

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



“A Mobilidade Sustentável é a capacidade de dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar-se livremente, aceder, comunicar, negociar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos hoje ou no futuro.”

World Business Council for Sustainable Development

RESUMO

A bicicleta é hoje reconhecida a nível internacional não apenas como instrumento lúdico, mas também como um meio de transporte urbano promotor de saúde. Pedalar constitui um modo saudável, limpo, económico e divertido de mobilidade que traz muitas outras vantagens e que deve ser cada vez mais adotado pelas pessoas, sobretudo pela população mais jovem e nas deslocações pendulares para a escola ou trabalho.

No contexto europeu e apesar de dispormos de ímpares condições de diferenciação positiva, o nosso país apresenta um dos menores índices de utilização dos modos suaves de mobilidade, para o qual tem contribuído um planeamento orientado para o transporte rodoviário. Recentemente o “Projeto Mobilidade Sustentável” deu um passo na promoção da mudança de paradigma no contexto nacional de redes de mobilidade suave, imperativo nos dias de hoje.

Para melhorar o desempenho e diminuir o esforço do uso da bicicleta tradicional nas subidas, a opção recai na bicicleta elétrica assistida, pois é um veículo híbrido que permite a realização de percursos de forma mais cómoda e rápida.

A presente dissertação teve por objetivo projetar uma bicicleta elétrica de elevada eficiência e performance e em simultâneo disseminar conhecimento rigoroso referente a esta forma de deslocação, ajudando a sensibilizar os intervenientes acerca dos grandes benefícios do uso da bicicleta elétrica, promovendo a mobilidade sustentável.

Após um rigoroso e detalhado estudo cinemático do veículo de duas rodas e com base nas performances que se pretendem alcançar, foi elaborado o projeto da bicicleta, selecionados os componentes que o integram e expostos os fundamentos teóricos que justificam a escolha dos mesmos. O desenho do quadro teve por base um convencional, adaptado para integrar as baterias. Foram realizadas diferentes simulações do estudo cinemático e diversos cálculos referentes a consumos, autonomia, custos associados, impacte ambiental, bem como a contabilização de todos os benefícios resultantes da utilização da bicicleta elétrica.

Para transmitir de forma eficaz as qualidades da bicicleta projetada, foi criada a marca, o *slogan*, concebido o logotipo e construído o *website* onde estão publicados os dados gerais do projeto. O referido *website* contribui também para a divulgação, sensibilização e promoção do uso da bicicleta elétrica.

A opção pela utilização da bicicleta como forma de deslocação alternativa ao automóvel, nomeadamente em meio urbano, apresenta inegáveis vantagens que justificam plenamente a promoção deste modo suave de mobilidade.

ABSTRACT

Nowadays, the bicycle is recognised internationally not merely as a form of leisure but also as a means of urban transport and a promoter of good health. Cycling is a healthy, clean, economical and fun way to be mobile that brings many additional advantages and it should be adopted increasingly, especially by younger people and by those commuting to school or work.

In Europe, even though we have unmatched conditions of positive differentiation, our country has one of the lowest rates of use of soft forms of mobility. Planning aimed at road transport has contributed largely to this. Recently, the “Sustainable Mobility Project” took a step towards promoting a change of paradigm in the context of national networks of soft mobility, which is imperative nowadays.

To improve performance and diminish the effort required when using the traditional bicycle uphill, we have opted for an assisted electric bicycle, which is a hybrid vehicle that allows faster and more comfortable commuting.

The present dissertation aims to present a highly efficient, high performance electric bicycle and, simultaneously, to disseminate accurate knowledge regarding this form of transport, helping to raise awareness of the great benefits of using the electric bicycle and promoting sustainable transport.

After a rigorous and detailed study of the kinematic two-wheeled vehicle, and based on the desired levels of performance, the bicycle project was developed, the component parts of the project were selected and the theoretical foundations that justify our choice were presented. The framework was based on a conventional design, adapted to carry the batteries. Different simulations of the kinematic study were carried out and various calculations were made for consumption, autonomy, associated costs and environmental impact, as well as all the benefits resulting from using the electric bicycle.

To communicate the qualities of the projected bicycle efficiently, the brand and slogan were created, the logo was designed and the website was built to publish the general data of the project. The website also contributes to dissemination, awareness raising and promotes the use of the electric bicycle.

Opting to use the bicycle as an alternative form of transport to the automobile, especially in urban contexts, presents undeniable advantages that fully justify the promotion of this means of soft mobility.

PALAVRAS CHAVE

Bicicleta

Bicicleta elétrica

Modos suaves de mobilidade

Mobilidade sustentável

KEY WORDS

Bicycle

Electric bicycle

Soft modes of mobility

Sustainable mobility

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o contributo de algumas pessoas, às quais quero deixar o meu agradecimento sincero.

Ao meu orientador Professor Doutor Joaquim Delgado, pela proposta de trabalho, pela orientação e pelas constantes revisões e sugestões. As suas recomendações foram fundamentais em cada momento. De destacar a cordialidade com que sempre me recebeu, bem como o estímulo e a confiança inculcados.

Ao Professor Doutor Paulo Moisés Costa, que no exercício de diretor de curso, sempre teve uma relação muito aberta e me proporcionou uma disponibilidade sempre ativa para qualquer tipo de esclarecimento.

Ao Sr. Hélder Gonçalves o empenho na ajuda à concretização do desenho do quadro modificado da bicicleta.

À minha esposa e à minha filha pelo incentivo e o apoio incondicional. Estou-lhes igualmente muito grato pela paciência e compreensão decorrente dos longos períodos de ausência e pelo constante amor que me deram.

A todos os restantes familiares e amigos que não foram aqui referidos, mas que de forma direta ou indireta contribuíram para este trabalho, o meu muito obrigado.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE QUADROS	xix
ABREVIATURAS E SIGLAS	xxi
1. Introdução	1
1.1 Tema da dissertação	4
1.2 Objetivos a desenvolver	4
1.3 Estrutura da dissertação	5
2. Sistemas de mobilidade com duas rodas	7
2.1 Breve história dos sistemas de transporte	7
2.2 Evolução histórica dos sistemas de mobilidade de duas rodas	8
2.3 A bicicleta como meio de transporte	11
2.4 Mobilidade	12
2.4.1 Mobilidade insustentável	12
2.4.2 Mobilidade sustentável	12
2.4.3 Argumentos para ir de bicicleta para o trabalho	13
2.5 Eficiência energética de meios de locomoção	13
2.6 Mobilidade elétrica	14
2.7 Bicicleta elétrica	14
2.8 Quais as opções	15
3. Cinemática do veículo de duas rodas	17
3.1 Forças que se opõem ao deslocamento	17
3.1.1 Força de resistência ao rolamento	18
3.1.2 Força de resistência aerodinâmica	22
3.1.3 Força gravítica (componente com a direção do movimento)	24
3.1.4 Força de inércia	25
3.1.5 Força resistente total	30
3.2 Outros parâmetros	30

3.2.1	Potência mecânica a aplicar na roda	30
3.2.2	Potência elétrica	30
3.2.3	Velocidade de rotação das rodas	31
3.3	Formas de alcançar maior eficiência energética.....	31
4.	Projeto da bicicleta.....	35
4.1	Performance a alcançar	35
4.2	Cálculo da potência necessária.....	36
4.3	Escolha dos componentes e fundamentação teórica.....	37
4.3.1	Motor.....	38
4.3.2	Controlador	39
4.3.3	Baterias.....	40
4.3.4	Carregador.....	42
4.3.5	Mostrador e gestor de parâmetros da e-bike	43
4.3.6	Acelerador.....	43
4.3.7	Componentes e acessórios	44
4.4	Manutenção requerida pela bicicleta elétrica	46
5.	Desenho do Quadro.....	47
5.1	Introdução.....	47
5.2	Geometria e medidas dos quadros.....	48
5.3	Dimensões da bicicleta.....	50
5.4	Elaboração do desenho do novo quadro.....	50
6.	Simulações	55
6.1	Parâmetros cinemáticos.....	55
6.1.1	Resultados das simulações	56
6.2	Autonomia da bicicleta e custos associados.....	59
6.2.1	Consumo e autonomia.....	59
6.2.2	Custos da energia	61
6.3	Cálculo de impacte ambiental – (emissões)	62
6.4	Benefícios económicos e ambientais.....	63
6.5	Reflexo do que está a ser feito noutros países.....	64
7.	“Branding”	67
7.1	Criação da marca.....	67

7.2	Criação do <i>slogan</i>	69
7.3	Conceção do logotipo	69
7.4	Elaboração do <i>website</i>	71
7.4.1	Domínios da informação exposta	71
8.	Conclusões.....	73
	REFERÊNCIAS	75
	ANEXO 1 – Caraterísticas do motor Crystalyte 5304	79
	ANEXO 2 – Caraterísticas da bateria LiFePO4	83
	ANEXO 3 – Caraterísticas do pedaleiro HammerSchmidt	85
	ANEXO 4 – Quadro base do projeto.....	87
	ANEXO 5 – Simulações.....	89
	ANEXO 6 – Custos e peso dos componentes	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Protótipo de Leonardo da Vinci.....	9
Figura 2-2: a) Celerífero e b) Draisiana.....	9
Figura 2-3: Bielas adaptadas por Macmillan.	9
Figura 2-4: Ernest Michaux e a sua Michaulina de 1861..	10
Figura 2-5: A Grand Bi com raios de arame rígido.....	10
Figura 2-6: Bicicleta modelo de 1885.	11
Figura 2-7: Distância percorrida por um automóvel, a pé e de bicicleta com o dispêndio de 1000 Calorias de energia.	14
Figura 3-1: Força de tração <i>versus</i> forças resistentes.....	18
Figura 3-2: Força de oposição ao movimento devida à deformação do pneu.	18
Figura 3-3: Distribuição da pressão pela área de contacto.	19
Figura 3-4: Deflexão do pneu e resistência de rolamento em superfícies duras.	19
Figura 3-5: Força que atua no pneu <i>versus</i> deformação causada.	20
Figura 3-6: Área frontal obtida da projeção do veículo e do condutor.....	23
Figura 3-7: Efeitos das formas sobre o coeficiente de arrasto.....	23
Figura 3-8: Velocidade do veículo relativamente ao ar.....	24
Figura 3-9: Forças exercidas num corpo num plano inclinado.	25
Figura 3-10: Componente da força gravítica.....	25
Figura 3-11: Movimento de translação a) e de rotação b).....	26
Figura 3-12: Combinação dos movimentos de translação puro e de rotação puro.....	26
Figura 3-13: Utilização do “vácuo” criado por outro ciclista.....	32
Figura 3-14: Posição de assento de forma a reduzir as perdas aerodinâmicas.	32
Figura 3-15: Potência <i>versus</i> velocidade, considerando as forças de resistência aerodinâmica e de rolamento.	33
Figura 3-16: Velocidade alcançada com diferentes perfis aerodinâmicos.	33
Figura 4-1: Diagrama de blocos simplificado do “ <i>power drive</i> ”.....	35
Figura 4-2: Partes constituintes de uma bicicleta convencional.....	37
Figura 4-3: a) Motor Crystalyte 5304 Cruiser; b) Roda 26” com motor.	38
Figura 4-4: Controlador Crystalyte CT4840.	39

Figura 4-5: <i>Pack</i> de baterias de LiFePO4.	40
Figura 4-6: Diagrama de blocos do <i>pack</i> de baterias.	41
Figura 4-7: Led's do BMS.	42
Figura 4-8: Carregador para o <i>pack</i> de baterias de LiFePO4.	42
Figura 4-9: Esquema de ligações carregador/bateria/controlador.	43
Figura 4-10: APM-Display (<i>Active Power Management Display</i>).	43
Figura 4-11: Acelerador de punho Efeito Hall.	44
Figura 4-12: Pedaleiro HammerSchmidt.	44
Figura 4-13: Relação da transmissão.	45
Figura 5-1: Constituição do quadro de uma bicicleta convencional.	47
Figura 5-2: Geometria da bicicleta convencional.	48
Figura 5-3: Distância da planta do pé calçado até à parte superior do fémur.	49
Figura 5-4: Quadro convencional base do projeto.	50
Figura 5-5: Desenho da bicicleta convencional.	51
Figura 5-6: Estudo de colocação do <i>pack</i> de baterias.	51
Figura 5-7: Bicicleta convencional sem tubo superior.	51
Figura 5-8: Peças que formam o espaço para as baterias.	52
Figura 5-9: Vista explodida das alterações ao quadro.	53
Figura 5-10: Aspeto final do quadro com a caixa para as baterias.	53
Figura 6-1: Página inicial da folha de cálculo.	55
Figura 6-2: Força <i>versus</i> velocidade, considerando as resistências aerodinâmica e de rolamento.	56
Figura 6-3: Potência <i>versus</i> velocidade, considerando as resistências aerodinâmica e de rolamento, e o somatório das duas.	56
Figura 6-4: Potência <i>versus</i> velocidade, com variação dos parâmetros envolvidos.	58
Figura 6-5: Potência <i>versus</i> velocidade, para diferentes ângulos de inclinação.	58
Figura 6-6: Potência <i>versus</i> velocidade, para diferentes velocidades e sentido do vento.	59
Figura 7-1: Versão final do logotipo.	71
Figura 7-2: Cabeçalho do <i>website</i> e domínios.	71
Figura 7-3: <i>WebSite</i> com visualização da opção - Vídeos.	72

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3-1: Coeficientes de resistência de rolamento.....	21
Quadro 3-2: Densidade do ar <i>versus</i> temperatura.	23
Quadro 3-3: Valores típicos para o coeficiente de resistência aerodinâmica para veículos de duas rodas..	24
Quadro 4-1: Parâmetros utilizados no projeto.....	36
Quadro 4-2: Características do <i>pack</i> de baterias.	40
Quadro 4-3: Características do carregador.	42
Quadro 4-4: Velocidade do pedaleiro <i>versus</i> velocidade da bicicleta, sem ajuda do motor. ...	45
Quadro 4-5: Componentes e acessórios.....	45
Quadro 5-1: Altura do ciclista <i>versus</i> tamanho da bicicleta.....	50
Quadro 6-1: Simulação de autonomia.	61
Quadro 6-2: Custos anuais associados ao uso de automóvel.	63
Quadro 6-3: Custos anuais associados ao uso da bicicleta.....	63
Quadro 6-4: Poupança anual com o uso da bicicleta.....	63
Quadro 7-1: Ideias encontradas.	69
Quadro 7-2: Evolução sequencial dos esboços do logotipo.	70

ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões
AC	Corrente alternada
BMS	<i>Battery Management System</i> (Sistema de gestão de bateria)
DC	Corrente contínua
DOD	<i>Depth of Discharge</i> (Profundidade de descarga)
e-bike	<i>Electric bike</i> (Bicicleta elétrica)
EDP	Energias de Portugal
EDPSU	EDP Serviço Universal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
LED	Díodo Emissor de Luz
LiFePO ₄	Lítio Fosfato de Ferro
ONU	Organização das Nações Unidas
Pedelec	<i>Pedal Electric Cycle</i> (Bicicleta com pedalada assistida)
REN	Redes Energéticas Nacionais
SPB	<i>Silent Power Bike</i>

1. Introdução

A pegada de carbono do setor dos transportes constitui um grande obstáculo à obtenção de uma economia sustentável na Europa. *“Cerca de um quinto das emissões totais de gases com efeito de estufa na União Europeia provém dos transportes e, dessas, cerca de 90% têm origem nos transportes rodoviários. Mas as viagens de carro podem ser minimizadas se existirem alternativas, particularmente nas cidades e vilas (...) Com emissões quase nulas, as bicicletas são os veículos ideais. Muitas cidades já o compreenderam e por toda a Europa, estão a envidar esforços para se tornarem mais acessíveis aos velocípedes”*, lê-se no site da campanha sobre as alterações climáticas da Comissão Europeia [1].

Nos últimos vinte anos a taxa de motorização em Portugal disparou a um ritmo alucinante. Se tivermos um padrão próximo da média europeia, as deslocações com menos de 8 km constituem cerca de 70% do total das viagens realizadas [2]. Sabemos também que o sector dos transportes constitui a maior fonte de Gases de Efeito de Estufa em Portugal, com mais de 80% das emissões do setor imputáveis à componente rodoviária [3].

Perante estes dados, a racionalidade aconselha a adoção de sistemas não poluentes para viagens de curta distância, melhorando os níveis de conforto e segurança destes e penalizando o transporte individual poluente principalmente nos centros urbanos. Não se trata, na maioria dos casos, de interditar o automóvel, mas de diminuir a sua presença onde não é pertinente e reordenar o espaço por forma a potenciar um equilíbrio entre as diferentes formas de deslocação. Não é tarefa fácil e exigirá a concertação de um vasto conjunto de entidades e objetivos claros, para que lentamente se atinjam as metas pretendidas. De entre as alternativas ao automóvel, a bicicleta tem o seu lugar e deverá ser uma das apostas ao serviço da acessibilidade de proximidade.

Como refere o documento da Comissão Europeia «Cidades para bicicletas, Cidades de Futuro» [4], a lista dos benefícios da utilização da bicicleta nunca poderá ser estabelecida de

modo exaustivo, pois estes são de natureza económica, política, social, ecológica, ganhos em saúde, etc. Em relação às cidades, os benefícios da bicicleta estão essencialmente ligados à qualidade de vida, qualidade do ambiente e economias geradas a longo prazo.

A bicicleta por si só, para além de ser considerada o veículo mais ecológico que existe, não obriga, por enquanto, à detenção de registo de propriedade, seguro ou licença de condução, tornando-se num veículo muito acessível. Embora seja hoje vista sobretudo como uma forma de lazer, é fundamental que a população descubra as vantagens do seu uso nos meios urbanos. A facilidade com que pode fluir no trânsito faz dela uma boa alternativa em termos de rapidez de mobilidade.

Os maiores inconvenientes surgem quando aparece uma subida mais difícil que leva à exaustão. Transpiramos, sentimo-nos desconfortáveis o que desmotiva a sua utilização diária. É aqui que a bicicleta elétrica tem o seu papel.

O que é já feito noutros países

Bélgica: Várias empresas belgas pagam um valor por quilómetro aos seus funcionários para estes utilizarem a bicicleta no percurso diário casa-trabalho-casa. Este sistema é de adesão facultativa pelas empresas, que recebem incentivos do Estado para esse financiamento.

França: O governo francês estimula o uso da bicicleta como principal meio de transporte da população. A primeira medida é a de as empresas pagarem a bicicleta aos empregados. Essas recebem também incentivos, como reduções de impostos, ao aderirem ao uso da bicicleta como meio de transporte dos seus funcionários.

Alemanha: Em face do aumento da procura de ciclovias e pelo facto de cada vez mais pessoas aderirem às bicicletas, neste país inova-se com uma “autoestrada” exclusiva para ciclistas. Uma ciclovia numa extensão de 60 km (5 m de largura) liga Dortmund a Duisburg, com um potencial de 2 milhões de habitantes/utilizadores que podem usufruir desta infraestrutura com traçado paralelo a autoestrada existente para automóveis, mas isolada, sem declives íngremes, cruzamentos e curvas acentuadas, iluminada e com elevada segurança para mitigar os acidentes.

Holanda: é dada hoje maior prioridade às pessoas do que aos automóveis. As cidades são voltadas para o ser humano. Em Amesterdão, as principais ruas e praças no centro foram interditas ao automóvel. Em simultâneo optou-se pela implantação de uma infraestrutura a favor do uso ampliado da bicicleta.

Atualmente este é o país com maior concentração de bicicletas do mundo. Em todas as classes etárias, sociais e profissionais, as pessoas andam de bicicleta, sendo esta um “*must*” que reflete um modo de vida. Os ciclistas dispõem de estacionamento adequados, possuem prioridade nos cruzamentos das ciclovias com as vias dos automóveis, têm pontes e viadutos para uso exclusivo com os pedestres. Além disso, foram impostas medidas para reduzir a velocidade de circulação dos automóveis e desincentivar o seu uso.

Dinamarca: possui uma qualidade de vida muito boa para quem não possui automóvel, pois dá também prioridade aos pedestres e às bicicletas. O número de pessoas que usam a bicicleta cresce todos anos. É um país com invernos extremamente frios e longos, mesmo assim uma em cada três pessoas usa a bicicleta para as suas atividades quotidianas. Em Copenhaga existe um sistema ciclovitário que permite a deslocação porta a porta em toda a cidade. É um país onde o nível da saúde das pessoas é considerado muito bom, sendo que muitas escolhem a bicicleta como meio de transporte porque vivem melhor assim.

Suécia: apesar de ser um país frio, uma terça parte das deslocações realizadas na cidade de Västerås são feitas de bicicleta.

Suíça: não é um país plano, mas a bicicleta é utilizada em 23% das deslocações na cidade de Basileia.

Colômbia: Bogotá adaptou vários espaços para as pessoas incluindo a construção de infraestruturas para ciclistas. O uso da bicicleta cresce diariamente, pois as ciclovias protegem os ciclistas. Foram criadas restrições à circulação de veículos automóveis.

A adaptação de cidades para peões e ciclistas não é um luxo, mas sim um compromisso de uma sociedade democrática e uma demonstração do respeito pela dignidade humana. Cada avenida deveria ter uma infraestrutura paralela para assegurar uma mobilidade segura, integrando a bicicleta adequadamente no planeamento urbano como um meio de transporte, pois esta é prática, mais económica, silenciosa, usa pouco espaço e não polui, garantido um transporte rápido e cómodo. Uma cidade onde ciclistas são respeitados e protegidos, é uma cidade onde as pessoas vivem mais felizes, pois a mobilidade por bicicleta constitui uma expressão de liberdade.

O surgimento das bicicletas elétricas assistidas

Constitui uma realidade, do ponto de vista energético, que o uso de veículos de duas rodas (sem propulsão motora) é o modo mais eficiente de transporte de pessoas, exibindo um consumo de energia inferior ao despendido pela deslocação a pé em percursos com baixo declive e com ganhos significativos no tempo de deslocação. No nosso país, apesar das boas condições para o uso da bicicleta em muitas cidades, há ainda uma diminuta tradição no uso desta alternativa. Pensamos que tal se deva a uma questão cultural, mas também à inexistência de infraestruturas de circulação de velocípedes que proporcionem segurança e ainda ao facto de nos meses de maior potencial de utilização haver bastante calor e exigir um esforço que os cidadãos não têm querido suportar.

O uso de sistemas de mobilidade que envolvam menor esforço físico têm ajudado a popularizar as bicicletas elétricas em todo o mundo. São bicicletas comuns com a diferença de possuírem um motor elétrico, sendo ideais para trajetos curtos, nomeadamente para ir e voltar da escola ou do trabalho, ajudando o ciclista a manter nas subidas um bom ritmo sem muito esforço. A preocupação com o aquecimento global, o alto preço dos combustíveis e os benefícios de tempo e saúde proporcionados pelas bicicletas estão a ajudar a impulsionar as vendas.

1.1 Tema da dissertação

Esta dissertação surge da identificação da necessidade de adotar uma nova cultura de mobilidade urbana, sendo que a bicicleta elétrica irá ter aqui um papel fundamental, pois possui características ímpares, que lhe conferem maior interesse que as bicicletas convencionais.

Uma bicicleta elétrica tem o mesmo conceito de uma bicicleta vulgar, à qual foi adicionado um motor elétrico. Para poder estar enquadrada pela mesma legislação da bicicleta sem motor, deve cumprir determinados requisitos: Ao abrigo da legislação comunitária, o motor deverá ter uma potência máxima de 250 W e deverá ser desligado quando atinge a velocidade de 25 km/h ou quando o ciclista deixar de pedalar. Este é o conceito *Pedelec*. Não deverá ainda ter uma massa superior a 40 kg.

O conceito *e-bike* define uma bicicleta elétrica em que não é necessário pedalar para que o motor se ligue, basta acelerar, sendo a sua utilização recomendada fora das vias públicas (*off-road*). Uma vez que não estão definidas limitações neste conceito, será este a seguir nesta dissertação.

1.2 Objetivos a desenvolver

No período atual, caracterizado por grandes mudanças e incertezas, são muitos os que anteveem uma grande penetração de veículos elétricos de duas rodas. Esta suposição tem por base o estado de saturação dos espaços urbanos em alguns países, o custo crescente do estacionamento nesses espaços, a necessidade de reduzir as emissões e o ruído, a necessidade de utilizar fontes de energia endógena, o aumento contínuo no custo do petróleo e a diminuição geral do poder de compra dos cidadãos, com maior relevância na população jovem.

Pretende-se com este trabalho:

- Projetar uma bicicleta elétrica (*e-bike*) de elevada eficiência e performance;
- Disseminar conhecimento rigoroso referente a esta forma de deslocação;
- Ajudar a sensibilizar os intervenientes acerca dos grandes benefícios do uso da bicicleta elétrica;
- Promover a mobilidade sustentável.

O uso da bicicleta, e mais especificamente da bicicleta elétrica, como forma de mobilidade suave, para além dos benefícios que traz para a saúde, proporciona uma melhoria da qualidade de vida nas cidades com a diminuição das emissões e do ruído. Apresenta ainda vantagens assinaláveis na humanização do espaço público, no descongestionamento do trânsito, no menor uso de espaços de estacionamento e na diminuição da fatura energética.

