicleta não deve ser vista apenas como uma forma de lazer, mas como um meio de transporte, principalmente para os pequenos percursos.

A bicicleta elétrica é um veículo de baixo custo e dentre seus benefícios listados: o descongestionamento do trânsito, o menor uso dos espaços de estacionamento, a melhoria da saúde e da qualidade de vida, a redução da emissão de gases poluentes, facilidade de acesso a diversos lugares das cidades por meio de um veículo individual rápido.

Na saúde os benefícios são inúmeros: evitar o envelhecimento precoce, obesidade, diminuir o stress causado pelo engarrafamento, além de evitar uma grande inalação de gases poluentes ao comparar com o uso do carro.

O professor e pesquisador do Laboratório de Poluição da Faculdade de Medicina da USP, Paulo Saldiva, afirma que quem está dentro de um veículo motorizado respira 30% mais poluição que o ciclista ou o pedestre. Isso porque ao ar livre a poluição se dissipa mais rapidamente que no interior do veículo. (CÉSAR, 2010, p44).

A poluição do ar é vivenciada nas grandes cidades brasileiras, através do relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo publicado em 2007 pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), os veículos são responsáveis por 97 % das emissões do monóxido de carbono e também dos hidrocarbonetos junto com 96% de óxidos de nitrogênio, 40% de material particulado e 35% de dióxido de enxofre. (CALDAS, 2008).

A consequência da emissão desses gases poluentes é a poluição do ar causando graves problemas respiratórios e ambientais. (MCLEOD, 2015).

1.2 Evolução da bicicleta

O veículo que é atualmente considerado o antepassado da bicicleta, muitas pessoas acreditam que foi criado pelas mãos do Conde francês Mede de Sirvrac. Porém, no ano de 1966, foram descobertos registros de Leonardo da Vinci de 1460 com desenho de uma máquina muito semelhante as bicicletas modernas, conforme pode ser visto na figura 1. (SILVA, 2013).



Figura 1 - Protótipo do Leonardo da Vinci.

Fonte : SILVA, 2013

Por meio dos registros, os desenhos passam a ideia que as primeiras bicicletas teriam sido feitas de madeira. A bicicleta se movia ao ser empurrada pela força do ciclista, que se apoiava no solo e, posteriormente, por um sistema de pedais. (SILVA, 2013).

O francês Sirvrac, no ano de 1791, criou o “celífero”, sendo a madeira o material básico. A sua constituição era bastante simples: duas rodas fixas no mesmo plano, unidas por uma viga que também funcionava como assento, figura 2. O celífero não possui sistema de direção, somente uma barra transversal fixa a viga que servia de apoio para as mãos. (NERY, 2013).



Figura 2 - Celífero.

Fonte: SILVA,2013

No ano de 1817, na Antiga Prússia (Alemanha) foi criada a segunda forma de bicicleta, a “Draisiana”, pelo Barão Von Drais. Diferente do Celífero a Draisiana, figura 3, era dirigível, e o seu material básico de constituição também era a madeira.



Figura 3 - Draisiana

Fonte: ADMIN, 2006

O maior avanço na estabilidade e na mobilidade ocorreu em 1840, quando o Escocês Kirkpatrick Macmillan adaptou ao eixo traseiro duas bielas ligadas por barras de ferro e acionadas por duas alavancas presas na estrutura principal, gerando o avanço da roda traseira. (SILVA, 2013).

No ano de 1865, o profissional de forja francês Pierre Michaux inventou os pedais, gerando uma alteração nas bicicletas que causou sua primeira “explosão de consumo” (NERY, 2006 apud BUSTUS, 2013).

A estranha bicicleta Grand Bi, surgiu na Inglaterra entre os anos de 1870 e 1875. A bicicleta era toda de ferro, com pneus de borracha maciça, os raios eram formados por arames finos e fortes, e conforme visto na figura 4 tinha uma roda dianteira grande.

Na Bicicleta “Grand bi” ou “biciclo” os pedais eram fixos ao eixo da roda da frente, que era motora e diretriz. O aumento do diâmetro da roda motora tinha como desejo o aumento do rendimento, visto que a velocidade de deslocamento dependia exclusivamente da aceleração rotativa dos pedais. (ADMIN, 2006).

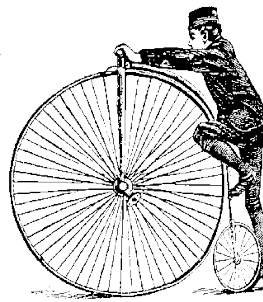


Figura 4 - Grand Bi.

Fonte: <https://iil-techno-info61.wikispaces.com/le+Grand+Bi>
acessado em 27/05/2016

Em 1885 com o surgimento das bicicletas de segurança, as mesmas utilizadas atualmente, com rodas do mesmo tamanho, foram difundidas e popularizadas. As bicicletas eram um meio de transporte mais barato e funcional do que as carruagens e carroças (CÉSAR, 2010).

Os preços das bicicletas estavam acessíveis devido a revolução industrial o que a tornou a principal opção de transporte na Europa. Além de sua vantagem de baixo custo seu tamanho era pequeno, o que permitia circular pelas ruas estreitas e serem guardadas nas residências (CÉSAR, 2010).

1.3 A bicicleta elétrica no Brasil

Conforme o conselho nacional de trânsito (CONTRAN), fica estabelecido pela resolução nº 465, de 27 de novembro de 2013 que a bicicleta dotada originalmente de motor elétrico auxiliar, assim como aquela que tiver o dispositivo motriz agregado posteriormente à

sua estrutura é permitido circular em ciclovias e ciclo faixas, atendendo as seguintes condições:

Devem possuir uma potência de 350 Watts e uma velocidade máxima de 25km/h, também fica estabelecido que a bicicleta elétrica deve ser dotada de um sistema que garante o funcionamento do motor somente quando o ciclista pedalar; e com uso do capacete devidamente ajustado e apartado. Além disso, a bicicleta elétrica deve possuir alguns aparatos obrigatórios: indicador de velocidade; campainha; sinalização noturna, dianteira traseira e lateral; espelhos retrovisores em ambos os lados; pneus em condições mínimas de segurança.

Com a potência de 350W, é possível vencer subidas, mesmo as mais acentuadas, uma vez que o esforço do utilizador é auxiliado pelo motor elétrico. Essa redução de esforço é bastante vantajosa, o qual permite ao ciclista chegar ao destino sem transpirar. Muitas vezes o condutor deixa de ir a certos locais por conta de estar suado e com a bicicleta elétrica esta desvantagem deixa de existir.

As pessoas utilizam as bicicletas elétricas de diferentes maneiras, além de ser utilizada para diminuir os esforços, permite que o usuário possa utilizá-la em situações em que menos esforço é requerido (dias menos quentes ou á noite) ao ser utilizada com híbrido, permitindo uma maior facilidade nas subidas das ladeiras.

Enquanto as bicicletas elétricas não oferecem os mesmos benefícios de saúde como o ciclismo normal, de acordo com a pesquisa da Universidade do Tennessee - Knoxville utilizar uma bicicleta elétrica fornece benefícios de saúde semelhantes a caminhar. (MCLEOD, 2015).

Embora a utilização da bicicleta elétrica não seja uma atividade física intensa, seu uso regular resulta numa atividade física com benefício para a saúde. Conforme a necessidade de deslocamento, seu uso pode ser complementado com o uso de um automóvel ou com utilização de transporte público. Dessa forma, é possível olhar a bicicleta elétrica como um meio de transporte por si só ou como forma de complementar de mobilidade. (SILVA, 2013).

2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DE UMA BICICLETA ELETRICA

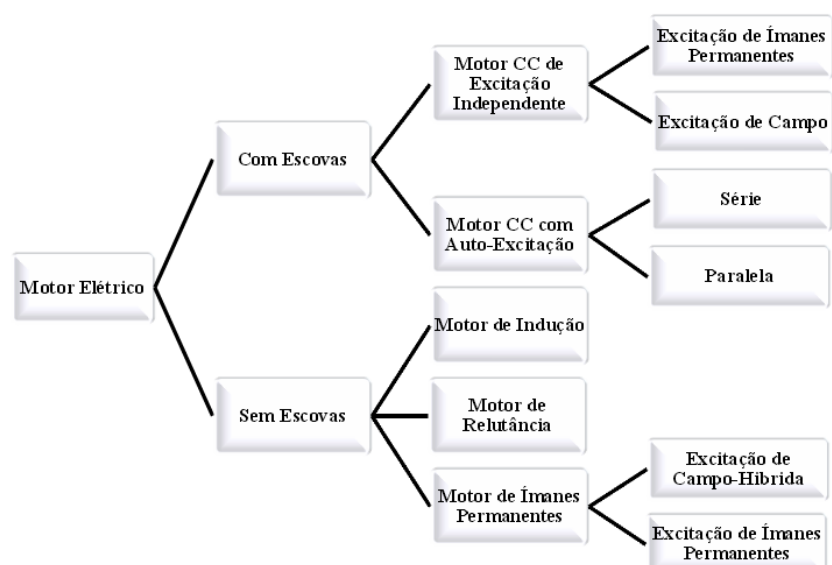
2.1 Introdução

No decorrer do segundo capítulo serão apresentados e analisados os elementos constituintes da bicicleta elétrica. Entre os principais componentes tem-se: motor elétrico, controlador e a bateria.

Primeiramente serão analisados os tipos de motores elétricos passíveis de serem utilizados em bicicletas elétricas.

2.2 Motor elétrico

O princípio básico de um motor elétrico é converter energia elétrica em energia mecânica. Os motores elétricos possuem distintas topologias e podem ser classificados em



dois grupos principais (figura 5): os motores com escovas e os sem escovas. A partir dessa classificação há novas subclasses de topologias para motores elétricos, como mostra a figura 5. (ARAÚJO; 2012).

Figura 5 - Motor elétrico alojado junto a catraca.

Fonte: ARAÚJO, 2012.

Em relação a densidade de potência, os motores de ímã permanentes possuem o melhor resultado, e posteriormente os motores de indução enquanto os motores de CC possuem o pior desempenho. Em relação ao investimento, os motores de indução são os mais baratos, seguidos pelos motores CC e o motores de ímã permanente são os mais caros. A tabela abaixo, apresenta um resumo de algumas qualidades dos motores de acordo com uma numeração de 1 a 3. A numeração 1 representa os motores que possuem as melhores características das respectivas qualidades, e o número 3, as piores características. (OLIVEIRA, 2013).

ComparaçãO de Motores Eletricos (Kar)			
Qualidades	Motor DC	Motor Imã Perm.	Motor de InduçãO
eficiênciA	3	1	2
confiabilidAdE	3	2	1
densidAdE de potênciA	3	1	2
maturidAdE da tecnologia	1	2	1
Custos	2	3	1

Fonte: adaptaçãO de OLIVEIRA,2013

Motor de corrente contínua

O motor de CC é constituído de uma bobina, que atua como rotor, no meio de ímãs permanentes fixos com as polaridades invertidas. A bobina é alimentada por uma fonte de energia através de escovas, figura 6. (GONZALES, 2014).

Figura 6 - comparaçãO dos motores elétricos

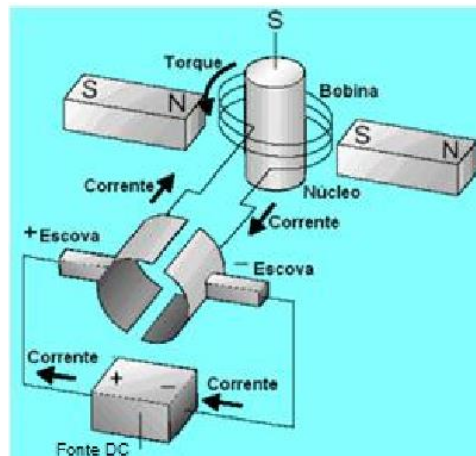


Figura 7 - Esquemático de um motor CC com escovas

Fonte: SIEMENS, 2013 apud GONZALES, 2014.

Seu uso está diretamente relacionado à precisão no controle de velocidade. Esse tipo de motor possui uma tecnologia com controle simples, sendo que para modificar a velocidade de funcionamento do motor, apenas é necessário controlar a tensão aplicada ao motor. Porém possuem baixa confiabilidade, baixa eficiência e precisam de uma maior manutenção, principalmente pela presença dos anéis comutadores e das escovas (ARAÚJO, 2012). Possui um custo elevado, no caso e ímã permanente tornando seu uso restrito a situações especiais com exigência de aplicação em que sua instalação compense. (PROCEL, 2009).

O atrito existente entre os anéis comutadores e as escovas e o fato de possuírem enrolamentos no rotor, gera um limite de velocidade máxima de operação desses motores. (ARAÚJO, 2012).