Organismos da União Europeia com competência normativa em políticas de transporte, tem vindo a assumir o fomento do uso da bicicleta tanto por razões urbanísticas como de promoção de saúde. Em diversas cidades pelo mundo têm vindo a ser adotadas, com grande sucesso, medidas para incentivar as deslocações pedonais e cicláveis, contribuindo para uma maior sustentabilidade do sistema de transportes.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está subdividida em 8 capítulos e 6 anexos. Neste primeiro capítulo é feita uma introdução com a qual se pretende clarificar o tema da dissertação e os objetivos a atingir.

O **capítulo 2** inicia com uma breve história dos sistemas de transporte, com ênfase nos de duas rodas. Abordam-se de seguida as vantagens da utilização da bicicleta como meio de transporte, fazendo esta parte da mobilidade sustentável. Segue-se um pequeno estudo da eficiência energética associada a diferentes meios de locomoção, abordando de seguida a mobilidade elétrica e a bicicleta elétrica como forma emergente de transporte.

No **capítulo 3** é feito um estudo cinemático detalhado do veículo de duas rodas, demonstrando os passos e fórmulas a utilizar para encontrar e dimensionar os parâmetros necessários bem como as diferentes formas de alcançar maior eficiência energética.

No **capítulo 4** expõe-se o projeto da bicicleta de acordo com a performance que se pretende alcançar, é feito o estudo e expostos os fundamentos teóricos que justificaram a seleção dos componentes para integração no projeto.

No **capítulo 5** é exposto o estudo de projeto do corpo do veículo e desenhado o quadro adaptado da bicicleta.

No **capítulo 6** são apresentadas simulações da componente cinemática e da elétrica. É feito o estudo do consumo e autonomia, dos custos associados e emissões ambientais. Por fim são contabilizados os benefícios económicos e ambientais com a utilização da bicicleta elétrica.

No **capítulo 7** é feito todo o “*branding*” da bicicleta, nomeadamente a criação da marca, do slogan, do logotipo e do site onde estão publicados os dados gerais do projeto.

No **capítulo 8** estão as conclusões e considerações relativamente a trabalhos futuros.

Nos anexos encontram-se as características técnicas de alguns componentes, bem como todas as tabelas com as diversas simulações e cálculos feitos em Excel.

2. Sistemas de mobilidade com duas rodas

2.1 Breve história dos sistemas de transporte

Desde sempre o homem teve a necessidade de se deslocar. Os transportes desempenham um papel preponderante no desenvolvimento económico, social e cultural dos povos. São estes que permitem as trocas comerciais e ditam, em certa medida, o valor das mercadorias transportadas. São, cada vez mais, imprescindíveis e encontram-se em constante evolução.

No longo período histórico que decorre até à primeira Revolução Industrial, as formas do homem se deslocar basearam-se nos meios de locomoção do próprio ser, nomeadamente a caminhada e a natação. Com a evolução dos tempos cresceu a necessidade de se ganhar tempo como forma de melhorar a busca de sobrevivência, proteção, conquistas de espaço, etc. Foram estes os momentos que desafiaram a inteligência dos primeiros homens que tiveram de “inventar” formas mais rápidas de locomoção. A domesticação dos animais permitiu que cargas mais pesadas fossem transportadas, com maior velocidade e duração das expedições humanas. Invenções como o trenó e a roda ajudaram a melhorar a eficiência do transporte através de veículos com tração animal. O aproveitamento das forças do vento e dos cursos de água permitiu desenvolver o transporte aquático, incluindo embarcações a remo e à vela, e foram, durante muitos séculos, as formas mais eficientes encontradas para o transporte de grandes cargas a grandes distâncias.

As primeiras formas de transporte rodoviário utilizavam cavalos, bois ou mesmo seres humanos que transportavam mercadorias em vias de terra. Os impérios persa e romano construíram calçadas para permitir que os exércitos viajassem mais rapidamente. O transporte sobre meio aquático primitivo era realizado por embarcações feitas a partir de troncos de árvores escavados que usavam o remo ou o vento para propulsão, ou ainda uma combinação de ambos. A importância da água levou a que a maioria das cidades que se destacavam pelo

comércio a desenvolverem-se próximo de rios ou costa marítima. Até à primeira Revolução Industrial, o transporte permaneceu lento e caro, a produção e o consumo mantinham-se o mais próximos possível.

Com a primeira Revolução Industrial, ocorrida no século XIX, houve um grande número de invenções que modificaram radicalmente o transporte. A invenção da máquina a vapor, seguida da sua aplicação no transporte marítimo e ferroviário, tornou o transporte independente da força humana ou da tração animal. Com o advento da urbanização, caracterizada essencialmente por um povoamento aglomerado, o fator distância começou a ser associado ao tempo perdido durante o percurso, facto que conduziu à necessidade de transporte de passageiros, cuja característica é a valorização da velocidade, preocupação que desafiou as mentes da humanidade de então. A velocidade e a capacidade de carga cresceram rapidamente e assim a produção passou a poder ser realizada mais afastada dos recursos naturais.

Com a geração do trabalho mecânico, surgiu a importância do combustível, desde o carvão, passando pelo petróleo até à eletricidade. Desenvolveram-se os motores eléctrico e de combustão e assim surgiu o automóvel na mudança do século XIX para o século XX. O transporte rodoviário tornou-se mais acessível, permitindo a introdução do sistema particular. O avião, após a Primeira Guerra Mundial, torna-se a forma mais rápida de transportar pessoas e mercadorias em longas distâncias.

Após a 2ª Guerra Mundial, o automóvel e o avião ganharam maior expressão, limitando o transporte ferroviário e marítimo. Hoje, com uma rede de estradas muito desenvolvida, os transportes rodoviários chegam praticamente a todos os pontos [5].

2.2 Evolução histórica dos sistemas de mobilidade de duas rodas

Os sistemas de transporte não motorizados não se cingiam à tração animal. Durante vários séculos, o Homem foi explorando a possibilidade de criar um meio de deslocação movido pelo próprio e que veio a evoluir até à bicicleta. Vários autores defendem que a bicicleta surgiu pela mão do Conde francês Mede de Sivrac. No entanto existem registos de que os antigos egípcios já conheciam aquele meio de locomoção ou, pelo menos, já idealizavam nos seus hieroglíficos a figura de um veículo de duas rodas com uma barra sobreposta.

Em 1966, monges italianos, no restauro de manuscritos de Leonardo da Vinci, descobriram desenhos datados de 1490, em que se podia distinguir uma máquina muito semelhante às modernas bicicletas, dotada inclusivamente de pedais e tração por corrente, conforme se pode ver na Figura 2-1 [6].



Figura 2-1: Protótipo de Leonardo da Vinci. Fonte: [7].

Os vestígios da origem da bicicleta levam a crer que as primeiras teriam sido fabricadas com recurso a rodas de madeira, movendo-se empurradas pela força do “ciclista” que se apoiava no solo e, posteriormente, por um sistema de pedais.

Em 1790, o Conde francês Sivrac inventou uma máquina a que deu o nome de celerífero, que se pode ver na Figura 2-2 a) e que alguns historiadores consideram ser o antepassado da bicicleta moderna.

Por volta de 1816, o Barão alemão Karl F. Drais adaptou uma direção ao celerífero e passou a ser denominada draisiana, Figura 2-2 b). Esta era diferente do celerífero pelo fato de se poder guiar, enquanto este apenas se deslocava em linha reta. Nos dois modelos o material básico de construção era a madeira.



a) Celerífero e b) Draisiana. Fonte: [8].

Em 1840, o escocês Kirkpatrick Macmillan adapta ao eixo traseiro duas bielas ligadas por barras de ferro e acionadas por duas alavancas presas na estrutura principal. Isto provocou o avanço da roda traseira, dando-lhe maior estabilidade e possibilidade de mobilidade rápida.



Figura 2-3: Bielas adaptadas por Macmillan. Fonte: [9].

Em 1861 o francês Ernest Michaux, com base no *design* feito por Pierre Lallement, criou um quadro de ferro e aplicou um sistema de propulsão por alavancas e pedais, alterando significativamente o curso da evolução da bicicleta. Os pedais eram ligados à roda dianteira e o invento ficou conhecido como velocípede, palavra oriunda do latim que junta *velocidade* mais *pé* ou velocidade movida a pé. Devido à impulsão ser na roda frontal, ela teria que ser maior e assim, surgiu a Michaulina bastante elegante e preparada para produção em massa. Na França foram criadas as primeiras ciclovias em 1862 para que os velocípedes não se misturassem com as charretes e carroças. No mesmo ano Ernest Michaux foi considerado o primeiro fabricante oficial de bicicletas.



Figura 2-4: Ernest Michaux e a sua Michaulina de 1861. Fonte: [10].

Entre 1870 e 1875, surgiu na Inglaterra a estranha bicicleta Grand Bi, era toda de ferro, tinha uma roda dianteira grande, pneus de borracha maciça e como novidade tecnológica os raios eram formados por arames finos e fortes, que se vieram a tornar padrão. Era a máquina de propulsão humana mais rápida até então fabricada, com estrutura de difícil condução.



Figura 2-5: A Grand Bi com raios de arame rígido. Fonte: [11].

Em 1879 o inglês Harry John Lawson introduziu o mecanismo comum em todas as bicicletas, a corrente de transmissão colocada no eixo da roda traseira e os pedais no centro do quadro estrutural. O também inglês Thomas Humber inventa em 1880 o quadro de quatro tubos. A estrutura formal e funcional no *design* das bicicletas acabara de se estabelecer.

A primeira bicicleta segura foi desenvolvida pelo inglês John Starley em 1885, contando com todas as inovações anteriores e mais o sistema de travagem. Em 1888, para completar a segurança e a condução da bicicleta o círculo maciço de borracha que cobria as rodas, foi substituído pelo pneu a ar de John Dunlop junto com os raios de arame rígidos de ferro. O ciclo de criação da bicicleta terminara e um novo começava, o da fabricação em série. A partir

da bicicleta segura de 1885, começou a era do aperfeiçoamento contínuo e da introdução de novas tecnologias [12] [13] [14].



Figura 2-6: Bicicleta modelo de 1885. Fonte: [15].

Do percurso histórico da origem da bicicleta, podemos constatar que a gênese deste meio está associada, não só à procura de resposta ao problema do transporte (sobretudo a deslocação de pessoas), mas também à alternativa de oferecer lazer, desporto e saúde.

2.3 A bicicleta como meio de transporte

Os níveis de crescimento urbano dos países, em vias de desenvolvimento, trazem consequências de caráter socioeconómico, que se traduz na ausência de harmonia entre esse crescimento e a rede viária. Os espaços tornam-se inadequados para comportar a quantidade crescente de pessoas e veículos motorizados que neles se deslocam. Também em face da escalada dos preços dos combustíveis fósseis, se exige uma reflexão sobre o uso de meios alternativos de transporte, que possam reduzir essa pressão.

A redução no uso do automóvel tornou-se uma condição necessária para garantir a mobilidade urbana. Nas viagens de curta distância, a bicicleta tem vindo a conquistar espaço, com vantagens tanto para o cidadão, como para a comunidade. Se a problemática do congestionamento do tráfego não é suficiente para a massificação do uso da bicicleta, vários estudos realçam a importância da prática do exercício físico regular na saúde humana, tanto ao nível fisiológico, como psicológico.

Do ponto de vista económico, andar de bicicleta é mais barato do que o uso de qualquer outro meio de transporte. Do ponto de vista ecológico, a diminuição da poluição sonora e da emissão de gases nocivos pelos veículos automóveis é um dos ganhos decorrentes do uso da bicicleta.

Considerando a força de tração, existem atualmente três tipos de bicicletas, nomeadamente, a convencional, a assistida por motor de combustão interna e a assistida por motor elétrico. Estas últimas, têm maior facilidade em vencer as subidas e transportar cargas, sendo necessário menor esforço do utilizador. No entanto, um uso regular de qualquer uma, proporciona uma oportunidade de exercício para o seu utilizador [6].

2.4 Mobilidade

O uso crescente do transporte individual contribui para a maior facilidade de deslocação nas áreas urbanas. Mas, como grande parte da população trabalha hoje fora da sua área de residência e os horários de trabalho são coincidentes, surgem problemas de saturação das vias de comunicação e estacionamento porque as infraestruturas são por vezes insuficientes para dar resposta à procura nas horas de ponta.

2.4.1 Mobilidade insustentável

A forma como as pessoas se deslocam hoje não é sustentável caso persistam as atuais tendências.

- Os transportes são responsáveis pelo consumo de grande parte da energia de origem fóssil resultando daí elevada poluição atmosférica;
- Grande parte da população urbana é submetida diariamente a níveis de ruído do tráfego que perturba a comunicação e afeta o desenvolvimento de atividades;
- Nas grandes cidades o espaço necessário para circular, estacionar, vender e manter veículos, situa-se em torno de 50% do espaço urbano disponível;
- O tempo despendido no deslocamento casa-trabalho-casa, nas grandes cidades tem aumentado significativamente nas últimas décadas;
- A sinistralidade representa hoje custos muito avultados.

2.4.2 Mobilidade sustentável

Através da Resolução do Conselho de Ministros n.º81/2009, o Governo recomenda a promoção da mobilidade sustentável com recurso aos modos suaves de transporte, nomeadamente através de medidas que garantam condições de circulação aos seus utilizadores e o reforço da sua segurança [16].

A mobilidade sustentável tem como principal objetivo a redução dos impactes ambientais e sociais da mobilidade motorizada existente. Prioriza os modos de transporte coletivo, a pé e de bicicleta, em relação ao automóvel, e promove o reordenamento dos espaços e das atividades urbanas, de forma a reduzir as necessidades de deslocamento e os seus custos.

No geral a mobilidade sustentável:

- Amplia o conceito de transporte para o de comunicação, através da utilização de novas tecnologias;
- Promove o desenvolvimento das cidades com qualidade de vida, através de um conceito transporte consciente, ecológico e participativo;
- Promove maior harmonia no trânsito;
- Contribui para a melhoria da eficiência energética e a mitigação de agentes poluidores;
- Preserva e promove a qualidade do ambiente natural e construído, e o património histórico, cultural e artístico das cidades.

A Organização das Nações Unidas (ONU) elegeu a bicicleta como o transporte ecologicamente mais sustentável do planeta, pelo baixo impacto que causa ao ambiente, pelo porte da infraestrutura necessária à circulação e ao estacionamento, e pela ausência de ruído e de emissão de gases poluentes. Além disso, é uma alternativa ao alcance da maioria das pessoas, sem deficiências graves, desde a infância até à velhice.

2.4.3 Argumentos para ir de bicicleta para o trabalho

Saúde - Os índices de excesso de peso e doenças pulmonares têm vindo a atingir valores muito elevados. A simples rotina de pedalar pode ser a resposta para muitos destes problemas, pois constitui um ótimo exercício cardiovascular, proporciona benefícios para o sistema cardiorrespiratório e tônus muscular. Andar de bicicleta é uma atividade física com baixo risco de lesões. Incluir exercícios na rotina diária proporciona ficar-se em forma de modo mais fácil e com prazer. Ao chegar ao trabalho, a mente é invadida por uma sensação de paz e tranquilidade.

Tempo - Quem pedala para o trabalho descobre que economiza tempo. Pode ser mais rápido do que ir de carro, evitando perder tempo preso no trânsito e à procura de estacionamento. Como é um ótimo exercício, diminui a necessidade de se ter mais espaço na agenda diária para frequentar um ginásio, por exemplo.

Economia - Após o investimento inicial com a aquisição da bicicleta e equipamentos como cadeado, capacete e luvas; pedalar constitui o modo mais económico de transporte na cidade. Além da economia de combustível e de estacionamento, os custos de manutenção são diminutos comparados com os de um automóvel e a mesma pode ser feita pelo próprio.

Ecologia – Ao não utilizar combustíveis fósseis, não emitem poluentes e logo não se aumenta o efeito estufa e não contribuem para o aumento de problemas respiratórios. Com a matéria-prima necessária para fabricar um automóvel tradicional, podem ser produzidas mais de uma centena de bicicletas. No fim de vida possuem ainda um baixo custo de reciclagem.

2.5 Eficiência energética de meios de locomoção

Uma bicicleta comum exige do seu condutor cerca de 22 Cal/km (92 kJ/km). Constitui a forma mais económica de deslocação. Uma caminhada de 1 km consome 62 Calorias (259 kJ) e um automóvel médio a gasolina com um só ocupante gasta cerca de 1150 Cal/km (4812 kJ/km) [17].

Considerando que uma bicicleta com o condutor pesa cerca de 90 kg e um automóvel cerca de 1500 kg, temos no primeiro caso um consumo de 0,24 Cal/kg (1 kJ/kg) e no segundo caso 0,76 Cal/kg (3,2 kJ/kg). Conclui-se assim que a bicicleta constitui um meio de transporte extremamente eficiente.

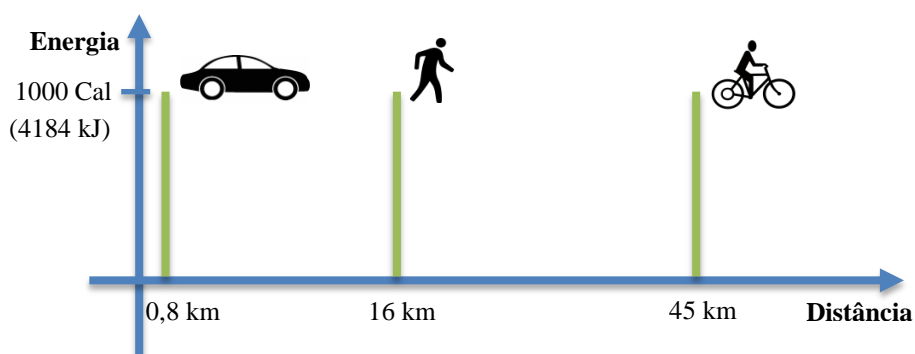


Figura 2-7: Distância percorrida por um automóvel, a pé e de bicicleta com o dispêndio de 1000 Calorias de energia.

2.6 Mobilidade elétrica

Constituem objetivos do governo a adoção de novos modelos de mobilidade, sustentáveis, amigos do ambiente, que maximizem o uso da energia produzida a partir de fontes renováveis e se integrem harmoniosamente no funcionamento e desenvolvimento das cidades [16].

A circulação da bicicleta elétrica poderá beneficiar do recurso às fontes de energia endógena, pois consubstancia o princípio de uma mobilidade menos poluente, potenciando, desta forma, os novos paradigmas tecnológicos no domínio dos transportes e sua indústria, indo ao encontro dos objetivos nacionais de redução da dependência energética e de combate às alterações climáticas.

Com a implementação do Programa para a Mobilidade Elétrica, pretende-se [16]:

- Acelerar o processo de adoção de veículos elétricos e permitir a gradual conversão do parque automóvel;
- Incentivar a criação de condições atrativas ao investimento, em Portugal, de atividades de produção e desenvolvimento de produtos relacionados com a Mobilidade Elétrica, promovendo tecnologias e inovações portuguesas;
- Assegurar a contribuição para o cumprimento dos objetivos do Protocolo de Quioto, ao fomentar a utilização de energias renováveis na mobilidade.

2.7 Bicicleta elétrica

A bicicleta elétrica constitui um meio de transporte que mistura os benefícios de saúde e ambientais de uma bicicleta convencional com as vantagens de um veículo motorizado. Quando se pedala, um motor elétrico ajuda a deslocação sem esforço. O ciclista tem um ganho de desempenho com a ajuda do motor, principalmente nas subidas. O motor é alimentado por uma bateria que deve ser recarregada regularmente.

As bicicletas elétricas são energeticamente eficientes em todo o seu ciclo de vida, têm um custo de produção e reciclagem residual, um custo energético-ambiental de operação quase nulo e proporcionam a mobilidade que os cidadãos necessitam nas cidades do futuro.

Apenas com 250 W de potência é possível vencer subidas, mesmo as mais acentuadas e prolongadas, uma vez que o esforço do utilizador é auxiliado pelo motor elétrico. Desta forma, a bicicleta elétrica permite ainda a realização de percursos de uma forma mais rápida, já que o motor auxiliar permite desenvolver velocidades mais elevadas quando comparada com a bicicleta convencional. A redução do esforço físico permite ainda chegar ao destino sem transpirar... podendo usar o vestuário corrente, sem ter que recorrer a equipamentos especiais.

Pelas razões apontadas, o motor elétrico passa a ser um elemento motivador na utilização da bicicleta. O utilizador deixa de se limitar aos trajetos citadinos e aventura-se na realização de percursos mais longos que de outra forma apenas faria recorrendo ao uso do automóvel. Embora não implique uma atividade física intensa, o uso regular resulta numa atividade física com benefícios para a saúde. Dependendo das necessidades de deslocação, esta poderá melhorar a mobilidade individual se complementada com o uso do automóvel ou com a utilização dos transportes públicos. Desta forma, podemos olhar para a bicicleta elétrica como um meio de mobilidade por si só ou como forma complementar de mobilidade.

2.8 Quais as opções

Hoje já é significativa a oferta nesta área. Pode-se optar por converter uma bicicleta convencional numa elétrica, adquirindo os *kit's* específicos, ou optar pela aquisição de bicicletas elétricas construídas de raiz. Uma grande parte de marcas quer de bicicletas quer de automóveis já lançaram no mercado uma diversidade de modelos destes produtos, principalmente na versão *pedelec*.

3. Cinemática do veículo de duas rodas

O movimento de todos os veículos é regido por leis da física, especificamente a segunda lei de Newton, que estipula que a aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força exercida sobre ele e inversamente proporcional à sua massa.

$$a = \frac{F}{m}$$

onde,

a → Aceleração em metro por segundo ao quadrado - m/s^2 ;

F → Força resultante aplicada em newton - N;

m → Massa (constante) do objeto em quilograma - kg.

Para a otimização de qualquer sistema é necessário compreender os efeitos da ação das forças que interagem com o veículo e com o movimento.

3.1 Forças que se opõem ao deslocamento

Qualquer veículo para se deslocar autonomamente necessita de um sistema de propulsão com capacidade de fornecer energia suficiente para vencer as forças que se opõem ao deslocamento, tais como a resistência do ar, o atrito das rodas com o solo, o peso e a inércia do veículo.

Para modelar o desempenho de um veículo tem que se calcular qual a força de tração necessária para o manter a uma determinada velocidade [18].

A força de tração F_t a aplicar pelo sistema de propulsão é determinada com base na equação seguinte:

$$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i \quad (3-1)$$

sendo,

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 em velocidade uniforme, a força de tração é em módulo igual ao somatório das forças resistentes e representa a força que é necessária vencer para o veículo se manter a essa velocidade.

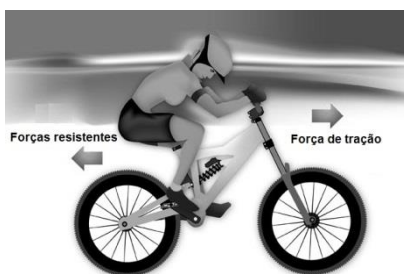


Figura 3-1: Força de tração *versus* forças resistentes. Fonte: adaptada de [19].

3.1.1 Força de resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento é devida ao atrito dos pneus do veículo com a via de circulação. Contribuem para este atrito a velocidade, a pressão dos pneus, a carga radial ou peso, o tipo de pneu, o tipo do piso, a temperatura e outras variáveis com menor importância.

Quando um pneu se deforma sob a carga que lhe é aplicada, é criada uma secção plana na parte inferior deste. Isto significa que o pneu perde nessa zona a sua forma circular aumentando a força de resistência ao rolamento. A força de oposição, criada pela secção plana durante o andamento, produz um momento no centro da roda que se opõe ao movimento, como é visível na Figura 3-2.

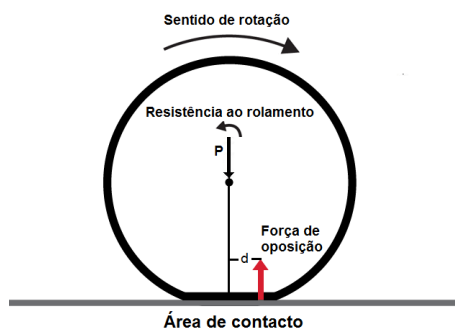


Figura 3-2: Força de oposição ao movimento devida à deformação do pneu.

Em superfícies duras a principal causa da resistência de rolamento no pneu é a histerese dos materiais que o constituem.

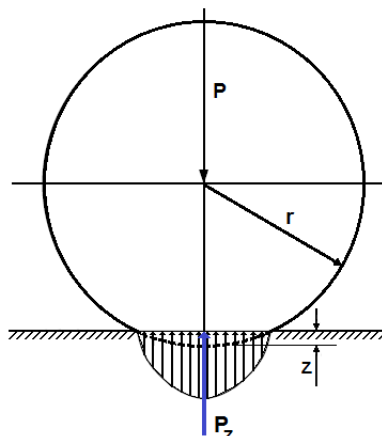


Figura 3-3: Distribuição da pressão pela área de contacto. Fonte: adaptada de [20].

A Figura 3-3 mostra uma roda parada, com uma força P (relativa ao peso do veículo e do condutor) a atuar no centro. A pressão na zona de contacto entre o pneu e solo é distribuída de forma simétrica à linha central e a força de reação resultante P_z , está alinhada com P .

Em movimento obtêm-se uma distribuição assimétrica das forças de reação do piso no pneu resultante da deflexão do pneu. A Figura 3-4 mostra essa deflexão provocada devido à força P , onde P_z é a força resultante das forças de reação do piso no pneu e r é o raio da roda do veículo. A deflexão z em função da carga é justificada pelo ciclo de histerese visível na Figura 3-5, criado pela deformação da borracha [20].

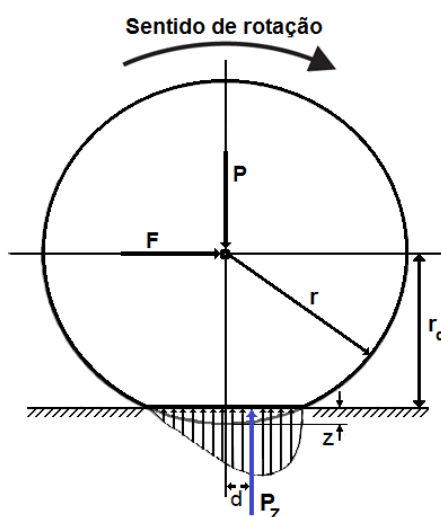


Figura 3-4: Deflexão do pneu e resistência de rolamento em superfícies duras. Fonte: adaptada de [20].

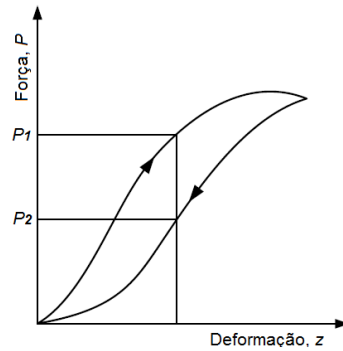


Figura 3-5: Força que atua no pneu *versus* deformação causada. Fonte: adaptada de [20].

O momento produzido no deslocamento para a frente pela força resultante de reação do solo é chamado momento resistente ao rolamento, como mostrado na Figura 3-4, e pode ser expresso como:

$$T_r = P_z \times d \quad (3-2)$$

onde,

T_r → Momento resistente ao rolamento em newton metro - N.m;

P_z → Força de oposição resultante da reação do piso em newton - N;

d → Distância do eixo vertical que passa no centro da roda ao ponto onde se verifica a força de oposição resultante, em metro - m.

Para manter o rolamento da roda, é necessária uma força F que atua no centro da mesma para anular o momento resistente ao rolamento. Esta força é expressa como:

$$F = \frac{T_r}{r_d} = \frac{P_z \times d}{r_d} = P_z \times f_r \quad (3-3)$$

sendo,

r_d → Raio efetivo do pneu em metro - m;

$f_r = \frac{d}{r_d}$ → Coeficiente de resistência de rolamento.

O momento resistente ao rolamento pode ser substituído por uma força linear que atua sobre o eixo da roda e se opõe ao movimento desta. A força equivalente é chamada resistência ao rolamento e é dada pela equação (3-4):

$$F_r = P \times f_r \quad (3-4)$$

onde,

F_r → Força de resistência ao rolamento em newton - N;

P → Peso aplicado no centro da roda em newton - N, sendo $P = m \times g$;

Verifica-se que, quanto maior for a distância d , maior será a resistência ao rolamento, sendo este valor expresso na grandeza coeficiente de resistência de rolamento f_r . Para minimizar esse valor para além de outros fatores, há que assegurar uma elevada pressão dos pneus.

Observação: Nos sistemas ferroviários esta deformação é desprezável, pois d é aproximadamente zero logo o momento Tr é praticamente nulo.

A força de resistência ao rolamento total depende do peso sobre cada roda e de um coeficiente de resistência de rolamento adimensional que contabiliza todos os atritos referidos, conforme visto na equação (3-4). Para uma modelização precisa devem considerar-se as equações para cada uma das rodas e no final somá-las. No caso da bicicleta:

$$F_r = F_{rF} + F_{rT} \quad (3-5)$$

onde,

F_{rF} e F_{rT} → Força de resistência ao rolamento da roda da frente e da de trás, respetivamente.

Há ainda a considerar o caso do veículo se encontrar a circular numa superfície inclinada, esse facto repercute-se no cálculo da força de resistência ao rolamento da seguinte forma:

$$F_r = P \times f_r \times \cos(\theta) \quad (3-6)$$

onde,

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

No Quadro 3-1 apresentam-se os valores de coeficiente de resistência de rolamento que constituem uma aproximação deste valor.

Quadro 3-1: Coeficientes de resistência de rolamento. Fonte: adaptado de [21], [22].

Tipos de rodas/pneus	Tipo de piso	Valor de f_r
Roda de metal	Carris de metal	0,0002 a 0,002
Pneus especiais do carro solar da Michelin	Pista de autódromo	0,0025
Pneus de bicicleta	Em rolos, a 120 psi e 50 km/h	0,0022 a 0,009
- Vittoria pista evo CS tubular		0,0022
- Michelin Pro 3 light SC		0,00272
- Continental GP 4000S		0,00307
- Vittoria Corsa CG Squadra Prof - tubular		0,00418
- Conti GP 3000		0,00488
- Schwalbe Montello 300	Em rolos, a 100 psi e 50 km/h	0,0083
Pneus de bicicleta	Piso de madeira	0,001
	Piso de betão	0,002
	Piso de alcatrão	0,004
	Piso de alcatrão áspero	0,008
Pneus de automóvel	Piso de betão	0,01 a 0,015
	Piso de alcatrão	0,03
	Piso areia sólida	0,04 a 0,08
	Piso em areia solta	0,2 a 0,4

3.1.2 Força de resistência aerodinâmica

A força de resistência aerodinâmica também conhecida como força de arrasto (*drag force*), é devida à fricção que se manifesta quando um corpo se desloca no seio de um fluido com uma dada densidade (tipicamente o ar).

No caso de um veículo, esta força depende da sua área frontal, da sua forma e da velocidade de deslocação relativamente ao ar. Pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 \quad (3-7)$$

onde,

F_D → Força de resistência aerodinâmica em newton - N;

ρ → Densidade do ar em quilograma por metro cúbico - kg/m³;

A_f → Área frontal do veículo em metro quadrado - m²;

C_D → Coeficiente de resistência aerodinâmica ou de arrasto;

v → Velocidade do veículo em metro por segundo - m/s;

v_w → Velocidade do vento medida no mesmo referencial de deslocação do veículo, em metro por segundo - m/s.

A densidade do ar é variável e depende da temperatura, da pressão e da humidade. A densidade do ar seco ao nível do mar é aproximadamente 1,2929 kg/m³ mas à medida que a altitude aumenta, a densidade do ar baixa significativamente pois esta é proporcional à pressão e inversamente proporcional à temperatura. Para determinar a densidade do ar seco, a uma dada altura, podemos usar a seguinte relação [23] [24]:

$$\rho = \rho_0 \times \left(\frac{T_0}{T}\right) \times \left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (3-8)$$

onde,

ρ → Densidade do ar seco à temperatura T e pressão P ;

ρ_0 → Densidade conhecida na temperatura absoluta T_0 (273,15 K) e pressão P_0 (1 atm = 1,01325x10⁵ Pa).

Substituindo ρ_0 , T_0 e P_0 e adaptando para que a temperatura do ar possa ser inserida em grau Celsius, fica:

$$\rho = 1,2929 \times \left(\frac{273,15}{273,15 + T}\right) \times \left(\frac{P}{1,01325 \times 10^5}\right)$$

onde,

T → Temperatura do ar em grau Celsius - °C;

P → Pressão atmosférica em pascal – Pa.

À superfície terrestre utiliza-se tipicamente a densidade do ar com um valor de 1,2 que corresponde à temperatura de 20 °C, conforme o Quadro 3-2.

Quadro 3-2: Densidade do ar *versus* temperatura. Fonte: [22]

Grau Celcius (°C)	Densidade do ar (kg/m ³)
30	1,1644
25	1,1839
20	1,2041
15	1,225
10	1,2466
5	1,269
0	1,292
-5	1,3163
-10	1,3413

A área frontal do veículo é a equivalente à projeção da sombra do veículo, visto de frente, numa parede, sendo no caso da bicicleta a projeção do veículo e do condutor.



Figura 3-6: Área frontal obtida da projeção do veículo e do condutor. Fonte: [25]

Na Figura 3-7 expõem-se os coeficientes de arrasto típicos para os objetos com as formas ilustradas.

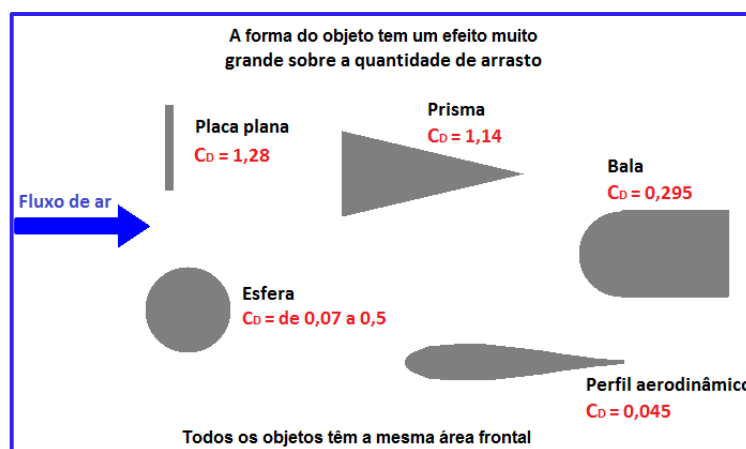





Figura 3-7: Efeitos das formas sobre o coeficiente de arrasto. Fonte: adaptada de [26].

O coeficiente arrasto C_D , permite quantificar a força de resistência exercida pelo ar numa dada superfície, quando essa se desloca no seio de um fluido [27]. Como pode constatar-se através da Figura 3-7 e do Quadro 3-3, este coeficiente pode ser reduzido através de um bom *design* do veículo e da postura do condutor.

Quadro 3-3: Valores típicos para o coeficiente de resistência aerodinâmica para veículos de duas rodas. Fonte: adaptado de [13].

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

A velocidade do vento v_w quando tem sentido oposto à velocidade do veículo entra na equação com sinal negativo, conforme se pode ver na Figura 3-8.

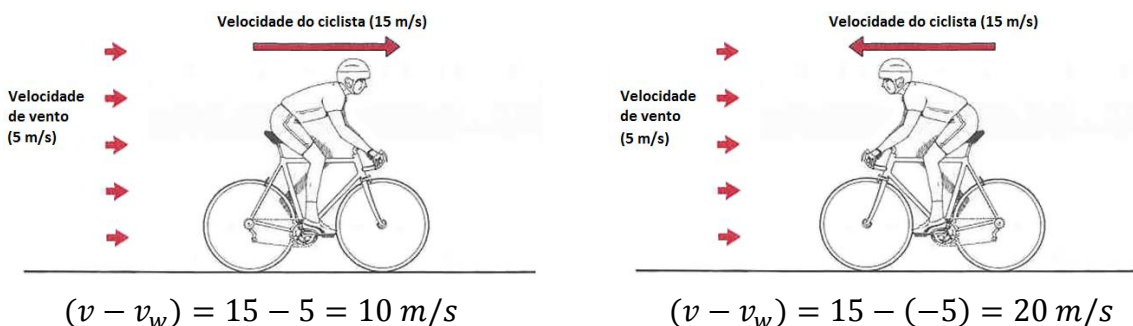


Figura 3-8: Velocidade do veículo relativamente ao ar. Fonte: adaptada de [28].

O coeficiente C_D é aferido com o ensaio dos veículos em túneis aerodinâmicos. A modelagem matemática dos dados obtidos nestes testes permite melhorar o perfil dos veículos para alcançar maior eficiência, segurança e estética.

3.1.3 Força gravítica (componente com a direção do movimento)

Um veículo ao subir um plano inclinado apenas uma parte do seu peso é absorvido pelo solo, na forma de força normal, e o restante fica a atuar no centro de massa sobre a forma de uma componente paralela ao piso, tendendo a fazer com que o veículo desça o plano, como mostrado na Figura 3-9.

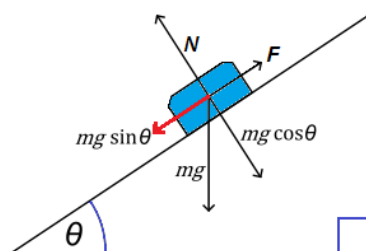


Figura 3-9: Forças exercidas num corpo num plano inclinado.

A força gravítica interfere com o movimento quando um veículo se desloca num plano inclinado. Nesse caso irá atuar como uma força resistente ao movimento se o veículo se encontra a subir, ou como força adjuvante quando o veículo se encontra a descer.

A componente da força gravítica na direção do movimento pode ser calculada a partir da seguinte expressão:

$$F_g = m \times g \times \text{sen}(\theta) \quad (3-9)$$

onde,

F_g → Força gravítica (componente com a direção do movimento) em newton - N;

m → Massa em quilograma - kg;

g → Aceleração gravítica ($g = 9,80665 \text{ m/s}^2$);

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

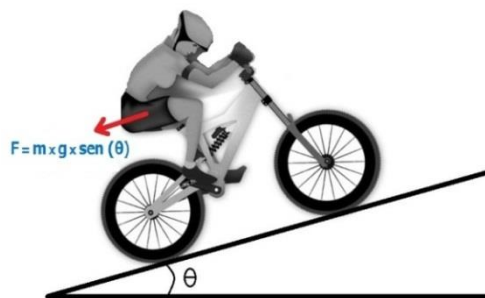


Figura 3-10: Componente da força gravítica. Fonte: adaptada de [19]

Se o veículo se encontrar no plano inclinado a descer o ângulo que entra na equação (3-9) é negativo e logo o resultado também será negativo, ou seja, haverá uma força que facilitará o movimento do veículo.

3.1.4 Força de inércia

Segundo a primeira lei de Newton, todos os corpos tendem a manter o estado em que se encontram, se nenhuma força for exercida sobre eles.

O movimento de uma bicicleta consiste na deslocação de uma massa (translação) com várias “peças” em rotação. A inércia de um objeto perante uma translação é determinada pela sua massa e perante uma rotação é determinada pelo seu momento de inércia.

No movimento de translação puro todos os pontos do corpo movem-se em trajetórias paralelas com a mesma velocidade do centro de massa CM . Na Figura 3-11 a), todos os pontos da roda têm o mesmo deslocamento num dado intervalo de tempo, isto é, cada ponto move-se para a direita com a mesma velocidade V_c .

O movimento de rotação puro verifica-se em torno do eixo que passa pelo centro de massa CM de um corpo sólido rígido, com velocidade proporcional ao raio r da circunferência formada. Na Figura 3-11 b) todos os pontos da roda giram em torno do centro com velocidade angular ω e todos os pontos situados na periferia da roda têm velocidade linear V_c [29].

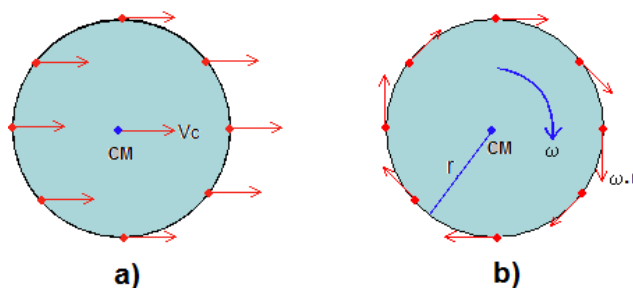


Figura 3-11: Movimento de translação a) e de rotação b). Fonte: adaptada de [29]

A combinação dos movimentos faz com que a roda entre em rotação sem deslizar, significando que não há movimento relativo entre a roda e o solo. Na parte inferior da roda (ponto P) e durante o movimento rotacional a velocidade segue o sentido da rotação e no movimento translacional o corpo move-se com velocidade paralela, assim as mesmas anulam-se. Na parte superior da roda (ponto P') ocorre o contrário, pois as velocidades seguem o mesmo sentido, isto é, movem-se a uma velocidade igual a $2V_c$, mais rápido que qualquer outra parte da roda. Isto é demonstrado na Figura 3-12.

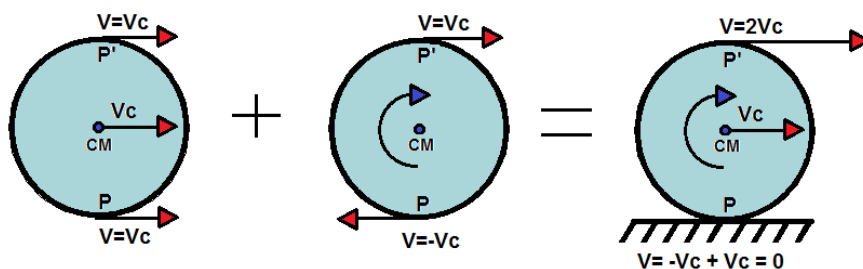


Figura 3-12: Combinação dos movimentos de translação puro e de rotação puro. Fonte: adaptada de [30]

Assim, deve entrar-se em consideração com o contributo das inércias sobre o veículo provocadas pelas massas em translação e em rotação.

Massas em translação

$$F' = m \times a \quad (3-10)$$

onde,

F' → Força de inércia de translação em newton - N;

m → Massa em quilograma - kg;

a → Aceleração linear em metro por segundo ao quadrado - m/s^2 .

Esta força de inércia de translação corresponde à primeira parcela da força de inércia total.

Massas em rotação

De acordo com a Segunda Lei de Newton, quando aplicamos uma força sobre uma massa, esta adquire aceleração.

$$F = m \times a = m \times \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3-11)$$

Como a velocidade linear de um movimento circular é dada por:

$$v = \omega \times r \quad (3-12)$$

podemos escrever a equação (3-11) da seguinte forma:

$$F = m \times \frac{\Delta(\omega \times r)}{\Delta t} \quad (3-13)$$

Multiplicando ambos os membros por r , teremos:

$$F \times r = m \times r^2 \times \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (3-14)$$

Sabendo que:

- O quociente entre a variação da velocidade angular e o tempo fornece-nos a aceleração angular, temos:

$$F \times r = m \times r^2 \times \alpha \quad (3-15)$$

- Um binário é gerado quando aplicamos uma força a um corpo rígido que pode rodar em torno de um eixo de rotação, sendo dado por:

$$\tau = F \times r \quad (3-16)$$

Logo, substituindo na equação (3-15) fica:

$$\tau = m \times r^2 \times \alpha \quad (3-17)$$

- O momento de inércia J faz o papel de massa no movimento de rotação e mede o quanto é difícil fazer variar a velocidade angular de um corpo em torno de um dado eixo de rotação. De notar que o momento de inércia depende da massa e mais ainda, de como a massa está distribuída em relação a um dado eixo de rotação. Para um sistema (corpo rígido) formado por n partículas, todas a rodar com a mesma velocidade angular ω , em torno de um eixo, temos:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i \times r_i^2 \quad (3-18)$$

Para uma única partícula temos:

$$J = m \times r^2 \quad (3-19)$$

Então obtemos a 2.ª Lei de Newton para a rotação, substituindo na equação (3-17)

$$\tau = J \times \alpha \quad (3-20)$$

A equação (3-20) relaciona o binário τ com a aceleração angular α e com a quantidade J que representa a inércia rotacional do corpo. Vemos através desta equação que o binário faz o papel da força pois produz uma aceleração angular e o momento de inércia faz o papel da massa.

No caso de veículos que possuam diversas peças rotativas rodando a diferentes velocidades têm-se diferentes inércias. A inércia rotativa total é dada pela soma de todas as parcelas.

Para obter a força equivalente à de inércia no ponto de contato com o solo, é necessário dividir o momento dado pela equação (3-20), pelo raio da roda como se segue:

$$F'' = \frac{\tau}{r} = \frac{J \times \alpha}{r} \quad (3-21)$$

A relação entre a aceleração angular e linear, de uma roda no ponto de contato com o solo é dada por:

$$a = \alpha \times r \quad (3-22)$$

que é equivalente a

$$\alpha = \frac{a}{r} \quad (3-23)$$

Substituindo-se esta aceleração na expressão do binário, consegue-se relacionar a resistência de inércia rotativa com a aceleração linear como se segue:

$$F'' = \frac{J \times a}{r^2} \quad (3-24)$$

onde,

v → Velocidade linear em metro por segundo - m/s;

ω → Velocidade angular em radiano por segundo - rad/s;

r → Raio dinâmico* em metro - m;

α → Aceleração angular em radiano por segundo ao quadrado - rad/s²;

τ → Binário em newton metro - N.m;

J → Momento de inércia em quilograma metro ao quadrado - kg.m²;

F'' → Força de inércia de rotação em newton - N.

Esta força de inércia de rotação corresponde à segunda parcela da força de inércia total.

* Devido à influência da elasticidade no raio do pneu, o diâmetro da roda varia em função da velocidade pelo efeito da força centrífuga. Desta forma é conveniente definir raio estático e raio dinâmico dos pneus [31].

- Raio estático - é definido como a distância do centro da roda ao plano de contato do pneu com a pista, para a condição de carga máxima admissível e veículo parado.

- Raio dinâmico - é definido a partir da distância percorrida numa volta do pneu, na condição de carga máxima admissível, com uma velocidade padrão.

Força de inércia total

A força de inércia total é então dada pela soma das inércias de translação e rotação, como se segue:

$$F_i = F' + F'' \quad (3-25)$$

ou,

$$F_i = m \times a \times \left(1 + \frac{J}{m \times r^2}\right) \quad (3-26)$$

Para facilitar o uso desta expressão, pode escrever-se

$$F_i = m \times a \times (1 + \delta) \quad (3-27)$$

onde,

$$\delta = \frac{J}{m \times r^2} \quad (3-28)$$

Sendo δ a inércia de translação equivalente à de rotação. Representa o acréscimo da massa do veículo devido à necessidade de acelerar as inércias rotativas.

3.1.5 Força resistente total

A força resistente total de um veículo é dada pela soma das forças anteriores e representa a força a aplicar, com sentido contrário, para que o veículo mantenha uma determinada velocidade.

$$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i \quad (3-29)$$

ou seja

$$F_t = m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta) \quad (3-30)$$

3.2 Outros parâmetros

Conhecida a força resistente total, podemos calcular outros parâmetros necessários, tais como:

- Potência mecânica a aplicar na roda;
- Potência elétrica a debitar pelo sistema de propulsão;
- Velocidades de rotação envolvidas.

3.2.1 Potência mecânica a aplicar na roda

$$P_m = F_t \times v \quad (3-31)$$

onde,

$P_m \rightarrow$ Potência entregue às rodas num dado instante em watt - W;

$v \rightarrow$ Velocidade do veículo num dado instante em metro por segundo - m/s.

3.2.2 Potência elétrica

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_M \eta_E} \quad (3-32)$$

onde,

$P_e \rightarrow$ Potência elétrica debitada pelas baterias em watt - W;

$\eta_M \rightarrow$ Rendimento mecânico da transmissão;

$\eta_E \rightarrow$ Rendimento elétrico do conjunto “bateria + controlador + motor”.

Podendo P_e ser assim representada por:

$$P_e = \frac{\left[(m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)) \right] \times v}{\eta_M \eta_E} \quad (3-33)$$

3.2.3 Velocidade de rotação das rodas

$$v_r = \frac{v \times 60}{2 \times \pi \times r_r} \quad (3-34)$$

onde,

v_r → A velocidade das rodas em rotações por minuto - rpm;

v → Velocidade do veículo em metro por segundo - m/s;

r_r → Raio da roda motora em metro - m.

A velocidade do motor obtém-se da relação de desmultiplicação entre motor e roda. No caso do motor acoplado diretamente à roda (*direct-drive*), estes rodam à mesma velocidade.

3.3 Formas de alcançar maior eficiência energética

Para que um ciclista se desloque, necessita de vencer a força resistente total. Desta forma o sistema muscular necessita produzir trabalho para vencer esta força, da forma mais eficiente possível.

Assim, para reduzir o consumo da energia para produzir esse trabalho, interessa:

1. Minimizar o atrito dos pneus. A pressão, o diâmetro, o piso e outros fatores, têm um grande efeito na resistência ao rolamento.
 - A bicicleta com pneus mais estreitos é mais fácil de acelerar pois a massa rotativa das rodas é menor e esta torna-se mais ágil;
 - Quanto maior for a pressão, menor é a deformação no pneu, logo menor resistência ao rolamento. Para a mesma pressão, pneus estreitos têm maior deformação e mais resistência ao rolamento comparativamente aos mais largos que se deformam menos;
 - A construção do pneu também tem efeitos na resistência ao rolamento. Quanto menos material é usado no pneu menos há para ser deformado. E quanto mais flexível é, como o composto de borracha, menos energia é perdida através da deformação. É por isso que pisos lisos (*slick*) rolam melhor que pisos de relevo (saliências do piso do pneu - *cardado*) em alcatrão liso.
2. Reduzir o atrito das engrenagens no caso da transmissão mecânica. O emprego de bons lubrificantes ou de correias sintéticas dentadas permite reduzir a fricção.
3. Reduzir o peso rolante. Atendendo a que não se pode reduzir a carga transportada, a bicicleta deve ser o mais leve possível, em especial para percursos com declives acentuados.