Motores sem escovas

Os motores de corrente contínua sem escovas ou motores BLDC (brushless DC) são os motores mais utilizados em bicicletas elétricas. Esse tipo de motor não possui escovas, o que caracteriza uma vantagem ao se comparar com o motor com escovas, pelos seguintes motivos:

- “→Devido ao atrito a que a escova é submetida ela se desgasta.
- Por conta das trocas de conexões das escovas (variando de positivo para negativo, interrompendo e fazendo conexões) é gerado ruído e também, em alguns casos, faíscas.
- As escovas limitam a velocidade máxima do motor.

→As escovas limitam o número de polos que podem existir no estator.
“(GONZALES, 2014).

Entre as diferentes topologias de motores sem escovas, o mais utilizado é o motor de indução de corrente alternada. Esse tipo de motor é de simples fabricação o que gera um baixo custo, possui um funcionamento simples, utiliza corrente alternada (por ser trifásico) e é um motor robusto. (ARAÚJO, 2012 apud GONZALES, 2014).

2.2.1 Alojamento

O motor elétrico pode ser alojado de três maneiras distintas em uma bicicleta elétrica conforme as figuras abaixo.



Figura 8 - Motor elétrico alojado direto no cubo.
Fonte: GENERALWINGS.



Figura 9 - Motor elétrico alojado direto no movimento central.
Fonte: GENERALWINGS



Figura 10 – Motor elétrico alojado na roda traseira
Fonte: GENERALWINGS

2.3 Controlador de motor

O controlador do motor também conhecido como módulo, é como um computador da bicicleta, o qual é necessário um circuito eletrônico para controlar a velocidade do motor utilizando dados vindos do acelerador, do pedal assistido e dos vários sensores do motor. (SCHORNER, 2013). A principal função do controlador é controlar o motor para o fornecimento de um perfil de torque-velocidade desejado. (TANAKA, 2013).

O mercado possui uma enorme variedade de controladores, sua escolha deve ser feita de acordo com os requisitos de desempenho a alcançar e o tipo de motor e bateria utilizados na bicicleta. Os efeitos da tensão refletem-se principalmente na velocidade e os da corrente refletem principalmente na capacidade de aceleração. (ARAÚJO,2013).

2.3 Quadro

O quadro de uma bicicleta é a sua coluna vertebral, o qual todas as outras partes se fixam. Deve ser o mais leve possível e ao mesmo tempo garantir as condições de rigidez e segurança. O peso do quadro deve ser favorável nas descidas afim de aumentar a estabilidade da bicicleta. Nas pistas de velocidade, o que favorece é a sua rigidez gerando um melhor comportamento da máquina. As qualidades mecânicas irão depender do material de que é feito. (PEQUINI, 2000).

O quadro convencional de uma bicicleta é representado abaixo, na figura 11..



Figura 11 - Componentes do quadro uma bicicleta convencional.

Fonte : ARAÚJO,2013

- 1 – Tubo superior
- 2 – Tubo/caixa de direção
- 3 – Tubo inferior oblíquo
- 4 – Tubo de selim
- 5 – Forqueta posterior
- 6 – Tubo da transmissão central

2.4 Bateria

De acordo com Suffern (1956),

“Bateria, ou também conhecido como acumulador, é um conjunto de pilhas agrupadas em série ou em paralelo, entretanto quando seus elementos ativos tiverem sido consumidos é possível regenerá-los, se a bateria for ligada a uma fonte de corrente contínua fazendo com que circule uma corrente no sentido oposto.” (apud GONZALES, 2014).

A bateria é um dispositivo que armazena energia elétrica por meio de reações eletroquímicas que se processam em seu interior. Ela pode ser classificada como primária ou secundária (ARAÚJO, 2012).

As baterias primárias são fabricadas com o intuito de fornecer energia elétrica somente uma única vez, devido as reações que geram energia não poderem ser revertidas pela aplicação de uma corrente elétrica de uma fonte externa, e necessitam ser trocadas ao serem esgotadas. As secundárias são aquelas que podem ser recarregadas um número finito de vezes,

pois as reações que geram energia elétrica podem ser revertidas por meio da aplicação de energia de uma fonte externa (GONZALES, 2014).

A capacidade de armazenamento de energia em uma bateria, que por norma é definido como a corrente que a mesma pode fornecer durante um período de tempo é dada por ampere-hora (Ah) (ARAÚJO, 2012).

Na bicicleta elétrica a bateria pode ser alojada de três formas distintas: Baterias alojadas no rack traseiro, Baterias alojadas no quadro e Baterias alojadas, no tubo inferior. (GENERALWINGS).



Figura 12 - Bateria alojada no rack traseiro



Figura 13 - Bateria alojada no quadro

Fonte : GENERALWINGS.

Fonte: GENERALWINGS.



Figura 14- Bateria alojada no tubo inferior.
Fonte: GENERALWINGS.

2.4.2 Tipos de bateria

As baterias são encontradas em sua maioria em Chumbo-ácido ou íons de Lítio.

Baterias de chumbo- ácido

A bateria de chumbo ácido foi inventada pelo francês Gaston Planté em 1859. Existem dois tipos de bateria chumbo-ácido a utilizada em automóveis e a do ciclo profundo (GONZALES, 2014).

Nesse tipo de bateria, o número de ciclos e descarga é inversamente proporcional a profundidade da descarga, figura 15. (BASTOS, 2013).

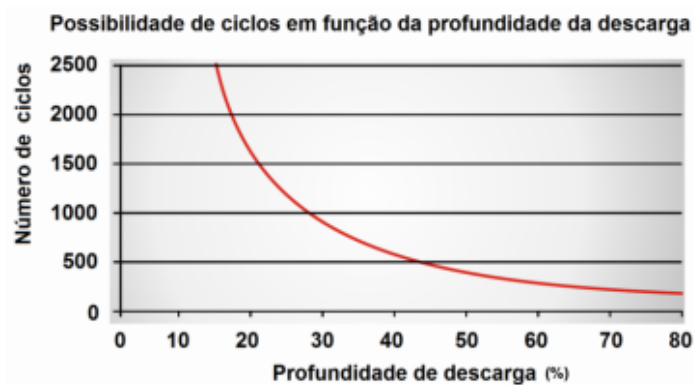


Figura 15 - Descarga de uma bateria de chumbo ácido em função da profundidade

Fonte: MOURA, 2011 apud BASTOS, 2013

Dessa forma, as baterias de chumbo devem sempre estarem carregadas. Seu uso adequado é sempre plugá-la para recargar logo após a utilização, independentemente do nível de energia que ainda se mantém. Fazendo uma boa utilização, mantendo-a sempre carregada, pode alcançar até 450 ciclos. (GENERALWINGS).

O tempo de vida de uma bateria elétrica de chumbo ácido em bicicletas é de um a dois anos, ou até os 10000km. (CHERRY; WEINER; XINMIAO, 2009).

Bateria de lítio

As baterias de Lítio (Li) são o tipo de bateria bastante utilizados nas bicicletas elétricas. Isso ocorre devido a sua maior densidade de energia/volume e por serem mais leves, possuem longos ciclos de vida quando corretamente utilizadas. (ARAÚJO 2012)

Esse tipo de bateria não apresenta o “efeito memória”, ou seja, não precisa ser descarregada totalmente antes de voltarem a ser carregadas. Outra vantagem dessas baterias é de conseguirem suportar centenas de ciclos de carga/ descarga. (BRAIN).

O processo de descarregamento dessas baterias não deve ser excessivamente rápido para não ocorrer um sobreaquecimento indevido, rupturas ou mesmo explosões. Todavia, algumas das baterias de lítio, possuem proteções incorporadas contra estes efeitos. Ao serem armazenadas, devem estar parcialmente carregadas. (ARAÚJO, 2012).

2.5. Alguns modelos de bicicleta elétricas no mercado Brasileiro

Nessa seção são apresentados alguns modelos de bicicletas elétricas vendidas no Brasil junto com suas principais características.

QUADRO 1 – Características da e-bike-d Lev

Aros	20"
Quadro	Alumínio e pintura eletrostática
Motor	250 Watts
Bateria	Bateria de Lítio 36V 10A



Tempo de recarga	3 a 5 horas
Autonomia	Até 30 Km
Velocidade Máx.	30 Km/h
Capacidade de carga	Até 120 Kg
Peso	23,5Kg (com bateria)
Valor	R\$ 5.490

Fonte : Próprio autor.

Figura 16 - e-bike-d Lev

Fonte: www.golev.com.br

Acessado em 15/07/2016

QUADRO 2- Características e-bike-l Lev

Aros	24"
Quadro	Alumínio e pintura eletrostática
Motor	250 Watts
Bateria	Bateria de Lítio 36V 10 ^a
Tempo de recarga	3 a 5 horas
Autonomia	até 30 Km
Velocidade Máx.	30 Km/h
Capacidade de carga	até 120 Kg
Peso	27Kg (com bateria)
Valor	R\$ 5.590

Fonte: Próprio autor.



Figura 17 - e-bike-l Lev

Fonte: www.golev.com.br

Acessado em 15/07/2016

QUADRO 3 - Característica Biobike JS 72

Aros	26"
Quadro	Alumínio
Motor	350 Watts

Bateria	Lítio
Tempo de recarga	4 a 6 horas
Autonomia	60/65 km
Velocidade Máx.	25 Km/h
Capacidade de carga	até 120 Kg
Peso	28Kg (com bateria)
valor	R\$ 6.894



Figura 18 - Biobike JS 72.

Fonte : www.kanui.com.br
Acessado em 15/07/2016

Fonte : Próprio autor.

Aros	24"
Quadro	Aço
Motor	350 Watts
Bateria	Chumbo 3 de 12V (m = 12,8kg)
Tempo de recarga	-
Autonomia	30 km
Velocidade Máx.	25 Km/h
Capacidade de carga	até 100 Kg
Peso	39Kg (com bateria)
valor	R\$ 3.577

Fonte: Próprio autor

QUADRO 4 - Característica Biobike Max



Figura 19 - Biobike Maxx.

Fonte: www.kanui.com.br

Acessado em 15/07/2016

QUADRO 5 - Características Biobike JS 50

Aros	24"
Quadro	Aço carbono
Motor	350 Watts
Bateria	m = 17kg
Tempo de recarga	de 4 a 6 horas
Autonomia	45km
Velocidade Máx.	25 Km/h
Capacidade de carga	até 130 Kg
Peso	53Kg (com bateria)
Valor	R\$ 4.783

Fonte: Próprio autor

**Figura 20** - Biobike JS 50

Fonte: www.kanui.com.br

Acessado em 15/07/2016

As bicicletas elétricas apresentadas foram selecionadas respeitando a resolução N° 465, obedecendo a exigência da potência máxima de 350W e velocidade máxima de 25km/h.

Existem dois tipos de bateria que são utilizados em bicicletas elétricas: as de Lítio, que são as mais leves e as de chumbo-ácido, que são as mais pesadas. A bateria de Lítio são mais caras e por isso nem sempre são utilizadas. Quando esse fator não entra em questão, elas são mais utilizadas pois aguentam mais ciclos e possuem maior densidade energética.

Os quadros das bicicletas são fabricados de diversos materiais, entre eles o aço e o alumínio. Cada um deles é adequado para situações diferentes. O alumínio é um material mais leve, porém mais caro que o aço.

Nas descrições das características das bicicletas elétricas a autonomia não é apenas um valor fixo, mas uma faixa, isso ocorre, pois, a autonomia depende de diversos fatores, entre eles a velocidade do condutor, sua massa e as forças que estão atuando na bicicleta elétrica

3 CINEMÁTICA DO VEÍCULO DE DUAS RODAS

3.1 Introdução

O movimento de uma bicicleta, assim como de todos os veículos, é regido pela segunda lei de Newton, o qual pode ser enunciada da seguinte forma:

Um ponto material submetido a uma força não nula adquire uma aceleração com modulo proporcional ao modulo da força e na mesma direção e sentido desta.

Para otimização de qualquer sistema é importante compreender os efeitos das ações de forças que interagem com o movimento e com o veículo.

3.2 Forças contrárias ao deslocamento

Para que haja o deslocamento de um veículo é necessário um sistema de propulsão com capacidade de fornecer energia suficiente para vencer as forças opostas ao deslocamento, são essas: resistência do ar, o atrito das rodas com o solo, o peso a inercia do veículo. (SILVA, 2013).

A equação 3.1 calcula a força de tração aplicada pelo sistema de propulsão.

$$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i \quad (3.1)$$

Onde:

F_t = Força de tração;

F_r = Força de resistência ao rolamento;

F_D = Força de atrito aerodinâmico;

F_g = Força gravítica (componente com a direção do movimento);

F_i = Força de inércia.

Quando o corpo está em movimento uniforme, ou seja, sua velocidade é constante, a força de tração é igual em módulo ao somatório das forças resistentes. A força de tração irá representar a força que é necessária para vencer afim de manter o veículo a esta velocidade.

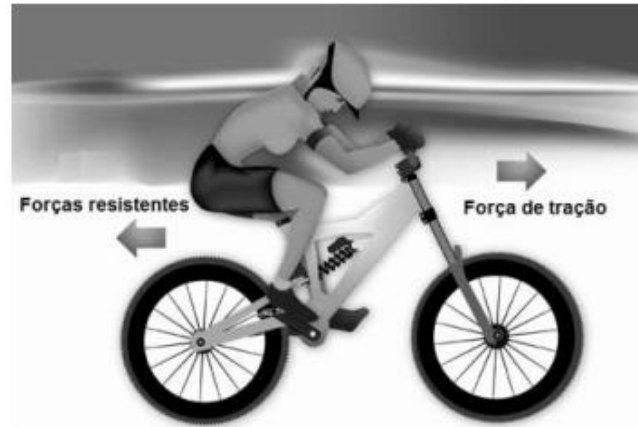


Figura 21 - Força de tração x forças resistentes
 Fonte : SILVA, 2013

3.2 .1 Força de resistência ao rolamento

As forças de resistência ao rolamento, ocorrem devido as propriedades visco-elásticas dos compostos de borracha usados na fabricação dos pneus. Quando há o movimento do pneu, ele é deformado pela carga exercida sobre ele, tornando-o plano na zona de contato pneu-superfície. A força de oposição, originada pela secção plana durante o movimento gera um momento no centro da roda que se opõe ao movimento (TANAKA, 2013). O seu valor é dado por:

$$F_r = P \times f_r \cdot \cos\alpha \quad (3.2)$$

Onde:

P = peso aplicado no centro da roda em Newtons -N, sendo $P = m \cdot g$

f_r = coeficiente de resistência ao rolamento;

α = ângulo que a roda faz com chão;

No Quadro 6 são apresentados os valores do coeficiente de resistência ao rolamento em pneus de bicicleta de acordo com o tipo do piso.

QUADRO 6 - Coeficiente de rolamento.

Tipo de piso	Valor de f_r
Piso de madeira	0,001
Piso de Betão	0,002
Piso de alcatrão	0,004
Piso de alcatrão áspero	0,008

Fonte: adaptação (SILVA, 2013)

3.2.2 Força de resistência aerodinâmica

A força de resistência aerodinâmica, também conhecida como força de arrasto, ocorre devido ao atrito do veículo com o ar. No caso do veículo, esta força depende da sua forma, da sua área frontal e da velocidade de deslocamento relativamente ao ar. (SILVA, 2013).

Esta força é resultado de duas componentes principais: resistência a forma e fricção superficial. (TANAKA, 2013).

Arrasto de forma: O movimento do veículo empurra o ar em sua frente. Porém o ar não consegue sair instantaneamente do caminho e sua pressão irá aumentar, resultando em uma alta pressão de ar. Na parte traseira do veículo o ar não consegue preencher instantaneamente o espaço deixado pelo movimento para a frente do veículo, criando uma zona de baixa pressão. Portanto, há duas zonas de pressão que se opõe ao movimento. (TANAKA, 2013).

Fricção superficial: O ar que está próximo a superfície do veículo move-se com quase a mesma velocidade do veículo enquanto o ar afastado do veículo encontra-se estagnado. (TANAKA, 2013).

A força de resistência aerodinâmica pode ser calculada através da seguinte expressão.

$$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w) \quad (3.3)$$

Onde:

F_D : Força de resistência aerodinâmica. [N]

ρ : Densidade do ar [kg/m³];

A_f : Área frontal do veículo [m²];




C_D : Coeficiente de resistência aerodinâmica ou de arrasto

v : Velocidade do veículo [m/s]

v_w : Velocidade do vento medida no mesmo referencial de deslocação do veículo [m/s]

O quadro 7, apresenta como o coeficiente de resistência aerodinâmica pode variar conforme a posição do ciclista.

QUADRO 7- Valores típicos para o coeficiente de resistência aerodinâmica para veículos de duas rodas.

Bicicleta <i>standard</i> com condutor	Coeficiente de resistência aerodinâmica (C_D)
	1,1
	1,0
	0,88

Fonte: (SILVA, 2013)

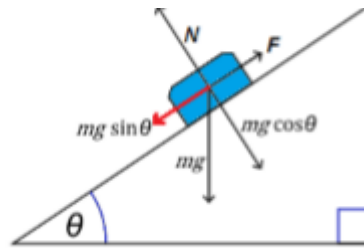
3.2.3 Força da gravidade

A força gravitacional que atua em corpo num plano inclinado está dirigida para baixo, atuando como força resistente ao movimento caso o veículo esteja subindo. Em descidas, estará ajudando o movimento. A origem desse vetor é colocada no centro da massa do corpo. Sua expressão é dada por: (HALLIDAY, RESNICK, 2011, v.1).

$$F_g = Mgsen\theta$$

(3.4)

A figura 22 abaixo exemplifica as forças atuando em um corpo num plano inclinado.

Figura 22 - Forças atuando em um plano inclinado.

HALLIDAY, RESNICK, 2011, v.1

Onde:

F_g : Força gravítica [N]

M: Massa [kg]

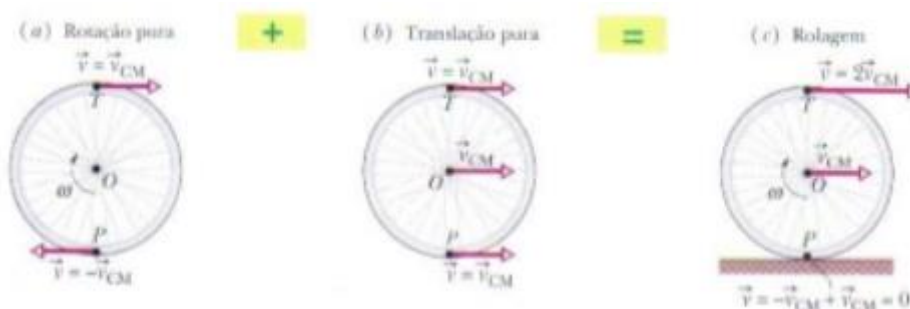
g: Aceleração gravítica ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

θ : Ângulo de inclinação do plano do deslocamento com a horizontal.

3.2.4 Força de Inercia

“ Todo corpo persiste em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a modificar esse estado pela ação de forças impressas sobre ele”. Esse enunciado se refere a primeira lei de Newton.

O movimento de uma roda é a combinação do movimento de translação do centro de massa e de rotação. A inércia de um objeto num movimento de translação é dada pela sua massa e em um movimento de rotação é determinada pelo seu momento de inércia. A figura 23 mostra a junção desses dois movimentos. (HALLIDAY, RESNICK, 2011, v.1).

**Figura 23** - Movimento de rotação e translação e sua soma.

Fonte: HALLIDAY, RESNICK, 2011, v.1

A figura 23.a, mostra a rotação pura como se o eixo de rotação estivesse estacionário, todos os pontos da roda giram em torno do centro com velocidade angular ω e todos os pontos da periferia tem uma velocidade linear V_{CM} . No movimento de translação, todos os pontos da roda se movem para a direita e possuem velocidade escalar V_{CM} , ou seja todos os pontos possuem o mesmo deslocamento num dado intervalo de tempo. (HALLIDAY, RESNICK, 2011, v.1)

A combinação desses movimentos gera o rolamento. No rolamento, somando as velocidades, a extremidade inferior da roda (ponto P) possui uma velocidade nula enquanto na extremidade superior (Ponto T) possui a maior velocidade, $2V_{cm}$. (HALLIDAY, RESNICK, 2011, v.1).

O contributo da inercia provocadas pelas massas em translação e rotação devem ser consideradas.

Essa força só é considerada quando há aceleração no deslocamento do sistema (bicicleta e condutor).

Massa em translação

$$F^T = m^T \times a \quad (3.5)$$

Onde:

F^T = Força de inércia de translação [N].

m^T = Massa referente aos corpos em translação [Kg].

a = Aceleração linear [m/s^2].

Todas as massas envolvidas na bicicleta sofrem translação, incluindo a massa do condutor.

Massa em rotação

No movimento de rotação, a massa considerada é dada pela razão da força pela aceleração (segunda lei de Newton). Dessa forma:

$$F = m^R a \quad (3.6)$$

A aceleração adquirida pelo corpo é a razão da variação da sua velocidade linear em um determinado tempo.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3.7)$$

A velocidade linear de um movimento circular é dada pela equação 3.8:

$$v = w \times r \quad (3.8)$$

Logo, a força aplicada em uma massa é dada por:

$$F = m^R \times \frac{\Delta(w \times r)}{\Delta t} \quad (3.9)$$

Um efeito rotativo será produzido (binário) ao aplicar uma força em um corpo rígido que irá girar em torno de um eixo de rotação.

$$\tau = F \times r = m^R \times r^2 \times \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad e \quad \tau = m^R \times r^2 \times \alpha \quad (3.10) \quad e \quad (3.11)$$

Onde:

α - Aceleração angular [rad/s²].

m^R - Massa em rotação [kg].

r - Raio da roda [m].

a - aceleração linear [m/s²];

F - Força de inercia de translação [N];

As Massas que estão em rotação são: roda, coroa, pinhão, corrente, pedal. Logo:

$$m^R = m_{roda} + m_{coroa} + m_{pinhao} + m_{corrente} + m_{pedal}$$

(3.12)

Quando o ciclista não estiver pedalando na bicicleta elétrica, a força de inercia de rotação dos pedais é nula, pois os mesmos não estarão sofrendo a rotação em torno do seu eixo.

O momento de inercia I é uma medida da resistência que um corpo oferece ao movimento de rotação. Ou seja, ele faz um papel da massa no movimento linear (SILVA, 2013).

O momento de inercia é utilizado para estudar o movimento de rotação. Considerando um corpo rígido o momento de inercia da massa do corpo em relação ao seu eixo de rotação, z , é dado por. (HIBBELER, 2011)

$$I = \int_m r^2 dm$$

(3.13)

Onde, r é a distância perpendicular do eixo até o elemento arbitrário dm .

É possível perceber que o momento de inércia depende da massa e de como ela é distribuída em relação a um dado eixo de rotação. (SILVA,2013).

Para um corpo que possua várias peças rotativas, o momento de inercia resultante será a soma de cada momento de inércia.

Para uma única partícula o momento de inércia é dado por:

$$I = m^R x r^2$$

(3.14)

A segunda lei de Newton é dada substituindo a equação anterior na equação ($\tau = m x r^2 x \alpha$). Logo :

$$\tau = I \alpha$$

(3.15)

A equação 3.15 relaciona o binário τ com a inercia rotacional de um corpo I e aceleração angular α . Nesta equação o binário produz uma aceleração angular fazendo então o papel de uma força, e o momento de inercia faz o papel de massa. (SILVA, 2013).

A força de inercia no ponto de contato com o solo pode ser obtida dividindo o valor dado na equação ($\tau = I \alpha$) pelo raio da roda da bicicleta.

$$F^R = \frac{\tau}{r} = \frac{I \alpha}{r}$$

(3.16)

Como a aceleração angular é dado pela forma abaixo:

$$a = \alpha r$$

(3.17)

Tem-se que a força de rotação será:

$$F^R = \frac{I \alpha}{r^2}$$

(3.18)

Conforme dito anteriormente, a força de inercia total é dada pela soma da força de inercia de rotação e da força de inercia de translação, dessa forma:

$$F^i = F^R + F^T$$

(3.19)

Logo:

$$F^i = \frac{I \times a}{r^2} + m^T \times a \quad (3)$$

.20)

3.3 Potência mecânica - P_m

O valor da potência mecânica a aplicar na roda para vencer a força de tração, F_t , depende diretamente do valor da velocidade da bicicleta, dessa forma, quanto maior for a velocidade, maior será o seu valor. Conforme mostrado na equação 3.21

$$P_m = F_T \times v \quad (3.21)$$

3.4 Potência elétrica - P_e

A potência elétrica, equação 3.22, a fornecer ao controlador depende diretamente da potência mecânica.

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_M \eta_E} \quad (3.22)$$

Onde:

η_E = Rendimento de transmissão mecânica

η_M = Rendimento do *power drive* “controlador + motor”

3.5 Velocidade de rotação das rodas

A velocidade de rotação das rodas, pode ser obtida, utilizando a equação abaixo, que está relacionada a velocidade da bicicleta.

$$v_r = \frac{v \times 60}{2 \times \pi \times r} \quad (3.23)$$

O quadro 8, contém os valores da velocidade de rotação das rodas de aro 26 para distintas velocidades.