4. Reduzir o atrito aerodinâmico, através da redução da área frontal e do melhor escoamento turbulento.
- Uma das técnicas mais comuns nas provas de ciclismo é a utilização do cone de aspiração atrás dos outros ciclistas, pois a velocidade do ar atrás do ciclista da frente permite reduzir o atrito aerodinâmico;

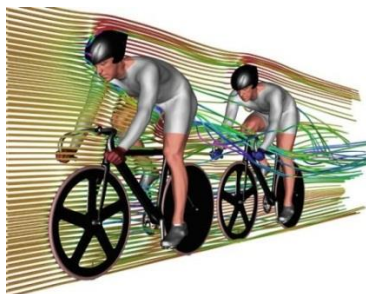


Figura 3-13: Utilização do “vácuo” criado por outro ciclista. Fonte: [32]

- Assumindo uma posição que minimize a área frontal e o uso de bicicleta e acessórios aerodinâmicos, nomeadamente roupas e capacete.

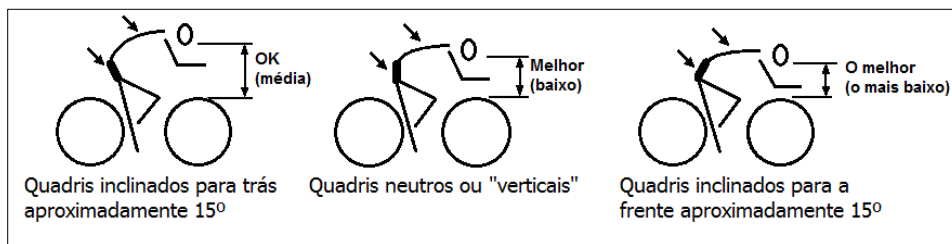


Figura 3-14: Posição de assento de forma a reduzir as perdas aerodinâmicas.

5. Se for possível evitar subidas acentuadas, pois para as vencer é necessário gastar muita energia, daí que, se houver percursos alternativos mais longos podem ser energeticamente mais económicos.
6. Moderar a velocidade, pois, como foi já referido, a resistência aerodinâmica é a que apresenta maior contribuição para a resistência total encontrada pelo ciclista. Existe uma relação cúbica entre a velocidade e a potência despendida. Podemos notar este efeito sobretudo quando pedalamos em velocidades superiores a 30 km/h. Para cada aumento de 1 km/h acima desta velocidade necessitamos aumentar bastante o esforço.

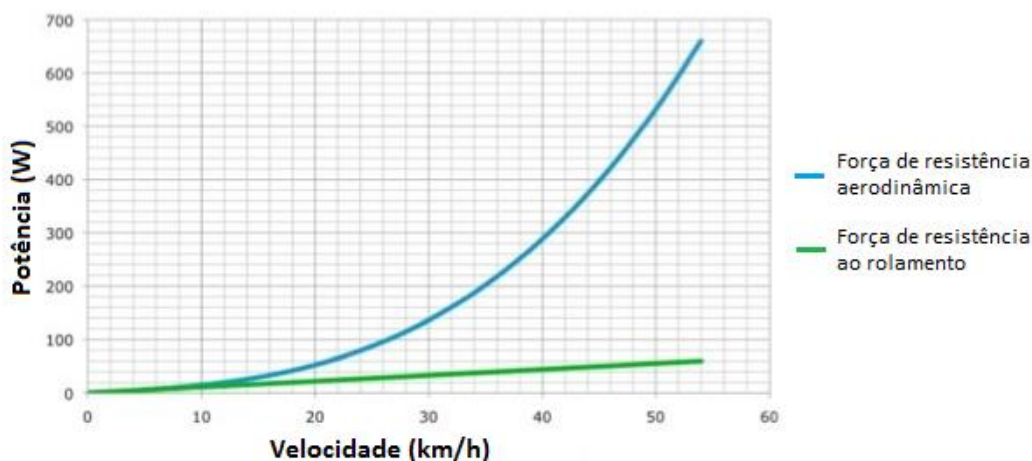


Figura 3-15: Potência *versus* velocidade, considerando as forças de resistência aerodinâmica e de rolamento.

Kyle (1985) estimou que cerca de 10% da energia despendida pelo ciclista para vencer a resistência ao movimento, ocorre em função do arrasto (resistência) das rodas, sendo que o restante ocorre em função das dimensões do ciclista (64%), do arrasto da bicicleta (21%) e da resistência de rolamento da roda com o chão (5%). Este autor sugere que o arrasto causado pela roda pode ser reduzido através de quatro variáveis: menor número de raios, perfil do aro, espessura do pneu e tamanho da roda [33].

Assim, conforme é visível na Figura 3-16, para a mesma força, um ciclista com melhor aerodinâmica atinge uma maior velocidade.

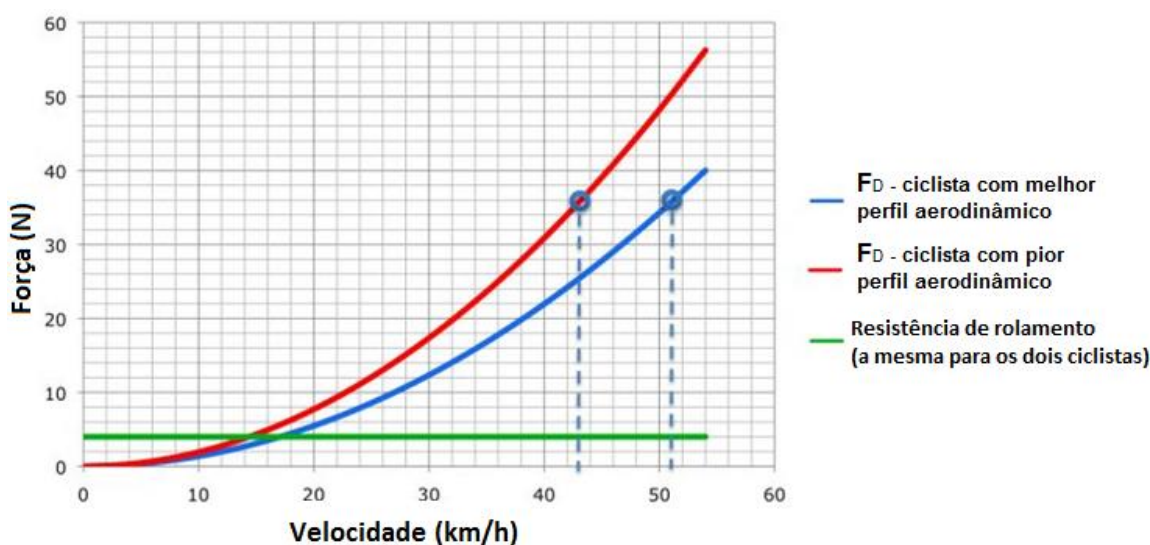


Figura 3-16: Velocidade alcançada com diferentes perfis aerodinâmicos.

4. Projeto da bicicleta

É objeto deste trabalho o projeto de uma bicicleta elétrica, sendo apresentado neste capítulo o cálculo das características do “*power drive*”¹, assim como a seleção dos componentes e acessórios necessários para a sua concretização. O projeto do quadro da bicicleta será exposto no Capítulo 5.

A bicicleta será dotada de um motor elétrico colocado na roda de trás, um sistema de baterias de Lítio Fosfato de Ferro (LiFePO4) inserido na estrutura do quadro, um controlador na parte exterior para que possa ser ventilado naturalmente e os restantes acessórios que permitem o controlo da bicicleta.



Figura 4-1: Diagrama de blocos simplificado do “*power drive*”.

4.1 Performance a alcançar

Nos catálogos técnicos expõem-se tradicionalmente as características dos veículos decorrentes de testes realizados em laboratório ou estrada horizontal. Assim sendo este estudo irá ser feito considerando as forças em plano horizontal.

Relativamente à velocidade máxima, não podem exceder-se legalmente os 25 km/h pela ação do motor, contudo como neste caso se trata de um projeto académico de elevada eficiência e performance, estabeleceu-se a velocidade de 60 km/h a alcançar apenas com ajuda do motor.

¹ *Power drive* – Sistema propulsor constituído por: bateria, controlador e motor elétrico.

Esta velocidade poderá ser superior em algumas descidas e com o incremento proveniente do pedalar do condutor.

Recorrente do estudo exposto no Capítulo 3, o projeto tem por base os parâmetros apresentados no Quadro 4-1. De salientar que a utilização de alguns dos referidos parâmetros é justificada com base em *datasheet's* de fabricantes, em estudos e ensaios publicados em *Websites* por universidades e empresas especializadas.

Quadro 4-1: Parâmetros utilizados no projeto.

Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade máxima a alcançar em plano - \vec{v}	60 16,67	km/h m/s
Autonomia	60	km
Massa da bicicleta - m_1	30	kg
Massa do condutor - m_2	70	kg
Aceleração gravítica - \vec{g}	9,80665	m/s ²
Coeficiente de resistência ao rolamento - f_r	0,0045	
Densidade do ar - ρ	1,2	kg/m ³
Área frontal do veículo com condutor - A_f	0,5	m ²
Coeficiente de resistência aerodinâmica - C_D	1	
Velocidade do vento - \vec{v}_w	0	m/s
Ângulo de inclinação - θ	0	%
Rendimento da transmissão mecânica (<i>Direct Drive</i>) - η_M	100	%
Rendimento do <i>power drive</i> “controlador + motor” - η_E	80	%
Perímetro das rodas de 26 polegadas - P_r	2,08	m

4.2 Cálculo da potência necessária

Força de resistência ao rolamento - F_r

$$P = (m_1 + m_2) \times g = (30 + 70) \times 9,80665 = 980,665 \text{ N}$$

$$F_r = P \times f_r = 980,665 \times 0,0045 = 4,4 \text{ N}$$

Máxima força de resistência aerodinâmica - F_D (para 60 km/h ou 16,67 m/s)

$$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 = 0,5 \times 1,2 \times 0,5 \times 1 \times 16,67^2 = 83,4 \text{ N}$$

Força gravítica - F_g

$$F_g = m \times g \times \text{sen}(\theta) = (30 + 70) \times 9,80665 \times \text{sen}(0) = 0 \text{ N}$$

Força de inércia - F_i

Não considerada (em regime estacionário)

Força resistente total - F_t

$$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i = 4,4 + 83,4 = 87,8 \text{ N}$$

Potência mecânica (P_m) a aplicar na roda motora para vencer esta força F_t

$$P_m = F_t \times v = 87,8 \times 16,67 \cong 1464 \text{ W}$$

Potência elétrica (P_e) a fornecer ao controlador

$$P_e = \frac{P_w}{\eta_M \eta_E} = \frac{1464}{0,8} = 1830 \text{ W}$$

Velocidade de rotação das rodas (a 60 km/h) em rotações por minuto

$$v_r = \frac{v \times 60}{P_r} = \frac{16,67 \times 60}{2,08} \cong 481 \text{ rpm}$$

Foi desenvolvida uma aplicação em EXCEL, com os cálculos deste projeto, onde é possível simular diferentes cenários e obter os respetivos resultados. Estes são expostos no Capítulo 6.

4.3 Escolha dos componentes e fundamentação teórica

As bicicletas exibem uma estrutura semelhante, mesmo quando com diferentes tipologias de tração. Na Figura 4-2 apresentam-se os componentes que integram a bicicleta e a seguir as partes específicas deste projeto.

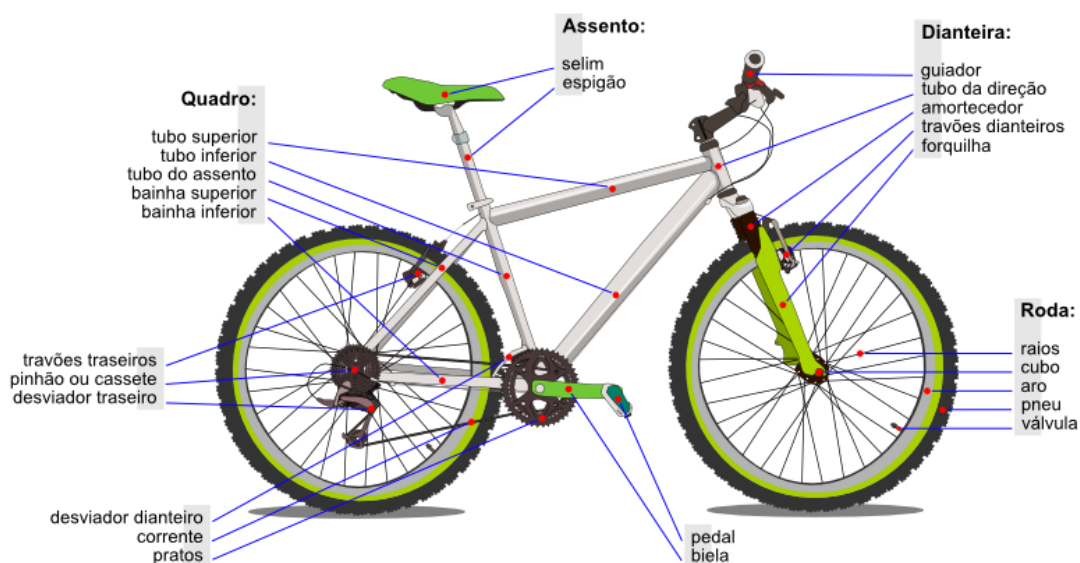


Figura 4-2: Partes constituintes de uma bicicleta convencional. Fonte: adaptada de [34].

4.3.1 Motor

Os motores estão disponíveis em modelos dianteiros e traseiros. As medidas são *standards* por forma a haver compatibilidade com as forquilhas para a maioria dos tipos de bicicletas, rondando os diâmetros entre 100 mm nos motores frontais e 135 mm nos motores colocados atrás. Todos os que foram considerados são compatíveis com o sistema de travão de disco.

Tração frontal *versus* traseira

Cada opção apresenta vantagens e inconvenientes. Para o acionamento frontal, em geral os motores disponíveis são mais leves, mas com menor binário. Já o acionamento traseiro permite binário maior, melhor tração, apesar de mais pesados. Para distribuir melhor o peso neste caso, justifica colocar as baterias mais na parte frontal, nomeadamente no quadro.

De entre as alternativas há ainda duas opções que são “*brute ou HT-high torque*” e “*cruiser ou HS-high speed*”. A diferença reside no tipo de enrolamentos do motor. Na versão “*HS*” o motor é desenvolvido para alcançar maior velocidade, enquanto que na versão “*HT*” é favorecido o maior binário.

Optou-se neste projeto por um acionamento traseiro com motor “*HS*”, pois terá um binário equivalente a um “*HT*” frontal, mas com a velocidade máxima de um “*HS*”, e assim permitir alcançar os objetivos do projeto.



Figura 4-3: a) Motor Crystalyte 5304 Cruiser; b) Roda 26” com motor. Fonte [35].

O propulsor Crystalyte 5304 é um motor trifásico, sem escovas (“*brushless*”) e sem sensores de efeito *Hall* (“*sensorless*”). É fiável e eficiente, satisfaz os requisitos deste projeto e deve ser alimentado por um controlador projetado para este tipo de motor.

Caraterísticas gerais do motor

- *Brushless* - Motor sem escovas com diversas vantagens, dentre as quais se podem destacar a elevada confiabilidade, o ruído reduzido, a vida útil mais longa (ausência de desgaste das escovas), a eliminação da ionização do comutador e a redução de interferências eletromagnéticas;
- *Sensorless* - Um motor sem sensores magnéticos de efeito de *Hall*. O controlador para este motor usa informação que obtém da alimentação ao motor para inferir a posição do rotor. Assim, a construção de um motor *sensorless* é mais simples e tem apenas os 3 fios de alimentação;
- *Gearless e direct drive* - Motor sem engrenagens, com acionamento direto do motor à carga, o que maximiza a eficiência energética;
- 440 Watts a 36 V, 1920 Watts a 48 V, 2880 Watts a 72 V;
- Eficiência da ordem dos 90%;
- Velocidade superior a 60 km/h sem pedalar, instalado em roda de 26 polegadas;
- Compatível com travão de disco e com travão *v-brake*;
- Não necessita de manutenção;
- Massa (7,3 kg);
- À prova de água (IP55);
- Pode ser usado em aros de 20, 24, 26 polegadas ou aro 700c.

4.3.2 Controlador

Existe uma variedade significativa de controladores, sendo que a escolha deve ter por base os requisitos de desempenho a alcançar e o tipo de motor e bateria a usar. Como regra geral, os efeitos de tensão refletem-se principalmente na velocidade, enquanto os da corrente refletem-se principalmente no binário e capacidade de aceleração. Quanto maior a tensão, maior a velocidade. Outra variável a considerar é que se se aumentar a tensão nas baterias, aumenta-se a autonomia, assumindo que as outras variáveis se mantêm.

Assim, escolheu-se o controlador Crystalyte CT4840 trifásico, com ligadores padrão e adequado para motores *brushless* e *sensorless*, com 12 Mosfet's na saída o que permite uma potência máxima contínua de 1920 W (48 V x 40 A).



Figura 4-4: Controlador Crystalyte CT4840. Fonte [35].

4.3.3 Baterias

Para alcançar a performance do projeto, o controlador escolhido exige uma fonte de alimentação de 48 V com capacidade para debitar uma corrente de pico de até 50 A durante alguns segundos e uma corrente contínua de 30 A.

Assim e depois de uma pesquisa cuidada a escolha é o *pack* da “PingBattery”, com as seguintes características:

Quadro 4-2: Características do *pack* de baterias.

Química	LiFePO4 – Lítio Fosfato de Ferro
Tensão	48 V
Capacidade	30 Ah
Potência adequada de Motor	até 1600 W
Dimensão do <i>Pack</i>	300x210x150 mm
Massa	15 kg
Tensão de carregamento	60-61 V
Corrente de carregamento	< 10 A
Corrente de descarga nominal	30 A
Máxima corrente de descarga contínua	60 A
Máxima corrente de descarga de pico	100 A
Ciclo de vida	Capacidade superior a 80% após 2000 ciclos.

Este *pack* é constituído por células prismáticas de 3,2 V e 5000 mAh e integra o BMS (Battery Management System) com LED's de indicação do estado de equilíbrio.



Figura 4-5: *Pack* de baterias de LiFePO4. Fonte [36].

Lítio Fosfato de Ferro - LiFePO4

As características de segurança inerentes à tecnologia LiFePO4 são resultado da incorporação de fosfatos de ferro no cátodo. Estes fosfatos são extremamente estáveis em sobrecarga ou condições de curto-circuito e têm a capacidade de suportar altas temperaturas sem se decomporem. Quando ocorre má utilização, os fosfatos não são propensos a fuga térmica e

não inflamam. Como resultado, a tecnologia LiFePO4 possui as melhores características de segurança para este tipo de aplicação.

A tecnologia LiFePO4 exibe as vantagens dos íons de Lítio acrescidas das dos fosfatos, oferecendo a melhor combinação de características de desempenho, segurança, custo, confiabilidade e ambientais.

Resumo das vantagens:

- Fator de forma flexível;
- Elevada densidade de energia – 96 Wh/kg;
- Alta capacidade;
- Ciclo de vida longo (superior a 1000 ciclos de carga/descarga);
- Extremamente seguras (feitas de materiais estáveis, não explodem nem inflamam);
- Ampla faixa de trabalho (-20 °C a +70 °C);
- Sem efeito de memória.

Baterias e BMS

O *pack* de baterias escolhido de 48 V e 30 Ah, é constituído por dois blocos facilitando o transporte e a montagem, nomeadamente no equilíbrio do peso e na otimização do espaço. Contudo deve ter-se em conta que as duas partes da bateria não são duas baterias. Logicamente e eletricamente, elas são uma única bateria, porque há apenas um BMS que controla ambas. Não devem portanto ser carregadas nem descarregadas separadamente.

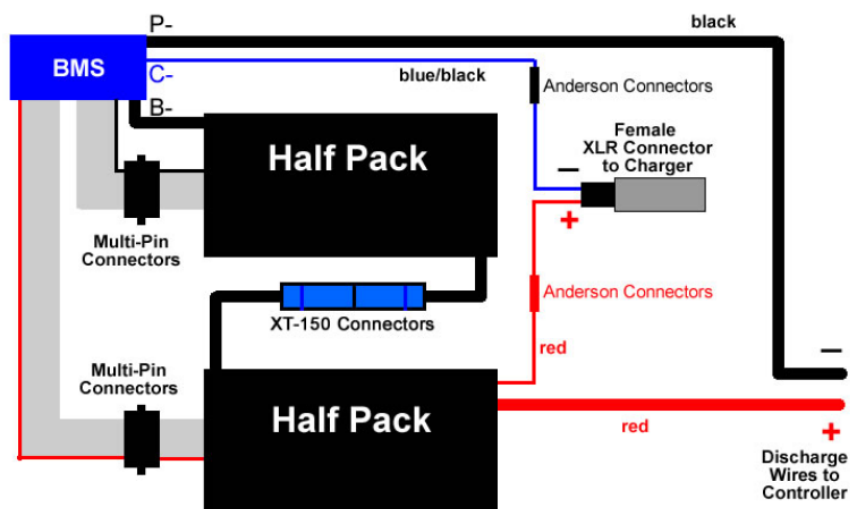


Figura 4-6: Diagrama de blocos do *pack* de baterias. Fonte [36].

Balanceamento das células

Há 16 LED's vermelhos no BMS deste *pack* de baterias. Quando o *pack* está a ser carregado e com carga quase completa, os LED's no BMS acenderão um a um, à medida que cada célula

atinge a carga nominal. Quando todos eles estiverem acesos, o *pack* está carregado e equilibrado, podendo ser utilizado.



Figura 4-7: Led's do BMS. Fonte [36].

Se a bateria não for utilizada por longos períodos, mais de um mês, deverá ser parcialmente carregada antes de a guardar. O melhor nível de carga para o armazenamento é de cerca de 50%. Deverá também ser verificada a tensão pelo menos uma vez por mês. Se a tensão for inferior ao valor nominal, deverá pôr-se à carga.

4.3.4 Carregador

O carregador escolhido é um dos indicados pelo fabricante (9 A Charger for 48 V LiFePO4 Battery Packs – KP6009WL) e que apresenta as seguintes características:

Quadro 4-3: Características do carregador.

Sistema de carga	CC/CV – corrente constante, tensão constante
Tensão de entrada	80 – 260 V
Tensão de saída	60 V
Corrente de funcionamento	9 A
Tipo de ligação de saída	XLR 3
Indicador de estado	Led
Saída DC isolada da AC	
Ventoinha e fusível interno	
Caixa de alumínio	



Figura 4-8: Carregador para o *pack* de baterias de LiFePO4. Fonte [36].

Deve-se ter especial cuidado, quer com a polaridade, quer com curto-circuitos, pois qualquer erro pode destruir a bateria ou o carregador. Para tal deve-se utilizar as ligações originais que não permitem a inversão da polaridade e garantir os devidos isolamentos.

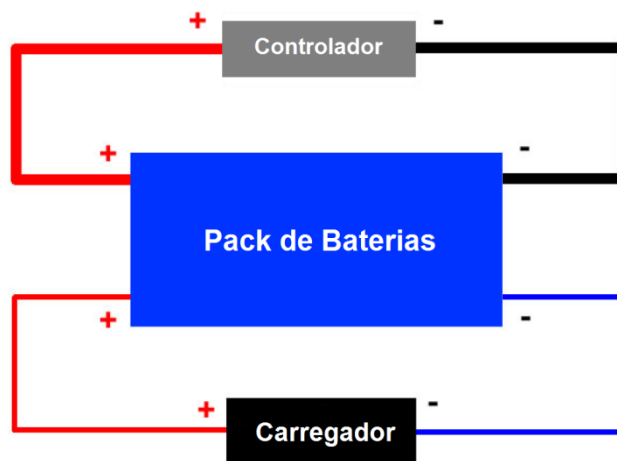


Figura 4-9: Esquema de ligações carregador/bateria/controlador.

4.3.5 Mostrador e gestor de parâmetros da e-bike

Foi selecionado o APM-Display (Active Power Management Display) com um grande ecrã de fácil leitura a partir de qualquer posição de condução, que permite configurar os parâmetros adequados para o sistema, fazer diagnóstico, indicar o nível da bateria, a velocidade, o número de km's percorridos, entre outras funções.



Figura 4-10: APM-Display (*Active Power Management Display*). Fonte [35].

Este pequeno computador deve ser programado antes da primeira viagem, e de acordo com os equipamentos instalados, nomeadamente com os parâmetros da bateria (nível mínimo de tensão, corrente máxima, ...) e o tamanho da roda. Assim, irá desligar o motor quando a tensão da bateria atingir o nível de tensão mínima definido, avisa da necessidade de carga, entre outras potencialidades.

4.3.6 Acelerador

É compatível com o controlador, funciona como o acelerador de uma mota só que ligado a uma resistência variável ou a um sensor magnético de Efeito Hall. No primeiro, ao rodar estamos a alterar o valor da resistência e assim a variar uma tensão. Contudo se quisermos

maior fiabilidade, a opção é o segundo tipo, que produz uma tensão proporcional a um campo magnético externo e geralmente tem um tempo de vida muito superior.



Figura 4-11: Acelerador de punho Efeito Hall. Fonte [35].