QUADRO 8- Valores da velocidade de rotação das rodas.

Velocidade (km/h)	Velocidade de rotação das rodas	
	(rpm)	
5	20,09	
10	40,19	
15	60,28	
20	80,37	
25	100,47	

Fonte: Próprio autor.

4 PROJETO

4.1 Introdução

Este projeto tem como finalidade adaptar uma bicicleta elétrica a partir de uma bicicleta convencional selecionando apenas o motor e a bateria. Nesse capítulo será abordado as forças que atuam na bicicleta e os parâmetros que a envolvem.

4.2 Parâmetros

Nessa sessão serão calculados e selecionados alguns parâmetros necessários para projetar a bicicleta.

QUADRO 9 - Parâmetros do projeto

Parâmetros	Valor	unidade
Densidade do ar (ρ)	1,169	kg/m ³
Área frontal	0,5	m ²
Coefficiente de resistência aerodinâmica	1	-
Velocidade do veículo	25	km/h

Velocidade do vento	0	-
Massa do Condutor	100	Kg
Massa da bicicleta	20,98	Kg
Massa da bateria	13,7	Kg
Gravidade	9,81	m/s ²
η_E	0,75	-
η_M	0,80	-
Raio da bicicleta (aro 26)	0,6604	m

Fonte: Próprio autor.

A densidade do ar escolhida foi a equivalente a temperatura de 25°C.

A escolha da área frontal e o coeficiente de resistência aerodinâmica foram escolhidos com base na dissertação de mestrado, Sistema de mobilidade elétrica de duas rodas de elevada eficiência e performance (SILVA, 2013)

A escolha da massa da bicicleta foi baseada no modelo Breeze S210E (SENSE BIKE).

4.3 Valores para a força de resistência ao rolamento.

Conforme visto no capítulo anterior, através da equação 3.2 a força de resistência ao rolamento irá variar, de acordo com o peso total envolvido no sistema, o coeficiente de resistência ao rolamento e o ângulo que a roda faz com o chão.

Nos quadros 10, 11 e 12 são apresentadas algumas variações que a força de resistência ao rolamento pode sofrer, tendo três massas de condutores de 100kg, 70kg e 50kg (sem variar a massa da bicicleta), para diferentes pisos sem haver inclinação do plano. Para os parâmetros utilizados para as contas da força de resistência ao rolamento os quais não sofreram modificação, foram retirados do quadro 9.

QUADRO 10 - Valor da Força de resistência ao rolamento (N) para um condutor de massa 100kg em planos inclinados com diferentes pisos.

Inclinação da ladeira	Piso de alcatrão áspero	Piso de alcatrão	Piso de Betão	Piso de madeira
-----------------------	-------------------------	------------------	---------------	-----------------

0°	10,57	5,28	2,64	1,32
1°	10,57	5,28	2,64	1,32
2°	10,56	5,28	2,64	1,32
3°	10,56	5,28	2,64	1,32
4°	10,54	5,27	2,64	1,32
5°	10,53	5,26	2,63	1,32
6°	10,51	5,26	2,63	1,31
7°	10,49	5,25	2,62	1,31
8°	10,47	5,23	2,62	1,31
9°	10,44	5,22	2,61	1,30
10°	10,41	5,20	2,60	1,30

Fonte: Próprio autor.

QUADRO 11 - Valor da Força de resistência ao rolamento (N) para um condutor de massa 70kg em planos inclinados de diferentes pisos.

Inclinação da ladeira	Piso de alcatrão áspero	Piso de alcatrão	Piso de Betão	Piso de madeira
0°	8,22	4,11	2,06	1,03
1°	8,21	4,11	2,05	1,03
2°	8,21	4,11	2,05	1,03
3°	8,20	4,10	2,05	1,03
4°	8,20	4,10	2,05	1,03
5°	8,18	4,09	2,05	1,02
6°	8,17	4,09	2,04	1,02
7°	8,15	4,08	2,04	1,02
8°	8,14	4,07	2,04	1,02
9°	8,11	4,06	2,03	1,01
10°	8,09	4,05	2,02	1,01

Fonte: Próprio autor.

QUADRO 12 - Valor da Força de resistência ao rolamento (N) para um condutor de massa 50kg em planos inclinados de diferentes pisos.

Inclinação da ladeira	Piso de alcatrão áspero	Piso de alcatrão	Piso de Betão	Piso de madeira
-----------------------	-------------------------	------------------	---------------	-----------------

0°	6,65	3,33	1,66	0,83
1°	6,64	3,32	1,66	0,83
2°	6,64	3,32	1,66	0,83
3°	6,64	3,32	1,66	0,83
4°	6,63	3,32	1,66	0,83
5°	6,62	3,31	1,66	0,83
6°	6,61	3,31	1,65	0,83
7°	6,60	3,30	1,65	0,83
8°	6,58	3,29	1,65	0,82
9°	6,56	3,28	1,64	0,82
10°	6,54	3,27	1,64	0,82

Fonte: Próprio autor.

4.4 Valores para a força de resistência aerodinâmica

A força de resistência aerodinâmica, calculada pela equação 3.3, pode variar conforme a área frontal do veículo, o coeficiente de resistência aerodinâmico, a velocidade do veículo e a velocidade do vento (medida no mesmo referencial de deslocamento do veículo).

Com os parâmetros do quadro 9, variando a velocidade da bicicleta e a área frontal, a Força de Resistência Aerodinâmica, irá variar conforme o quadro 13.

A área frontal do condutor está relacionada com sua altura e largura, seu valor poderá variar de 0,30 a 0,70.

QUADRO 13 – Valores da Força de Resistência aerodinâmica (N) conforme variação de velocidade do veículo e área frontal.

		Área frontal (m ²)				
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Velocidade do veículo (km/h)	0	0	0	0	0	0
	5	0,34	0,45	0,56	0,68	0,79
	10	1,35	1,8	2,26	2,71	3,16
	15	3,04	4,06	5,07	6,09	7,1
	20	5,41	7,22	9,02	10,82	12,63
	25	8,46	11,28	14,09	16,91	19,73

Fonte: Próprio autor.

De maneira análoga, utilizando os dados do quadro 9, variando a velocidade do vento para diferentes valores de velocidade no veículo a Força de resistência aerodinâmica se comportará de acordo com o quadro 14.

QUADRO 14 - Valores da Força de Resistência aerodinâmica (N) conforme variação de velocidade do veículo e velocidade do vento.

		Velocidade do vento (km/h)				
		-10	-5	0	5	10
Velocidade do veículo (km/h)	0	2,26	0,56	0	0,56	2,26
	5	5,07	2,26	0,56	0	0,56
	10	9,02	5,07	2,26	0,56	0
	15	14,09	9,02	5,07	2,26	0,56
	20	20,3	14,09	9,02	5,07	2,26
	25	27,62	20,3	14,09	9,02	5,07

Fonte: Próprio autor.

Os valores de força de resistência aerodinâmica negativos representam uma força que estará atuando à favor do deslocamento do veículo.

Para a última análise do comportamento da força de resistência aerodinâmica, serão utilizados diferentes valores do coeficiente de resistência aerodinâmico, conforme o quadro 15, tendo como base os valores do coeficiente de resistência aerodinâmica encontrados no quadro 7, no qual a posição do ciclista irá influenciar o valor da força de resistência aerodinâmica.

QUADRO 15- Valores da Força de Resistência aerodinâmica (N) conforme variação de velocidade do veículo e coeficiente de resistência aerodinâmico (CD).

		Coeficiente de resistência aerodinâmico		
		1,1	1	0,88
Velocidade do veículo (km/h)	0	0	0	0
	5	0,62	0,56	0,5
	10	2,48	2,26	1,98
	15	5,58	5,07	4,46
	20	9,92	9,02	7,94
	25	15,5	14,09	12,4

Fonte: Próprio autor.

4.5 Valores para a Força da Gravidade

A força gravitacional varia conforme dois parâmetros: a massa do sistema e o ângulo de inclinação do plano do deslocamento com a horizontal. O quadro 16, apresenta os valores da força conforme a variação desses parâmetros.

QUADRO 16 - Valores da força de Gravidade para diferentes inclinações e massas

		Inclinação da ladeira		
		50	70	100
Massa do condutor (kg)	0°	0	0	0
	1°	14,49	17,91	23,05
	2°	28,97	35,81	46,07
	3°	43,45	53,71	69,11
	4°	57,91	71,59	92,11
	5°	72,36	89,45	115,09
	6°	86,78	107,28	138,03
	7°	101,18	125,07	160,92
	8°	115,55	142,84	183,78
	9°	129,89	160,56	206,58
	10°	144,14	178,19	229,25

Fonte: Próprio autor.

4.6 Valores para a força de inércia

A força de inercia se subdivide em duas forças, a força de inercia de rotação e de translação e seu valor total é a soma. Para melhor entendimento de como a força de inercia

pode variar, será feito primeiramente uma análise separada da força de inércia de rotação e translação.

4.6.1 Força de inércia dos corpos em rotação

Conforme visto em capítulos anteriores, a roda, as coroas e os pinhões além de sofrerem translação sofrem o fenômeno de rotação. A força de rotação é dada pela equação 3.18.

Rodas

Para o cálculo do momento de inércia das rodas, foi utilizando o momento de inércia de um cilindro oco em torno de um eixo central.

$$I = \frac{1}{2} Mx(R_{interno}^2 + R_{externo}^2) \quad (4.1)$$

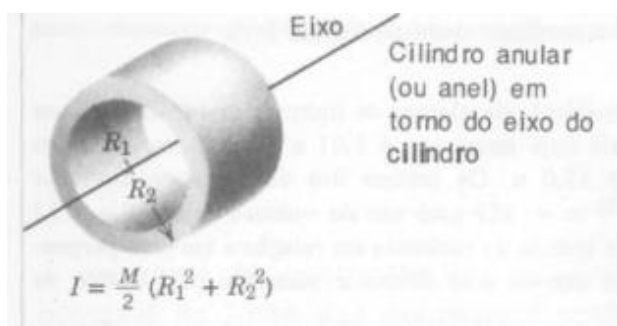


Figura 24 – momento de inércia de um cilindro anular

Fonte : HALLIDAY, RESNICK, 2011, v.1



Figura 25 - rodas de uma bicicleta

fonte : www.luteranos.com.br

Acessado em 15/07/2016

QUADRO 17 - Dados da roda ARO 26

RODA 26 X 1.125 e 26 x 1.375	
MEDIDA INTERNA DO PNEU (m)	0.599
RAIO DA RODA (m)	0.3302
MASSA DA RODA (kg)	0.88

Fonte: Próprio autor

Substituindo os valores:

$$I = \frac{1}{2} Mx(R_{interno}^2 + R_{externo}^2) = 0,09 \text{ kg.m}^2$$

Os valores da força de inercia referente a rotação das rodas, quadro 18, variam apenas com a aceleração linear sem que haja modificação da bicicleta elétrica.

QUADRO 18 - Valores da força de inercia de rotação das rodas

Aceleração linear (m/s ²)	Força de inércia (N)
0	0,00
0,05	0,08
0,1	0,16
0,15	0,24
0,2	0,32
0,25	0,40
0,3	0,48
0,35	0,56
0,4	0,64
0,45	0,72
0,5	0,80
0,55	0,88
0,6	0,96
0,65	1,04
0,7	1,12
0,75	1,20
0,8	1,28

0,85	1,36
0,9	1,44
0,95	1,52
1	1,60

Fonte: Próprio autor

Coroas e pinhões

No cálculo da força de inercia de rotação, o momento de inércia das coroas e dos pinhões foram aproximados para um disco circular fino. Dessa forma:

$$I = \frac{1}{2}MR^2 \quad (4.2)$$

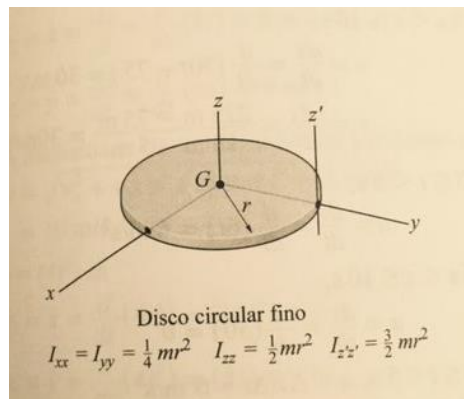


Figura 26 - momento de inercia um disco circular fino.

Fonte : HIBBELER, 2011



Figura 27 - coroa de uma bicicleta
 fonte : www.moemabike.com.br

Acessado em 15/07/2016

Os quadros 19 e 20 apresentam os valores da força de inércia de rotação e do momento de inércia das coroas e pinhões respectivamente para uma aceleração de 1m/s^2

QUADRO 19 - Força de inércia das coroas

Diâmetro (m)	Massa (kg)	Momento de inércia (kg.m^2)	Força de inércia (N)
0,20	0,11	0,000556	0,0138
0,15	0,08	0,000234	0,0104
0,12	0,07	0,0001200	0,0083

Fonte: Próprio autor

QUADRO 20 - Força de inércia das coroas

Diâmetro (m)	Massa (kg)	Momento de inércia (kg.m^2)	Força de inércia (N)
0,12	0,07	0,000120000	0,0083
0,11	0,06	0,000092431	0,0076
0,10	0,06	0,000069444	0,0069
0,09	0,05	0,000050625	0,0062
0,08	0,04	0,000035556	0,0056
0,07	0,04	0,000023819	0,0049
0,06	0,03	0,000015000	0,0041

Fonte: Próprio autor

A força de inércia das coroas e dos pinhões, de acordo com os quadros 19 e 20, podem ser desconsiderados, devido as massas envolvidas serem muito baixas.

4.6.2 Força de inércia dos corpos em translação.

A força de inércia de translação conforme visto na equação 3.5 depende apenas da massa do conjunto e da aceleração linear da bicicleta. O quadro 21 apresenta as forças de inércia de translação para diferentes valores de aceleração.

QUADRO 21 - Força de inércia de translação

Aceleração linear (m/s ²)	Força de inércia de translação (N)
0	0
0,05	6,734
0,1	13,468
0,15	20,202
0,2	26,936
0,25	33,67
0,3	40,404
0,35	47,138
0,4	53,872
0,45	60,606
0,5	67,34
0,55	74,074
0,6	80,808
0,65	87,542
0,7	94,276
0,75	101,01
0,8	107,744
0,85	114,478
0,9	121,212
0,95	127,946
1	134,68

Fonte: Próprio autor

4.6.3 A soma das forças de inércia

O quadro 22 mostra a força de inércia total, sendo a soma da força de inércia de rotação e da força de inércia de translação. A força de inércia de translação, contribui com grande parte do valor da força de inércia total.

QUADRO 22 - Força de Inércia Total

Aceleração linear (m/s ²)	Força de inércia de rotação (N)	Força de inércia de translação (N)	Força de inércia total (N)
0	0,00	0	0,00
0,05	0,08	6,734	6,81
0,1	0,16	13,468	13,63
0,15	0,24	20,202	20,44
0,2	0,32	26,936	27,26
0,25	0,40	33,67	34,07
0,3	0,48	40,404	40,89
0,35	0,56	47,138	47,70
0,4	0,64	53,872	54,51
0,45	0,72	60,606	61,33
0,5	0,80	67,34	68,14
0,55	0,88	74,074	74,96
0,6	0,96	80,808	81,77
0,65	1,04	87,542	88,58
0,7	1,12	94,276	95,40
0,75	1,20	101,01	102,21
0,8	1,28	107,744	109,03
0,85	1,36	114,478	115,84
0,9	1,44	121,212	122,66
0,95	1,52	127,946	129,47
1	1,60	134,68	136,28

Fonte: Próprio autor

4.7 Análise da potência elétrica consumida para diferentes situações

Através dos cálculos das forças contrárias ao deslocamento da bicicleta será calculado a os valores das potencias elétricas consumidas para três situações distintas.

Caso 1

Nessa situação, serão consideradas as maiores forças de tração, tendo como bases os valores da força encontradas nas seções anteriores.

Parâmetros usados:

- Piso de Alcatrão áspero.
- condutor de massa 100 kg.
- Área frontal de 0,7 m².
- Ladeira com inclinação de 10°.
- eficiência do motor de 0,7.

QUADRO 23 - Forças atuantes na bicicleta e potência elétrica para o caso 1

Velocidade (Km/h)	Força de rolamento (N)	Força de resistência aerodinâmica (N)	Força da gravidade (N)	Potência elétrica (W)
0	10,41	0,00	229,25	0
5	10,41	0,79	229,25	556,60
10	10,41	3,16	229,25	1124,17
15	10,41	7,10	229,25	1713,61
20	10,41	12,63	229,25	2336,02
25	10,41	19,73	229,25	3002,2

Fonte: Próprio autor

Caso 2:

Nesse caso, as forças intermediárias serão consideradas conforme os seguintes parâmetros:

- Piso de Betão
- condutor de massa 70kg.
- Área frontal de 0,5 m².
- Ladeira com inclinação de 5°.
- Eficiência do motor de 0,8.

QUADRO 24 - forças atuantes na bicicleta e potência elétrica para o caso 2

Velocidade (Km/h)	Força de rolamento (N)	Força de resistência aerodinâmica (N)	Força da gravidade (N)	Potência elétrica (W)
0	2,05	0,00	89,45	0
5	2,05	0,56	89,45	213,10
10	2,05	2,26	89,45	434,07
15	2,05	5,07	89,45	670,62
20	2,05	9,02	89,45	930,74
25	2,05	14,09	89,45	1222,11

Fonte: Próprio autor

Caso 3:

Nesta situação, serão consideradas as menores forças. Conforme os Parâmetros usados:

- Piso de Madeira.
- condutor de massa 50kg.
- Área frontal de 0,3m².
- Sem ladeira.
- Eficiência do motor de 0,9.

QUADRO 25 - forças atuantes na bicicleta e potência elétrica para o caso 3

Velocidade (Km/h)	Força de rolamento (N)	Força de resistência aerodinâmica (N)	Força da gravidade (N)	Potência elétrica (W)
0	0,82	0,00	0,00	0
5	0,82	0,34	0,00	2,68
10	0,82	1,35	0,00	10,05
15	0,82	3,04	0,00	26,81
20	0,82	5,41	0,00	57,68
25	0,82	8,46	0,00	107,47

Fonte: Próprio autor

A figura 26, mostra um comparativo dos três casos de como a potência elétrica irá variar para dadas velocidades.

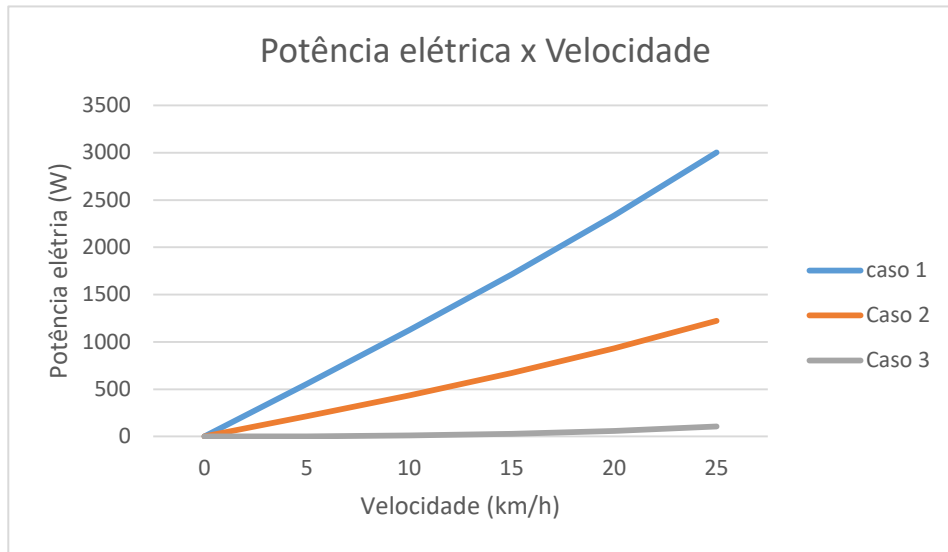


Figura 28 - Potência elétrica x velocidade para os três casos

Fonte: Próprio autor.

Com os menores parâmetros, é possível chegar a forças menores e consequentemente consumir menos a potência elétrica. O consumo de energia será mais baixo em relação aos outros casos e permitirá uma maior autonomia da bicicleta elétrica.

4.8 Escolha da bateria

A bateria escolhida para esse projeto foi a bateria de chumbo devido ao seu baixo custo de compra. As características da bateria são mostradas no quadro 26.

QUADRO 26 - características da bateria

Tipo	Chumbo - Gel com sílica
Capacidade	12Ah
Tensão (Voltagem)	36V
Tempo de carga	8 horas
Corrente máxima de carregamento	1,8 A
Durabilidade	300 ciclos de carga (Aproximadamente)
Peso	13,7 kg

Fonte : <http://img.submarino.com.br/manuais/112164317.pdf>

Acessado em 16/07/2016

4.9 Autonomia

O que define a autonomia de uma bicicleta, é a sua bateria. Quanto maior sua energia maior será sua durabilidade até a próxima recarga.

A energia de uma bateria pode ser calculada através da equação 4.3:

$$\text{energia} = \text{tempo de carga} \times \text{tensão} \quad (4.3)$$

Utilizando a equação 4.3, a energia da bateria em estudo será:

$$\text{energia} = \text{tempo de carga} \times \text{tensão} = 8Ah \times 36V = 432Wh$$

A autonomia da bicicleta depende da forma com que a bicicleta é conduzida, entre os fatores que influenciam sua autonomia está a velocidade de condução, a massa do condutor, a massa da bicicleta, a aceleração utilizada além do grau de inclinação da ladeira se houver.

Para obter a autonomia da bicicleta em horas, utiliza-se a equação 4.4:

$$\text{autonomia}(h) = \frac{\text{energia}}{\text{potência elétrica}} \quad (4.4)$$

Para obter a autonomia em quilômetros, basta multiplicar a autonomia em horas pela velocidade (km/h) conforme a equação 4.5

$$\text{autonomia}(km) = \text{autonomia}(h) \times \text{velocidade} \left(\frac{km}{h} \right) \quad (4.5)$$

No quadro 27 foi feita uma análise simples de possíveis autônias para diferentes tipos de velocidades sem haver aceleração e ladeiras, utilizando os parâmetros do quadro 9.

QUADRO 27 - Autonomia da bicicleta elétrica

Etapa	Descrição	Autonomia (h)	Autonomia (km)
1	Velocidade constante de 5km/h, sem pedalar.	18,86	94,29
2	Velocidade constante de 10 km/h, sem pedalar.	8,19	81,85
3	Velocidade constante de 15 km/h, sem pedalar.	4,47	67,11
4	Velocidade constante de 20 km/h, sem pedalar.	2,28	53,59
5	Velocidade constante de 25 km/h, sem pedalar.	1,70	42,56

Fonte: Próprio autor

Vale ressaltar, que a autonomia da bicicleta elétrica está diretamente ligada ao peso da carga transportada. Os cálculos foram baseados em uma pessoa com massa de 100 kg.

4.6 Motor selecionado

Segue no quadro 28 as principais características do motor selecionado.

QUADRO 28 - Características do motor selecionado

Tipo	Sem escovas (Brushless), Ímã permanente
Tensão (Voltagem)	36 V
Poder de saída	701,15W
Eficiência	85-95 %
Torque	1414N.m
Rotação	4735 RPM

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/external-rotor-high-torque-low-rpm-brushless-dc-motor-60216793228.html>.

O quadro 29 apresenta alguns dados fornecidos pelo fabricante, Arciming ou OEM.

QUADRO 29 - dados do motor

torque	n(RPM)	rot(rad/s)	pot
0,115	5828	610,3067	70,18527
0,159	5801	607,4793	96,58921

0,237	5751	602,2433	142,7317
0,312	5691	595,9601	185,9396
0,386	5639	590,5147	227,9387
0,452	5589	585,2787	264,546
0,518	5542	580,3569	300,6249
0,594	5488	574,702	341,373
0,675	5433	568,9424	384,0361
0,767	5373	562,6592	431,5596
0,859	5309	555,9572	477,5672
0,962	5242	548,941	528,0812
1,071	5170	541,4011	579,8406
1,191	5093	533,3377	635,2052
1,311	4954	518,7817	680,1228
1,414	4735	495,848	701,1291
1,515	4456	466,6312	706,9463
1,599	4147	434,2728	694,4022
1,685	3843	402,438	678,1081
1,776	3546	371,3363	659,4932
1,858	3261	341,4911	634,4905
1,969	2998	313,9498	618,1672
2,022	2756	288,6076	583,5647

Fonte: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/external-rotor-high-torque-low-rpm-brushless-dc-motor-60216793228.html>.

Através dos dados fornecidos pelo fabricante, é possível traçar as curvas rotação x torque e rotação x potência, e com os parâmetros utilizados, conforme o quadro 9, é plotada e a curva real rotação x torque.

A figura 28, em azul claro, tem-se a curva rotação por torque fornecida pelo fabricante com uma redução de 29:1 (ou seja, a rotação diminuiu 29 vezes e o torque aumentou 29 vezes). Em cinza, é apresentada segundo dados do fabricante a curva rotação por potência, o qual a rotação possui uma redução de 29. E por último, em azul escuro, é apresentada a curva rotação por torque quando a bicicleta elétrica está subindo uma ladeira de 1° de inclinação sem aceleração.