4.3.7 Componentes e acessórios

Pedaleiro

A opção passa por utilizar o pedaleiro HammerSchmidt FR da Truvativ. Este baseia-se numa tecnologia com 2 velocidades no sistema de transmissão interno fornecendo uma combinação 22/36 ou 24/38 dentes. A tecnologia permite a mudança rápida e precisa entre estas duas combinações, em qualquer ocasião e até sob cargas elevadas.

O sistema de funcionamento baseia-se na troca de relações de mudanças internas, sem recurso a diferentes pratos pedaleiros. Possui um mecanismo de engrenagem planetária no veio de transmissão. Há duas engrenagens: 1:1 e *Overdrive*. Em 1:1, a roda dentada (prato) faz uma volta completa a cada pedalada. Em *Overdrive*, a relação é de aproximadamente 1:1,6. Rodando os pedais uma vez o prato gira cerca de 1,6 vezes. O desenho compacto oferece ampla altura livre ao solo.



a)



b)

Figura 4-12: Pedaleiro HammerSchmidt. Fonte: [37].

A combinação escolhida é a 24/38 dentes associada a um pinhão de 11 dentes (o mais pequeno que existe), conforme representado na Figura 4-13. Se considerarmos uma frequência de 2 pedaladas (rotações) por segundo que corresponde a 120 rpm, proporciona em *Overdrive* uma rotação no pinhão de 415 rpm o que indica que consegue-se imprimir energia até atingir 52 km/h. Para se atingir as 481 rpm na roda de trás, que corresponde a 60 km/h, usando este conjunto pedaleiro e pinhão, teríamos que aumentar a frequência da pedalada para 139 rpm, conforme se pode ver no Quadro 4-4.

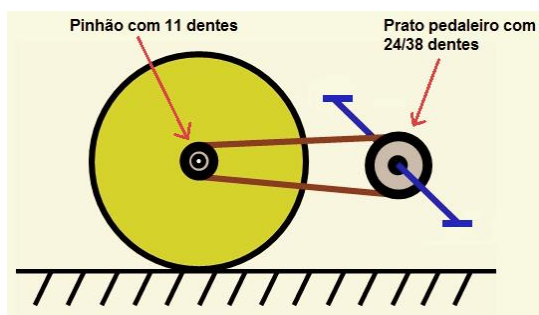


Figura 4-13: Relação da transmissão.

Quadro 4-4: Velocidade do pedaleiro *versus* velocidade da bicicleta, sem ajuda do motor.

Velocidade do Pedaleiro (rpm)	Relação de mudanças [24/38 dentes]	Velocidade da roda motora (rpm) [pinhão de 11 dentes]	Velocidade da bicicleta (km/h)
60	1:1	131	16
	1:1,6	207	26
100	1:1	218	27
	1:1,6	345	43
120	1:1	262	33
	1:1,6	415	52
139	1:1	305	38
	1:1,6	481	60

Restantes componentes e acessórios

Todos os restantes componentes e acessórios são os que compõe os modelos convencionais, sendo que foram escolhidos de acordo com as exigências deste projeto² e o preço.

Quadro 4-5: Componentes e acessórios.

Componente	Descrição
Quadro	FRM Frame 8HP Team XC Anodized Grey Size M
Pedais	Truativ par de pedais Holzfeller
Avanço	Ritchey Avanço WCS 4 AXIS 44 6° 31.8mm 1"1/8 Wet Black
Guiador	Ritchey Guiador Pro 2X Plano 31.8/720mm
Selim	Ritchey Selim Stream Pro V2 Preto
Espigão de selim	Ritchey Espigão de Selim WCS 1 Parafuso Preto
Sistema de travagem traseiro	Magura MT8 Disc Brake - Storm SL Rotor 2012 2000mm Hose - 180mm - Rear IS
Sistema de travagem dianteiro	Magura MT8 Disc Brake - Storm SL Rotor 2012 2000mm Hose - 203mm - Front IS
Suspensão dianteira	Rock Shox Reba RL Dual Air Forks
Caixa de direção	Ritchey 2013 Headset Semi-Integrated - 1 1/8 - Black
Pneus e câmaras	Kenda Par de Pneus Small Block Eight 26x1.95 Flexível
Rodas	RCZ 012 Wheelset Marathon Light/ ZTR Alpine
Corrente	Shimano Corrente
Pinhão	11 dentes
Kit de fios	Wire Set 48V

² Veículo de duas rodas de elevada eficiência e performance.

4.4 Manutenção requerida pela bicicleta elétrica

A manutenção é mínima, assemelha-se muito com a de uma bicicleta convencional. Abaixo estão algumas orientações:

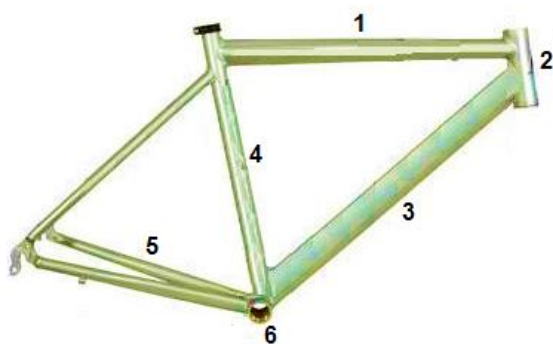
- Manter os travões ajustados corretamente;
- Manter os pneus calibrados, com a pressão adequada e trocá-los conforme o desgaste;
- Manter a bicicleta limpa e lubrificada;
- Verificar pontualmente ou em caso de ruídos anormais os apertos dos diversos componentes elétricos instalados e proceder ao ajuste de porcas e parafusos das rodas, direção e pedais;
- Conferir periodicamente fios e conexões elétricas;
- Realizar o carregamento das baterias de acordo com o referido no ponto 4.3.3 e sempre com o carregador original.

5. Desenho do Quadro

5.1 Introdução

O quadro constitui a coluna vertebral da bicicleta que determina o tamanho, a forma e é onde se fixam todos os outros componentes. Deve ser o mais leve possível e ao mesmo tempo, garantir as condições de segurança, resistência e rigidez para os esforços a que será sujeito. O peso é favorável nas descidas aumentando a estabilidade da bicicleta. Já, em pistas de velocidade, o que favorece é a sua rigidez, proporcionando um melhor comportamento da máquina. O ciclista que desce uma encosta ‘sente’ melhor uma bicicleta mais pesada do que uma demasiado leve. As qualidades mecânicas dependem dos materiais de que é construído e das tecnologias de fabrico utilizadas. Do quadro depende também grande parte do rendimento do conjunto [38] [39].

O quadro tradicional é composto por secções tubulares de diferentes perfis ligados por meio de soldadura simples ou com cachimbos nos topos, conforme se pode ver na Figura 5-1.



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

Figura 5-1: Constituição do quadro de uma bicicleta convencional.

Existe uma ampla gama de materiais utilizados no seu fabrico, nomeadamente o aço, o alumínio, o titânio, o carbono e materiais compostos à base de carbono e liga de resina kevlar com vidro, o crómio-molibdénio entre outros. Verifica-se que em relação ao peso, quanto mais leve mais caro é o quadro.

O quadro deve apresentar uma grande rigidez junto das uniões, pois é nesses pontos onde ocorre um maior esforço mecânico dos materiais. O meio da transmissão central sofre, em particular, esforços consideráveis, sobretudo quando o ciclista se levanta do selim. Apesar dos enormes progressos realizados nos quadros colados, de alumínio ou em fibra de carbono, são ainda os quadros em aço os mais rígidos na zona da transmissão central.

Nas bicicletas convencionais o quadro representa cerca de um quarto do seu peso [14].

5.2 Geometria e medidas dos quadros

A geometria é que define a finalidade e o comportamento que a bicicleta irá ter. É estabelecida pela associação das medidas dos comprimentos dos tubos e dos ângulos do quadro da bicicleta [40].

O correto ajuste do ciclista à bicicleta é fundamental para o bom desempenho do conjunto homem-bicicleta. Deve haver uma boa ergonomia para proporcionar uma pedalada que não provoque desconforto. A principal medida a ser escolhida é a do tamanho do quadro.

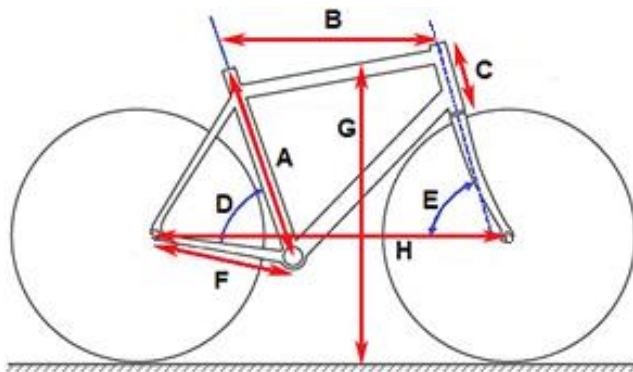


Figura 5-2: Geometria da bicicleta convencional. Fonte: Adaptada de [40]

A - Tubo de selim.

Define o tamanho nominal da bicicleta, sendo que quando se menciona o tamanho do quadro ex:18, significa que essa dimensão **A** tem 18" (18 polegadas). As bicicletas de estrada ou híbridas são medidas em centímetros (padrão europeu) enquanto as *Mountain bikes* são tradicionalmente referenciadas em polegadas. Atualmente, muitas marcas utilizam a numeração S, M, L, XL. A tendência é que cada vez mais os quadros se tornem menores e o espigão de selim e o avanço de guiador se tornem mais compridos, diminuindo assim o tamanho do quadro e consequentemente o peso do conjunto.

B - Tubo superior.

O comprimento do tubo superior do quadro é utilizado como base para definir o comprimento da bicicleta para o ciclista. É medido do centro do tubo dianteiro ao centro do tubo de selim, em linha reta paralela ao chão.

Quando $A = B$ o quadro é denominado “quadrado”. Para encurtar a bicicleta os fabricantes estão a inclinar este tubo superior mas, a distância **B** é sempre medida na horizontal. Para adaptar o comprimento total (**B** + avanço do guidador) da bicicleta ao tamanho do ciclista, de modo que o mesmo não pedale na ponta dos dedos e nem curvado para a frente, basta escolher um avanço e um guidador adequados e manter o correto ajuste da altura do selim (espigão), o qual deve possibilitar o alongamento da perna ligeiramente flexionada, tomando como base o apoio do calcanhar no pedal.

C - Tubo dianteiro que funciona como caixa de direção.

D - Ângulo do tubo de selim e **E** - ângulo do tubo dianteiro da bicicleta.

O equilíbrio dinâmico da bicicleta é bastante influenciado por estes ângulos. Alterações do ângulo do tubo de selim normalmente servem para mudar a postura e o conjunto muscular que o ciclista usa quando está a pedalar.

F - Tubo inferior traseiro do quadro da bicicleta.

O comprimento deste tubo está relacionado com a dimensão da roda e a estabilidade. Mais curto proporciona menor absorção de impactos na traseira da bicicleta, melhor desempenho em subidas e *sprints* tornando-a mais agressiva. Mais longo proporciona maior estabilidade em curvas de estrada em altas velocidades, mais conforto no pedalar pela absorção de impactos na traseira mas torna a bicicleta mais lenta.

G - Altura do tubo superior da bicicleta em relação ao chão. Deve ser inferior à medida **h** do ciclista conforme a Figura 5-3, de forma a que com os pés no chão, mantenha a bicicleta entre as pernas.

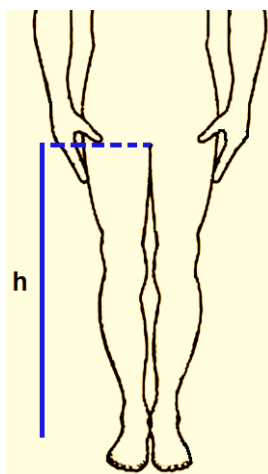


Figura 5-3: Distância da planta do pé calçado até à parte superior do fémur.

H = Distância entre eixos.

Possui influência semelhante a **F** sobre a estabilidade da bicicleta. Bicicletas de competição normalmente são mais curtas do que bicicletas de passeio ou para iniciantes.

5.3 Dimensões da bicicleta

O que determina o tamanho do quadro indicado para um ciclista é a altura **h** apresentada na Figura 5-3. Existem diferentes métodos para se determinar o tamanho do quadro de uma bicicleta. Para as de estrada, o mais aceito na atualidade é a fórmula desenvolvida pelo engenheiro suíço Wilfried Hüggi, que consiste na altura **h** x 0,65, sendo o resultado o tamanho do quadro.

Para *mountain bike*: consiste em medir a altura **h**, transformar em polegadas e subtrair 14, obtendo assim o tamanho do quadro.

Os valores do Quadro 5-1 são apenas um guia básico.

Quadro 5-1: Altura do ciclista *versus* tamanho da bicicleta.

Altura média do ciclista (metros)	Tamanho do quadro - <i>Mountain Bike</i> (polegadas)
1,50 - 1,60	15
1,60 - 1,70	16 - 17
1,70 - 1,80	18 - 20
1,80 - 1,90	21 - 22
>1,90	22

5.4 Elaboração do desenho do novo quadro

O quadro a desenvolver neste projeto nasce a partir de um quadro convencional, com a particularidade de esse ter que albergar internamente as baterias. Assim terá na sua estrutura uma “caixa” com uma tampa de acesso, para a colocação das mesmas.



Figura 5-4: Quadro convencional base do projeto.

Com base nas dimensões do quadro da Figura 5-4 e das baterias da Figura 4-5 deu-se início ao desenho.



Figura 5-5: Desenho da bicicleta convencional.

Procedeu-se ao estudo e simulação de colocação do *pack* de baterias.

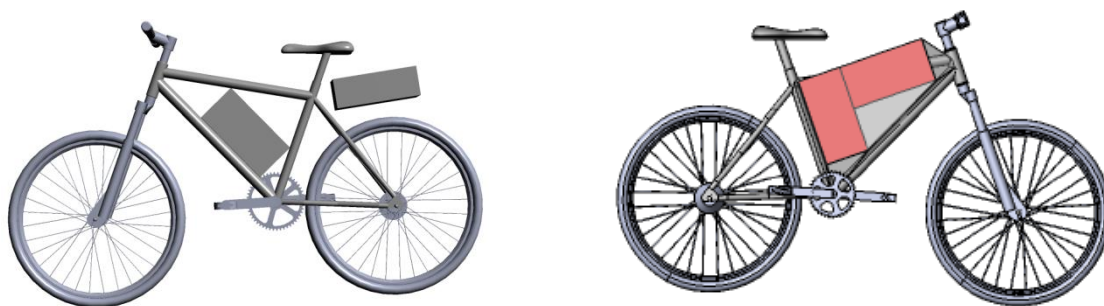


Figura 5-6: Estudo de colocação do *pack* de baterias.

Após o estudo, verifica-se que há necessidade de retirar o tubo superior, pois assim permite alojar as duas baterias, inseri-las e retirá-las facilmente através de uma tampa superior.



Figura 5-7: Bicicleta convencional sem tubo superior.

A zona de integração das baterias é constituída por três peças (parte esquerda, parte direita e tampa superior). Estas devem ser fabricadas em material com resistência e peso equivalente ao da bicicleta de base nomeadamente o alumínio ou o aço. O desenho foi produzido em 3D e

5 – Desenho do quadro

em formato compatível para ser enviado para qualquer empresa de corte a laser, quinagem e soldadura para execução das referidas peças.

A concretização resume-se a cortar o tubo superior da bicicleta, utilizar parte dele para reforçar o quadro entre o tubo do selim e o tubo inferior oblíquo, logo acima da transmissão central, quinar as peças e reforçá-las com solda nas zonas das quinagens, soldar as peças esquerda e direita ao quadro e finalizar com a pintura. Todo este trabalho deverá ser feito em empresa de especialidade, pois deve ser garantida a qualidade dos trabalhos.

Para reter as baterias, foram inseridos suportes que serão aparafusados. A tampa superior é facilmente removível para manutenção e reparação. Relativamente à estanquicidade a tampa possui abas laterais e uma borracha vedante interna colada na mesma.

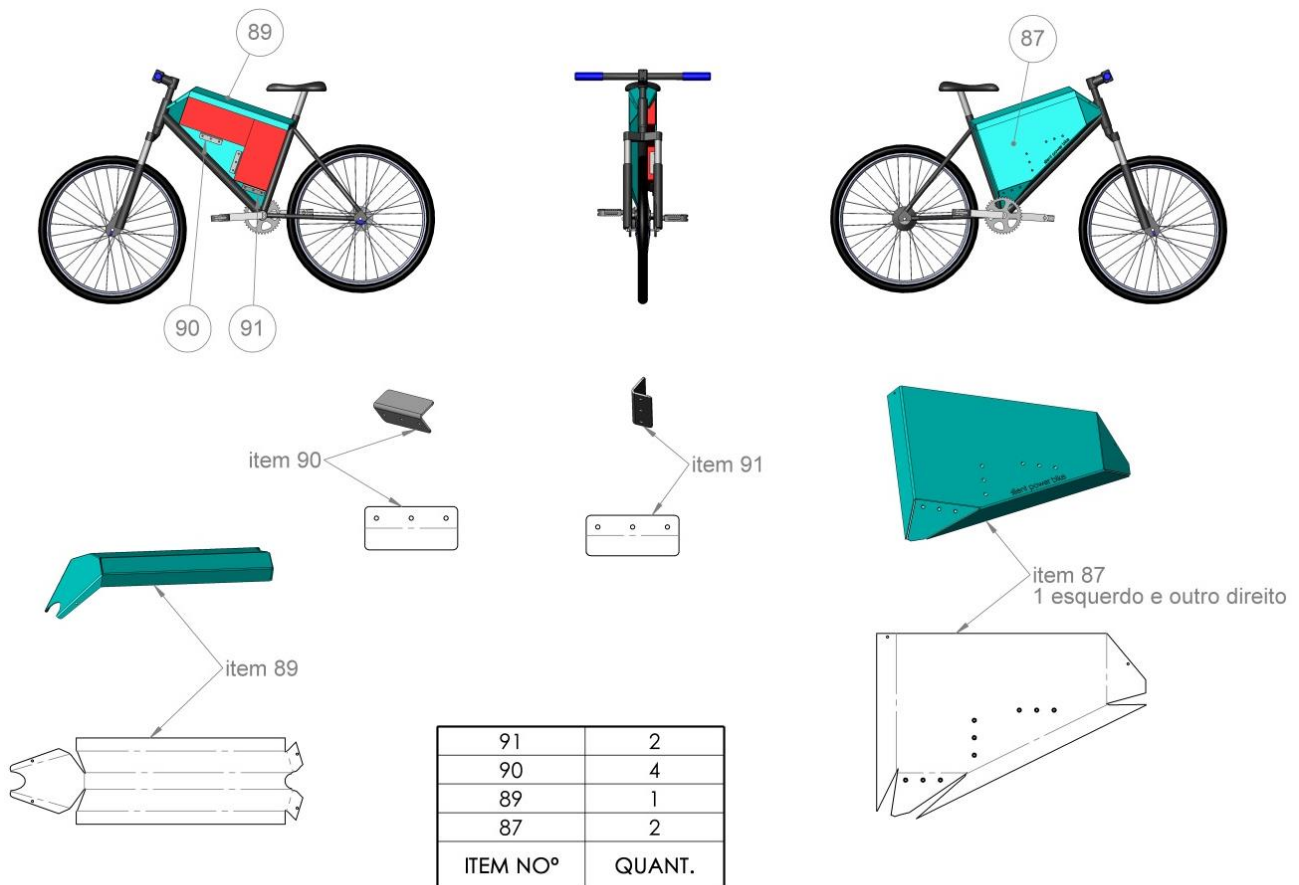


Figura 5-8: Peças que formam o espaço para as baterias.

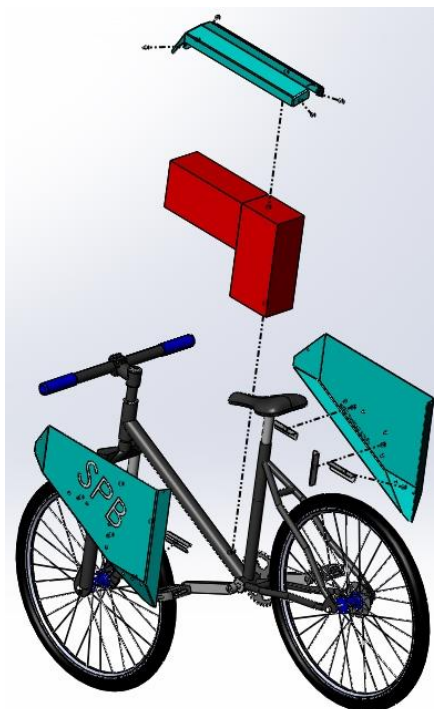


Figura 5-9: Vista explodida das alterações ao quadro.



Figura 5-10: Aspeto final do quadro com a caixa para as baterias.

O controlador será fixo na parte posterior do tubo de selim, permitindo a dissipação de calor necessária.

Todos os restantes componentes referidos no Capítulo 4 são instalados segundo as recomendações do fabricante e de forma a manter a fácil utilização e aprimorando os acabamentos tendo em atenção a componente estética.

Para que seja uma boa *e-bike*, deve ter-se por base um bom quadro e uma excelente seleção de componentes ou, partir de uma boa bicicleta convencional, transformar o quadro, mantendo todos os componentes originais.

6. Simulações

Considerando o estudo cinemático exposto no Capítulo 3 e a performance a alcançar estipulada no Capítulo 4, com suporte na ferramenta Excel, criou-se uma aplicação para efetuar a simulação de diversos cenários, os quais são apresentados e justificados de seguida.

6.1 Parâmetros cinemáticos

FOLHA COM CÁLCULO DE TODAS AS GRANDEZAS UTILIZANDO OS VALORES PREDEFINIDOS NO PROJETO				
Nota: Inserir valores nas células verdes				
Grandeza	Símbolo	Valor	Unidade	
Massa do conjunto [bicicleta + condutor]	m	100	kg	
Aceleração gravítica	g	9,80665	m/s ²	
Coefficiente de resistência ao rolamento	f_r	0,0045		
Densidade do ar	ρ	1,2	kg/m ³	
Área frontal [bicicleta + condutor]	A_f	0,5	m ²	
Coefficiente de resistência aerodinâmica	CD	1		
Velocidade do veículo num dado instante	v	16,6666667	m/s	
Velocidade do vento (sinal negativo se circular contra o vento)	v_w	0	m/s	
Ângulo de inclinação do plano	θ	0	graus	
Rendimento mecânico da transmissão	η_M	100	%	
Rendimento elétrico do conjunto "bateria + controlador + motor"	η_E	80	%	
Perímetro das rodas	p	2,08	m	
Cálculos auxiliares				
Velocidade do veículo num dado instante	km/h	m/s		
Conversão - km/h --> m/s	60	16,6666667		
Conversão - m/s --> km/h	0	0		
Ângulo de inclinação (subida)	%	Graus		
Conversão - Inclinação em % --> Graus	0	0		
Fórmulas	Grandeza	Símbolo	Valor	Unidade
$P = m \times g$	Peso	P	980,665	N
$F_r = P \times f_r \times \cos(\theta)$	Força de resistência ao rolamento	F_r	4,41299	N
$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2$	Força de resistência aerodinâmica	F_D	83,3333	N
$F_g = m \times g \times \sin(\theta)$	Força gravítica	F_g	0	N
$F_i = m \times a \times (1 + \delta)$	Força de inércia	F_i		Desprezada
$\delta = \frac{J}{m \times r^2}$				
$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i$	Força resistente total	F_t	87,7463	N
$P_m = F_t \times v$	Potência entregue às rodas	P_m	1462,44	W
$P_e = \frac{P_m}{\eta_M \eta_E}$	Potencia elétrica	P_e	1828,05	W
$v_r = \frac{v \times 60}{2 \times \pi \times r_r}$	Velocidade das rodas	v_r	480,769	rpm

Figura 6-1: Página inicial da folha de cálculo.

Nesta folha de cálculo podemos fazer as simulações relativas ao comportamento cinemático da bicicleta, isto é, podem-se variar os diferentes parâmetros envolvidos no estudo e conhecer as diferentes forças necessárias, velocidades, potências, etc. Para cada simulação são expostos os respetivos gráficos para uma melhor visualização dos resultados.

6.1.1 Resultados das simulações

1.ª Simulação

Apresentam-se nas figuras seguintes a força e a potência necessárias a aplicar ao veículo para atingir uma determinada velocidade.

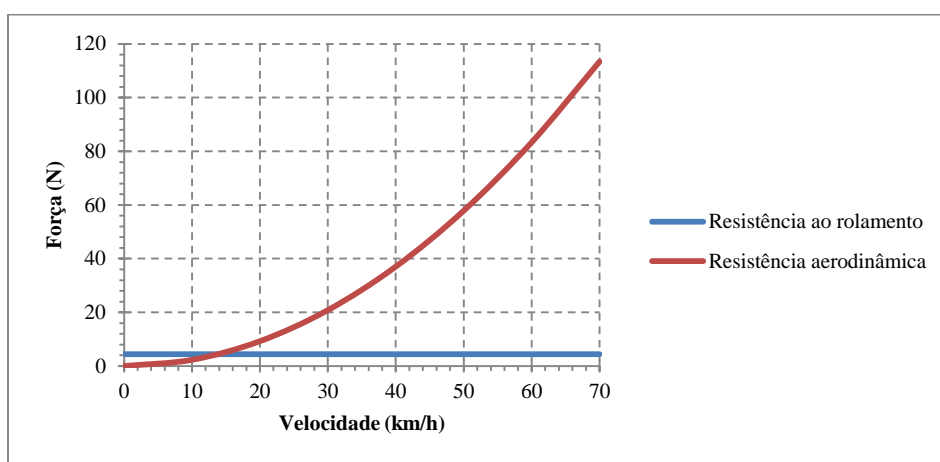


Figura 6-2: Força *versus* velocidade, considerando as resistências aerodinâmica e de rolamento.