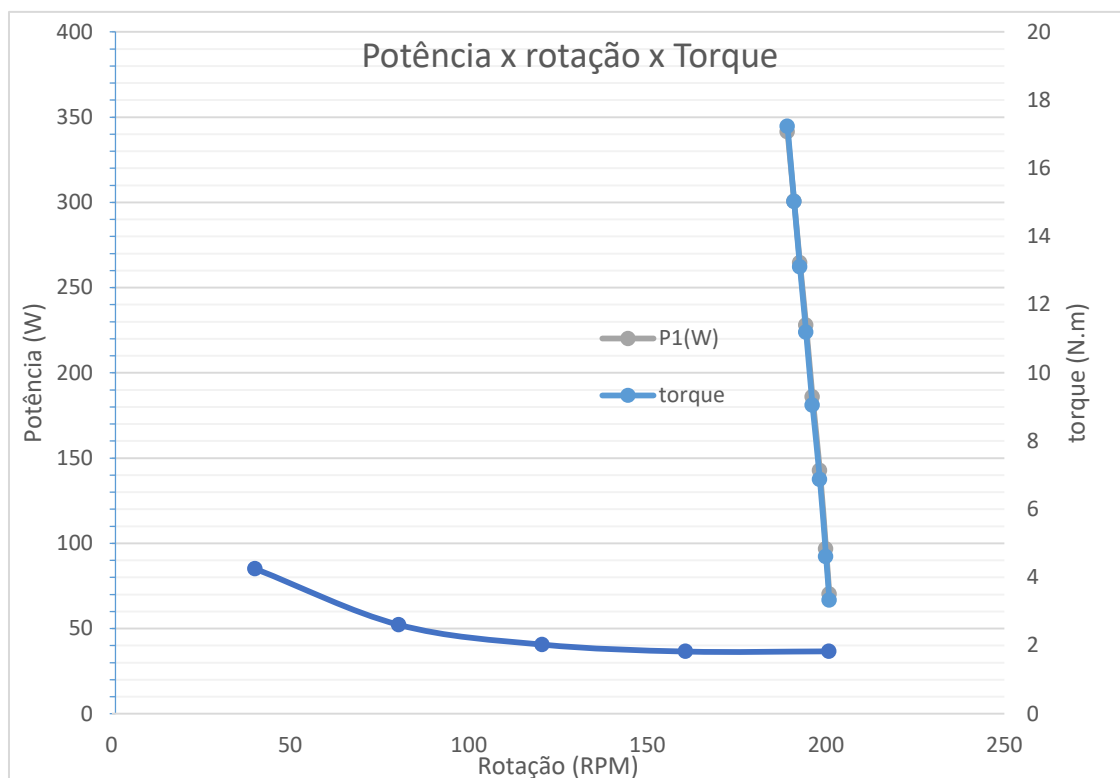


Figura 29 - potência x rotação x torque

Fonte: Próprio autor.

A redução de 29: 1 permite que o motor consiga operar com folga o torque requerido no ponto de operação com velocidade máxima.

A ventilação própria do motor deve ser suficiente para permitir atingir as correntes mais altas, proporcionais aos valores mais altos do torque da curva do motor.

5. CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE ENERGIA DE UMA BICICLETA ELÉTRICA

5.1 Introdução

O consumo de energia da bateria da bicicleta elétrica, depende de vários fatores, são eles: a massa do condutor, a massa da bicicleta, se há ou não ladeira e caso haja a inclinação irá influenciar, a eficiência do motor, o percurso a ser realizado, entre outros.

Neste capítulo será feito uma análise do consumo de energia que a bateria pode fornecer em diferentes casos de, utilizando os parâmetros do quadro 9 quando o parâmetro não sofrer alteração para a análise do estudo:

- Etapas de um Percurso;
- Massas (condutor, quadro, ciclista e bateria);
- Inclinação da ladeira;
- Eficiência do motor;

5.2 Etapas de um percurso

Em cada percurso realizado pela bicicleta serão analisados a distância percorrida, as forças envolvidas, o tempo gasto, a potência elétrica consumida e a energia gasta.

O percurso da bicicleta é dividido em nove etapas, são elas:

Etapa 1: Bicicleta saindo do repouso com aceleração de 1m/s^2 até atingir a velocidade de 5km/h .

Etapa 2: Aceleração de 0.5m/s^2 até atingir a velocidade de 10km/h .

Etapa 3: Aceleração de 0.3m/s^2 até atingir a velocidade de 15km/h .

Etapa 4: Aceleração de 0.2m/s^2 até atingir a velocidade de 20km/h

Etapa 5: Aceleração de 0.10m/s^2 até atingir a velocidade de 25km/h

Etapa 6: Velocidade constante de 25km/h por 40 minutos.

Etapa 7: Diminuição de velocidade para 5km/h em uma ladeira de 5 graus de inclinação com uma desaceleração de 0.8m/s^2 .

Etapa 8: Velocidade de 5km/h em uma ladeira de 5 graus de inclinação por 10 minutos.

Etapa 9: Velocidade constante de 5km/h por 10 minutos.

QUADRO 30 - Dados dos percursos.

Etapas	Velocidade inicial (m/s)	Velocidade final (m/s)	Aceleração (m/s^2)	Tempo (s)	Distância percorrida (m)	Força total (N)	Potência elétrica (W)	Energia gasta (Wh)
--------	--------------------------	------------------------	-------------------------------	-----------	--------------------------	-----------------	-----------------------	--------------------

1	0,00	1,39	1	1,39	0,97	147,42	303,33	0,12
2	1,39	2,78	0,50	2,78	5,80	80,12	248,16	0,19
3	2,78	4,17	0,30	4,63	16,10	55,12	284,99	0,37
4	4,17	5,56	0,20	6,95	33,81	44,87	325,19	0,63
5	5,56	6,94	0,10	13,80	86,25	35,84	334,42	0,85
6	6,94	6,94	0,00	2400,00	16656,00	24,66	253,74	169,16
7	6,94	1,39	-0,8	6,94	28,89	23,92	132,95	0,26
8	1,39	1,39	0,00	600,00	834,00	126,18	259,64	43,27
9	1,39	1,39	0,00	600,00	834,00	11,13	22,91	3,82

Fonte: Próprio autor

5.2. 1 Limitações da bicicleta

A potência elétrica do motor utilizado é de 350w, ou seja, em nenhum percurso pode haver uma potência elétrica maior que esse valor. Essa limitação acarreta inúmeras consequências. São elas:

- Para haver um aumento de velocidade, a aceleração não pode ser muito alta;
- Dependendo da inclinação da ladeira, não é possível atingir a velocidade máxima de 25km/h.
- Quanto maior a inclinação da ladeira, menor será o valor da aceleração permitida para haver o aumento de velocidade.

5.2.2 Análise das etapas

Etapas 1, 2,3,4 e 5

Nessa parte do percurso a bicicleta irá da velocidade nula até 25km/h, com diferentes acelerações, conforme pode ser visto na quarta coluna do quadro 30.

Não é possível ir da velocidade nula a velocidade de 25km/h com a aceleração inicial de 1m/s^2 , pois a potência elétrica iria ultrapassar o valor máximo permitido de 350w, conforme mostrado no quadro 30, dessa forma é necessário diminuir o valor da aceleração para que a potência elétrica esteja dentro do valor permitido.

QUADRO 31 - Potência elétrica para aceleração de 1m/s^2

Velocidade (km/h)	Potência elétrica (W)
5	303,33
10	609,00
15	929,90
20	1271,69
25	1641,81

Fonte: Próprio autor

O quadro 31 abaixo mostra de maneira quantitativa, as forças que atuam na bicicleta para diferentes valores de velocidade e aceleração.

QUADRO 32 - Forças atuantes na bicicleta elétrica

Aceleração linear (m/s^2)	Velocidade (km/h)	potência elétrica (W)	Força Aerodinamica (N)	Força de Rolamento (N)	Força de Inércia (N)	Força total (N)
1	5	301,35	0,56	10,57	135,48	146,46
0.5	5	161,97	0,56	10,57	67,74	78,72
0.5	10	325,61	2,26	10,57	67,74	79,12
0.3	10	214,10	2,26	10,57	40,64	52,03
0.3	15	323,65	5,07	10,57	40,64	52,43
0.2	15	240,02	5,07	10,57	27,10	38,88
0.2	20	323,37	9,02	10,57	27,10	39,29
0.1	20	267,62	9,02	10,57	20,32	32,52
0.1	25	338,70	14,09	10,57	20,32	32,92

Fonte: Próprio autor

Através do quadro 32, conclui-se que a bicicleta com a mesma velocidade e com acelerações diferentes, possuem valores da força de inércia diferentes, que gera uma força total distinta e conseqüentemente a potências elétricas distintas.

Para que a bicicleta aumente sua velocidade, há o gasto da energia da bateria. No quadro a última coluna mostra a quantidade de energia gasta. A etapa cinco demanda maior quantidade de energia que a etapa 1, isso ocorre devido a diminuição da aceleração, que acarreta em um tempo maior para a realização da etapa.

Etapa 6

A etapa 6 representa uma etapa de menor gasto de energia, em que não há a força de inércia, permitindo que a bicicleta consuma uma quantidade menor da potência elétrica.

Etapa 7

Nessa parte do percurso a bicicleta está em um plano inclinado de 5 graus de inclinação para cima, todas as forças estão presentes na bicicleta. Com aceleração negativa, a força de inércia também será negativa, isso permitirá que a bicicleta consiga diminuir sua velocidade com a mesma desaceleração durante todo o percurso.

Etapa 8

Nessa etapa a bicicleta encontra-se em uma ladeira de cinco graus de inclinação para cima e deseja permanecer com a mesma velocidade final da etapa anterior, 5km/h durante 10 minutos. Para essa etapa não haverá a força de inércia, visto que a aceleração linear é nula.

O quadro 32 apresenta de maneira quantitativa, as forças que atuam na bicicleta para a velocidade de 5km/h e outras possíveis velocidades e suas potências elétricas.

QUADRO 33 - Forças que atuam na bicicleta elétrica para uma inclinação de 5 graus

Velocidade (km/h)	Força Aerodinâmica (N)	Força de Rolamento (N)	Força da Gravidade (N)	Força total (N)	Potência elétrica (W)
5	0,56	10,53	115,09	126,03	259,74
10	2,26	10,53	115,09	126,43	526,23
15	5,07	10,53	115,09	126,84	806,75
20	9,02	10,53	115,09	127,24	1108,14
25	14,09	10,53	115,09	127,65	1437,38

Fonte: Próprio autor

O quadro 33 mostra que a bicicleta irá conseguir subir a ladeira com a velocidade de 5km/h devido a potência elétrica ser menor que 350W. Porém, se o condutor quisesse aumentar essa velocidade para 10km/h ou mais, o motor não iria permitir.

Etapa 9

Essa etapa é bastante parecida com a etapa 6, onde não há a força de inércia e nem a força da gravidade. Essa etapa pode ser caracterizada como a etapa em que há o menor gasto da potência elétrica.

A etapa anterior, se difere desta, pois está, não apresenta a força da gravidade. A ausência de inclinação, a potência elétrica consumida é na ordem de dez vezes menor que a etapa 8.

5.3 Gasto de energia em diferentes inclinações de ladeira

O quadro 34, apresenta a quantidade de energia consumida em um minuto para movimentar a bicicleta elétrica quando a inclinação da ladeira é nula e para inclinações de 1°, 2° e 3°. As células pretas indicam que não é possível realizar esse movimento sem a pedalada, ou seja, apenas com o funcionamento do motor decorrente do valor limitante da potência elétrica.

QUADRO 34 - Energia consumida em Wh/min para diferentes inclinações

Inclinação

		0°	1°	2°	3°
Velocidade (km/h)	5	0,38	1,17	1,96	2,75
	10	0,88	2,46	4,04	5,61
	15	1,61	3,98		
	20	2,69			
	25	4,23			

Fonte: Próprio autor

5.4 Gasto de energia para diferentes eficiências do motor.

O quadro 35, apresenta o consumo de energia da bateria em um minuto para diferentes eficiências do motor em um plano reto.

QUADRO 35 - Energia consumida em Wh/min para diferentes valores η_M

Velocidade (km/h)/ eficiência do motor	70%	90%	95%
5	0,49	0,38	0,36
10	1,13	0,88	0,83
15	2,07	1,61	2,00
20	3,45	2,69	2,54
25	5,44	4,23	4,01

Fonte: Próprio autor

5.5 Gasto de energia para diferentes massas

As massas envolvidas no sistema podem variar, seja com condutores de diferentes massas, modificando a bateria para uma de Lítio, mudando o material do quadro da Bicicleta. Essa mudança acarreta mudanças no gasto de energia da bateria.

O quadro usado na estrutura da bicicleta é de alumínio, se houver uma mudança do material para o aço, um pouco mais pesado, a variação na massa será pequena, em torno de 2 quilos, o que não irá causar mudanças significativas no consumo de energia visto que a massa total do sistema é de 134,68 kg.

O Quadro 36, apresenta os valores da energia consumida em Wh/min para os dois quadros em análise, e através desses valores, a última coluna mostra o percentual de aumento de energia caso o quadro da bicicleta fosse modificado para um de aço. Esse valor equivale apenas a um aumento de aproximadamente 1% do consumo de energia.

QUADRO 36- Energia consumida em Wh/min para quadros de alumínio e aço

Velocidade (km/h)	Energia consumida do (quadro de alumínio)	Energia Consumida (quadro de aço)	Percentual de aumento de energia
5	0,2741	0,2795	1,0194
10	0,6643	0,6750	1,0160
15	1,2865	1,3027	1,0126
20	2,2567	2,2782	1,0095
25	3,6907	3,7177	1,0073

Fonte: Próprio autor.

De maneira análoga, se modificarmos a bateria de chumbo ácido para uma de Lítio nas mesmas condições de 36V e 12Ah, será necessário um kit com 3 baterias de 12V o qual cada uma possui uma massa de 4,1Kg, resultando numa massa total de 12,3kg. Dessa forma, a mudança de bateria irá gerar apenas uma diminuição de apenas 1,4 kg na massa total, não causando mudanças mensuráveis no gasto de energia.

No entanto, diferentes massas do condutor, geram diferentes gastos de energia. O quadro 37 apresenta como os valores de energia consumida pode variar.

QUADRO 37 - Energia consumida em Wh/min para condutores de massas diferentes.

Velocidade (km/h) / massa (Kg)	60	70	100
5	0,27	0,30	0,38
10	0,66	0,72	0,88
15	1,29	1,37	1,61
20	2,26	2,4	2,69
25	3,70	3,82	4,23

Fonte: Próprio autor

6 VEÍCULOS ELÉTRICOS X VEÍCULOS A COMBUSTÃO

6.1 Introdução

Nesse capítulo será feita uma metodologia de comparação simplificada dos veículos elétricos com os veículos movidos a combustão interna de maneira quantitativa. Serão analisadas emissões de CO₂, eficiência dos motores, quantidade de energia gasta em um determinado trajeto, velocidades alcançadas, tempo de percurso além do peso do veículo que envolve o gasto de material em sua produção.

6.2 Eficiência dos motores

Os motores elétricos apresentam uma eficiência bastante elevada, podendo chegar a noventa por cento, ou seja, ele pode transformar aproximadamente noventa por cento da energia elétrica consumida em trabalho efetivo. Em contrapartida, o motor a combustão interna possui uma eficiência baixa de aproximadamente trinta por cento. (JUNIOR, 2014).

Outro ponto positivo do motor elétrico é o seu torque máximo, que ocorre em baixas rotações, o que torna sua resposta imediata ao arranque, ou seja, não é necessário esperar que ele chegue a uma determinada rotação para utilizar sua potência.

6.3 Emissão de CO₂

Nesta seção será feita uma análise da emissão de CO₂ de carro, moto e bicicleta elétrica de uma maneira sucinta, essa análise envolve apenas a emissão de CO₂ Na utilização do veículo. Para fazer uma análise completa é necessário avaliar todo o ciclo de vida de cada meio de transporte. A análise de um ciclo de vida completo, envolve inúmeras etapas, são elas:

i) a extração de matérias-primas minerais, naturais e outras fontes; ii) a manufatura e produção dos componentes e montagem do veículo (cadeia de suprimentos da indústria automotiva); iii) o transporte da indústria para os pontos de comercialização; iv) a aquisição e utilização do veículo; v) o final de vida do veículo, tendo como variáveis fundamentais a serem analisadas: a rastreabilidade, a taxa de reciclagem, a taxa de valorização e a destinação adequada dos componentes (reciclagem ou outro processo). (LAZZARI, 2010)

Nesse trabalho será apenas analisado a emissão apenas durante a utilização. Para o cálculo da emissão da emissão de CO₂ na utilização das motos, será utilizando o valor intermediário dentro da faixa de 21-42 estabelecido por (CHERRY, C. et al. 2009), 31,5g/km.

Segundo Borsari e Assunção (2006), A quantidade de massa da emissão de gases poluentes na utilização de carros a gasolina é de 129,9g/km. Esse valor está dentro da faixa conforme (CHERRY, C. et al. 2009) que vai de 47-140.

Esses valores em análise acima foram calculados de acordo com os meios de transporte da China, que podem ser equiparáveis aos carros e motos utilizados no Brasil. Porém para a bicicleta elétrica a emissão de gases poluentes em seu uso não pode ser considerada, visto que a matriz energética é diferente da China.

Na fase de uso das bicicletas elétricas, a bateria é recarregada através da energia elétrica, e para a produção dessa energia elétrica há a emissão de CO₂ para a atmosfera, decorrente do uso de hidrelétricas. Em agosto de 2014, foi estimado que a matriz energética brasileira emitiu 157,8 kg de CO₂ por MWh produzido de energia (CURSINO, 2016). A bateria possui 432Wh que permite percorrer 83,32km com esses valores a emissão de CO₂ é de 0,818g/km.

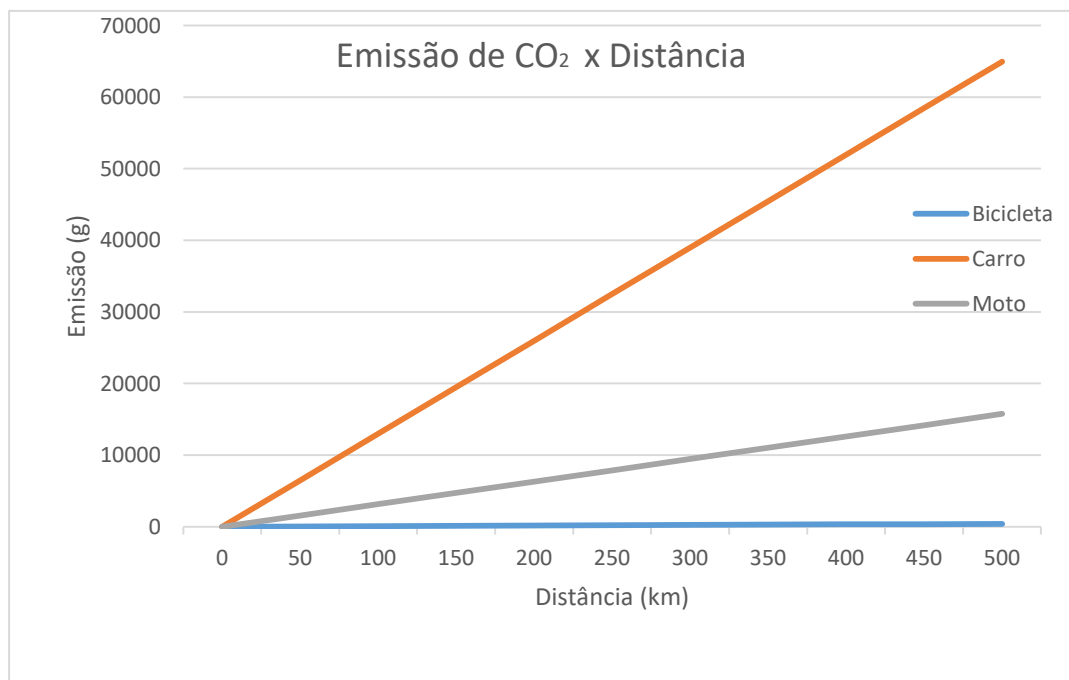


Figura 30 - Emissão de CO₂ x Distância percorrida

Fonte: Próprio autor

Os veículos a combustão interna, consomem maior parte da sua energia e emitem a maior parte do seu poluente durante a fase de utilização, dessa forma a maioria dos impactos são locais. A energia da bicicleta elétrica é uma energia eficiente, ou seja, sua fase de utilização constitui uma porção menor dos impactos do ciclo de vida. Outro ponto positivo da

bicicleta elétrica, é não gerar poluição pelo tubo de escape. Seu uso não gera fumaça nos grandes centros urbanos o que melhora a saúde humana. (CHERRY, C. et al. 2009).

6.4 Custo financeiro para aquisição e realizar percursos

O consumo de energia da bicicleta elétrica está relacionado com a potência exigida pelo motor. Conforme visto no capítulo anterior, a autonomia da bicicleta depende da capacidade da bateria e do trajeto efetuado.

Na figura 30, tem-se a autonomia em horas que a bicicleta em análise é capaz de realizar para uma dada velocidade.

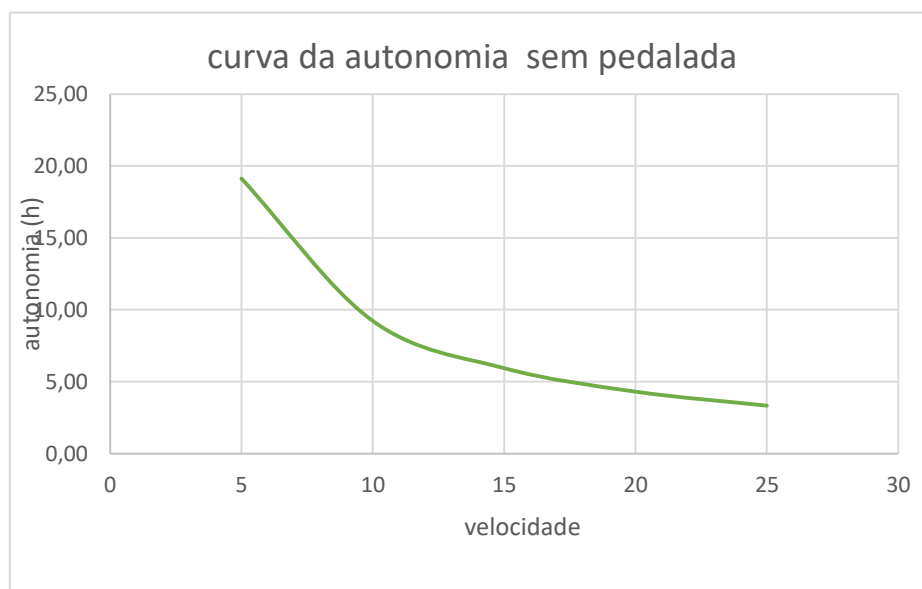


Figura 31 - autonomia da bicicleta sem pedalada.

Fonte: Próprio autor

O valor base do KWh é de R\$ 0,83884, utilizado na cidade de Macaé no estado do Rio de Janeiro.

$$0,432KWh \times \frac{R\$0,83884}{KWh} = R\$ 0,36$$

O custo por quilometro andado, está diretamente ligado a velocidade da bicicleta. O quadro 38 apresenta esse custo financeiro na bicicleta em estudo.

QUADRO 38 - custo financeiro de locomoção da bicicleta elétrica

Velocidade (km/h)	Gasto (R\$/km)	Gasto financeiro em 100km rodados (R\$)
5	0,003788791	0,38
10	0,00392891	0,39
15	0,004069028	0,41
20	0,004209146	0,42
25	0,004349265	0,43

Fonte: Próprio autor

Com a finalidade, de comparar o gasto da bicicleta elétrica com os veículos a combustão, foi selecionado um modelo de carro e moto popular. O quadro 39 apresenta suas principais informações de custo para realizar um percurso.

QUADRO 39 - custo financeiro de locomoção dos veículos.

Meio de transporte	Gasto em km/l	Gasto (R\$/km)	Valor gasto em 100km (R\$)
Moto Honda CG Titan 150 flex gasolina	41,2	0,094660194	9,47
Gol G5 1.0 Trend gasolina	10,5	0,371428571	37,14

Fonte: adaptação de www.consumocombustivel.com.br

O valor utilizando como base para o litro da gasolina foi R\$ 3,9 /l.

A figura 31 faz um comparativo dos gastos relacionados a cada veículo com distintas quilometragens. O custo para se locomover com um carro é o mais caro de todos, em seguida a moto, e por último a bicicleta que possui um gasto muito baixo. No quadro 39, foram utilizados os custos relacionados a velocidade de 25km/h para os cálculos.