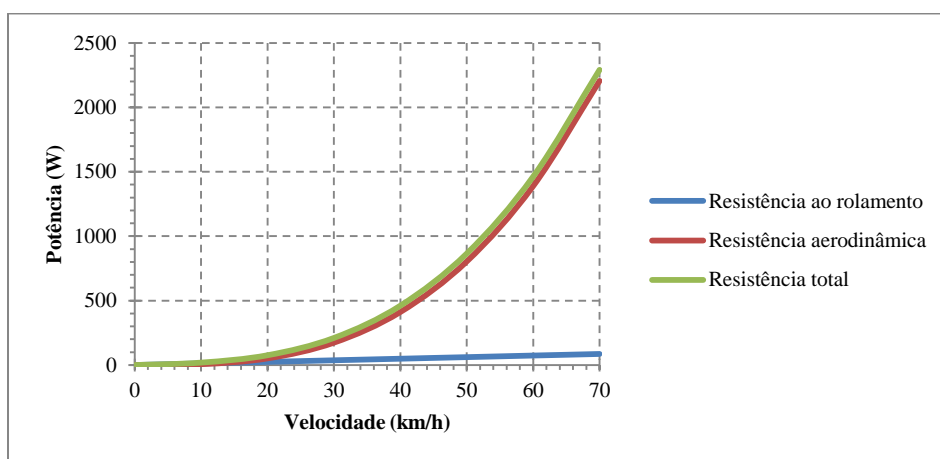
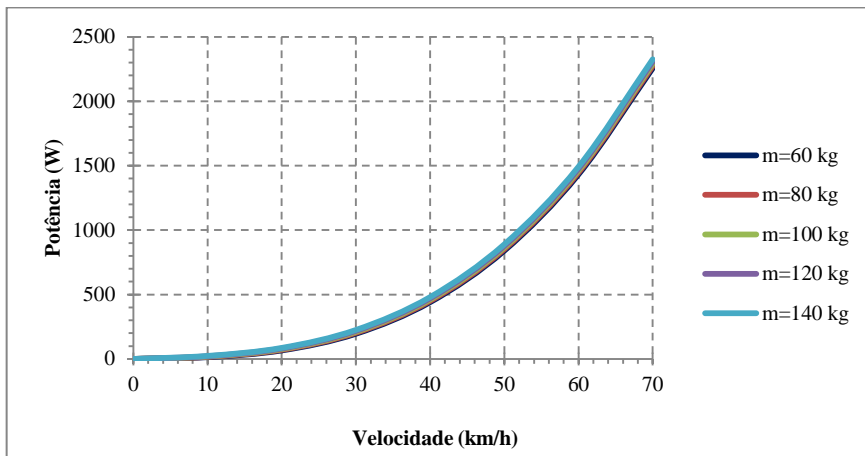


Figura 6-3: Potência *versus* velocidade, considerando as resistências aerodinâmica e de rolamento, e o somatório das duas.

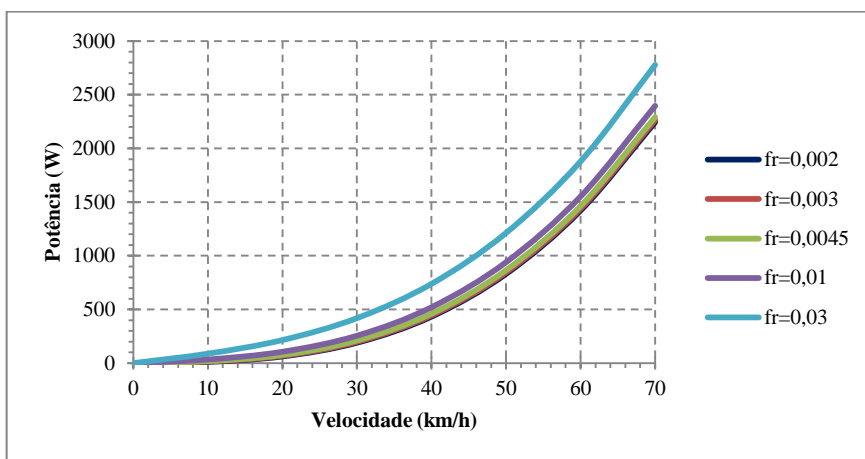
Conforme o estudo anteriormente exposto, pode constatar-se o grande impacto provocado pela resistência aerodinâmica assim como a relação cúbica entre a potência e a velocidade, notando-se o agravamento desse efeito para velocidades superiores a 40 km/h.

2.^a Simulação

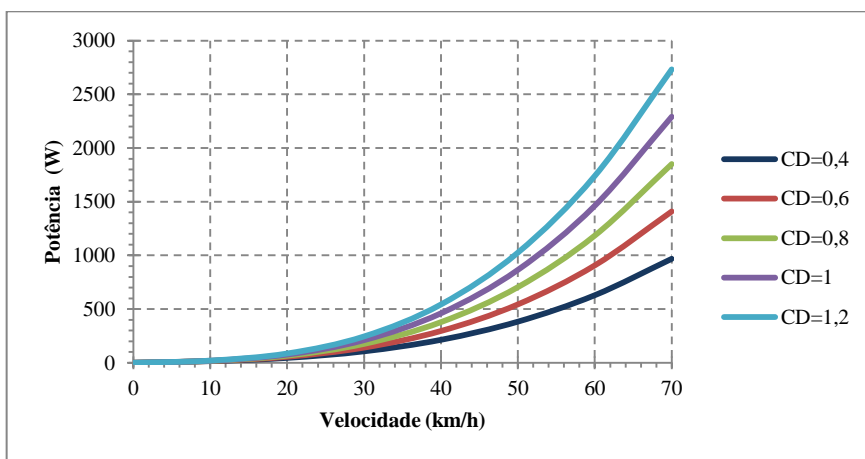
Na Figura 6-4 exibem-se as potências necessárias para alcançar uma determinada velocidade em função da variação de alguns dos parâmetros envolvidos:



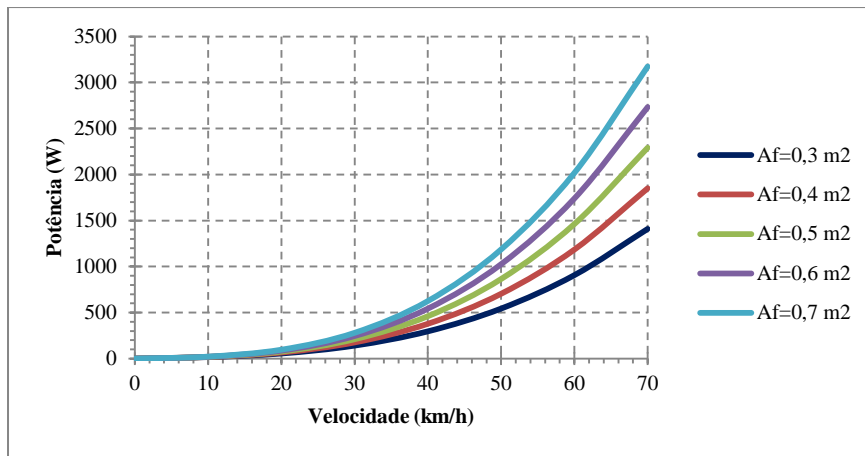
a) Variação da massa da bicicleta e condutor – m.



b) Variação do coeficiente de resistência ao rolamento – fr.



c) Variação do coeficiente de resistência aerodinâmica – C_D .



d) Variação da área frontal – A_f .

Figura 6-4: Potência *versus* velocidade, com variação dos parâmetros envolvidos.

A partir desta simulação, facilmente se pode constatar quais os parâmetros em que mais se deve atuar para reduzir a potência necessária.

3.ª Simulação

Esta simulação pretende mostrar a potência necessária para alcançar uma determinada velocidade em função dos declives do plano de circulação.

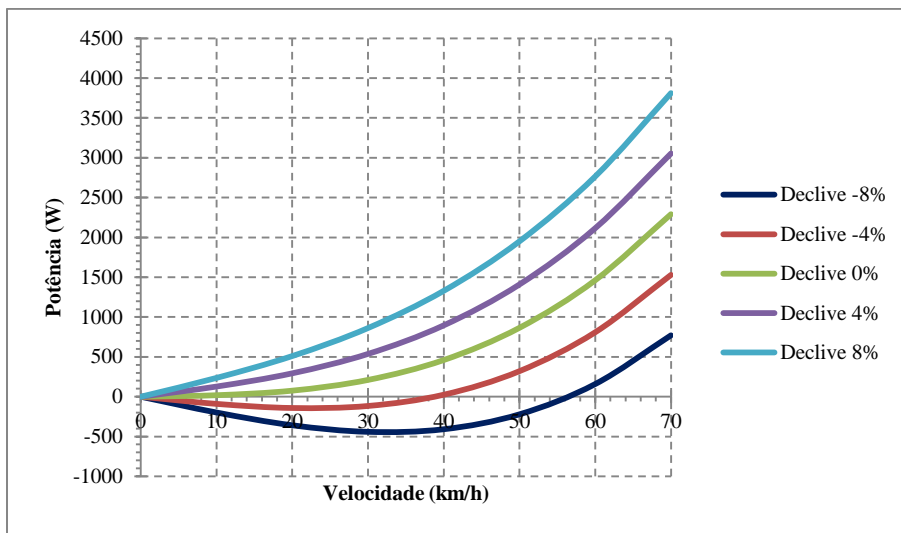


Figura 6-5: Potência *versus* velocidade, para diferentes ângulos de inclinação.

Pode observar-se que nas descidas a necessidade de despendere energia verifica-se só a partir de determinadas velocidades.

4.^a Simulação

Pretende-se com esta simulação mostrar a potência necessária para alcançar uma determinada velocidade em função de diferentes velocidades de vento (a favor e contra o movimento).

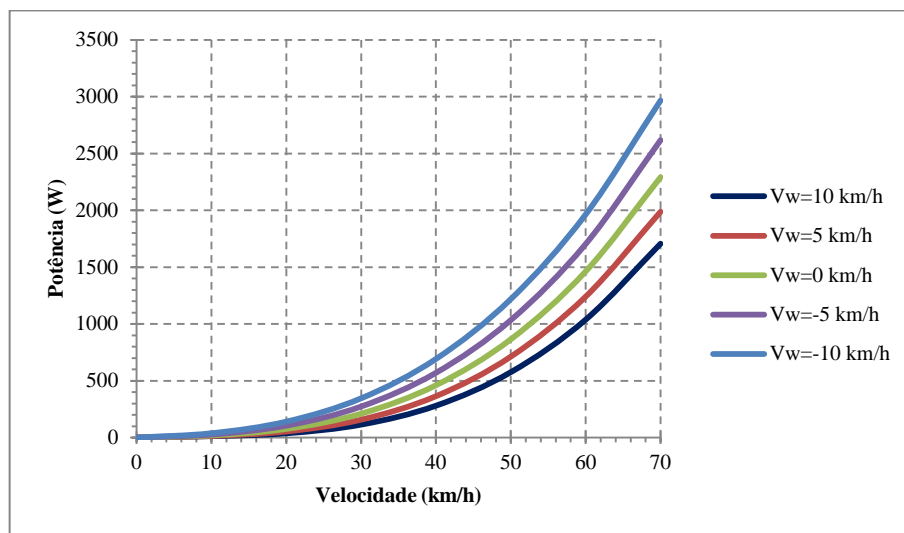


Figura 6-6: Potência *versus* velocidade, para diferentes velocidades e sentido do vento.

Com velocidades de vento em sentido oposto à velocidade do veículo (sentido negativo), aumenta significativamente a potência necessária para conseguir os mesmos resultados.

6.2 Autonomia da bicicleta e custos associados

6.2.1 Consumo e autonomia

O consumo da bicicleta elétrica está relacionado com a potência exigida pelo motor. Este resulta da velocidade média, do percurso (subidas e descidas), do vento de frente ou de trás, do tipo de piso, da carga, etc. Assim, a autonomia da bicicleta depende desse consumo e da capacidade da bateria.

Podemos calcular a mesma, considerando alguns pressupostos:

- Um ciclista regular a pedalar com vigor consegue produzir cerca de 150 W, a mesma potência que o motor da bicicleta elétrica necessita de fornecer para manter uma velocidade constante de 26,4 km/h em terreno plano, com bom piso, sem vento e sem dar aos pedais, de acordo com o estudo anterior apresentado no gráfico da Figura 6-3;
- Considerando o rendimento do *power drive* de 80%, necessitamos de cerca de

$$150W/0,8 \cong 188 W$$
 de potência fornecida pela bateria para a referida velocidade com as condições definidas.
- As características da bateria utilizada são as expostas no Quadro 4-2 da página 40.

Uma bateria de 48V e 30Ah tem uma energia disponível de

$$W = U \times I \times t = 48 \times 30 \times 1 = \mathbf{1440 Wh}$$

Considerando o DOD³ de 80%, então iremos utilizar 80% desta energia, isto é

$$80\% \times 1440Wh = \mathbf{1152 Wh}$$

Nestas condições a bicicleta andará durante:

$$1152Wh/188W \cong \mathbf{6,13 h}$$

que à velocidade de 26,4 km/h permitirá percorrer

$$6,13h \times 26,4km/h \cong \mathbf{162 km}$$

com um consumo de

$$1152Wh/162km \cong \mathbf{7,1 Wh/km}$$

Refazendo estes cálculos para incluir o apoio da pedalada e considerando que apenas contribuimos com 60W (uma pedalada de passeio), necessitamos de

$$(150W - 60W)/0,8 \cong \mathbf{112,5 W}$$

de potência fornecida pela bateria.

Assim, a bicicleta andará durante:

$$1152Wh/112,5W = \mathbf{10,24 h}$$

que à velocidade de 26,4 km/h permitirá percorrer

$$10,24h \times 26,4km/h \cong \mathbf{270 km}$$

com um consumo de

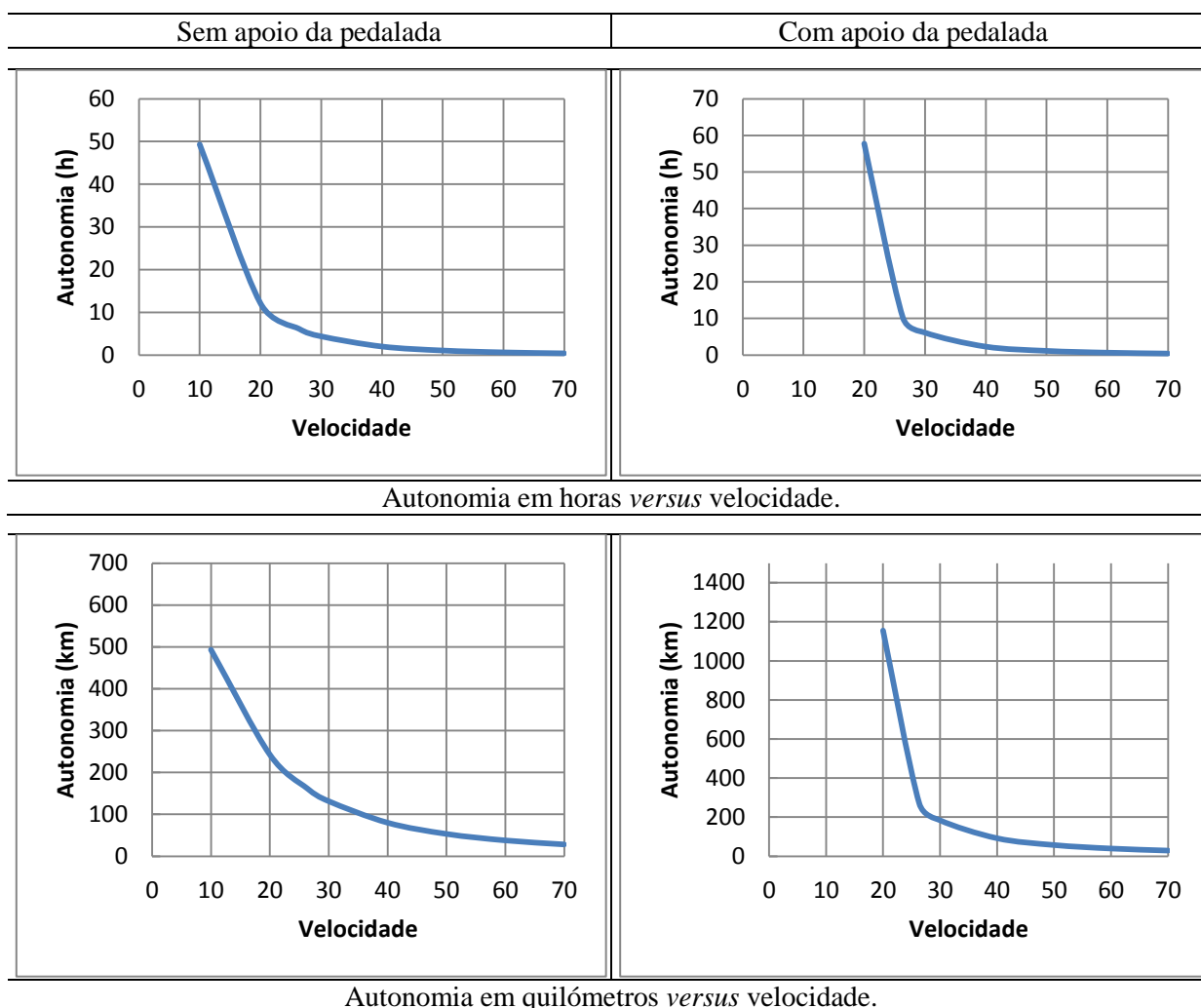
$$1152Wh/270km \cong \mathbf{4,3 Wh/km}$$

Conclui-se, que podemos percorrer cerca de 270 km à velocidade de 26,4 km/h com um gasto energético de 1152 Wh, com esforço repartido entre ciclista e motor, nas condições estipuladas (em terreno plano, com bom piso, sem vento).

A simulação pode ser vista no Quadro 6-1 ou nas tabelas retiradas do Excel no anexo 5.

³ DOD – do Inglês *Depth of Discharge* ou profundidade de descarga da bateria medida em percentagem. DOD de 80% indica que a bateria é descarregada 80% da sua capacidade, ficando com 20% de carga.

Quadro 6-1: Simulação de autonomia.



6.2.2 Custos da energia

Nas condições anteriores, e com esforço repartido entre ciclista e motor, percorreu-se 270 km e gastou-se 1152 Wh. Considerando que o carregador terá um rendimento de 80% precisamos de consumir da rede elétrica

$$1152/0,8 = \mathbf{1440 Wh}$$

para carregar a bateria.

Como o kWh custa 0,1728 €⁴ na tarifa simples, logo a recarga da bateria custará

$$1440Wh/1000 \times 0,1728 \cong \mathbf{0,249 \text{ €}}$$

Este é o custo energético para percorrer os 270 km. Se fizermos o cálculo para o consumo em 100 km como é típico aparecer, então temos um custo de

⁴ Preço do kWh em janeiro de 2013 com IVA (mercado regulado).

$$(100 \times 0,249)/270 = \mathbf{0,092 \text{ €/100 km}}$$

Segundo o fabricante da bateria, esta com DOD de 80%, ao fim de 2000 ciclos ainda possui mais de 80% da sua capacidade. Assim se pressupomos que ela ao fim desses 2000 ciclos deve ser substituída, e considerando que atualmente ela custa 850€, o custo de depreciação da bateria por cada 100 km é

$$850\text{€}/(2000 \text{ ciclos} \times 270\text{km}) \times 100\text{km} \cong \mathbf{0,16 \text{ €/100 km}}$$

Logo o custo total por cada 100 km percorridos é de

$$0,092 + 0,16 \cong \mathbf{0,252 \text{ €/100 km}}$$

6.3 Cálculo de impacte ambiental – (emissões)

A redução das emissões de carbono é uma responsabilidade social de todos. Nos últimos anos, a Europa tem aplicado várias medidas para a redução das mesmas.

Portugal planeia reduzir entre 50 a 60% as emissões de gases com efeitos de estufa até 2050, e é no sector dos transportes e na produção de eletricidade que há maior potencial de redução, pois representam mais de metade das nossas emissões de carbono, de acordo com o “Roteiro Nacional de Baixo Carbono”, apresentado pelo Ministério do Ambiente.

No setor dos transportes, a preferência por veículos híbridos e elétricos e a promoção de meios alternativos ao automóvel, são algumas das opções para essa redução. Já no setor elétrico, apesar dos significativos progressos no desenvolvimento da capacidade de produção de energia proveniente de fontes renováveis, mais de 50% da energia elétrica consumida no país já tem origem nessas fontes. Mas, para responder a toda a procura tem que se recorrer ainda à produção convencional em centrais termoelétricas que utilizam combustíveis fósseis.

As emissões de CO₂ por kWh gerado dependem da forma de produção. No ano de 2012 em Portugal continental, de acordo com dados de rotulagem disponíveis no relatório anual publicado pela ERSE [41], os comercializadores EDP e EDPSU apresentaram respetivamente 389 e 229 g/kWh de emissões específicas de CO₂. Neste estudo vai-se considerar um valor intermédio de 300 g/kWh de CO₂.

Assim e neste caso para 100 km teremos um consumo de:

$$4,3 \text{ Wh/km} \times 100 \text{ km} = \mathbf{430 \text{ Wh/100 km}}$$

emitindo

$$0,43 \text{ kWh} \times 300 \text{ g/kWh} = 129 \text{ g de CO}_2 \text{ por 100 km.}$$

O que corresponde a 100 vezes menos emissão que um automóvel comum, com tendência para reduzir ainda mais com o aumento da produção renovável. Assim, não só se reduzem as emissões de CO₂ do setor dos transportes e a dependência das importações de petróleo, como se protegem os consumidores dos aumentos constantes no preço dos combustíveis.

6.4 Benefícios económicos e ambientais

De acordo com as vantagens de utilização da bicicleta e nomeadamente da bicicleta elétrica explanadas no Capítulo 2, esta pode ser utilizada para as viagens entre casa e o trabalho e em pequenas deslocações no dia-a-dia. Supondo que se substitui o automóvel 5 dias por semana durante 8 meses por ano, considerando 1 mês de férias e os restantes 3 meses podem desmotivar o uso da bicicleta, e pressupondo que ao fim de semana se passeia de carro com a família.

Se de carro se faziam 25 km por dia nas deslocações atrás referidas, então deixaria de utilizar o carro em:

$$25 \text{ km} \times 5 \text{ dias/semana} \times 4,33 \text{ semanas/mês} \times 8 \text{ meses/ano} \cong 4330 \text{ km/ano}$$

Assumindo um carro a gasolina com emissões de 120 gCO₂/km, a gastar neste tipo de deslocações 8 litros/100km, a 1,65 €/litro⁵ e 220 € de manutenção por cada 15000 km, temos uma despesa anual de:

Quadro 6-2: Custos anuais associados ao uso de automóvel.

Combustível	572 €
Manutenção	64 €
Total	636 €

e com emissões de

$$4330 \text{ km} \times 120 \text{ gCO}_2/\text{km} \cong \mathbf{520 \text{ kgCO}_2}$$

Já com a bicicleta elétrica, temos uma despesa anual de:

Quadro 6-3: Custos anuais associados ao uso da bicicleta.

Energia Elétrica	3,98 €
Bateria	6,93 €
Total	10,91 €

e com emissões de

$$4330 \text{ km} \times 1,29 \text{ gCO}_2/\text{km} \cong \mathbf{5,6 \text{ kgCO}_2}$$

Traduzindo-se num benefício anual com a utilização da bicicleta de:

Quadro 6-4: Poupança anual com o uso da bicicleta.

Monetária	625,09 €
CO ₂ (Emissão evitada)	514,4 kg

⁵ Preço da gasolina sem chumbo 95 em janeiro de 2013.

Com esta análise pode-se concluir em termos económicos é um excelente investimento e em termos ambientais dá um contributo como nenhum outro meio para a sustentabilidade.

Se se considerar a recarga da bateria em tarifa bi-horária no período correspondente às horas de vazio e se se calcularem os presumíveis custos de estacionamento do veículo automóvel, os benefícios serão ainda mais significativos.

As emissões de CO₂ em Portugal no setor dos transportes relativos a 2009, segundo dados da APA⁶, rondam os 1700 kg de CO₂/habitante/ano. Se considerarmos o objetivo de Portugal reduzir 20% em todos os setores até 2020, corresponde a

$$1700 \times 0,2 = 340kg/ano$$

Nas condições atrás indicadas o uso da bicicleta elétrica permite uma redução de 514,4 kg de CO₂/ano, que corresponde a 50% acima do objetivo nacional para o ano de 2020 na área dos transportes.