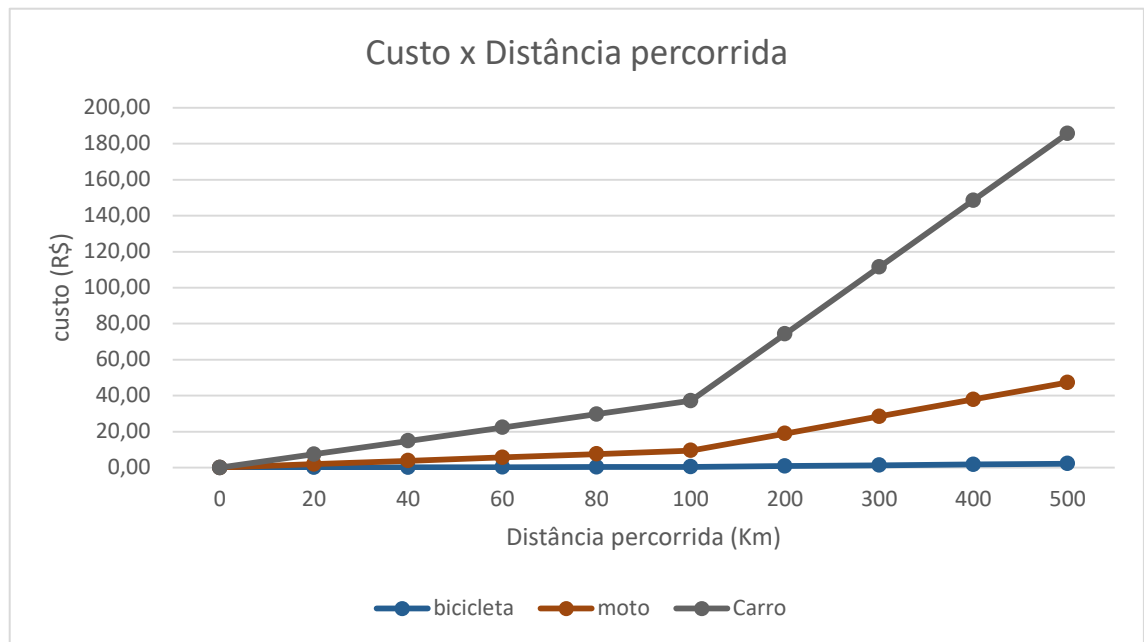


Figura 32 - Comparativo do custo x distância percorrida para diferentes meios de transporte.

Fonte: Próprio autor

Para realizar a aquisição do carro e moto em análise, segundo a tabela Fipe (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas), o custo será de R\$33.255,00 e R\$9.848,00 respectivamente. A bicicleta em análise não se encontra no mercado para venda, logo o seu valor será uma estimativa, com valor de R\$ 3 mil a 4 mil reais. Vale ressaltar que a moto é capaz de locomover além do passageiro uma pessoa, e o carro, quatro.

6.5 Energia Gasta por distância percorrida.

Para que o carro e a moto realizem movimento, energia deve ser liberada através da reação de combustão. Na queima de 1 litro de gasolina, 31 300 KJ são liberados (NOVA ESCOLA). Nos veículos elétricos a energia gasta é dada por meio da energia contida na bateria, e a durabilidade dessa energia dependerá da potência elétrica gasta para realizar o percurso.

Para realizar as comparações energéticas, na bicicleta elétrica foi utilizando a potência elétrica gasta em percursos sem ladeiras com velocidade de 25 km/h.

A figura 32 mostra que a energia gasta para a locomoção nos carros é bastante elevada ao se comparar com a energia gasta para a moto e para bicicletas. A energia necessária para percorrer 100km em uma bicicleta é de 0,52KWh enquanto para carros e motos são respectivamente 82,80KWh e 21,10KWh.



Figura 33 - Comparativo energia x distância percorrida para diferentes meios de transporte.

Fonte: Próprio autor

6.5 Velocidades alcançadas e tempos de percurso

A bicicleta possui inúmeras vantagens, conforme pode ser visto no decorrer do projeto, porém seu principal ponto negativo está relacionado com a velocidade. Diferente dos carros e motos, a bicicleta elétrica não consegue atingir velocidades muito altas. No entanto em grandes centros urbanos essa desvantagem é muito pequena, devido aos congestionamentos.

Os grandes centros urbanos enfrentam grandes congestionamentos de carro devido ao excesso de veículos nas ruas. Entre as principais cidades que sofrem desse problema, está São Paulo, em uma notícia publicada no G1, a velocidade média dos veículos nas vias monitoradas pela CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) era de 17km/h no ano de 2011 com congestionamentos na parte da manhã 56km de extensão (G1 SÃO PAULO, 2013).

Apesar da bicicleta elétrica possuir a desvantagem de velocidades não muito elevadas, esse fator não é bastante prejudicial, ao comparar seu uso com os carros quando utilizados em períodos de pico e em locais de grande movimentação.

6.6 Massas dos meios de transporte

A bicicleta elétrica, a moto e o carro o em estudo possuem massas equivalentes à: 34,68kg, 117kg, e 934kg respectivamente. Ou seja, para locomover uma pessoa com um carro será necessária uma massa de 934 kg, enquanto para realizar o mesmo percurso com uma moto é necessária uma massa oito vezes menor e para uma bicicleta elétrica vinte sete vezes menor.

Para produzir um meio de transporte, matéria prima deve ser tirada do meio ambiente, e após isso sofrer vários processos até chegar ao produto final, e no decorrer disso, serão gerados resíduos que deveram ser descartados na natureza. De maneira intuitiva, quanto maior a massa do veículo maior serão os resíduos gerados.

Ao final da vida útil dos meios de transporte, cada material é separado, classificado buscando diferentes destinos para as sucatas. Com o aumento da frota de veículos essas etapas serão um desafio considerável. As etapas de desmontar, separar e despoluir e recuperar as partes do veículo para recolocar as matérias na cadeia produtiva se tornou um problema complexo. (PASSOS, 2013).

O Brasil não possui regulamentação específica para o descarte dos veículos velhos e sem condições de circulação e nem há empresas especializadas neste serviço. Por esse motivo, os veículos são levados para desmanches e depósitos expostos poluindo o meio ambiente. (PASSOS 2013).

CONCLUSÃO

Muito se fala que a primeira iniciativa para cuidar do meio ambiente deve partir de cada um, e o somatório de todas essas iniciativas é um ótimo começo para preservar o meio ambiente. Nesse projeto com bases nos estudos desenvolvidos percebe-se que a utilização da bicicleta elétrica como meio de transporte ajuda a diminuir as emissões de CO₂ geradas pelos principais veículos movidos a combustão.

Trocar os carros e motos por bicicleta elétrica vem sendo tornando cada vez mais uma opção de mobilidade, junto com suas inúmeras vantagens conforme mencionado. A economia financeira é a principal delas tendo em vista o atual cenário da economia Brasileira. O governo pode agir de forma a incentivar o uso das bicicletas elétricas, criando mais faixas

para o deslocamento das bicicletas, facilitando desta forma o seu deslocamento. Além disso, diminuir as taxas em cima das compras desse meio de transporte em ascensão.

De acordo com as análises feitas, cada bicicleta elétrica irá atuar de maneira distinta para situações distintas. A autonomia de uma bateria para um condutor que enfrenta ventos contrários ao seu deslocamento não será a mesma para um condutor que percorre apenas locais planos sem a presença significativa dos ventos. E também, de maneira distinta, o tempo para a próxima recarga da bateria para um ciclista que sobe inúmeras ladeiras será menor do que aquele que quase não sobe ladeiras.

REFERÊNCIAS

ADMIN. **Historia de la bicicleta.** Disponível em <
http://www.bierzorutas.com/sin_categoria/historia-de-la-bicicleta.html> . Acesso em
27/05/2016.

ARAÚJO, J. F. Rui. **Desenvolvimento de uma bicicleta elétrica.** 2012. 141f . Tese
(Mestrado em Engenharia Eletrônica Industrial e de Computadores). Universidade do Minho,
Escola de Engenharia.Portugal.

BASTO, Renan Fernandes. **Sistema de gerenciamento para carga e descarga de baterias (Chumbo-ácido) e para busca do ponto de máxima potência gerada e painéis fotovoltaicos empregados em sistema de geração distribuída.** 2013. 115f. Dissertação (mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola de engenharia de São Carlos.

BRAIN, Marshall. **Como funciona as baterias de Lítio.** Disponível em <<http://tecnologia.hsw.uol.com.br/baterias-ion-litium.htm>> Acesso em 16/05/2016.

CALDAS, Cristina. **Automóveis: excesso e suas consequências.** Revista ComCiência – SBPC . 10 de Junho. 2008.

CÉSAR, B. Yuriê. **A garantia do direito à cidade através do incentivo ao uso da bicicleta nos deslocamentos urbanos.** 2010. 91f. Graduação (Bacharel em Geografia)- Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Brasília.

CHERRY, Christopher . WEINERT, Jonathan. Xinmiao, Yang. **Comparative environmental impacts of electric bikes in China .** Jornal Elsevier. Disponível em <www.elsevier.com/locate/trd> . 2008.

CURSINO, Arthur. **Emissão de CO₂ pela geração de eletricidade no Brasil superam em 2014 a previsão do governo para o ano de 2030.** 2016. Disponível em <<http://www.mitsidi.com/emissoes-de-co2-pela-geracao-de-eletricidade-no-brasil-superam-em-2014-a-previsao-da-epe-para-o-ano-de-2030/?lang=pt-br>>. Acesso em 14/07/2016.

ESCOLA, Nova. **Combustão de combustíveis alternativos**. Disponível em: <<http://rede.novaescolaclube.org.br/planos-de-aula/combustao-de-combustiveis-alternativos>>.

Acesso em 15/07/2016.

GENERAL WINGS. **Noções Básicas** Disponível em < www.generalwing.com.br > .
acessado em 27/05/2016.

GONZALES, P. Vitor. **Projeto de uma bicicleta elétrica**. 2014. 66f . Graduação (Tecnologia em Mecatrônica Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica. Curitiba.

GRUPO WEG. **Especificação do motor elétrico**. 2014. Disponível em < www.weg.net >
Acessado em 15/07/2016.

HALLIDAY, David. RESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos da Física- volume 1** . 8ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC. 2011.

HIBBELER, R.C. Momentos de Inércia. **Estática: Mecânica para Engenharia**. 12ª edição. São Paulo: Editora Pearson. 2011.

LAZARI, A. Márcio. **Avaliação ambiental de um veículo elétrico coletor de resíduos sólidos urbanos recicláveis**. 2010.247f. Dissertação (Mestrado, Engenharia mecânica e de Materiais) – Universidade tecnológica do Paraná, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, Curitiba.

OLIVEIRA, A. N. Maurício. **Análise da viabilidade de embarcações solares para transporte de passageiros**. 2013. Dissertação (Mestrado, Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COOPE.

PROCEL, indústria. Edição seriada. **Motor elétrico**: guia básico. 2009. Disponível em <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Motor_eletrico.pdf> acesso em 10/06/2016.

MCLEOD, Ken. **Electric Bicycles: Public Perceptions & Policy**. 2005 . Disponível em <[www. Bikeleague.org](http://www.Bikeleague.org)>. Acesso em 27/05/2016.

NERY, P. Macclarck. **Análise de tensões e seleção de quadros de bicicleta Hardtail**. 2013. 96f. Graduação (Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Sergipe, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Núcleo de engenharia Mecânica, São Cristovão.

PASSOS, Eduardo Romanini dos. **Reciclagem dos automóveis**. 2013. 58f. Monografia (Pós Graduação em Engenharia Automotiva para obtenção do título em Especialista). Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul.

PENA, Rodolfo. **Inversão térmica**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/inversao-termica.htm>>. Acesso em: 31/05/2016.

RIBEIRO, M. T. Pedro. **Análise Dinâmica de um quadro de bicicleta**. 2013. 86f. Dissertação do mestrado integrado em Engenharia mecânica. Faculdade de engenharia da universidade do Porto. Portugal.

SÃO PAULO, G1. **Velocidade média dos veículos cai para 12% no trânsito paulista em 2012**. 2013 Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/anda-sp/noticia/2013/07/velocidade-media-de-veiculos-cai-12-no-transito-paulistano-em-2012.html>> Acesso em 15/07/2016.

SCHONER, R. Anderson. **Especial Bicicleta Elétrica**. 2013. Disponível em: <http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?especial_bicicleta_eletrica&id=2351>. Acesso em 31/05/2016.

SENSE, Eletric Bike . **Manual do proprietário**. Disponível em <www.sensebike.com.br> . Acessado em 10/07/2016

SILVA, M. José Carlos. **Sistema de mobilidade elétrica de duas rodas de elevada eficiência e performance**. 2013. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – energia e automação industrial) . Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu , Portugal.

TANAKA,N. Carlos. **Metodologia de dimensionamento do sistema de tração para veículos elétricos**.2013.106f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