Este estudo tanto económico como ambiental é feito com o pressuposto de um utilizador de automóvel deixar de o ser nas condições descritas. Para qualquer outra situação, de mais ou menos quilómetros, uso de transportes públicos, etc. é sempre possível chegar a resultados agradáveis na utilização da bicicleta elétrica.

A concretização do potencial desta via/solução exigirá uma grande determinação em agir, por parte de todos os intervenientes, pois permite benefícios significativos que o país na situação em que se encontra, não se pode dar ao luxo de desperdiçar. Os decisores políticos devem adotar medidas que promovam o desenvolvimento e adoção deste tipo de soluções, que podem trazer resultados a diversos níveis para o país. Para além de serem eficientes em custos e em questões ambientais, podem gerar novos negócios e novas oportunidades de emprego, ao mesmo tempo que encorajam um comportamento mais sustentável.

6.5 Reflexo do que está a ser feito noutros países

As bicicletas estão a voltar a Itália, um país onde andar de bicicleta como forma de transporte pessoal fica atrás de muitos outros países europeus. Em 2012, pela primeira vez desde a Segunda Guerra Mundial, o país teve mais vendas de bicicletas do que vendas de automóveis. Segundo o Wall Street Journal as bicicletas movidas a bateria, estão-se a tornar cada vez mais populares em Itália. Enquanto as vendas de automóveis caíram mais de 25 por cento relativamente a 2011, a venda de bicicletas elétricas cresceu 10 por cento.

Em Espanha está-se a assistir a uma verdadeira revolução, pois cidades como Vitória, Barcelona, San Sebastian e Sevilha estão a fazer grandes investimentos e promover a bicicleta como meio de transporte pessoal.

⁶ APA – Agência Portuguesa do Ambiente

As *e-bikes* são a forma mais popular de veículo elétrico em todo o mundo. Só no ano 2012, foram vendidas cerca de 30 milhões, com a China a dominar o mercado. No entanto, a *Pike Research*⁷ prevê o aumento significativo das vendas noutros países, nomeadamente da Europa, como foi já referido e está a acontecer em Itália.

⁷ <http://www.pikeresearch.com/>

7. “Branding”

O domínio do “branding” ou marca constitui um importante ativo hoje crucial de uma empresa e pretende transmitir de forma eficaz as qualidades do produto ou dos serviços por esta oferecidos, bem como uma imagem que deve ser facilmente assimilada e retida pelos clientes. O seu valor é usado como estratégia para diferenciá-la da concorrência, mantendo-se no mercado com a fidelização de clientes e conquistando novos.

As marcas ambiciosas constituem-se como símbolos emocionais e à medida que se tornam importantes para a vida das pessoas, deixam de representar produtos, serviços ou empresas, para representar desejo e valor associado ao produto.

O *branding* pode ser considerado um sistema de ações interdisciplinares que visa o estabelecimento de imagens, percepções e associações com as quais o consumidor se relaciona com um produto ou empresa. Assim sendo, consiste em gerir uma marca atraindo consumidores para a mesma [42] [43].

7.1 Criação da marca

Identificação dos atuais problemas associados

- Saturação dos espaços urbanos;
- Custo crescente do estacionamento;
- Poluição atmosférica e sonora elevadas;
- Utilização massiva de fontes de energia não renováveis;
- Aumento contínuo no custo do petróleo;
- Diminuição geral do poder de compra dos cidadãos, com maior relevância na população jovem.

Objetivos

Dar um contributo para a sensibilização e promoção do uso da bicicleta, e mais especificamente da bicicleta elétrica, como alternativa de mobilidade suave, de forma a mitigar os problemas atrás identificados.

Pontos fortes para a definição da marca

- Sistema de mobilidade sustentável;
- Benefícios para a saúde, decorrentes do exercício físico;
- Melhoria da qualidade de vida nas cidades com a diminuição das emissões e ruído;
- Humanização do espaço público;
- Descongestionamento do trânsito e da via pública;
- Diminuição da fatura energética.

Posto isto, foram identificadas várias expressões que pudessem, da melhor forma possível refletir esses objetivos; destacando-se as seguintes:

<i>Silent Power Bike</i>
Bicicleta de potência silenciosa
<i>Sustainable mobility with electric bike</i>
Mobilidade sustentável com bicicleta elétrica
<i>Sustainable mobility system</i>
Sistema de mobilidade sustentável
<i>Electric bikes for sustainable mobility</i>
Bicicletas elétricas para a mobilidade sustentável
<i>Bike mobility is ecomobility</i>
Mobilidade de bicicleta é eco mobilidade
<i>Intelligent mobility system with electric bike</i>
Sistema de mobilidade inteligente com bicicleta elétrica
<i>Electric bicycle, economic and ecological</i>
Bicicleta elétrica, económica e ecológica
<i>Electric bike for urban mobility</i>
Bicicleta elétrica para mobilidade urbana

O Inglês é hoje a língua mais utilizada, sobretudo pela população jovem, assim e depois de ouvidas várias opiniões considerou-se que a marca será SPB iniciais de “*Silent Power Bike*”. Uma expressão fácil de pronunciar e memorizar e que as pessoas identificarão facilmente a marca.

7.2 Criação do slogan

Um *Slogan* deve ser uma frase de fácil memorização que resuma as características de um produto, Criou-se um que complementa a ideia principal que está associada ao produto.

Produto: *e-bike*

Marca: *SPB*

Slogan: *Ecomobility Systems*

Associado à marca e ao *Slogan*, são também realçadas algumas características do produto:

- Mobilidade elétrica
- Elevada potência
- Velocidade até 60 km/h
- Grande autonomia
- Travões de disco
- Carga em 3h
- Emissão Zero
- Silenciosa

A SPB é uma bicicleta elétrica, leve, ágil e divertida. Possui 2 velocidades para pedalar e uma unidade *direct drive* de 2 kW que permite atingir velocidades de 60 km/h sem transpirar.

7.3 Conceção do logotipo

Pretende-se criar um logotipo que reflita a mobilidade elétrica de duas rodas e que transmita as mais-valias e os benefícios do produto.

Com base nesta ideia, iniciou-se a pesquisa na Internet sobre esta área, nomeadamente ver o que existe, o que é mais apelativo; para poder diferenciar com inovação. A pesquisa facultou ideias para a criação de um logotipo original. Quanto mais informação melhor!

No Quadro 7-1 expõe-se uma amostra com alguns resultados desta pesquisa.

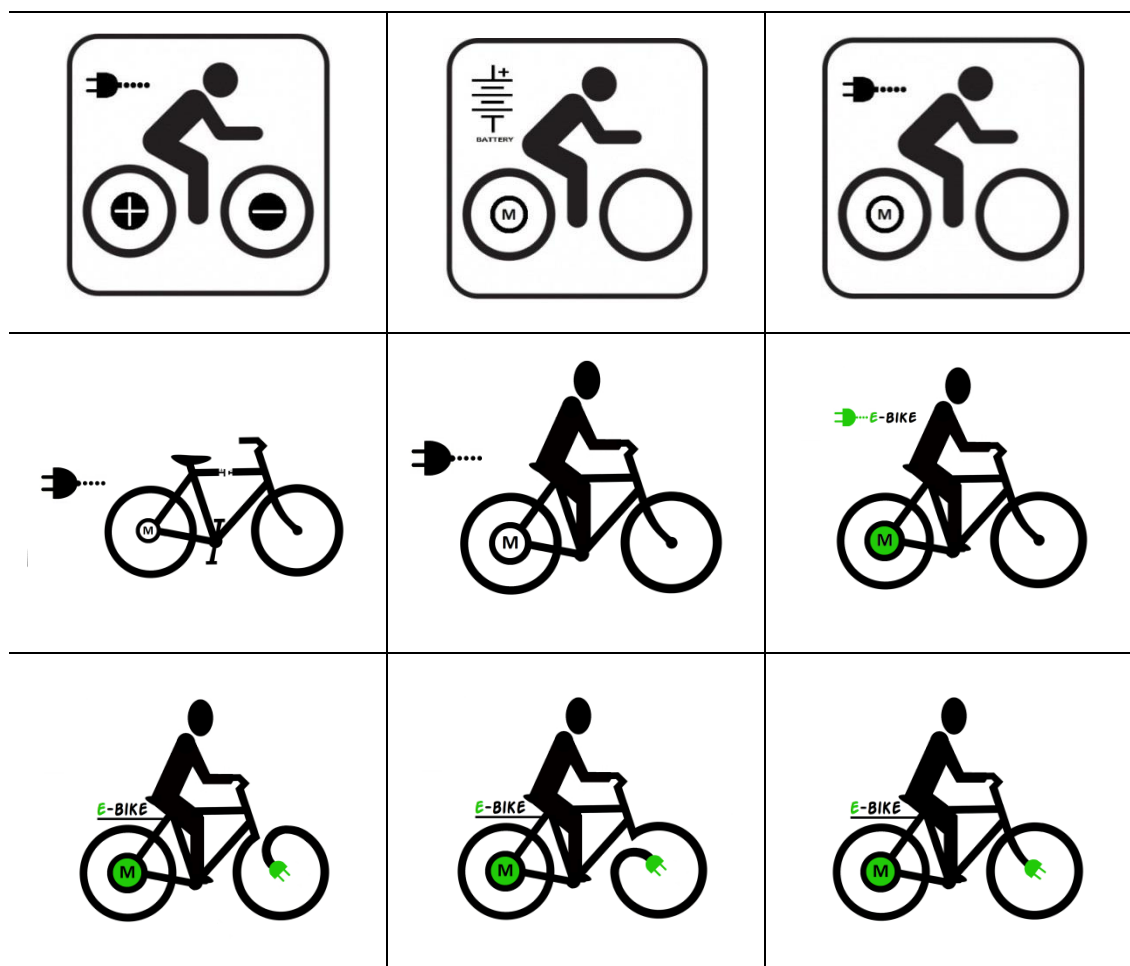
Quadro 7-1: Ideias encontradas.

Uso do *brainstorming* para fundir as ideias

O *brainstorming* é literalmente uma “tempestade de ideias”. Nesta fase, foi preciso esboçar tantas ideias quanto possível. Abaixo estão representados de forma sequencial alguns esboços que foram sendo gerados para este projeto.

Quadro 7-2: Evolução sequencial dos esboços do logotipo.



Depois de algumas iterações, o logotipo começou a aproximar-se da forma final. Chegou-se por fim à versão que representa a bicicleta elétrica assistida, onde é visível a forma descontrainda do ciclista; o motor na roda traseira, sendo este representado pelo símbolo M dentro de uma circunferência; a ficha que transmite a ideia de mobilidade elétrica e o texto *e-bike* que significa bicicleta elétrica (*electric bike*).

Como cores primárias foram selecionadas o preto e o verde. Aqui o verde representa ambiente, sustentabilidade. Seguiu-se a inserção de cores brilhantes que realçam os pontos alusivos da mobilidade elétrica. Para melhor transmitir a ideia de eletricidade e nomeadamente o ‘e’ de *e-bike*, foi escolhida uma fonte, com a qual este se assemelha ao ‘e’ manuscrito que representa o eletrão.



Figura 7-1: Versão final do logotipo.

7.4 Elaboração do *website*

Foi elaborado um *website*, onde, para além da publicação dos dados gerais do projeto, é também utilizado como forma de disseminação de conhecimento para a sensibilização e promoção do uso da bicicleta, e mais especificamente da bicicleta elétrica, como alternativa de mobilidade suave.

Este está alojado no seguinte endereço:

<http://silentpowerbike.webnode.pt/>

Tem o nome da bicicleta encontrado atrás e os respetivos *slogan* e logotipo. É constituído por seis domínios, tornando-se um *website* intuitivo e de fácil navegação, que permite ao utilizador inteirar-se rapidamente com os objetivos deste projeto.



Figura 7-2: Cabeçalho do *website* e domínios.

7.4.1 Domínios da informação exposta

Em todos os domínios aparecem os logotipos da ESTGV e do DEE, que quando se clica sobre esses, é estabelecida a ligação à respetiva página institucional.

Página Inicial

Nesta pode-se perceber qual o objetivo do *website* e deste projeto, sendo enaltecidas as vantagens e características da bicicleta elétrica. Em simultâneo pode responder-se a um inquérito acerca deste tema.

Projeto

Aqui define-se o projeto, quais os objetivos e os separadores do lado esquerdo permitem consultar os diferentes capítulos da dissertação.

Notícias

As notícias atuais deste tema são disponibilizadas neste domínio.

Fotografias

Estão disponíveis fotos de diferentes modelos de bicicletas elétricas de diversos fabricantes.

Vídeos

Aqui encontra-se uma seleção de vídeos relacionados com o tema, nomeadamente, mostram as características de determinadas bicicletas elétricas, sensibilizam para as vantagens deste tipo de mobilidade, mostram cidades exemplares em mobilidade sustentável e etc.

The screenshot shows the website interface for 'SPB - Silent Power Bike'. The header features the title and a logo of a person riding an e-bike. Below the header is a navigation menu with options: PÁGINA INICIAL, PROJETO, NOTÍCIAS, FOTOGRAFIAS, **VÍDEOS**, and LINK'S. A search bar with a 'PROCURAR' button is also present. The main content area is titled 'VÍdeos' and contains a list of video entries:

- 06-11-2013 23:49: [Viseu tem disponíveis bicicletas eléctricas para uso gratuito](#) (Ler mais)
- 06-11-2013 23:16: [Comece a pedalar: conheça os benefícios da bicicleta](#) (Ler mais)
- 06-11-2013 23:14: [Saiba como andar de bicicleta em segurança nas grandes cidades](#) (Ler mais)
- 06-11-2013 23:13: [De bicicleta na cidade](#) (Ler mais)
- 06-11-2013 23:10: [Hora de ponta na Holanda](#) (Ler mais)
- 06-11-2013 23:08: [Programa Cidades Sustentáveis](#) (Ler mais)
- 06-11-2013 23:06: [Copenhagen - a cidade das bicicletas](#) (Ler mais)

Figura 7-3: Website com visualização da opção - Vídeos.

Link's

Neste domínio encontram-se diversos *link's* que dão acesso a *websites* de *e-bike's*, *pedelec's*, *kit's* de conversão e acessórios bem como a notícias e eventos relacionados com bicicletas.

8. Conclusões

Com base nos estudos desenvolvidos foi demonstrado que o veículo elétrico de duas rodas constitui a forma energeticamente mais eficiente de deslocação e um meio de transporte que apresenta muitas vantagens. Os condicionalismos económicos levam as pessoas a tentar encontrar formas inteligentes e menos dispendiosas de se deslocarem. Trocar o carro pela bicicleta constitui cada vez mais uma opção de mobilidade, com os benefícios que foram mencionados.

Atualmente a falta de segurança para o uso dos velocípedes constitui um dos principais fatores desincentivadores do uso da bicicleta nas estradas. À semelhança do que tem vindo a ser feito em tantos países europeus, é necessário proceder a mais alterações no nosso código da estrada, para acautelar de forma bem explícita os direitos dos que desejem optar por esta forma de mobilidade, garantindo elevada segurança aos ciclistas na via pública. A nível municipal e intermunicipal devem ser revistos os planos de mobilidade para potenciar cada vez mais o conceito de mobilidade sustentável com recurso aos modos suaves de transporte, nomeadamente através de medidas práticas que garantam efetivas condições de circulação aos seus utilizadores, o reforço da segurança e a criação de locais de estacionamento seguro para bicicletas. Da parte do estado seria fundamental conceder incentivos à aquisição de bicicletas elétricas que tivessem uma elevada incorporação de valor nacional. Esse investimento seria amplamente compensado pelos benefícios sociais que induziria rapidamente em múltiplos domínios.

Apesar de todas as vantagens referidas, a implementação de raiz da bicicleta elétrica concebida neste projeto não fica muito económica, fruto sobretudo do custo das baterias e da produção de apenas uma unidade. Com o desenvolvimento destas e uma possível produção em série, que traria economias de escala, os preços seriam muito inferiores.

Como se pode depreender, o trabalho desenvolvido e exposto não constitui um ponto de chegada, o qual pode e deve ser melhorado. Existem vários aspetos que podem ser complementados, ou até modificados. Em estudos futuros, este projeto pode dar origem a novos desenvolvimentos, nomeadamente na área do carregamento solar, estudo de implementação de travagem regenerativa, desenvolvimento de novo projeto com motor de tração na pedaleira, diminuição do tamanho da caixa de alojamento das baterias, com a inserção célula a célula, etc.

REFERÊNCIAS

- [1] “Climate Action,” Comissão Europeia, [Online]. Available: http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/index_pt.htm. [Acedido em 10 março 2012].
- [2] T. Solheim e I. Stangeby , Short trips in European countries: report from WALCYNG-WP1, Oslo, Noruega: Institute of Transport Economics, 1997.
- [3] “Emissões de poluentes atmosféricos por concelho 2009,” Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora, novembro de 2011.
- [4] Comissão Europeia, D.G. Ambiente, “Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro,” Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, Luxemburgo, 2000.
- [5] J. Barat, Logística, transporte e desenvolvimento econômico, São Paulo: Cla Editora, 2007.
- [6] Ministério dos Transportes e Comunicações de Moçambique, “Bicicleta, custos energéticos e saúde,” *Leme*, 2008.
- [7] Siechfred, “Wikimedia Commons,” [Online]. Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DaVinci_museum.jpg. [Acedido em 01 março 2012].
- [8] “Museu da Bicicleta de Joinville,” [Online]. Available: http://www.museudabicicleta.com.br/museu_hist.html#. [Acedido em 10 março 2012].
- [9] “Bici Home,” [Online]. Available: <http://bicihome.com/la-historia-de-las-bicicleta/>. [Acedido em 10 março 2012].
- [10] “weelz!,” [Online]. Available: <http://www.weelz.fr/fr/velo-urbain/2011/10/25/la-michaudine-un-francais-aux-origines-du-velo-moderne/>. [Acedido em 01 março 2012].
- [11] “Musée du Cycle de Weyler,” [Online]. Available: <http://www.museeducycle-weyler.be/histoire-du-velo>. [Acedido em 02 março 2012].
- [12] D. V. Herlihy, Bicycle the history, Yale University Press, 2004.
- [13] D. G. Wilson, Bicycling Science, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, Third edition - 2004 .
- [14] S. M. Pequini, “A evolução tecnológica da bicicleta e as suas aplicações ergonômicas para a máquina humana,” Universidade de São Paulo, 2000.
- [15] “Cycle Solutions,” [Online]. Available: <http://www.cyclesolutions.co.uk>. [Acedido em 02 março 2012].

- [16] “Resolução do Conselho de Ministros n.º81/2009,” *Diário da República, 1.ª série — N.º 173*, 7 setembro 2009.
- [17] “Science of cycling,” [Online]. Available: <http://www.exploratorium.edu/cycling/humanpower1.html>. [Acedido em 28 março 2012].
- [18] R. N. Jazar, *Vehicle Dynamics - Theory and Application*, New York: Springer, 2008.
- [19] “Science Learning Hub,” [Online]. Available: <http://www.sciencelearn.org.nz/Science-Stories/Cycling-Aerodynamics>. [Acedido em 25 abril 2012].
- [20] M. Ehsani, Y. Gao e A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles - Fundamentals, Theory and Design*, United States of America: CRC Press, Second Edition 2010.
- [21] A. Morrison, “Bike Tech Review,” [Online]. Available: <http://biketechreview.com/tires>. [Acedido em 28 abril 2012].
- [22] “The engineering toolbox,” [Online]. Available: <http://www.engineeringtoolbox.com>. [Acedido em 30 outubro 2013].
- [23] W. Haynes, *Handbook of Chemistry and Physics*, Florida: CRC Press, 2013-2014.
- [24] T. D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, United States of America: Society of Automotive Engineers, Inc, 1992.
- [25] “BikeTech Review,” [Online]. Available: <http://www.biketechreview.com/index.php/aerodynamics>. [Acedido em 30 outubro 2013].
- [26] “Nasa,” [Online]. Available: <http://www.grc.nasa.gov>. [Acedido em 28 abril 2012].
- [27] J. Larminie e J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained - Second Edition*, United Kingdom: A John Willey & Sons, Ltd, 2012.
- [28] “Flo,” [Online]. Available: <http://flocycling.blogspot.pt/2011/11/flo-cycling-how-velocity-effects-drag.html>. [Acedido em 28 abril 2012].
- [29] Á. F. García, “Curso Interactivo de Física en Internet - Universidad del País Vasco,” [Online]. Available: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/index.html. [Acedido em 28 outubro 2013].
- [30] R. Resnick, D. Halliday e K. Krane, *Física 1*, México: Compañía Editorial Continental, Tercera edición: 1993; Décima segunda reimpressão: 2001.
- [31] L. Leal, E. da Rosa e L. Nicolazzi, *Uma introdução à modelagem quase estática de veículos automotores de rodas*, Florianópolis: Publicação interna do GRANTE.

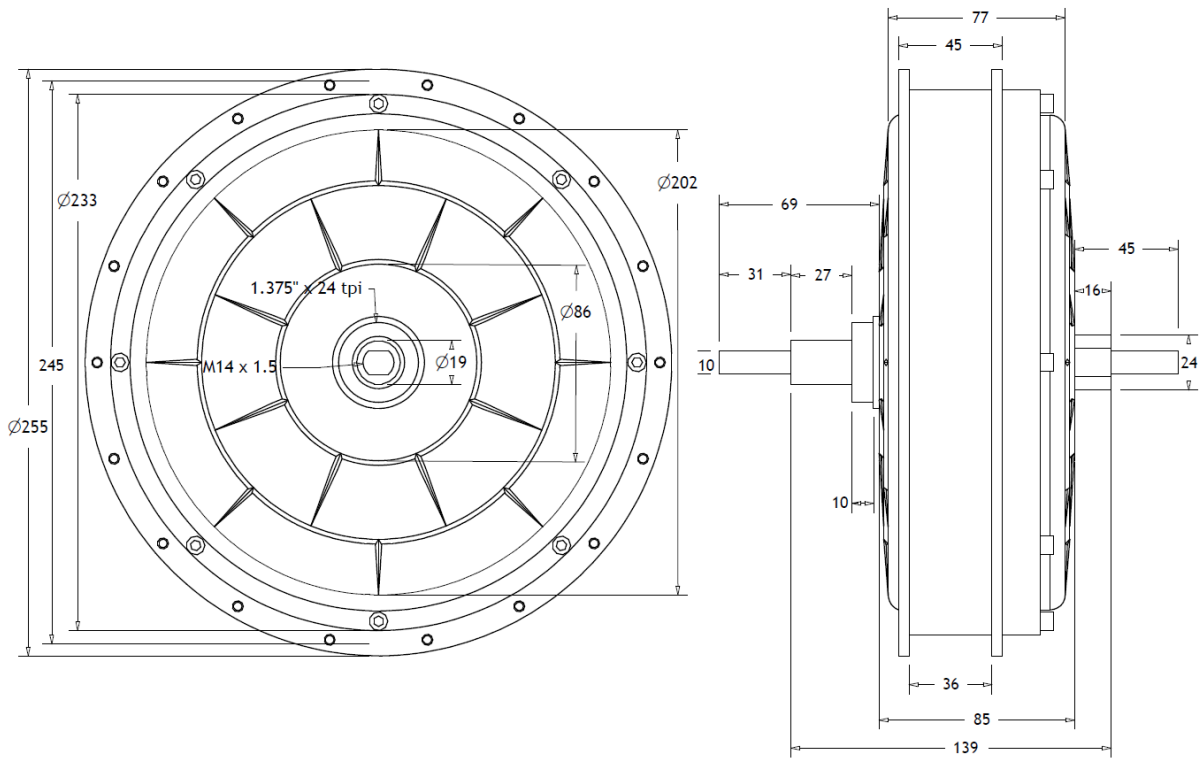
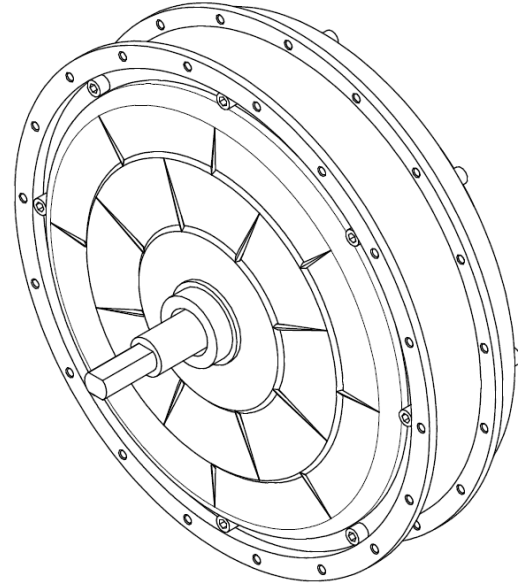
REFERÊNCIAS

- Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, abril de 2008.
- [32] TotalSim Ltd, “SourceWire,” [Online]. Available: <http://www.sourcewire.com/news/52360/winning-technology-for-uk-sport-gb-cyclists-go-faster-with>. [Acedido em 05 abril 2012].
- [33] C. Kyle, Aerodynamic wheels, Bicycling, 1985.
- [34] “Wikimedia Commons,” [Online]. Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bicycle_diagram2-fr.svg. [Acedido em 10 junho 2012].
- [35] “Crystalyte,” [Online]. Available: <http://www.crystalyte.com/>. [Acedido em julho 2012].
- [36] “PingBattery,” [Online]. Available: <http://www.pingbattery.com/servlet/the-17/48V-30AH-V2.5-LiFePO4/Detail>. [Acedido em 3 julho 2012].
- [37] “PinkBike,” [Online]. Available: <http://www.pinkbike.com/news/Truativ-HammerSchmidt-Preview-2008.html>. [Acedido em 06 maio 2012].
- [38] B. Hinault e C. Genzling, Ciclismo de estrada, Lisboa: Editorial Presença, 1988.
- [39] A. Noret e L. Bailly, El ciclismo. Aspectos técnicos y médicos, Barcelona: Hispano Europea, 1991.
- [40] “Escola de bicicleta,” [Online]. Available: <http://www.escoladebicicleta.com.br/geometria.html>. [Acedido em 26 setembro 2012].
- [41] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, “ERSE,” [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/rotulagemenergetica/comparacaoentrecomercializadores/Paginas/default.aspx>. [Acedido em 27 outubro 2013].
- [42] G. G. d. Silva, “O BRANDING: Ferramenta estratégica para o posicionamento da marca.” *Pós-graduando em Design Gráfico – Estratégia Corporativa pela Universidade do Vale do Itajaí*.
- [43] Z Editores Ltda, “Webinsider,” 2008. [Online]. Available: <http://webinsider.com.br/2008/07/15/mas-o-que-e-branding-afinal/>. [Acedido em julho 2012].
- [44] L. d. C. M. Leal, E. d. Rosa e L. C. Nicolazzi, Uma introdução à modelagem quase estática de veículos automotores de rodas, GRANTE - Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.
- [45] G. Kendall, Plugged in - The end of oil age, WWF for a live planet, 2008.

- [46] A. Hughes, *Electric Motors and Drives - Fundamentals, Types and Applications*, Elsevier Ltd, Third edition 2006.
- [47] T. Foale, *Motorcycle Handling and Chassis Design - The Art and Science*, 2002.
- [48] T. D, *Biomechanics of cycling and factors affecting performance*, Sports Medicine, 1990.
- [49] M. Blundell e D. Harty, *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*, Elsevier, 2004.
- [50] A.H.Wickens, *Fundamentals of Rail Vehicle Dynamics - Guidance and Stability*, Swets & Zeitlinger, 2003.
- [51] R. Ballantine e R. Grant, *Ultimate Bicycle Book*, Dorling Kindersley Limited, 1998.
- [52] H. B. Pacejka, *Tyre and Vehicle Dynamics - (3rd Ed.)*, Delft University of Technology - The Netherlands: Elsevier, 2012.

ANEXO 1 – Características do motor Crystalyte 5304

5300 Series Rear Motor
1:2.5 Scale
All dimensions are in mm unless otherwise stated
No dimension is guaranteed



Technische details Crystalyte HT en HS motoren

What is HT and HS?

HT = high torque

HS = high speed

What is the difference between HT and HS engine?

The max speed is different

Example:

With a 36V battery and 25A controller 26" rim

HT = max speed 25 km/h (comform EU)

HS = max speed 40 km/h

The HT motor has more torque at low revs and is therefore more economical at low speed.

The HS motor has more torque at high speed and is more economical at high speeds.

What is the difference between front wheel and rear wheel?

Frontwheel has a hub width of 24mm. Rearwheel has a hub width of 35mm.

The rearwheel has 20% more torque.

Features:

- Direct drive
- Brushless
- Sensorless
- Maintenance free
- Form 250Watt to 2000 Watt output power
- Voltage range 24Volt – 72Volt
- Ampere range 12Amp – 40Amp
- Front or Rearwheel
- High efficiency 86%
- Wide range of high efficiency
- Waterproof
- Offroad proofed
- Heavy duty proofed
- Disc brake for front and rear Wheel
- High torque

Direct drive:

No mechanical parts in the engine. The stator drives the magnets of the hub immediately without mechanical transmission.

Brushless:

There are no brushes in the motor. So no wearing parts.

Sensorless:

There are no Hall sensors present in the engine which only works with sensorless motor controllers.

There are no moisture sensitive sensors in the motor, whereby the motor is resistant against humidity.

Maintenance free:

The direct drive motor, brushless and sensorless requires no maintenance and can be used more than ten thousand times.

Form 250Watt to 2000 Watt output power:

Motor can be used for 250Watt till 2000Watt.
Can be used on all applications.

Voltage range 24Volt – 72Volt:

The motor is useful on a battery voltage of 24Volt till 72 Volt.
The higher the voltage, the higher the maximum speed of the motor.
The higher the voltage, the greater the power of the motor.

Ampere range 12Amp – 40Amp:

The engine can run on controllers from 12Ampere till 40Ampere.
The amps affect the torque of the motor and not the maximum speed.
The bigger the controller, more Amp Controller, the motor torque will be delivered by the motor.

Front or Rearwheel:

The motors are available in front or rearwheel.
Frontwheel: installation width of 100mm
Rearwheel: Installation width of 135mm
The stator of a front wheel = 25mm
The stator of a rearwheel = 35mm
The stator of a rearwheel is larger and will deliver more torque by using the same battery and controller. (+25% more torque)

High efficiency 86%:

The motor drives very economic and has an efficiency of 86%. What is much more than the motors with intern a transmission (75%)

Wide range of high efficiency:

The engine has a very broad range of high efficiency

Waterproof:

The motor is specially waterproofed.

Offroad proofed:

The motor is resist against off-road use in tough conditions.

Heavy duty proofed:

By the very strong housing hub, is the motor suitable for heavy vehicles

High torque:

The motor has huge torque.
Example with a 36Volt and 25Amp controller till 60Nm koppel.
The torque is directly dependent on the controller amperes. How more ameres, how more torque the motor will give.

Disc brake for front and rear Wheel:

All motors are provided of a disc brake connection, for front and rearwheel motors.
All standard disc brakes can be installed on the motor.

ANEXO 2 – Caraterísticas da bateria LiFePO4

WHY CHOOSE HIPOWER LIFEPO4 BATTERIES?



HIGH PERFORMANCE:

Provides a High Theoretical capacity of 170mah/g and a High Practical capacity as high as 165mah/g.

EXTREMELY SAFE/STABLE CHEMISTRY

High intrinsic safety, non-explosive & will not catch fire under collision, due to over-charging, or from a short circuit. High thermal stability of phases up to 500°C.

HIGH DISCHARGE RATE CAPABILITY

Among the best for all high power output demands

EXTRAORDINARY LONG CYCLE LIFE

2000 cycles (80%DOD) Achieves up to 2000 cycles per life-over 7 times the life of Lead Acid and 3 times of NIMH and 3-4Times of LI-ION,LI-MN battery

SUPERIOR FEATURES

- Friendly to the Environment
- Easy to dispose of. . .No Heavy Metals
- Long Shelf Life and Faster Recharge time
- High Energy Efficiency with no memory effect
- No Toxic leaks-Temperature Tolerant
- Smart Monitoring and internal Cell Balancing
- Inherently resistant to harsh conditions
- 1/3 the weight with twice the run-time
- Performance & Longevity reduces Costs
- 3 Year Warranty
- 2000 life cycles
- Standard & Custom Design

LONG SERVICE LIFE

Over 6-7 years-up to 2000 cycles(80%DOD)

RAPID CHARGING ABILITY

2C fast charge 85% within half hour

NO MEMORY EFFECT

Nickel Batteries exhibit memory problems

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY

Non-toxic, non-contaminating-no rare metals, UL, CE, SGS/ROHS approved wide working temperature range from -45 C--+70C (Extremely cold and extremely hot weather will not affect its performance) Flexible Form Factor Small in size and light in weight, 1/3 weight of Lead Acid and 65% weight of NIMH. 2/3 size of Lead Acid .

ANEXO 3 – Caraterísticas do pedaleiro HammerSchmidt

Overview



Ride it. Believe it.

Every so often, you hear whispers about a new product that promises to change everything, only to be let down in some way. TruVativ HammerSchmidt delivers the revolutionary innovation you've been hoping for—and it will completely change the way you think, shift, and ride. TruVativ HammerSchmidt opens up worlds of possibilities with an instant flick of a simple switch. This front transmission's revolutionary design comprises five main components,

each working in perfect concert, allowing you to react to terrain in ways you've never imagined before.

High-tech? Yes. But HammerSchmidt feels more like magic. The kind that puts you perfectly in tune with your bike and the mountain. No need to think, plan, anticipate. Just ride.

- 165, 170, 175 arm lengths
- AL-7050
- Color: Galvanized
- Based on Howitzer BB
- 12mm crankbolt
- 22 or 24 tooth chainring
- Weight: 1785g (complete assembly w/ BB)

Specifications

Weight	1785g (complete assembly incl BB)
Colors	Galvanized
Bottom Bracket	68mm, 73mm, 83mm
Recommended Chain	PC991, PC971, PC951
Material	AL7050

Technologies

Overdrive

One is greater than two. The planetary gear mechanism at the heart of TruVativ's new front transmission works like a single chainring with the strengths of the traditional two-ring system — and none of the weaknesses. There are two gears: 1:1 and Overdrive. In 1:1, everything is locked and spinning together. Turn the pedal once and the chainring goes around once. In Overdrive, the ratio is approximately 1:1.6. Turn the pedal once and the chainring goes around about 1.6 times.

ANEXO 4 – Quadro base do projeto



Manufacturer: FRM Bike Technology S.r.l.

Model: Frame 8HP Team XC

Material: Alloy Easton Ultralight Race (Triple butted 7005)

Derailleur hanger: CNC machined aluminium

Seatpost diameter: 27.2mm

Steerer : 1 1/8 (fit for standard headset 1 1/8)

Including the seat clamp

Anodized Grey titanium color

Informação Adicional

SKU	FRM_CADRE_8HPXC_GreyM
Cor	Cinza
Peso verificado	1300 g
Tamanho	M
Diâmetro do eixo	1" 1/8
Fixação dos travões	IS

ANEXO 5 – Simulações

Folha com cálculo de todas as grandezas utilizando os valores predefinidos no projeto

Parâmetros Cinemáticos

Grandeza	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmulas	Grandeza	Símbolo	Valor	Unidade
Massa do conjunto [bicicleta + condutor]	m	100	kg	$P = m \times g$	Peso	P	980,665	N
Aceleração gravítica	g	9,80665	m/s ²	$F_r = P \times f_r \times \cos(\theta)$	Força de resistência ao rolamento	F_r	4,41299	N
Coefficiente de resistência ao rolamento	f_r	0,0045						
Densidade do ar	ρ	1,2	kg/m ³	$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2$	Força de resistência aerodinâmica	F_D	83,3333	N
Área frontal [bicicleta + condutor]	A_f	0,5	m ²					
Coefficiente de resistência aerodinâmica	C_D	1						
Velocidade do veículo num dado instante	v	16,6666667	m/s	$F_g = m \times g \times \sin(\theta)$	Força gravítica	F_g	0	N
Velocidade do vento (sinal negativo se circular contra o vento)	v_w	0	m/s					
Ângulo de inclinação do plano	θ	0	graus					
Rendimento mecânico da transmissão	η_M	100	%	$F_i = m \times a \times (1 + \delta)$	Força de inércia	F_i		Desprezada
Rendimento elétrico do conjunto "bateria + controlador + motor"	η_E	80	%	$\delta = \frac{J}{m \times r^2}$				
Perímetro das rodas	p	2,08	m	$F_t = F_r + F_D + F_g + F_i$	Força resistente total	F_t	87,7463	N
Cálculos auxiliares				$P_m = F_t \times v$	Potência entregue às rodas	P_m	1462,44	W
Velocidade do veículo num dado instante	km/h	m/s		$P_e = \frac{P_m}{\eta_M \eta_E}$	Potência elétrica	P_e	1828,05	W
Conversão - km/h --> m/s	60	16,6666667						
Conversão - m/s --> km/h	0	0		$v_r = \frac{v \times 60}{2 \times \pi \times r_r}$	Velocidade das rodas	v_r	480,769	rpm
Ângulo de inclinação (subida)	%	Graus						
Conversão - Inclinação em % --> Graus	0	0						

Cálculo das forças e potências

$P = m \times g$	$P_r = F_r \times v$
$F_r = P \times f_r \times \cos(\theta)$	$P_D = F_D \times v$
$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2$	$P_m = P_r + P_D$

v (km/h)	Fr (N)	FD (N)
0	4,41	0,00
10	4,41	2,31
20	4,41	9,26
30	4,41	20,83
40	4,41	37,04
50	4,41	57,87
60	4,41	83,33
70	4,41	113,43

v (km/h)	Pr (W)	PD (W)	Pm (W)
0	0,00	0,00	0,00
10	12,26	6,43	18,69
20	24,52	51,44	75,96
30	36,77	173,61	210,39
40	49,03	411,52	460,56
50	61,29	803,76	865,05
60	73,55	1388,89	1462,44
70	85,81	2205,50	2291,31

v - Velocidade da bicicleta (em quilómetro por hora)
 F_r - Força de resistência ao rolamento (em newton)
 F_D - Força de resistência aerodinâmica (em newton)
 P_r - Potência necessária para vencer a força de resistência ao rolamento (em watt)
 P_D - Potência necessária para vencer a força de resistência aerodinâmica (em watt)
 P_m - Potência mecânica total a aplicar à roda para vencer as duas forças (em watt)

Cálculo da potência total variando a massa - m

$$F_t = m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)$$

$$P_m = F_t \times v$$

Potência entregue às rodas (W)					
v (km/h)	m (kg)				
	60	80	100	120	140
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	13,79	16,24	18,69	21,14	23,59
20	66,15	71,05	75,96	80,86	85,76
30	195,68	203,03	210,39	217,74	225,10
40	440,94	450,75	460,56	470,36	480,17
50	840,53	852,79	865,05	877,31	889,56
60	1433,02	1447,73	1462,44	1477,15	1491,86
70	2256,99	2274,15	2291,31	2308,47	2325,64

v - Velocidade da bicicleta (em quilômetro por hora)
m - massa do conjunto [bicicleta + condutor] (em quilograma)

Cálculo da potência total variando o coeficiente de resistência ao rolamento - fr

$$F_t = m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)$$

$$P_m = F_t \times v$$

Potência entregue às rodas (W)					
v (km/h)	fr				
	0,002	0,003	0,0045	0,01	0,03
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	11,88	14,60	18,69	33,67	88,15
20	62,34	67,78	75,96	105,92	214,88
30	189,96	198,13	210,39	255,33	418,78
40	433,32	444,21	460,56	520,49	738,41
50	831,00	844,62	865,05	939,96	1212,37
60	1421,58	1437,92	1462,44	1552,33	1879,22
70	2243,64	2262,71	2291,31	2396,19	2777,56

v - Velocidade da bicicleta (em quilômetro por hora)
fr - Coeficiente de resistência ao rolamento

Cálculo da potência total variando o coeficiente de resistência aerodinâmica - Cd

$$F_t = m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)$$

$$P_m = F_t \times v$$

Potência entregue às rodas (W)					
v (km/h)	Cd				
	0,4	0,6	0,8	1	1,2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	14,83	16,12	17,40	18,69	19,97
20	45,09	55,38	65,67	75,96	86,25
30	106,22	140,94	175,66	210,39	245,11
40	213,64	295,95	378,25	460,56	542,86
50	382,79	543,54	704,30	865,05	1025,80
60	629,11	906,88	1184,66	1462,44	1740,22
70	968,01	1409,11	1850,21	2291,31	2732,41

v - Velocidade da bicicleta (em quilômetro por hora)
Cd - Coeficiente de resistência aerodinâmica

Cálculo da potência total variando a área frontal - A_f

$$F_t = m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)$$

$$P_m = F_t \times v$$

Potência entregue às rodas (W)					
v (km/h)	Af (m2)				
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	16,12	17,40	18,69	19,97	21,26
20	55,38	65,67	75,96	86,25	96,53
30	140,94	175,66	210,39	245,11	279,83
40	295,95	378,25	460,56	542,86	625,16
50	543,54	704,30	865,05	1025,80	1186,55
60	906,88	1184,66	1462,44	1740,22	2017,99
70	1409,11	1850,21	2291,31	2732,41	3173,51

v - Velocidade da bicicleta (em quilômetro por hora)
Af - Área frontal [bicicleta + condutor] (em metro quadrado)

Cálculo da potência total variando o ângulo de inclinação - θ

$$F_t = m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)$$

$$P_m = F_t \times v$$

Potência entregue às rodas (W)						
v (km/h)	Ângulo de inclinação - θ					% Graus
	-8	-4	0	4	8	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10	-198,58	-90,20	18,69	127,55	235,88	
20	-358,58	-141,81	75,96	293,69	510,34	
30	-441,43	-116,27	210,39	536,98	861,96	
40	-408,53	25,01	460,56	896,02	1329,33	
50	-221,31	320,62	865,05	1409,38	1951,01	
60	158,82	809,13	1462,44	2115,63	2765,59	
70	770,42	1529,11	2291,31	3053,37	3811,66	

v - Velocidade da bicicleta (em quilômetro por hora)
 θ - Ângulo de inclinação (em grau)

Cálculo da potência total variando a velocidade do vento - vw

$$F_t = m \times g \times f_r \times \cos(\theta) + \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2 + m \times g \times \sin(\theta) + m \times a \times (1 + \delta)$$

$$P_m = F_t \times v$$

Potência entregue às rodas (W)						
v (km/h)	vw (m/s)					km/h m/s
	10	5	0	-5	-10	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10	12,26	13,87	18,69	26,73	37,98	
20	37,38	53,45	75,96	104,89	140,26	
30	113,94	157,34	210,39	273,08	345,42	
40	280,51	364,11	460,56	569,87	692,04	
50	575,69	712,33	865,05	1033,84	1218,70	
60	1038,06	1240,60	1462,44	1703,57	1963,98	
70	1706,18	1987,49	2291,31	2617,64	2966,47	

v - Velocidade da bicicleta (em quilômetro por hora)
vw - Velocidade do vento (em metro por segundo)

Autonomia da bicicleta e custos associados

Massa do conjunto [bicicleta + condutor]	m	100	kg
Aceleração gravítica	g	9,80665	m/s ²
Coefficiente de resistência ao rolamento	fr	0,0045	
Densidade do ar	ρ	1,2	kg/m ³
Af - Área frontal [bicicleta + condutor]	Af	0,5	m ²
Coefficiente de resistência aerodinâmica	CD	1	
Velocidade do veículo num dado instante	v	16,66667	m/s
Velocidade do vento (sinal negativo se circular contra o vento)	vw	0	m/s
Ângulo de inclinação do plano	θ	0	graus
Rendimento mecânico da transmissão	ηM	100	%
Rendimento Elétrico do conjunto "bateria + controlador + motor"	ηE	80	%
Perímetro das rodas	p	2,08	m
Energia da bateria (48V, 30A)	Wbat	1440	Wh
Energia da bateria (DOD=80%)	Wbat(dod=80%)	1152	Wh
Potência da pedalada	Pped	60	W
Rendimento do carregador	ηC	80	%
Potência consumida da rede para uma recarga (DOD=80%)	Prede	1440	W
Preço do kwh na tarifa simples*		0,172815	€
Preço kwh na tarifa bi-horária (horas de vazio)*		0,10701	€
Custo da carga da bateria na tarifa simples		0,249	€
Custo da carga da bateria na tarifa bi-horária (horas de vazio)		0,154	€
* Preço do kWh em janeiro de 2013 com IVA (mercado regulado)			

- v** - Velocidade da bicicleta (em quilómetro por hora)
- Fr** - Força de resistência ao rolamento (em newton)
- FD** - Força de resistência aerodinâmica (em newton)
- Pr** - Potência necessária para vencer a força de resistência ao rolamento (em watt)
- PD** - Potência necessária para vencer a força de resistência aerodinâmica (em watt)
- Pm** - Potência mecânica total a aplicar à roda para vencer as duas forças (em watt)
- Pe** - Potência elétrica (em watt) - Entrando com o rendimento elétrico do Power Drive
- Aut** - Autonomia (em hora e em quilómetro)
- Cons** - Consumo (em watt hora por quilómetro)
- CustEnTS** - Custo da energia na Tarifa Simples (em Euro por 100 quilómetros)
- CustEnBHV** - Custo da energia na Tarifa Bi-horária Horas de Vazio (em Euro por 100 quilómetros)

$P = m \times g$	$P_r = F_r \times v$	$P_e = \frac{P_m}{\eta_M \eta_E}$	$Aut(h) = \frac{W_{bat}}{P_e}$														
$F_r = P \times f_r \times \cos(\theta)$	$P_D = F_D \times v$	$Cons = \frac{W_{bat}}{Aut(km)}$	$Aut(km) = \frac{W_{bat}}{P_e} \times v$	$P_e = \frac{P_m - P_{ped}}{\eta_M \eta_E}$													
$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times A_f \times C_D \times (v - v_w)^2$	$P_m = P_r + P_D$																
Sem ajuda da Pedalada																	
v (km/h)	Fr (N)	FD (N)	Pr (W)	PD (W)	Pm (W)	Pe (W)	Aut (h)	Aut (km)	Cons (Wh/km)	Pe (W)	Aut (h)	Aut (km)	Cons (Wh/km)	CustEnTS (€/100km)	CustEnBHV (€/100km)		
0	4,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0				0							
10	4,41	2,31	12,26	6,43	18,69	23	49,3	493	2,3	0							
20	4,41	9,26	24,52	51,44	75,96	95	12,1	243	4,7	20	57,8	1155	1,0	0,022	0,013		
26,355	4,41	16,08	32,31	117,71	150,01	188	6,1	162	7,1	113	10,2	270	4,3	0,092	0,057		
30	4,41	20,83	36,77	173,61	210,39	263	4,4	131	8,8	188	6,1	184	6,3	0,135	0,084		
40	4,41	37,04	49,03	411,52	460,56	576	2,0	80	14,4	501	2,3	92	12,5	0,270	0,167		
50	4,41	57,87	61,29	803,76	865,05	1081	1,1	53	21,6	1006	1,1	57	20,1	0,435	0,269		
60	4,41	83,33	73,55	1388,89	1462,44	1828	0,6	38	30,5	1753	0,7	39	29,2	0,631	0,391		
70	4,41	113,43	85,81	2205,50	2291,31	2864	0,4	28	40,9	2789	0,4	29	39,8	0,861	0,533		

ANEXO 6 – Custos e peso dos componentes

Custos* e peso dos componentes para a construção do projeto.

Grupo Elétrico			
Componentes	Descrição	Peso (g)	Custo (€)
Motor	Traseiro Crystalyte 5304 Cruiser - travão de disco - Tecnologia Sensorless!	7300	360,00 €
Controlador	Crystalyte 48V 40A Controller for Sensorless Motors	800	220,00 €
Bateria	PingBattery 48V 30Ah V2.5 LiFePO4 Battery Pack	15000	850,00 €
Carregador	9A Charger		55,00 €
Display	APM Crystalyte multifunctional display	300	100,00 €
Punho acelerador	Standard Full-Twist Throttle	150	30,00 €
Kit de fios	Wire Set 48V		30,00 €
	SubTotal	23550	1.645,00 €

Componentes para formar a bicicleta base			
Componentes	Descrição	Peso (g)	Custo (€)
Quadro	FRM Frame 8HP Team XC Anodized Grey Size M	1200	720,00 €
Adaptação quadro	Empresa para preparar o quadro - Ciclovakdemiro	2000	500,00 €
Pedaleiro	Truvativ HammerSchmidt AM Chainset	1725	600,00 €
Pedais	TRUVATIV par de pedais HOLZFELLER		50,00 €
Avanço	RITCHEY Avanço WCS 4 AXIS 44 6° 31.8mm 1"1/8 Wet Black		60,00 €
Guiador	RITCHEY Guiador PRO 2X Plano 31.8/720mm		46,00 €
Selín	RITCHEY Selín STREEM PRO V2 Preto		50,00 €
Espigão de selim	RITCHEY Espigão de Selim WCS 1 Parafuso Preto		60,00 €
Sistema de travagem traseiro	Magura MT8 Disc Brake - Storm SL Rotor 2012 2000mm Hose - 180mm - Rear IS		372,00 €
Sistema de travagem dianteiro	Magura MT8 Disc Brake - Storm SL Rotor 2012 2000mm Hose - 203mm - Front IS	4500	383,00 €
Suspensão dianteira	Rock Shox Reba RL Dual Air Forks		385,00 €
Caixa de direção	RITCHEY 2013 Headset Comp Pressfit Semi-Integrated - 1 1/8 - Black		20,00 €
Pneus e câmaras	KENDA Par de Pneus SMALL BLOCK EIGHT 26x1.95 Flexível		70,00 €
Rodas	RCZ 012 Wheelset Marathon LIGHT/ ZTR Alpine		300,00 €
Corrente	SHIMANO Corrente		15,00 €
Pinhão 11 dentes			15,00 €
Diversos			150,00 €
	SubTotal	9425	3.796,00 €

	Total	32975	5.441,00 €
--	--------------	--------------	-------------------

* - Valores de Abril de 2013

Nota: Há sempre a opção de inserir os componentes elétricos numa bicicleta convencional, ajustando apenas as medidas para adaptação do quadro, tornando o projeto mais barato.

Contudo não esquecer que **uma e-bike para ser boa, deve ter por base uma boa bicicleta, pois esta requer menos esforço (energia) para fazer os mesmos quilómetros que uma má bicicleta.**

